

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
ALIMENTOS**

**JANAINA DEBON**

**EMPREGO DA MICROFILTRAÇÃO TANGENCIAL NA  
OBTENÇÃO DE LEITE FERMENTADO PREBIÓTICO**

**Florianópolis – SC  
2009**



**JANAINA DEBON**

**EMPREGO DA MICROFILTRAÇÃO TANGENCIAL NA  
OBTENÇÃO DE LEITE FERMENTADO PREBIÓTICO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

**Área de concentração:** Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos.

**Orientador:** Prof. Dr. José C. C. Petrus

**Co-Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Elane S. Prudêncio.

**Florianópolis – SC  
2009**



**JANAINA DEBON**

**EMPREGO DA MICROFILTRAÇÃO TANGENCIAL NA  
OBTENÇÃO DE LEITE FERMENTADO PREBIÓTICO**

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Alimentos**, área de concentração de **Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2009.

---

Prof. Dr. José C. C. Petrus  
**Orientador**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Elane S. Prudêncio  
**Co-orientadora**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz  
**Coordenador do CPGEA**

**Banca Examinadora:**

---

---

---



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção em cada passo da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. José C.C. Petrus e minha co-orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dra. Elane S. Prudêncio pela orientação, incentivo, confiança e contribuições para este trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelo aceite e contribuições indispensáveis a este trabalho.

A minha família, por todo apoio, incentivo e por sempre acreditarem em mim.

As colegas de Laboratório de Processos de Separação com Membranas: Bruna Kaster e Bruna Klein.

A Carlise e a Fabiane, pela amizade e disposição em ajudar nas análises.

As minhas amigas: Andréia, Francieli, Jamile e Jaqueline pela amizade e companheirismo.

A Kátia, pela amizade e todo o suporte na análise estatística e formatação.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, à Universidade Federal de Santa Catarina.

Às empresas Clariant e **Victoria Indústria e Comércio de Alimentos LTDA, pela doação da matéria-prima.**

A todos aqueles que realmente torceram e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!



## RESUMO

Através do processo de microfiltração (MF) em substituição a pasteurização do leite, foi obtido um microfiltrado com características físico-químicas e microbiológicas adequadas, sendo possível o seu empregado na elaboração de um leite fermentado padrão e de um leite fermentado prebiótico (adição de 5 % de inulina). Através das análises físico-químicas, durante 28 dias de armazenamento sob refrigeração ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ), pôde-se verificar que os teores de lipídios, proteínas e cinzas não foram influenciados ( $p > 0,05$ ) pela adição de inulina, no entanto, o leite fermentado prebiótico durante o armazenamento, apresentou um aumento ( $p < 0,05$ ) nos teores de sólidos totais e carboidratos, e por consequência também no valor calórico e na acidez, enquanto que o pH diminuiu ( $p < 0,05$ ). Os parâmetros firmeza, gomosidade e coesividade permaneceram constantes ( $p > 0,05$ ) durante os 28 dias de armazenamento, porém a adição de inulina proporcionou uma maior ( $p < 0,05$ ) firmeza e coesividade, além de contribuir para a diminuição ( $p < 0,05$ ) do índice de sinerese. O leite fermentado prebiótico apresentou uma menor tendência à coloração esverdeada, enquanto o tempo de armazenamento conferiu aumento da coloração amarelada. Durante os 21 dias de armazenamento, avaliando as propriedades reológicas, nas temperaturas de  $4^\circ\text{C}$  e  $6^\circ\text{C}$ , os leites fermentados apresentaram características de fluido pseudoplástico, comportamento não newtoniano e tixotrópico. A adição de inulina contribuiu para o aumento ( $p < 0,05$ ) da viscosidade aparente, ocasionando também maior tixotropia ( $p < 0,05$ ), que foi representada por uma maior área de histerese. Observou-se para os dois leites fermentados que a viscosidade aparente aumentou ( $p < 0,05$ ) durante os 21 dias de armazenamento, enquanto que variando a temperatura de  $4^\circ\text{C}$  para  $6^\circ\text{C}$ , a viscosidade aparente e a histerese diminuíram ( $p < 0,05$ ).

**Palavras-Chave:** Microfiltração, microfiltrado, leite fermentado, prebiótico, inulina, reologia.



## ABSTRACT

Milk was microfiltered (MF) to replace pasteurization, showing adequate physico-chemical and microbiological characteristics, and it could be employed to produce standard fermented milk as well as prebiotic fermented milk (5 % inulin addition). Through physico-chemical analysis, over a 28-day storage period under refrigeration ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ), it was possible to verify that the contents of lipids, proteins and ash were not influenced ( $p > 0.05$ ) by the addition of inulin. However, during storage the prebiotic fermented milk showed an increase ( $p < 0.05$ ) in the total solids and carbohydrate contents, and consequently also in the calorific value, acidity and pH ( $p < 0.05$ ). The parameters firmness, tackiness and cohesiveness remained constant ( $p > 0.05$ ) over the 28-day storage period, however, the addition of inulin resulted in a product with greater ( $p < 0.05$ ) firmness and cohesiveness, and also led to a reduction ( $p < 0.05$ ) in the syneresis index. The prebiotic fermented milk showed a lower tendency toward a greenish coloration, while the storage time led to an increase in a yellowish coloration. Over the 21-day storage period the rheological properties were evaluated at temperatures of  $4^\circ\text{C}$  and  $6^\circ\text{C}$  and the fermented milk samples had shear thinning, non-Newtonian and thixotropic fluid characteristics. The addition of inulin led to an increase ( $p < 0.05$ ) in the apparent viscosity, and also a greater thixotropy ( $p < 0.05$ ), which was represented by a greater area of hysteresis. It was observed that for the two fermented milk samples the apparent viscosity increased ( $p < 0.05$ ) over a 21-day storage period. An increase in the temperature from  $4^\circ\text{C}$  to  $6^\circ\text{C}$  resulted in a decrease in the apparent viscosity and the hysteresis ( $p < 0.05$ ).

**Keywords:** Microfiltration, microfiltered, fermented milk, prebiotic, inulin, rheological.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO 1

- Figura 1. 1** - Estrutura química da inulina..... 23
- Figura 1. 2** - Classificação das membranas quanto a sua seletividade . 26
- Figura 1. 3** - Esquema de modo de operação de filtração convencional (a) e tangencial (b). ..... 26
- Figura 1. 4** - Representação de um módulo de microfiltração com fibra oca..... 28
- Figura 1. 5** - Diagrama de cores para a análise de colorimetria ..... 33
- Figura 1. 6** - Curva de fluxo de alguns tipos de fluidos (a) independentes do tempo e (b) dependentes do tempo..... 35

### CAPITULO 2

- Figura 2. 1**- Esquema simplificado da unidade piloto de microfiltração utilizado nos experimentos ..... 57
- Figura 2. 2** - Fluxograma de elaboração dos leites fermentados ..... 59
- Figura 2. 3** - Curva padrão para a determinação dos parâmetros de Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA) obtida pela plotagem da força pelo tempo através de dois ciclos de penetração, a firmeza é determinada pelo do pico 2; a gomosidade é resultante do valor da firmeza versus coesividade, onde a coesividade é dada pela razão entre Área 2 e Área 1; e a adesividade é representada pela Área 3 ..... 62
- Figura 2. 4** - Comportamento de fluxo do permeado (J) durante o processo de MF do leite nas diferentes condições de processo ..... 63
- Figura 2. 5** - Resultados médios dos valores de pH, no dia 1, 7, 14, 21 e 28 de armazenamento ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ), do leite fermentado padrão e prebiótico (5 % inulina) ..... 72
- Figura 2. 6** - Resultados médios dos valores de acidez (% de ácido láctico), no dia 1, 7, 14, 21 e 28 de armazenamento ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ), do leite fermentado padrão e prebiótico (5 % inulina)..... 72

**Figura 2. 7** - Resultados médios do índice de sinerese do leite fermentado padrão e prebiótico, no dia 1, 7, 14, 21 e 28 de armazenamento a  $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ..... 73

### CAPITULO 3

**Figura 3. 1** - Representação gráfica do ajuste aos modelos de Lei da Potência e Mizrahi and Berk no dia 1 de armazenamento para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o leite fermentado padrão nas temperaturas de (a)  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e (b)  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ ..... 104

**Figura 3. 2** - Representação gráfica do ajuste aos modelos de Lei da Potência e Mizrahi and Berk no dia 1 de armazenamento para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o leite fermentado prebiótico nas temperaturas de (a)  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e (b)  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ ..... 104

**Figura 3. 3** - Curvas de fluxo relação da tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, para o leite fermentado padrão e leite fermentado prebiótico nas temperaturas de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , nos dias 1 (a), 7 (b), 14 (c) e 21 (d) de armazenamento. .... 107

**Figura 3. 4** - Área de histerese do leite fermentado prebiótico, nas temperaturas de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  ( ) e  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  ( ) nos dias 1, 7, 14 e 21 de armazenamento. .... 109

**Figura 3. 5** - Área de histerese do leite fermentado prebiótico, nas temperaturas de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  ( ) e  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  ( ) nos dias 1, 7, 14 e 21 de armazenamento. .... 109

## LISTA DE TABELAS

### CAPITULO 2

<b>Tabela 2. 1.</b> - Experimentos realizados para as duas variáveis para a escolha dos parâmetros de microfiltração .....	57
<b>Tabela 2. 2-</b> Resultados do fluxo médio, fator de redução volumétrico e teor de proteína no microfiltrado .....	64
<b>Tabela 2. 3</b> - Composição físico-química média do leite cru desnatado e do microfiltrado .....	67
<b>Tabela 2. 4</b> - Composição química média (desvio padrão) das amostras de leite fermentado padrão e prebiótico no dia 1, 7, 14, 21 e 28 de armazenamento ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ) .....	70
<b>Tabela 2. 5</b> - Resultados dos parâmetros obtidos na análise instrumental do perfil de textura do leite fermentado padrão e prebiótico.....	75
<b>Tabela 2. 6</b> - Parâmetros de cor $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ do leite fermentado padrão e do leite fermentado prebiótico, durante 28 dias de armazenamento.....	77

### CAPITULO 1

<b>Tabela 3. 1</b> - Resultados das análises físico-químicas do leite cru desnatado $\pm$ desvio padrão do microfiltrado e dos leites fermentados (padrão e prebiótico) .....	98
<b>Tabela 3. 2</b> - Parâmetros reológicos obtidos pelo modelo Lei da Potência ( $\eta = K (\dot{\gamma})^{n-1}$ ) para o leite fermentado padrão e para o leite fermentado prebiótico nas temperaturas de $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ e $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , no dia 1, 7, 14 e 21 de armazenamento. ....	102
<b>Tabela 3. 3</b> - Parâmetros reológicos obtidos pelo modelo Mizrahi and Berk ( $\eta = ((k_{OM} + k_M \cdot (\dot{\gamma}_M)^n)^2) / \dot{\gamma}$ ) para o leite fermentado padrão e para o leite fermentado prebiótico nas temperaturas de $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ e $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , no dia 1, 7, 14 e 21 de armazenamento .....	103



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1 Revisão bibliográfica .....</b>	<b>19</b>
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
1.1 Leites fermentados .....	20
1.2 Prebióticos.....	21
1.3 Processo de separação por membranas.....	24
1.3.1 Uso da microfiltração em leites e derivados.....	29
1.4 Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA) .....	31
1.5 Análise de cor.....	32
1.6 Reologia .....	33
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO 2 Avaliação das propriedades de leite fermentado prebiótico previamente microfiltrado .....</b>	<b>53</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>56</b>
2.1 Material .....	56
2.2 Microfiltração (MF) .....	56
2.2.1 Cálculo do fluxo permeado (J) .....	58
2.2.2 Cálculo do Fator de Redução Volumétrico (FRV).....	58
2.3 Elaboração dos leites fermentados .....	58
2.4 Análise microbiológica .....	60
2.5 Análise físico-química.....	60
2.5.1 Percentagem de recuperação de componentes no microfiltrado... 60	
2.6 Índice de sinerese .....	61
2.7 Análise Instrumental do Perfil de textura (TPA).....	61
2.8 Análise de cor.....	62
2.9 Análise estatística .....	62
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
3.1 Microfiltração.....	63
3.1 Análise microbiológica .....	65

3.2 Análise físico-química .....	66
3.4 Índice de sinerese .....	73
3.5 Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA) .....	74
3.6 Análise de cor .....	76
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>

**CAPÍTULO 3 - Propriedades reológicas de leite fermentado prebiótico obtido a partir do microfiltrado..... 91**

**INTRODUÇÃO ..... 93**

**2 MATERIAL E MÉTODOS ..... 94**

2.1 Material .....	94
2.2 Microfiltração (MF) .....	94
2.3 Elaboração dos leites fermentados .....	95
2.4 Análise microbiológica .....	95
2.5 Análise físico-química .....	95
2.6 Análise reológica .....	96
2.7 Análise estatística.....	97

**3 RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 97**

3.1 Análise microbiológica .....	97
3.2 Análise físico-química .....	98
3.3 Análise reológica .....	99

**4 CONCLUSÃO..... 110**

**REFERÊNCIAS..... 111**

## INTRODUÇÃO

Processos tecnológicos, executados a baixas temperaturas, como o uso de membranas de Microfiltração (MF), vem se destacando na indústria láctea. O processo de MF se justifica por gerar um microfiltrado, líquido que ultrapassa a membrana (SABOYA; MAUBOIS, 2000), com relevante valor nutricional e funcional, sendo também capaz de remover bactérias (PRUDÊNCIO, 2003; BEOLCHINI; VEGLIO; BARBA, 2004). Dessa forma Hoffmann et al. (2006) sugerem o emprego da MF em substituição a processos térmicos convencionais, como a pasteurização, na redução da contagem microbiológica, a partir do uso de membranas contendo poros com diâmetro médio igual a 1,4  $\mu\text{m}$ . Rysstad e Kolstad (2006) também confirmam que membranas com poros entre 0,8  $\mu\text{m}$  e 1,4  $\mu\text{m}$  seriam ideais na obtenção de um microfiltrado de qualidade. Atualmente o mercado brasileiro não apresenta disponível o leite microfiltrado, entretanto conforme Saboya e Maubois (2000) países como a França, já o comercializam, com uma validade de quinze dias, desde 1998.

Segundo Bouton et al. (2009) a microbiota inicial presente na matéria-prima poderia interferir no crescimento das bactérias ácido-lácticas, durante a produção de derivados fermentados, bem como em suas demais propriedades físicas e químicas. Daufin et al. (2001) relatam que através da MF do leite é possível a obtenção de um microfiltrado considerado um excelente meio para o desenvolvimento de derivados adicionados de bactérias lácticas.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, leites fermentados considerados de qualidade superior, como os incorporados de prebióticos, como a inulina (FARIA, 2005), passaram a ter um destaque comercial, contribuindo na geração de novos alimentos funcionais. As características nutricionais encontradas nos prebióticos são capazes de exercer funções biológicas com o intuito de prevenir doenças e promover a saúde do consumidor, quando utilizados regularmente.

A inulina, fibra solúvel encontrada como carboidrato de reserva de vários vegetais (ROBERFROID, 1999), é empregada tecnologicamente em iogurtes, um tipo de leite fermentado, como “substituto” de gordura. Devido a todos esses benefícios, a Sociedade Brasileira de Alimentos Funcionais relata que no Brasil este setor tem crescido 20 % ao ano, sendo que o mercado de alimentos funcionais em base láctea, faturou 29 bilhões de dólares, no ano de 2007, mostrando ser um dos mais expressivos dentre os alimentos desse gênero

(DOUAUD, 2008).

As tecnologias empregadas, a MF em substituição da pasteurização; e os tipos de ingredientes adicionados, como a incorporação da inulina, podem contribuir nas modificações das propriedades do leite fermentando. Portanto, este trabalho, na forma de capítulos, apresentou os seguintes objetivos:

(a) Capítulo 1 – levantamento bibliográfico abordando os principais temas envolvidos no trabalho: leite fermentado, prebiótico, processos de separação por membranas, Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA), análise de cor e análise reológica.

(b) Capítulo 2 – emprego da microfiltração, em substituição aos tratamentos térmicos convencionais do leite, para a obtenção de um microfiltrado, microbiológica e físico-quimicamente aceitável, a ser utilizado na elaboração de leites adicionados ou não de inulina (prebiótico) e fermentados, avaliando-os quanto às suas propriedades tecnológicas e físico-químicas, quanto ao índice de sinerese, à análise instrumental do perfil de textura e de cor, mantidos por até 28 dias de armazenamento a  $5 \pm 1^\circ\text{C}$ .

(c) Capítulo 3 – empregar o microfiltrado, com características microbiológicas aceitáveis, na elaboração de leite fermentado prebiótico, de composição físico-química também adequada, avaliando a influência da adição de inulina nas suas propriedades reológicas durante 21 dias de armazenamento.

**CAPÍTULO 1**  
**Revisão bibliográfica**

# 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 Leites fermentados

Entende-se por leites fermentados os produtos adicionados ou não de outras substâncias alimentícias, obtidas por coagulação e diminuição do pH do leite, ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctica, mediante ação de cultivos de microrganismos específicos (BRASIL, 2007). Entretanto, podem-se classificar os leites fermentados de acordo com a microbiota e a tecnologia empregada no processo de obtenção (ORDÓÑEZ, 2005).

Lucey et al. (1998) relatam que o emprego de microrganismos fermentadores gera variações consideráveis na composição, sabor, aroma e textura dos leites fermentados. As bactérias ácido-lácticas utilizadas atualmente como culturas iniciadoras para a produção de leites fermentados pertencem principalmente aos gêneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium* (PIARD et al., 1997; SABOYA; OETTERER; OLIVEIRA, 1997; TEMMERMAN; HUYS; SWINGS, 2004), entre outras. Estas bactérias agem acidificando os produtos alimentares, impedindo o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, aumentando o período de conservação dos produtos em relação à forma não fermentada (PIARD et al., 1997). A conversão da lactose em ácido láctico pelas culturas iniciadoras favorece a redução do pH e conseqüentemente a precipitação das proteínas do soro (SACCARO, 2008).

Na obtenção de um dos leites fermentados mais populares, o iogurte (POHJANHEIMO; SANDELL, 2009), produz-se a acidificação do leite utilizando culturas lácteas contendo *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbruekii* subsp. *bulgaricus* (BRASIL, 2007). Essas bactérias são homofermentativas e quando em conjunto exibem uma relação simbiótica durante o processamento, onde a taxa de crescimento entre as espécies altera constantemente (RADKE-MITCHELL; SANDINE, 1984). A simbiose começa quando *L. bulgaricus*, produz enzimas que degradam a caseína, liberando peptídeos e aminoácidos utilizados como fatores de crescimento para o *S. thermophilus*. Em contrapartida, *S. thermophilus* produz ácido láctico, dióxido de carbono e ácido fórmico a partir da liberação da lactose, aumentam a contagem até o valor do pH 5,5. A liberação de ácido fórmico e do composto volátil dióxido de carbono estimula o

desenvolvimento do *L. bulgaricus*. Ao final da fermentação, *L. bulgaricus* produz acetaldéido e ácidos graxos, compostos que contribuem para o desenvolvimento do sabor característico do iogurte (BÉAL; CORRIEU, 1994; SPREER; MIXA, 1998).

Conforme Ayala-Hernández et al. (2008), Renan et al. (2009) e Riener et al. (2009) mudanças na tecnologia de obtenção de leites fermentados, como o emprego de matérias-primas submetidas à tecnologia de membranas; a substituição de tratamento térmico convencional do leite antes do processo de fermentação, como a pasteurização; a adição de ingredientes como o prebióticos, respectivamente, poderiam resultar em produtos de diferentes propriedades.

Após a fermentação os leites não devem ser submetidos a tratamentos como a pasteurização e esterilização, mas sim mantidos sob refrigeração. Pois, é somente desta forma que o mesmo será capaz de manter as suas características químicas, físicas e sensoriais (LERAYER et al., 2002).

## 1.2 Prebióticos

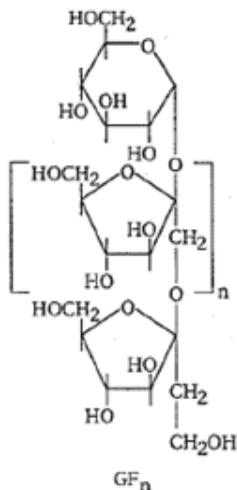
O termo prebiótico foi originalmente definido por Gibson e Roberfroid (1995), como componentes alimentares não digeríveis, que estimulam a atividade bifidogênica, ou seja, o crescimento e/ou ação de algumas bactérias presentes no intestino. Mais recentemente, surgiu um novo conceito para o termo prebiótico, que seria então classificado como um ingrediente alimentar que permite mudanças específicas na composição e/ou atividade da microbiota gastrointestinal, conferindo benefícios à saúde do hospedeiro (GIBSON et al., 2004). Esse ingrediente alimentar resiste à digestão na porção superior do trato intestinal, apresentando pouco impacto no intestino delgado, chegando ao intestino grosso praticamente intacto (GILLILAND, 2001), onde são fermentados pelas bactérias, podendo então ser classificadas como fibras alimentares solúveis (ROBERFROID, 1993).

Para um ingrediente alimentar ser classificado como prebiótico, ele deve seguir as seguintes características: (a) limitada hidrólise e absorção no trato gastrointestinal superior (KLAENHAMMER, 2001; KOLIDA; TOOHY; GIBSON, 2002); (b) estimulação seletiva da multiplicação de bactérias benéficas no cólon (GIBSON; FULLER, 2000; KLAENHAMMER, 2001); (c) ser substrato seletivo para um número limitado de microrganismos habitantes do cólon

(ROBERFROID, 2002); (d) ser capaz de alterar a microbiota intestinal, aumentando o número de espécies sacarólicas e reduzindo microrganismos putrefativos (GIBSON; FULLER, 2000; KOLIDA; TOOHY; GIBSON, 2002).

De acordo com Cândido e Campos (1996), Oliveira (2002), e Souza, Maia e Neto (2003), os prebióticos quando adicionados aos alimentos em uma determinada quantidade podem torná-los funcionais. Como exemplos de substâncias prebióticas podem-se citar alguns oligossacarídeos como a lactulose, lactitol, lactosacarose, rafinose, frutooligossacarídeos (FOS) (oligofrutose), e polissacarídeos como a inulina e o amido resistente (CONWAY, 2001), além de galactoligossacarídeos, lactulose, isomaltoligossacarídeos, xiloligossacarídeos (GIBSON; FULLER, 2000). Entretanto, os prebióticos que tem recebido maior atenção no emprego em derivados lácteos, são a inulina e a oligofrutose (FOOKS; FULLER; GIBSON, 1999; GILLILAND, 2001). Segundo Carpita, Kamabus e Housley (1989) ambas inulina e oligofrutose, são pertencentes ao grupo das frutanas (oligossacarídeos ou polissacarídeos de frutose presentes em alguns vegetais) e servem como carboidrato de reserva das plantas. Esses carboidratos são encontrados em vegetais como cebola, alho-poró (ASAMI et al., 1989); aspargo (FIALA; JOLIVET, 1982); e alcachofra de Jerusalém (VAN LOO et al., 1995). Nilsson e Dahlquist (1986) relatam que além dos vegetais, a inulina pode ainda ser encontrada em cereais como trigo, cevada e centeio, porém as maiores fontes de inulina, são encontradas na alcachofra de Jerusalém, na chicória (VORAGEN, 1998; KAUR; GUPTA, 2002), na dália e na batata yacon, neste último podendo chegar até 20 % do seu peso fresco (VORAGEN, 1998).

A inulina (Figura 1) é formada por cadeias lineares de unidades de frutose, ligadas entre si por ligações  $\beta$  2-1, sendo que uma molécula de glicose está ligada na porção inicial da cadeia linear de frutose, que é unida por uma ligação do tipo ( $\alpha$ 1- $\beta$ 2), como na molécula de sacarose (ROBERFROID, 2002). O comprimento da cadeia, definido pelo número de unidades de monossacarídeos, também denominado de grau de polimerização (DP), é o que diferencia a inulina (DP 10-60), polissacarídeo de cadeia longa, da oligofrutose (DP < 10), oligossacarídeo de cadeia curta (BIEDRZYCKA; BIELECKA, 2004; SAAD, 2006).



**Figura 1.1** - Estrutura química da inulina

Fonte: Roberfroid, Gibson e Delzebbne (1993).

A inulina fermentada pela microbiota intestinal é convertida em ácidos graxos de cadeia curta (acetato, propionato e butirato), ácidos orgânicos (lactato, succinato e piruvato), gases (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S) e biomassa bacteriana (ROBERFROID, 2000; NITSCHKE; UMBELINO, 2002). No entanto, somente o metabolismo dos ácidos graxos de cadeia curta e o lactato contribuem para o metabolismo energético do hospedeiro (ELLEGARD; ANDERSON; BOSAEUS, 1997). Dessa forma, a fermentação da inulina contribui pouco para o valor calórico (entre 1 kcal/g a 1,5 kcal/g) (ROBERFROID; GIBSON; DELZENNE, 1993; NINESS, 1999; ROBERFROID, 1999).

Tecnologicamente, por apresentar cadeias maiores, quando comparada a oligofrutose, a inulina apresenta-se menos solúvel, possuindo habilidade de formar microcristais quando misturados à água ou ao leite (NINESS, 1999; KAUR; GUPTA, 2002). Os microcristais formados interagem para formar uma textura caracterizada como cremosa e macia, mantendo a mesma sensação que a gordura promove nos alimentos (NINESS, 1999; KAUR; GUPTA, 2002; MONTAN, 2003). Dentre os produtos que utilizam inulina podem-se destacar bolos, chocolates, embutidos (NINESS, 1999); recheios prontos, sobremesas congeladas, molhos (KAUR, GUPTA, 2002; BONDT, 2003;

MONTAN, 2003); patês, produtos de panificação (KAUR, GUPTA, 2002); além de ser muito empregada em laticínios na elaboração de iogurtes, sobremesas lácteas, sorvetes e produtos à base de queijos (MEYER; TUNGLAND, 2001). Vários estudos têm mostrado que a adição de inulina em iogurtes provoca mudanças na sua viscosidade (DELLO STAFFOLO et al., 2004); além de reduzir a sinerese (FRANCK, 2002); e aumentar a viscosidade (DONKOR et al., 2007; GUGGISBERG et al., 2009).

Enfim, o consumo de inulina em doses diárias superiores às recomendadas, que conforme Niness (1999) e Roberfroid (1999) ficam entre 4 g e 5 g, mostraram que não foram detectadas evidências de toxicidade, porém, assim como no caso de outros tipos de fibra, o seu consumo excessivo pode resultar em diarreia, flatulência, cólica e inchaço (CARABIN; FLAMM, 1999; HOLZAPFEL; SCHILLINGER, 2002).

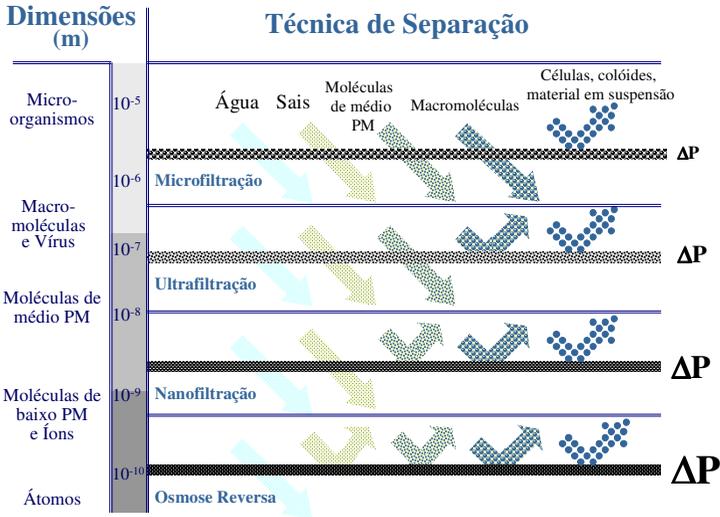
### 1.3 Processo de separação por membranas

O processo de separação por membranas está presente na indústria farmacêutica (MEISEL, 1998), na indústria química (VADI; RIZVI, 2001), no tratamento de águas residuárias (WEND et al., 2003; HABERT et al., 2006), nos procedimentos médicos (hemodiálise) (SOUZA; SOARES, 1999, HABERT et al., 2006), na biotecnologia (fracionamento e purificação de proteínas) (CHERYAN, 1998; HABERT et al., 2006) e na indústria de alimentos (DEY et al., 2004; WEND et al., 2003; HABERT et al., 2006). Entretanto, esta tecnologia teve seu primeiro uso destacado no ano de 1960, cujo objetivo era a dessalinização da água. Porém, em escala comercial seu desenvolvimento emergiu em 1980, nos Estados Unidos e na Noruega (HABERT et al., 2000; MULDER, 2000; SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001). Os processos que empregam membranas são usados para concentrar e/ou fracionar um líquido em dois líquidos geralmente de composições diferenciadas (ORDÓNEZ, 2005). Inúmeras são as vantagens da utilização desta tecnologia pela indústria, como por exemplo, alta seletividade; simplicidade de aplicação, operação e escalonamento; possibilidade de separação de componentes sem a necessidade de utilização de altas temperaturas, resultando em produtos de maior qualidade, com mínimas modificações sensoriais e nutritivas; além de menor gasto energético (HABERT et al., 2000; MULDER, 2000; ORDÓNEZ, 2005).

De acordo com Scott (1995), membrana é definida como uma fase permeável ou semipermeável, geralmente constituída de fina camada de sólido polimérico, que restringe a locomoção de determinados componentes. Schneider e Tsutiya (2001) definem membranas, como um filme fino sólido que separa duas soluções e que atua como uma barreira seletiva para o transporte de componentes destas soluções, quando aplicado algum tipo de força externa. Esta barreira, que controla o transporte de massa através de sua superfície, fornece duas correntes distintas, ou seja, o microfiltrado ou permeado, capaz de atravessar a membrana, e o concentrado ou retentado, que por apresentar partículas maiores que o tamanho médio dos poros, não ultrapassa a membrana (SCOTT, 1995; ORDÓNEZ, 2005).

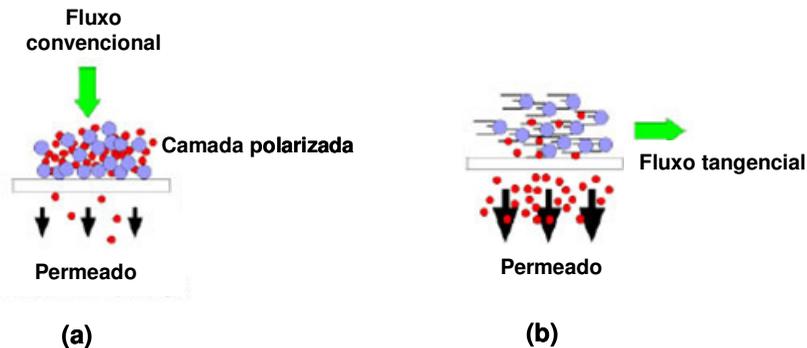
Dentre os processos de separação por membranas destacam-se a Microfiltração (MF), a Ultrafiltração (UF), a Nanofiltração (NF) e a Osmose Reversa (OR), que apresentam, nesta seqüência, a diminuição do poro (OSTERGAARD, 1989) (Figura 2). À medida que se diminui o diâmetro médio dos poros das membranas tem-se o aumento da pressão que é de 0,2 bar a 3,45 bar, para a MF; 0,5 bar e 5 bar, para a UF; 1,5 bar e 40 bar, para a NF; e de 20 bar a 100 bar, para a OR (TEIXEIRA, 2001).

São dois os métodos de filtração utilizados nos processos de separação por membranas: a convencional (dead-end), quando um fluido escoar perpendicular à superfície da membrana, apresentando um rápido acúmulo de componentes do líquido sobre a membrana, favorecendo o fenômeno chamado de polarização por concentração (JAMES; JING; CHEN, 2003); e a tangencial (cross-flow), quando o escoamento do fluido é paralelo à superfície da membrana e altas velocidades possibilitam o arraste dos solutos que tendem a se acumular na superfície (CHERYAN, 1998) (Figura 3 a, b). Em processos de filtração tangencial, a parte da solução que não atravessa a membrana (retentado ou concentrado) é geralmente recirculada como o objetivo de extrair a maior quantidade possível de microfiltrado e/ou concentrar determinado(s) componente(s) do retentado (HABERT et al., 2006).



**Figura 1.2** - Classificação das membranas quanto a sua seletividade

Fonte: MIERZWA et al. (2008).



**Figura 1.3** - Esquema de modo de operação de filtração convencional (a) e tangencial (b).

Fonte: Processo (2009).

A caracterização das membranas pode ser feita de acordo com a sua estrutura morfológica, natureza (material) e configuração modular (CHERYAN, 1998). Do ponto de vista morfológico, as membranas podem ser simétricas (isotrópicas) ou assimétricas (anisotrópicas) e porosas ou densas. Em processos que utilizam membranas porosas a

capacidade seletiva está diretamente associada entre o tamanho do poro da membrana e o tamanho das espécies presentes, que devem ser inertes em relação ao material que constitui a membrana. As moléculas interagem pouco com o material e o principal mecanismo de transporte é a convecção. Já as membranas densas, não possuem poros na superfície em contato com a solução a ser processada, o transporte das moléculas envolve uma etapa de dissolução (sorção da superfície da membrana), difusão através do material que constitui a membrana com posterior desorção do componente no lado do permeado.

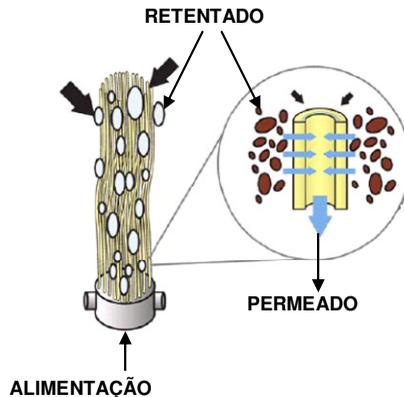
Tanto as membranas densas quanto as porosas, podem ser simétricas ou assimétricas. As membranas simétricas possuem poros de tamanho homogêneo ao longo de sua extensão e apresentam seletividade absoluta, isto é, conseguem reter 100 % das partículas com diâmetro maior que a do poro nominal. As assimétricas apresentam uma diferença no tamanho do poro perpendicular à superfície, sendo que a camada com poros menores é responsável pela permeabilidade, enquanto que a camada com poros maiores, pela sustentação mecânica da membrana (DZIEZAK, 1990; CHERYAN, 1998). Segundo Mulder (2000), Schneider e Tsutiya (2001) e Habert et al. (2006) o diâmetro de corte, denominado de *cut off*, é definido como base no valor da massa molar das moléculas, para a qual a membrana apresenta coeficiente de rejeição de 95 %. Em função disso, as membranas são caracterizadas pela sua retenção a solutos com massa molar específica ou massa molar de corte (*cut off*). Por exemplo, se uma membrana apresentar massa molecular de corte igual a 20 kDa, significa que ela não permite a permeação de solutos de massa moleculares maiores ou iguais ao estabelecidos (MAGALHÃES et al., 2005).

Uma grande variedade de materiais pode ser utilizada na produção de uma membrana (PETRUS, 1997; CHERYAN, 1998; GIRARD; FUKUMOTO, 2000). As membranas sintéticas comerciais são produzidas por duas classes distintas como os polímeros, constituídos de materiais orgânicos; e os inorgânicos como metais e materiais cerâmicos. As membranas sintéticas comerciais, em sua grande maioria, são preparadas a partir de materiais poliméricos (acetato de celulose, polissulfona, polietersulfona, poliacrilonitrila, polieteramida e policarbonato) (HABERT et al., 2006), com características químicas e físicas variadas. As membranas construídas com esses polímeros são tolerantes às altas temperaturas (até 75°C) e ao pH (2 a 12), além de apresentar boa resistência ao cloro (até 200 ppm) e à compactação (PAULSON; WILSON; SPATZ, 1984; PETRUS, 1997).

Em relação à configuração modular, as membranas apresentam

quatro tipos, ou seja, tubular, quadro e placa, espiral e fibra oca e/ou tubos capilares (HABERT et al., 2006). Essas configurações são as estruturas que dão suporte e acondicionam a membrana. Os módulos devem apresentar canais para alimentação e para a remoção do retentado e do microfiltrado (BARATO, 2008). Segundo Rautenbach e Albrecht (1989) essas configurações devem atender características de interesse, tais como, alta razão de área de permeação por volume ocupado, baixo custo de fabricação, facilidade de operação e de limpeza, além da possibilidade e facilidade de substituição da membrana.

A configuração fibra oca, tipo de módulo utilizado nesse estudo, caracteriza-se por um cartucho que contém centenas de fibras de diâmetro reduzido (PAULSON; WILSON; SPATZ, 1984) (Figura 4). Segundo Cheryan, (1998), o diâmetro externo das fibras varia de 0,19 mm a 1,25 mm. Já Paulson, Wilson e Spatz (1984) citam como vantagens dessa geometria, a possibilidade da realização de backflushing, ou seja, a aplicação de fluxo inverso para desincrustação dos poros. Além das vantagens anteriores existe a alta razão entre a área de permeação e volume do módulo, que segundo Mulder (2000) e Schneider e Tsutiya (2001), podem apresentar uma relação de área/volume de até 10.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.



**Figura 1. 4** - Representação de um módulo de microfiltração com fibra oca  
Fonte: Dias (2009).

Nos processos de separação por membranas, comandados por gradientes de pressão, ocorre um declínio progressivo do fluxo de permeado com o tempo, esse declínio é atribuído à associação entre três

fenômenos, polarização da concentração, camada de gel polarizada e pelo entupimento da membrana, denominado de *fouling* (Cheryan, 1998). Cheryan (1998) e Habert et al. (2006), relatam que a polarização da concentração se deve a um acúmulo de solutos que ficam retidos na superfície da membrana, provocando um aumento gradual da concentração com o tempo de processo. Esses solutos são arrastados por transporte convectivo e formam um gradiente de concentração de solutos na interface membrana/solução. Esse fenômeno é responsável pela diferença observada entre o fluxo de permeado final e inicial, comparando-se com o fluxo de água pura, e segundo Marshall e Daufin (1995), é função das condições hidrodinâmicas de escoamento de fluxo de alimentação, e normalmente independe das propriedades físicas da membrana. Quando a concentração de partículas próximas à superfície filtrante excede seu limite de solubilidade, ocorre a formação de uma camada de gel polarizada, devido à precipitação por supersaturação das macromoléculas, ocasionando um aumento na resistência ao fluxo permeado (CHERYAN, 1998). A polarização da concentração é considerada um fenômeno reversível, e pode ser minimizado pelas simples mudanças nas condições de operação. O *fouling* é caracterizado pelo declínio irreversível de fluxo permeado, e ocorre quando há deposição e acúmulo de componentes da alimentação na superfície e/ou dentro dos poros da membrana, por adsorção ou bloqueio físico dos poros (HABERT et al., 2006). Tal declínio só pode ser revertido mediante uma limpeza química (CHERYAN, 1998).

Em se tratando de produtos lácteos, o *fouling* é um fenômeno muito complexo, em virtude de diferentes componentes do leite. Segundo Malmberg e Holm (1988), os maiores problemas da MF de produtos lácteos, são exatamente a presença de glóbulos de gordura, que apresentam diâmetro entre 0,2  $\mu\text{m}$  e 15  $\mu\text{m}$ . Desta forma Saboya e Maubois (2000) sugerem que o leite a ser submetido à MF deva ser primeiramente desnatado, porque além de causarem o *fouling* da membrana, os glóbulos de gordura apresentam diâmetros similares ao da maioria das bactérias, ou seja, entre 0,2  $\mu\text{m}$  e 6  $\mu\text{m}$  (SABOYA; MAUBOIS, 2000).

### ***1.3.1 Uso da microfiltração em leites e derivados***

A MF é uma das mais antigas tecnologias que empregam membranas, porém, no processamento de produtos lácteos essa

tecnologia representou inovação no ano de 1980, com o desenvolvimento de membranas cerâmicas e suportes de alta permeabilidade, dispostas em circuitos tubulares paralelos multicanais (MAUBOIS, 1997). Ao final da década de 80 do século XX, o uso da tecnologia de MF, amplia-se na indústria láctea através das seguintes aplicações: (a) remoção de bactérias do leite, resultando em um microfiltrado com baixa contagem bacteriana (LE BERRE; DAUFIN, 1998; BIRD; BARTLETT, 2002; BRANS et al., 2004; YADA, 2004), esporos (GUERRA et al., 1997; GIRALDO-ZUÑIRA et al., 2004; YADA, 2004) e células somáticas (ROSENBERG, 1995); (b) desnate do soro de leite (MAUBOIS, 1997); (c) separação dos glóbulos de gordura do leite (GOUDÉDRANCHE; FAUQUANT; MAUBOIS, 2000; YADA, 2004); (d) enriquecimento do leite utilizado na produção de queijos com caseína micelar (MAUBOIS, 1997; LAWRENCE et al., 2008); fracionamento dos glóbulos de gordura (BRANS et al., 2004; GIRALDO-ZUÑIRA et al., 2004; YADA, 2004); entre outras.

Normalmente a remoção de bactéria pela MF resulta em um permeado com baixa contagem de bactérias (BRANS et al., 2004; GIRALDO-ZUÑIRA et al., 2004; YADA, 2004), podendo variar entre 97 % e 99 % (PAFYLIAS et al., 1996; SABOYA; MAUBOIS, 2000; PRUDÊNCIO, 2003; BEOLCHINI; VEGLIO; BARBA, 2004), sem afetar o sabor do leite, e fornece uma vida de prateleira mais prolongada que a do leite pasteurizado (BRANS et al., 2004). Guerra et al. (1997) também relataram que a redução microbiana deve ser atingida de maneira que a funcionalidade das proteínas não seja afetada.

Rektor e Vatai (2004), utilizando membrana de MF para reduzir as contagens de bactérias ácido lácticas e outros microrganismos do soro, obtido através da fabricação do queijo mussarela, afirmaram que a MF é eficiente como processo de esterilização, pois foi capaz de reduzir aproximadamente 100 % dos microrganismos. Beolchini, Veglio e Barba (2004), estudaram o processo de MF utilizando membrana cerâmica, com diâmetro médio de poro de 1,4 µm e temperatura de 40°C, na redução microbiana de leite ovino, e mostraram que o processo de MF foi eficiente, apresentando uma redução decimal microbiana de até 3 log.

Segundo Maubois (1997), o processo de MF Bactocatch<sup>®</sup>, desenvolvido pela empresa Tetra Laval, foi utilizado na França para a obtenção de um leite fluido não esterilizado de vida de prateleira estendido. O leite denominado Marguerite<sup>®</sup>, é produzido a partir da mistura de creme (nata) tratado termicamente (95°C/20 s) e leite desnatado microfiltrado, o qual não recebe tratamento térmico e

apresenta validade de 15 dias, quando mantido sob refrigeração.

#### **1.4 Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA)**

Textura é um atributo de parâmetros múltiplos que corresponde à manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e de superfície de alimentos, detectados através dos sentidos de visão, audição, tato e medidas cinéticas (SZCZESNIAK, 2002; ROUDOT, 2004). A textura pode ainda ser definida como uma manifestação sensorial da estrutura ou composição interna dos produtos de acordo com sua reação à tensão, que resultam nas propriedades mecânicas (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999). Na indústria láctea cada um dos seus derivados apresenta “textura própria”, o que define a qualidade dos mesmos (FOEGEDING et al., 2003).

A classificação dos termos de textura para alimentos sólidos e semi-sólidos deu origem ao método de Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA) (PONS; FISZMAN, 1996; TUNICK, 2000). A TPA foi proposta como uma alternativa de superar os principais inconvenientes e limitações da avaliação sensorial relacionadas às dificuldades de interpretação e variação dos resultados (ANZALDÚA-MORALES, 1994). Segundo Lucey (2004), essas medidas são técnicas quantitativas úteis para avaliar as propriedades de textura de alimentos, como leites fermentados. O método da TPA envolve a compressão da substância por um corpo de prova (*probe*) que após penetrar ou comprimir o alimento, retorna ao ponto de origem, simulando os movimentos mecânicos da mordida ou mastigação (PONS; FISZMAN, 1996; TUNICK, 2000). Essa simulação é convertida em um gráfico de tensão, dessa forma podem-se obter os parâmetros que representam as propriedades físicas do material (KULMYRZAEV et al., 2005).

Em leites fermentados a textura pode ser afetada por vários fatores, como por exemplo, as etapas de processamento envolvidas (RASIC; KURMANN, 1978; LUCEY; SINGH, 1998; VASBINDER et al., 2003; HEKMAT; REID, 2006), como a adição de certos ingredientes, ou seja, os prebióticos (LUCEY; SINGH, 1998; VASBINDER et al., 2003; HEKMAT; REID, 2006), além do período de armazenamento empregado (OLIVEIRA et al., 2001; SODINI et al., 2002).

## 1.5 Análise de cor

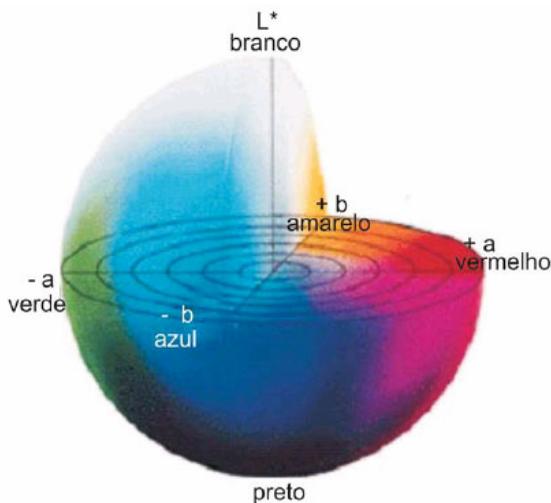
A colorimetria refere-se à ciência e a tecnologia usada para quantificar e descrever, as percepções humanas da cor. Para a física ótica, a cor é definida como um feixe de radiações luminosas com uma determinada distribuição espectral (CALVO; DURÁN, 1997). Segundo Francis e Clydesdale (1975), a cor pode ser definida como a sensação experimentada pelo indivíduo quando a energia da luz correspondente ao espectro visível atinge a retina do olho. A composição química e a estrutura do material vão definir a capacidade deste de alterar a distribuição espectral da luz (CALVO; DURÁN, 1997).

A cor visual é um dos mais importantes parâmetros de qualidade em produtos alimentícios, pois é a primeira característica que o consumidor percebe e usa para aceitar ou rejeitar um alimento, porém ainda não existem padrões quantitativos para os atributos de cor em leites fermentados (HUTCHINGS, 1999; LEÓN et al., 2006). A percepção da cor permite também a detecção de certas anormalidades ou defeitos que o alimento possa apresentar (SHAN; NORMAND; PELEG, 1997; LEÓN et al., 2006). Desta forma, a cor é um importante parâmetro para a determinação da qualidade dos alimentos auxiliando no controle da matéria-prima, nas alterações causadas pelo processamento e armazenamento (MACDOUGALL, 2002).

A determinação da cor pode ser realizada através de uma inspeção visual (humana) ou usando um instrumento de medida, como por exemplo, espectrofotômetro ou colorímetro. Apesar da inspeção da cor através da visualização humana ser considerada adequada, observa-se que quando ocorrem mudanças de iluminação, torna-se subjetiva e extremamente variável. Desta forma segundo León et al. (2006), é recomendável que a análise seja feita através do uso de um instrumento de medida da cor. Os colorímetros Minolta ou Hunter Lab são alguns dos instrumentos empregados na medida da cor também de alimentos (LEÓN et al., 2006).

A cor é relatada por três diferentes parâmetros representados em um diagrama tridimensional a fim de definir a coloração do produto. Em 1976, a *Commission Internationale d'Eclairage* (CIE) recomendou o uso da escala de cor do sistema CIE  $L^*a^*b^*$ , ou CIELAB (Figura 5). O parâmetro  $L^*$  varia de 0 a 100, o máximo valor de  $L^*$  (100) representa uma perfeita reflexão difusa, representando a coloração branca, enquanto o valor mínimo (0) representa coloração preta. Já os eixos  $a^*$  e  $b^*$  não apresentam limites numéricos específicos. A coordenada  $a^*$  varia do vermelho ( $+a^*$ ) ao verde ( $-a^*$ ), e a coordenada  $b^*$  do amarelo ( $+b^*$ )

ao azul ( $-b^*$ ) (HUNTERLAB, 1996; BAKKER; RIDLE; TIMBERLAKE, 1986). O centro é acromático, à medida que os valores de  $a^*$  e  $b^*$  aumentam e o ponto move-se para fora partindo do centro, a saturação da cor aumenta (MINOLTA, 1994).



**Figura 1.5** - Diagrama de cores para a análise de colorimetria

Fonte: Minolta (1994)

## 1.6 Reologia

Reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento dos materiais. As determinações reológicas permitem que sejam obtidas informações sobre a forma como um determinado material reage quando submetido a forças externas (AICHINGER, 2003; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005), descrevendo a deformação de um corpo sob a influência de tensões (SCHRAMM, 2000).

O conhecimento do comportamento reológico de alimentos, como produtos lácteos fermentados, é de grande importância, pois influencia nos cálculos envolvidos nos processos de engenharia, como por exemplo, na vazão, seleção de bombas, determinação da perda de carga em tubulações; além de caracterizar o produto quanto à funcionalidade de um ingrediente empregado; controlar a qualidade e a validade do produto (HOLDSWORTH, 1993; STEFFE, 1996; TABILO-

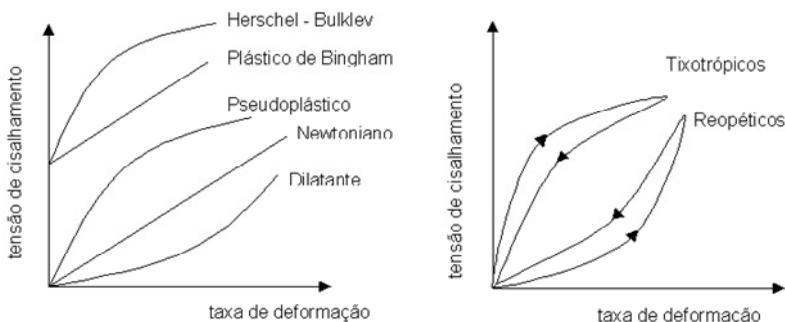
MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005); correlacionar os resultados obtidos com a análise sensorial (HOLDSWORTH, 1993; AICHINGER et al., 2003; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005); e empregar análise de equações reológicas de estado ou de equações constitutivas (SINGH; HELDMAN, 1996). A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados nas indústrias de processamento está ligada também a grande importância econômica que estes fluidos e equipamentos de manipulação representam (VIDAL, 2000).

Um fluido define-se como uma substância que se deforma continuamente quando se submete a ação de uma força tangencial, chamada tensão de cisalhamento, sem se importar quão pequeno seja este esforço (CAMPOS, 1989; STREETER, 1996). A propriedade do fluido que tem a maior influência nas características de escoamento é a viscosidade, a qual descreve a magnitude da resistência ao escoamento devido a forças de cisalhamento (SINGH; HELDMAN, 1996). A viscosidade é dada pela relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, o que caracteriza o comportamento de fluxo de alimentos fluidos, em newtonianos e não newtonianos (MACHADO, 2002; STOKES; TELFORD, 2004; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; SCHRAMM, 2006).

Os fluidos newtonianos apresentam viscosidade constante, ou seja, a taxa de deformação ( $\dot{\gamma}$ ) é diretamente proporcional à tensão de cisalhamento ( $\sigma$ ), e o gráfico inicia na origem (Figura 6a) (HOLDSWORTH, 1993; RAO, 1999; SILVA, 2000). Exemplos de fluidos newtonianos incluem água, soluções de sacarose, a maioria das bebidas carbonatadas, óleos comestíveis, sucos de frutas filtrados e leite (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1999). Já os fluidos não newtonianos, que não apresentam viscosidade constante, são classificados em independentes ou dependentes do tempo. Dentre os independentes do tempo estão os fluidos plásticos de Bingham (margarina, óleos vegetais); os fluidos pseudoplásticos (shear thinning), nos quais a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação (sucos e polpas de frutas e vegetais) e os fluidos dilatantes (shear thickening), quando a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação (suspensões de amido, mel) (HOLDSWORTH, 1993; MACHADO, 2002; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Para os fluidos não newtonianos independentes do tempo, submetidos à temperatura e concentração constantes, a viscosidade aparente depende somente da taxa de deformação. Já os fluidos

dependentes do tempo, cuja viscosidade depende não somente da taxa de deformação, mas também do tempo de escoamento, estão divididos em tixotrópicos e reopéticos. Nos tixotrópicos a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de cisalhamento constante (maionese, iogurte), implicando na progressiva quebra da estrutura, enquanto os reopéticos ocorre o comportamento contrário (Figura 6b) (HOLDSWORTH, 1993; ABU-JDAYIL, 2003).



**Figura 1.6** - Curva de fluxo de alguns tipos de fluidos (a) independentes do tempo e (b) dependentes do tempo

Fonte: Sharma et al. (2000).

O grau tixotrópico é definido como uma diminuição contínua da viscosidade aparente com o tempo a uma determinada tensão e subsequente recuperação da viscosidade quando se interrompe o fluxo, e para que este possa ser medido os fluidos devem ser submetidos a processos ascendentes e descendentes de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação (BENEZECH; MAINGONNAT, 1994; KOKSOY; KILIC, 2004; SCHRAMM, 2006).

Segundo Vidal (2000) os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como temperatura, pH, entre outros. A maioria dos alimentos fluidos apresentam comportamento não newtoniano (CAMPOS, 1989; BENEZECH; MAINGONNAT, 1994; BRETAS; D'AVILA, 2000; MACHADO, 2002; ABU-JDAYIL, 2003; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; SCHRAMM, 2006). Na literatura existem muitos modelos reológicos propostos, porém a escolha do modelo a ser utilizado é uma função das características do fluido (RAO; ANANTHESWARAM, 1982).

O modelo Lei da Potência (Power Law) é bastante utilizado para descrever o comportamento de alimentos devido a sua simplicidade e ampla aplicabilidade (BRANCO, 2001). O gráfico tensão de cisalhamento ( $\sigma$ ) versus taxa de deformação ( $\gamma$ ) torna-se linear quando plotado em coordenadas logarítmicas (RAO, 1999), sendo possível o modelo Lei da Potência descrever os dados de fluidos pseudoplásticos e dilatantes (Equação 1).

$$\sigma = K(\gamma)^n \quad \text{Equação 1}$$

onde  $\sigma$  é a tensão de cisalhamento, K o índice de consistência,  $\gamma$  a taxa de deformação, e n o índice de comportamento de fluxo (MANICA; BORTOLI, 2004). O índice de comportamento de fluxo reflete a proximidade do fluido ao comportamento newtoniano. Para fluido newtoniano ( $n = 1$ ), o índice de consistência (K) é igual à viscosidade do fluido (RAO, 1999). Quando  $n < 1$  o fluido é pseudoplástico; quando  $n > 1$  o fluido é de natureza dilatante (PIAU; DEBIANE, 2005).

O modelo de Mizrahi and Berk (1972) surgiu como uma modificação da equação de Casson, e foi criado para ser utilizado no estudo do escoamento de suco de laranja concentrado e suspensões de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico (Equação 2).

$$\sigma^{1/2} = K_{OM} + K_M (\gamma)^{n_M} \quad \text{Equação 2}$$

onde  $\sigma$  é a tensão de cisalhamento,  $K_M$  o índice de consistência,  $n_M$  o índice de comportamento do fluido,  $K_{OM}$  a raiz quadrada da tensão inicial de cisalhamento e  $\gamma$  a taxa de deformação.

## REFERÊNCIAS

- ABU-JDAYIL, B. Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, v.57, p.97-102, 2003.
- AICHINGER, P.-A.; MICHEL, M.; SERVAIS, C.; DILLMAN, M.-L.; ROUVET, M.; ALVES, M.M.M. A Reologia. In: de Castro, A.G. A Química e a Reologia no Processamento dos Alimentos. Instituto Piaget: Lisboa, 2003. p.37-61.
- ANZALDÚA-MORALES, A. La evaluación sensorial de los alimentos en La teoría y la práctica. Zaragoza: Acribia, 1994.
- ASAMI, T.; KUBOTA, M.; MINAMISAWA, K.; TSUSIHASHI, T. Chemical composition of yacon, a new root crop from the Andean Highlands. *Journal Soil Science and Plant Nutrition*, v.60, p.122-126, 1989.
- AYALA-HERNÁNDEZ, I.; HASSAN, A.; GOFF, H.D.; MIRA DE ORDUÑA, R.; CORREDIG, M. Production, isolation and characterization of exopolysaccharides produced by *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* JFR1 and their interaction with milk proteins: Effect of pH and media composition. *International Dairy Journal*, v.18, p.1109-1118, 2008.
- BAKKER J.; RIDLE P.; TIMBERLAKE C.F. Tristimulus measurements (CIELab 76) of Port wine color. *Vitis*, 25, p.67-78, 1986.
- BARATO, N.C. Clarificação de Suco de Caju Através de Separação por Membranas. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.
- BÉAL, C.; CORRIEU, G. Viability and acidification activity of pure and mixed starters of *S. thermophilus* 404 and *bulgaricus* 398 at the different steps of their production. *LWT – Food Science and Technology*, v.27, p.86-92, 1994.
- BENEZECH, T.; MAINGONNAT, J.F. Characterization of the rheological properties of yoghurt - a review. *Journal of Food*

Engineering, v.21, n.4, p.447-472, 1994.

BEOLCHINI, B.; VEGLIO, F.; BARBA, D. Microfiltration of bovine and ovine milk for the reduction of microbial content in a tubular membrane: a preliminary investigation. *Desalination*, v.161, p.251-258, 2004.

BIEDRZYCKA, E.; BIELECKA, M. Prebiotic effectiveness of fructans of different degrees of polymerization. *Food Science Technology*, v.15, p.170-175, 2004.

BIRD, M.R.; BARTLETT, M. Measuring and modeling flux recovery during the chemical cleaning of MF membranes for the processing of whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering*, v.53, p.143-152, 2002.

BONDT, V. Novas Tendências para Bebidas Funcionais. **Revista Brasil Alimentos**, n.18, 2003.

BOUTON, Y.; BUCHIN, S.; DUBOZ, G.; POCHE, S.; BEUVIER, E. Effect of mesophilic lactobacilli and enterococci adjunct cultures on the final characteristics of a microfiltered milk Swiss-type cheese. **Food Microbiology**, v.26, p.183-191, 2009.

BRANCO, I.G. Estudo do comportamento reológico de misturas ternárias com manga, laranja e cenoura. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Programa de pós-graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

BRANS, G.; SCHROËN, C.G.P.H.; VAN der SMAN, R.G.M.; BOOM, R.M. Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. *Journal of Membrane Science*, v.243, n.1-2, p.263-272, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 outubro 2007, sec. 1, p.5.

BRETAS, R.E.S.; D'AVILA, M.A. **Reologia de polímeros fundidos**. São Carlos: EdUFSCAR, 2000.196p.

CALVO, C.; DURÁN, L. Propiedades Físicas II – Ópticas y color. In: 122 CITED – Instituto Politécnico Nacional. Temas en Tecnología de alimentos. Mexico: Ed: José Miguel Aguilera, v.1, 1997.

CAMPOS, S.D.S. Reologia e textura em alimentos. Campinas: ITAL, 1989.84p.

CÂNDIDO, L.M.B.; CAMPOS, A.M. Alimentos para fins especiais: dietéticos. São Paulo: Livraria Varela, 1995. 423p.

CARABIN, I.G.; FLAMM, W.G. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. *Regulatory Toxicology Pharmacology*. New York, v.30, p.268-282, 1999.

CARPITA, N.C.; KAMABUS, J.; HOUSLEY, T.L. Linkage structure of fructans and fructan oligomers from *Triticum astivum* and *Fistuca arundinaceae* leaves. *Journal of Plant Physiology*, v.134, p.162-168, 1989.

CHERYAN, M. Ultrafiltration and Microfiltration Handbook. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1998. 527p.

CONWAY, P. Prebiotics and human health: the state –of-the-art and future perspectives. *Journal of Clinical Nutrition*, v.45, p.13-21, 2001.

DAUFIN, G.; ESCUDIER, J.P.; CARRÈRE, H.; BÈROT, S.; FILLAUDEAU, L.; DECLoux, M. Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry. *Trans IChemE*, v.79, p.89-102, 2001.

DELLO STAFFOLO, M.; BERTOLA, N.; MARTINO, M.; BEVILACQUA, A. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*, v.14, n.3, p.263-268, 2004.

DEY, B.K.; HASHIM, M.A.; HASAN, S.; GUPTA, B.S. Microfiltration of water-based paint effluents. *Advances in Environmental Research*, v.8, p.455-466, 2004.

DIAS, T. **MBR: nova tecnologia para tratamento de efluentes.** Disponível em:

<http://www.meiofiltrante.com.br/noticias.asp?action=detalhe&id=1016>.  
Acesso em: 10 abril 2009.

DONKOR, O.N.; NILMINI, S.L.I.; STOLIC, P.; VASILJEVIC, T.; SHAH, N.P. Survival and activity of selected probiotic organisms in set-type yoghurt during cold storage. *International Dairy Journal*, v.17, p.657-665, 2007.

DOUAUD, C. **Changing incomes and lifestyles drive functional food growth**. Disponível em: <http://friendtadticfood.blogspot.com/200709/changing-incomes-and-lifestylesdrive.html>. Acesso em: 02 janeiro 2009.

DZIEZAK, J.D. Membrane separation technology offers processors unlimited potential. *Food technology*, v.44, n.9, p.108-113, 1990.

ELLEGARD, L.; ANDERSON, H.; BOSAEUS, I. Inulin and oligofructose do not influence the absorption of cholesterol, and the excretion of cholesterol, Fe, Ca, Mg, and bile acids but increase energy excretion in man. A blinded, controlled cross-over study in ileostomy subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, v.51, p.1-5, 1997.

FARIA, C.P. Produção e avaliação de leite de búfala fermentado contendo o probiótico *Lactobacillus casei subsp. Casei e* suplementado com *Bifidobacterium longum*. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, UFSC, Florianópolis.

FIALA, V.; JOLIVET, E. Variations quantitatives en composés azotes et glucidiques de raciness d'asperges, mâles et femelles, au cours de leur première année de culture. *Agronomie*, v.2, p.735-740, 1982.

FOEGEDING, E.A.; BROWN, J.; DRAKE, M.; DAUBERT, C.R. Sensory and mechanical aspects of cheese texture. *International Dairy Journal*, v.13, p.585-591, 2003.

FOOKS, L.J.; FULLER, R.; GIBSON, G.R. Prebiotics, probiotics and human gut microbiology. *International Dairy Journal*, v.9, p.53-61, 1999.

FRANCIS, F. J.; CLYDESDALE, F. M. Food colorimetry: theory and

applications. Westport: AVI Publishing Co., 1975. 477p.

FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofrutose. *British Journal of Nutrition*, v.87 (suppl 2), p.287-291, 2002.

GIBSON, G.R.; FULLER, R. Aspects of *in vitro* and *in vivo* research approaches directed toward identifying probiotics and prebiotics for human use. *Journal of Nutrition*, v.130 (suppl), p.391-395, 2000.

GIBSON, G.R.; PROBERT, H.M.; VAN LOO, J.; RASTALL, R.A.; ROBERFROID, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Review*, v.17, p.259-275, 2004.

GIBSON, G.R.; ROBERFROID, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*, v.125, p.1401-1412, 1995.

GILLILAND, S.E. Probiotics and prebiotics. In: MARTH, E.H.; STEFFE, J.L.; eds. *Applied Dairy Microbiology*, New York: Marcel Dekker, 2001. p.327-243.

GIRARD, B; FUKUMOTO, L.R. Apple juice clarification using microfiltration and ultrafiltration polymeric membranes. *Lebensmittel wissenschaft und technologie*, v.32, p.290-298, 1999.

GIRALDO-ZUÑIRA, A.D.; COIMBRA, J.S.R.; GOMES, J.C.; MINIM, L.A.; ROJAS, E.E.G.; GADE, A.D. Tecnologias aplicadas ao processamento do soro de queijo. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v.59, p.53-66, 2004.

GOUDÉDRANCHE, H.; FAUQUANT, J.; MAUBOIS, J.L. Fractionation of globular milk fat by membrane microfiltration. *Lait*, v.80, p.93-98, 2000.

GUERRA, E.; JONSSON, G.; RASMUSSEN, A.; NIELSEN, E.W.; EDELSTEN, D. Low cross-flow velocity microfiltration of skim milk for removal of bacterial spores. *International Dairy Science*, v.7, p.879-861, 1997.

GUGGISBERG, D.; CUTHBERT-STEVEN, J.; PICCINALI, P.;

- BÜTIKOFER, U.; EBERHARD, P. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, v.19, p.107-115, 2009.
- HABERT, A., C; BORGES, C.P.; NÓBREGA, R. Processos de Separação com Membranas. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2006. 180p.
- HABERT A.C.; BORGES C.P.; NÓBREGA R. Processos de separação com membranas. Programa de engenharia química/ COPPE/ UFRJ, 2000.
- HEKMAT, S.; REID, G. Sensory properties of probiotic yogurt is comparable to standard yogurt. *Nutrition Research*, v.26, p.163-166, 2006.
- HOFFMANN, W.; KIESNER, C.; CLAWINRÄDECKER, I.; MARTIN, D.; EINHOF, K.; LORENZEN, P.C.; MEISEL, H.; HAMMER, P.; SUHREN, G.; TEUFEL, P. Processing of extended shelf life milk using microfiltration. **International Journal of Dairy Technology**, v.59, p.229-235, 2006.
- HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. *Journal of Texture Studies*, v.2, n.4, p. 393-418, 1971.
- HOLDSWORTH, S. D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, v.71, part C, p.139-179, 1993.
- HOLZAPFEL, W.H.; SCHILLINGER, U. Introduction to pre- and probiotics. *Food Research International*, v.35, n.2/3, p.109-116, 2002.
- HUNTERLAB. Applications note: CIE L\* a\* b\* color scale. Virginia, 1996. v. 8, n. 7, p.1-4.
- HUTCHINGS, J.B. Food colour and appearance. 2<sup>nd</sup> ed. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1999.
- JAMES, B.J.; JING, Y.; CHEN, X.D. Membrane fouling during

filtration of milk – a microstrutural study. *Journal of Food Engineering*, v.60, p.431-437, 2003.

KAUR, N.; GUPTA, A.K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *Journal of Biosciences*, v.27, p.703-714, 2002.

KLAENHAMMER, T.R. Probiotics and prebiotics. In: DOYLE, M.P.; BEUCHAT, L.R.; MONTVILLE, T.J. *Food Microbiology: Fundamentals and frontiers*. 2<sup>nd</sup>. ed. Washington: ASM, 2001. p.797-811.

KOKSOY, A.; KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, v.18, p. 593-600, 2004.

KOLIDA, S.; TUOHY, K.; GIBSON, G.R. Prebiotic effects of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, v.87 (suppl 2), p.193-197, 2002.

KULMYRZAEV, A.; DUFOUR, É.; NOE, Y; HANAFI, M; KAROUI, R. QANNARI, E. M.; MAZEROLLES, G. Investigation at the molecular level of soft cheese quality and ripening by infrared and fluorescence spectroscopies and chemometrics relationships with rheology properties. *International Dairy Journal*, v.15, p.669-678, 2005.

LAWRENCE, N.D.; KENTISH, S.E.; O'CONNOR, A.J.; BARBER, A.R.; Stevens, G.W. Microfiltration of skim milk using polymeric membranes for casein concentrate manufacture. *Separation and Purification Technology*, v.60, p.127-244, 2008.

LE BERRE, O.; DAUFIN, G. Microfiltration (0.1 mm) of skimmed milk: effect of protein size and charge. *Journal Dairy Research*, v.65, p.443-445, 1998.

LEÓN K.; MERY D.; PEDRESCHI F.; LEÓN J. Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. *Food Research International*, p.1084-1091, 2006.

LUCEY, J.A. Cultured dairy products: an overview of their gelation and texture properties. *International Journal of Dairy Technology*, v.57, n.2/3, p.77-84, 2004.

LUCEY, J.A.; SINGH, H. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International*, v.30, n.7, p. 529-542, 1998.

LUCEY, J.A.; TEO, C.T.; MUNRO, P.A.; SINGH, H. Microstructure, permeability and appearance of acid gels made from heated skim milk. *Food Hydrocolloids*, v.12, n.2, p.159-165, 1998.

LERAYER, A.L.S.; MIGUEL, A.M.R. de. O.; GUEDES, A.L. de A.; CARVALHO, A.F. de.; ITAJDENWURCEL, J.R.; FONSECA, L.M. da., MOSQUIM, M.C.A.; NUTTI, M.R.; SIMÃO FILHO, P.; BRANDÃO, S.C.C.; PORFÍRIO, T. de. A. **Nova legislação Comentada de Produtos Lácteos - Revisada e Ampliada**. São Paulo: Revista Indústria de Alimentos, 2002. 327p.

MACDOUGALL D.B. Colour in food Improving quality. Woodhead Publishing Limited. 2002. 12p.

MACHADO, J.C.V. Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria do petróleo. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRÁS, 2002. 257p.

MAGALHÃES, M.P.; GOMES, F. dos. S.; MODESTA, R.C.D.; MATTA, V.M. da.; CABRAL, L.M.C. Conservação de água de coco verde por filtração com membrana. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.25, p.72-77, 2005.

MALMBERG, R.; HOLM, S. Producing low skim milk by microfiltration. *Journal North European Food Dairy*, v.1, p.75, 1988.

MANICA, R.; BORTOLI, A.L. de. Simulation of sudden expansion flows for power law fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, v.121, p.35-40, 2004.

MARSHALL, A.D.; DAUFIN, G. Physico-chemical aspects of membrane fouling by dairy fluids. In: *Fouling and cleaning in pressure driven membrane processes*. Brussels: International Dairy Federation, 1995. p.8-29.

MAUBOIS, J. L. Current uses and future perspectives of MF technology un the dairy industry. *Bulletin of the International Dairy Federation*,

n.320, p.37-40, 1997.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. Sensory evaluation techniques. 3. ed., Boca Raton, FL.: CRC Press, 1999. 387p.

MEISEL, H. Overview on milk protein-derived peptides. *International Dairy Journal*, v.8, p.363-373, 1998.

MEYER, D.; TUNGLAND, B. Non-digestible oligosaccharides and polysaccharides: their physiological effects and health implications. In McCLEARY, B.V.; PROSKY, L. *Advanced Dietary Fibre Technology*. New York: Marston Book Services, 2001. cap.39, p.455-470.

MIERZWA, J.C.; SILVA, M.C.C. da.; RODRIGUES, L.D.B.; HESPANHOL, C. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.78, n.13, p.78-87, 2008.

MINOLTA. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co. Ltd., 1994.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow behaviour of concentrated orange juice: mathematical. *Journal of Texture*, v.3, n.1, p.69-79, 1972.

MONTAN, M. As fibras invisíveis. **Revista Brasil Alimentos**, n.19, v.4, 2003.

MULDER, M. Basic principles of membrane technology, center for membrane science and technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2000. 564p.

NILSSON, U.; DAHLQUIST, A. Cereal fructosans characterization and structure of wheat fructans. *Food Chemistry*, v.22, p.95-106, 1986.

NINESS, K.R. Inulin and oligofructose: what are they? *Journal of Nutrition*, v.129 (suppl.), p.1402-1406, 1999.

NITSCHKE, M.; UMBELINO, D.C. Frutooligossacarídeos: novos ingredientes funcionais. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e*

Tecnologia de Alimentos, v.36, n.1, p.27-34, 2002.

OLIVEIRA, M. N.; SODINI, I.; REMEUF, F.; CORRIEU, G. Effect of milk supplementation and culture composition on acidification, textural properties and microbiological stability of fermented milks containing probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, v.11, p.935-942, 2001.

OLIVEIRA, S.P. Alimentos Funcionais: Aspectos Relacionados ao Consumo. *Food Ingredients*, n.20, 2002.

ORDÓÑEZ, J.A. Tecnologia de alimentos – Componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, v.1, 2005.

ORDÓÑEZ, J.A.; RODRÍGUEZ, M.I.C.; ÁLVAREZ, L.F.; SANZ, M.L.G.; MINGUILLÓN, G.D.G.F.; PERALES, L.H.; CORTECERO, M.D.S. Tecnologia de alimentos - Alimentos de origem animal. Porto Alegre: Artmed, v.2, 2005. 279p.

OSTERGAARD, B. Applications of Membrane Processing in the Dairy Industry. In: MAcCARTHY, D. Concentration and Drying of Foods. Oxford: Elsevier Applied Science Publishers, 1989. p.133-145.

PAFYLIAS, I.; CHERYAN, M.; MEHAIA, M. A.; SAGLAM, N. Microfiltration of Milk with ceramic membranes. *Food Research International*, v.29, n.2, p.141-146, 1996.

PAULSON, D.J.; WILSON, R.L.; SPATZ, D.D. Crossflow membrane technology and its applications. *Food Technology*, v.12, p.77-87, 1984.

PETRUS, J.C.C. Preparação, modificação e caracterização de membranas assimétricas para a clarificação de sucos de frutas. 1997. 139f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

PIARD, C.; HAUTEFORD, I.; FISCHETTI, V.A.; EHRlich, D.S.; FONS, M.; GRUSS, A. Cell wall anchoring of the *Streptococcus pyogenes* M6 protein in various lactic acid bacteria. **Journal of Bacteriology**, v.179, p.3068-3072, 1997.

PIAU, J.M.; DEBIANE, K. Consistometers rheometry of power-law viscous fluids. *Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics*, v.127, p.213-

224, 2005.

POHJANHEIMO, T.; SANDELL, M. Explaining the liking for drinking yoghurt: the role of sensory quality, food choice motives, health concern and product information, **International Dairy Journal** (2009), doi: 10.1016/j.idairyj.2009.03.004.

PONS, M.; FISZMAN, S.M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*, v. 27, p.597-624, 1996.

PROCESSO tangencial. Disponível em:  
<http://www.dbdfiltros.com.br/imagens/filtracaoTangencial.jpg>. Acesso em: 03 março 2009.

PRUDÊNCIO, E.S. Avaliação físico-química, microbiológica, microscópica, reológica e tecnológica do leite desnatado de búfala (*bubalus bubalis*) e de suas frações obtidas por filtração tangencial. 2003. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RADKE-MITCHELL, L.; SANDINE, W.E. Associative growth and differential enumeration of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*: A review. *Journal of Food Protection*, v. 47, p. 245-248, 1984.

RAO, M.A. Rheology of fluid and semisolid foods: Principles and applications. New York: An Aspen Publication, 1999. 433p.

RAO, M.A.; ANANTHESWARAN, R.C. Rheology of fluids in food processing. *Food Technology*, v.36, n.2, 116, 1982.

RASIC, J.L.; KURMANN, J.A. Yogurt: scientific grounds, technology, manufacture and preparations. Beograd: Technical Dairy Publ. House, 1978. 428p.

RAUTENBACH, R; ALBRECHT, R. Membrane processes. Chichester: John Wiley & Sons, 1989. 359p.

REKTOR, A.; VATAI, G. Membrane filtration of mozzarella whey.

Desalination, v.162, p.279-286, 2004.

RENAN, M.; GUYOMARC'H, F.; ARNOULT-DELEST, V.; PÂQUET, D.; BRULÉ, G.; FAMELART, M.-H. Rheological properties of stirred yoghurt as affected by gel pH on stirring, storage temperature and pH changes after stirring. **International Dairy Journal**, v.19, p.142-148, 2009.

RIENER, J.; NOCI, F.; CRONIN, D.A.; MORGAN, D.J.; LYNG, J.G. Characterisation of volatile compounds generated in milk by high intensity ultrasound. *International Dairy Journal*, v.19, p.269-272, 2009.

RYSSTAD, G.; KOLSTAD, J. Extended shelf life milk-advances in technology. **International Journal of Dairy Technology**, v.59, p.85-96, 2006.

ROBERFROID, M.B. Concepts in functional foods: the case of inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition*, v.129 (Suppl.7), p.1398-1401, 1999.

ROBERFROID, M.B. Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comaring their physiological effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. v.33, n.2, p.103-148, 1993.

ROBERFROID, M.B. Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, v.87 (suppl 2), p.139-143, 2002.

ROBERFROID, M.B. Prebiotics and probiotics: are they functional foods? *Journal of Clinical Nutrition*, v.71 (suppl), p.1682-1687, 2000.

ROBERFROID, M.B.; GIBSON, G. R.; DELZENNE, N. The biochemistry of oligofructose, a nondigestible fiber: an approach to calculate its caloric value. *Nutrition Reviews*, v.51, n.5, p.137-146, 1993.

ROSENBERG, M. Current and future applications for membrane processes in the dairy industry. *Trends in Food Science & Technology*, v.6, n.1, p.12-19, 1995.

ROUDOT, A.C. Reologia y análisis de la textura de los alimentos.

Tradução: Angel Ignácio Neguerela Suberviola. Zaragoza: Acribia, 2004.

SAAD, S.M.I. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v.42, n.1, 2006.

SABOYA, L.V.; MAUBOIS, J.L. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. *Lait*, v.80, p.541-553, 2000.

SABOYA, L.V.; OETTERER, M.; OLIVEIRA, A.J. Propriedades profiláticas e terapêuticas de leites fermentados - uma revisão. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.31, n.2, 1997.

SACCARO, D.M. **Efeito na associação de culturas iniciadoras e probióticas na acidificação, textura e viabilidade em leites fermentados**. 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Pós Graduação em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica, USP, São Paulo.

SCHNEIDER, R.P.; TSUTIYA, M.T. Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2001. 234p.

SCHRAMM, G. A practical approach to rheology and rheometry. 2<sup>nd</sup> ed. Karlsruhe: 2000.

SCHRAMM, G. Reologia e Reometria: fundamentos teóricos e práticos. São Paulo: Artliber, 2006. 237p.

SCOTT, K. Handbook of Industrial Membranes. Introduction to Membranes Separations. Elsevier, 1995. cap.1, p.3-175.

SHAN Y.; NORMAND M.D.; PELEG M. Estimation of the surface concentration of adhered particles by color imaging. *Lausanne: Elsevier*, v.92, 1997. p.147-153.

SHARMA, S.K.; MULVANEY, S.J.; RIZVI, S.S.H. Food processing engineering: theory and laboratory experiments. United States of America: Wiley-Interscience. 2000. 348p.

SILVA, F.C. da. Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e da temperatura. 2000. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

SINGH, R.P.; HELDMAN, D.R. Introduction to food engineering, Academic Press, In: STEFFE, J. F. Rheological Methods in Food Process Engineering, 2<sup>nd</sup> ed. East Lansing: Freeman Press, 1996. 418p.

SODINI, I.; LUCAS, A.; OLIVEIRA, M. N.; REMEUF, F.; CODRRIEU, G. Effect of milk base and starter culture on acidification, texture, and probiotic cell counts in fermented milk processing. Journal of Dairy Science, v. 85, p. 2479-2488, 2002.

SOUZA, M.F.; SOARES, R.M. Ultrafiltro de alumina. Cerâmica, v.45, p.292-293, 1999.

SOUZA, P.H.M.; NETO, M.A.S.; MAIA, G.A. Componentes Funcionais nos Alimentos, Boletim SBCTA, n.37, v.2, 2003.

SPREER, E.; MIXA, A. **Milk and dairy product technology**. New York: Marcel Dekker, v.84, 1998. 483p.

STOKES, J.R.; TELFORD, J.H. Measuring the yield behaviour of structured fluids. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, v.124, p.137-146, 2004.

STREETER, V.L. Mecânica de fluidos. México: McGraw Hill. 1996. 594p.

SZCZESNIAK, A.S. Texture is a sensory property. Food Quality and Preference, v.13, p.215-225, 2002.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Rheology for the food industry. Journal of Food Engineering, v.67, p.147-156, 2005.

TEIXEIRA, M.M.C.G.R. Ultrafiltração no tratamento de água para consumo humano. 2001. Dissertação de mestrado – Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova Lisboa, Lisboa,

POR.

TEMMERMAN, R.; HUYS, G.; SWINGS, J. Identification of lactic acid bacteria: culture-dependent and culture independent methods. *Trends in Food Science & Technology*, v.15, p.348–359, 2004.

TUNICK, M.H. Rheology of dairy foods that gel, stretch, and fracture. *Journal of Dairy Science*, v.83, p.1892-1898, 2000.

VADI, P.K.; RIZDI, S.S.H. Experimental evaluation of a uniform transmembrane pressure crossflow microfiltration unit for the concentration of micellar casein from skim milk. *Journal of Membrane Science*, v.189, p.69-82, 2001.

VAN LOO, J.A.E.; COUSSEMENT, P.; LEENHEER, L.; HOEBREGS, H.; SMITS, G. The presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Food Science and Nutrition*, v.35, n.6, p.525-552, 1995.

VASBINDER, A.J.; ALTING, A.C.; VISSCHERS, R.W.; KRUIF, C.G. Texture of acid milk gels: formation of disulfide cross-links during acidification. *International Dairy Journal*, v.13, p.29-38, 2003.

VIDAL, J.R.M.B. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* LKeitt). 2000. 159f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

VORAGEN, A.G.J. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. **Food Science & Technology**, v.9, p.328, 1998.

WEND, C.F.; STEWART, P.S.; JONES, W.; CAMPER, A.K. Pretreatment for membrane water treatment systems: a laboratory study. *Water Research*, v.37, p.3367-3378, 2003.

YADA, R.Y. Protein in Food Processing. England: Woodhear Publishing, 2004.



**CAPÍTULO 2**  
**Avaliação das propriedades de leite fermentado prebiótico  
previamente microfiltrado**

## RESUMO

O leite cru desnatado foi submetido à microfiltração em substituição aos tratamentos térmicos convencionais. O microfiltrado, com propriedades microbiológicas e físico-químicas adequadas, obtido a partir da melhor dinâmica de filtração, foi empregado na elaboração de leites fermentados adicionados ou não de 5 % de inulina. Os leites fermentados, mantidos por até 28 dias de armazenamento a  $5 \pm 1^\circ\text{C}$ , foram avaliados quanto às suas propriedades físico-químicas, índice de sinerese, análise instrumental do perfil de textura e análise de cor. Pôde-se verificar que o tempo de armazenamento e a adição de inulina não influenciaram ( $p > 0,05$ ) nos teores de lipídios, proteínas e cinzas do leite fermentado prebiótico. No entanto, o tempo de armazenamento favoreceu o aumento nos teores de sólidos totais e carboidratos, para o valor calórico e para a acidez do leite fermentado prebiótico, além da diminuição do pH. A adição de inulina resultou também na obtenção de leite fermentado prebiótico com menor índice de sinerese, maiores firmeza e coesividade. Entretanto, durante o armazenamento não foram observadas mudanças nos parâmetros firmeza, gomosidade e coesividade. O emprego da inulina no leite fermentado resultou em uma menor tendência à coloração esverdeada, enquanto o tempo de armazenamento conferiu aumento da coloração amarelada.

**Palavras-Chave:** Microfiltração, microfiltrado, leite fermentado, prebiótico, inulina.

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de membranas, como a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração e a osmose reversa, amplamente empregada pela indústria de alimentos, apresenta destaque no setor lácteo, que atualmente é responsável por 40 % da aplicação industrial de membranas (CHARCOSSET, 2009). Dentre as várias aplicações sugeridas para a microfiltração encontra-se a remoção de bactérias (PAFYLIAS et al., 1996; BRANS et al., 2004; LAWRENCE et al., 2008; SAXENA et al., 2009), resultando em um microfiltrado, líquido que ultrapassa a membrana (SABOYA; MAUBOIS, 2000; AVALLI et al., 2004), capaz de gerar derivados lácteos com propriedades distintas (BRANS et al., 2004; LAWRENCE et al., 2008) e considerados de grande aceitabilidade (SABOYA; MABOUIS, 2000). No entanto, a microfiltração pode ser influenciada por alguns fatores, como o diâmetro médio dos poros da membrana utilizada, ficando estes entre 0,2  $\mu\text{m}$  e 2  $\mu\text{m}$  (ROSENBERG, 1995), bem como pelos parâmetros operacionais utilizados no equipamento durante a obtenção do microfiltrado (CHARCOSSET, 2009).

Quando comparada aos tratamentos térmicos convencionais do leite, a microfiltração ainda apresenta como vantagens o uso de temperaturas mais baixas e a manutenção da estrutura protéica da caseína, resultando em uma matéria-prima com menores modificações funcionais e nutricionais (LAWRENCE et al., 2008). Derivados lácteos de grande qualidade, como os queijos e leites fermentados, já foram elaborados com sucesso utilizando a microfiltração (SABOYA; MAUBOIS, 2000). Entretanto, são escassas as pesquisas que fazem o uso de um ingrediente funcional, como a inulina, na obtenção de um leite fermentado, previamente microfiltrado.

A inulina, fibra que pode ser extraída da raiz da chicória e classificada como um ingrediente alimentar prebiótico oferece benefícios tanto nutricionais como tecnológicos aos produtos que a contém (GIBSON; FULLER, 2000). Estudos realizados por Gibson et al. (1995) demonstraram que a administração regular de inulina é capaz de aumentar a contagem de bifidobactérias, bactérias benéficas à microbiota intestinal humana. Já tecnologicamente, a inulina pode ser empregada como substituto da gordura em produtos lácteos, pois na presença de leite forma microcristais, que interagem, resultando num produto de textura fina e cremosa (NINESS, 1999; KAUR; GUPTA, 2002).

O objetivo deste trabalho foi empregar a microfiltração, em substituição aos tratamentos térmicos convencionais do leite, para a obtenção de um microfiltrado, microbiológica e físico-quimicamente aceitável, a ser utilizado na elaboração de leites adicionados ou não de inulina (prebiótico) e fermentados, avaliando-os quanto às suas propriedades tecnológicas e físico-químicas, quanto ao índice de sinerese, à análise instrumental do perfil de textura e de cor, mantidos por até 28 dias de armazenamento a  $5 \pm 1^\circ\text{C}$ .

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Foram utilizados leite cru desnatado, cultura láctea termofílica (YC-X11 Yo Flex<sup>®</sup>, Chr. Hansen) composta por *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus*, inulina (HP-Gel-Beneo<sup>®</sup>, Orafti, Oreya, Belgium) e sacarose. Todos os reagentes utilizados foram de alto grau analítico (P.A.).

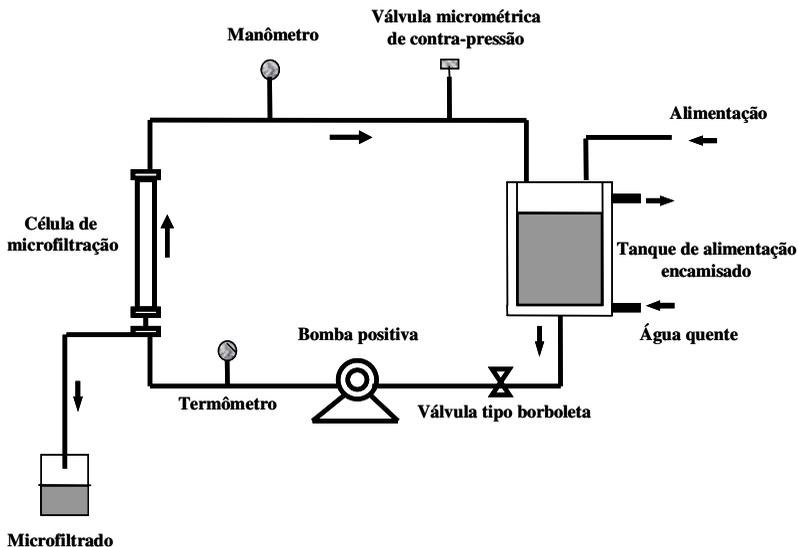
### 2.2 Microfiltração (MF)

Para a realização dos experimentos o leite cru desnatado foi submetido ao processo de microfiltração (MF) em duplicata, em uma planta piloto (Figura 1), utilizando-se membrana orgânica (MF-1, PAM Membranas Seletivas, Rio de Janeiro, Brasil), de poli(imida), tipo fibra oca, com tamanho médio de poros da ordem de  $1,4 \mu\text{m}$ , e área filtrante útil de  $0,4 \text{ m}^2$ , com controle de temperatura, pressão e velocidade tangencial de alimentação.

Nesta etapa foram realizados cinco experimentos, variando a pressão (p) em 1bar, 2 bar e 3 bar e a velocidade tangencial (v) em  $0,8 \text{ m}^{-1}$ ,  $1,2 \text{ m}^{-1}$  e  $1,4 \text{ m}^{-1}$  (Tabela 1). Estes níveis foram definidos a partir dos dados disponíveis na literatura, para produtos similares conforme proposto por Prudêncio (2003) e Géstan-Guiziu, Boyaval e Daufin (1999), e também de acordo com os limites técnicos do equipamento de MF.

Foi obtido como resposta para a escolha dos parâmetros de microfiltração o fluxo permeado (J) ( $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2$ ), o Fator de Redução Volumétrico (FRV) e o teor de proteína (% m/m). A temperatura utilizada nos experimentos foi de  $45 \pm 1^\circ\text{C}$  (PAFYLIAS et al., 1996).

Após cada experimento o equipamento foi higienizado de acordo com as instruções do fabricante.



**Figura 2. 1-** Esquema simplificado da unidade piloto de microfiltração utilizado nos experimentos

**Tabela 2. 1. -** Experimentos realizados para as duas variáveis para a escolha dos parâmetros de microfiltração

Experimentos	Pressão (bar)	Velocidade tangencial (m/s)
1	1	0,8
2	3	0,8
3	1	1,4
4	3	1,4
5	2	1,2

### 2.2.1 Cálculo do fluxo permeado (J)

O fluxo permeado (J) ( $\text{L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ) durante a MF foi determinado a cada cinco minutos e calculado de acordo com a Equação 1:

$$J = \frac{D \cdot KT}{S \cdot P} \quad (\text{L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}) \quad (\text{Equação 1}) \quad (\text{TIA, 2001})$$

Onde:

D = Vazão ( $\text{L.h}^{-1}$ )

KT = Coeficiente de correlação de temperatura

S = Superfície da membrana ( $\text{m}^2$ )

p = (Pressão de entrada ( $p_E$ ) – Pressão de saída ( $p_S$ ))/2

### 2.2.2 Cálculo do Fator de Redução Volumétrico (FRV)

O FRV para o microfiltrado foi determinado utilizando-se a Equação 2:

$$FRV = \frac{\text{Volume inicial de leite (L)}}{\text{Volume do retentado de MF (final) (L)}} \quad (\text{Equação 2}) \quad (\text{MEHAIA, 1996})$$

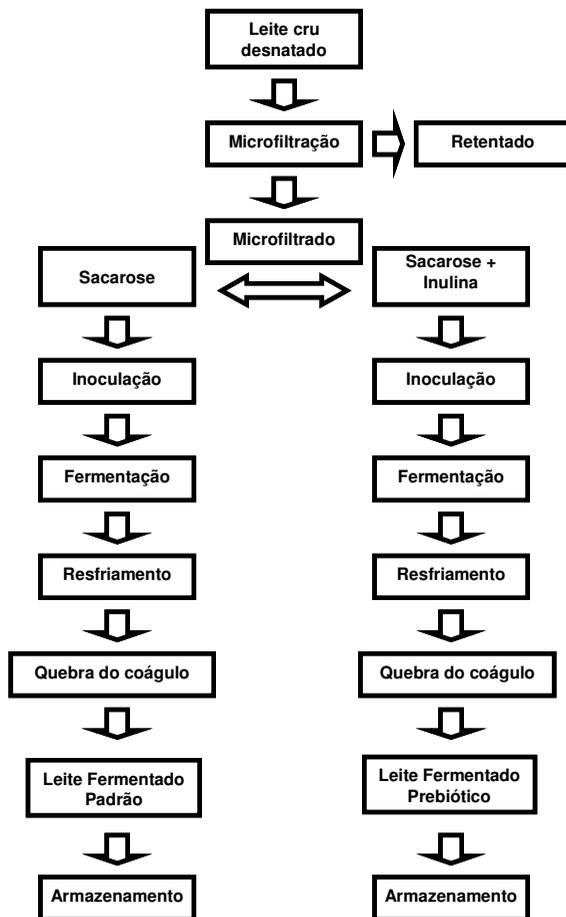
## 2.3 Elaboração dos leites fermentados

A elaboração dos leites fermentados, a partir do microfiltrado, foi baseada na metodologia proposta por Almeida, Bonassi e Roça (2001), com modificações (Figura 2). O leite foi aquecido a uma temperatura de  $45 \pm 1^\circ\text{C}$  e submetido ao processo de MF o qual se manteve nessa temperatura durante todo o processo. A p e a v empregadas nesta etapa, ou seja, na elaboração dos leites fermentados a partir do microfiltrado, foram determinadas através dos resultados obtidos, onde se levou em consideração o experimento com maior teor protéico, maior FRV e melhor J.

A partir do microfiltrado obtido foram elaborados dois tipos de leites fermentados denominados padrão (sem adição de inulina) e prebiótico (com adição de 5 % de inulina), conforme indicado por Jelen e Lutz (1998), Ninness (1999) e Roberfroid (1999). Em ambos os leites fermentados foram adicionados 8 % de sacarose e a cultura láctea

termofílica, inoculadas a uma temperatura de  $42 \pm 1^\circ\text{C}$ . Durante a fermentação os leites foram mantidos a uma temperatura de  $42 \pm 1^\circ\text{C}$  até que atingissem um pH entre 4,5 a 4,7, resfriados até  $10 \pm 1^\circ\text{C}$  e então batidos lentamente.

Das amostras de leite fermentado padrão e prebiótico, embaladas em frascos plásticos, foram determinadas a composição físico-química, o índice de sinerese, a Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA) e os parâmetros de cor, a cada 7 dias durante 28 dias de armazenamento a  $5 \pm 1^\circ\text{C}$ . Todas estas avaliações foram realizadas em triplicata.



**Figura 2. 2** - Fluxograma de elaboração dos leites fermentados

Fonte: Almeida, Bonassi e Roça (2001) (com modificações)

## 2.4 Análise microbiológica

Amostras do leite cru desnatado e do microfiltrado, foram submetidas à contagem de bactérias mesófilas e psicrófilas, como descrito na metodologia da APHA (2001). As amostras em duplicatas (1 L, de cada um) foram recolhidas e transportadas sob condições refrigeradas ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ) e analisadas imediatamente. As amostras foram misturadas em soluções de água peptonada estéril e diluídas em séries decimais adequadas para posteriormente serem inoculadas em meios específicos. A contagem de bactérias mesófilas e psicrófilas foi realizada a  $32^\circ\text{C}$  durante 48 h e  $7^\circ\text{C}$  por 10 dias, respectivamente. As análises foram realizadas em triplicata. Todos os dados microbiológicos foram analisados utilizando valores de Unidades Formadoras de Colônia (UFC).mL<sup>-1</sup>.

## 2.5 Análise físico-química

O leite cru desnatado, o microfiltrado e os leites fermentados foram analisados quanto aos teores de sólidos totais (% m/m) através da secagem das amostras até peso constante (925.23), proteínas totais (% m/m) por Kjeldahl ( $N \times 6,38$ ) (991.20) e cinzas (% m/m) através de método gravimétrico (945.46). O teor lipídico (% m/m) do leite cru desnatado e do microfiltrado foi determinado pelo método de Gerber, enquanto o teor lipídico dos leites fermentados foi determinado de acordo com o método de Monjonnier por extração em éter (989.05) (AOAC, 2005). Os valores dos carboidratos totais foram obtidos por diferença. O valor calórico dos leites fermentados foi calculado pelos fatores de conversão, onde para proteínas é igual a 4,0 kcal/g, carboidratos 4,0 kcal/g e lipídios 9,0 kcal/g (BRASIL, 2003). A acidez (% ácido láctico) dos leites fermentados foi determinada de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2005). As medidas dos valores de pH foram realizadas utilizando pH metro (MP220, Mettler-Toledo, Greinfensee, Suíça).

### 2.5.1 Percentagem de recuperação de componentes no microfiltrado

A taxa de um componente que é transportado através da membrana em um processo de filtração pode ser determinada pela percentagem de recuperação (% Rc) através da Equação 3 de acordo

com Glover (1971), com modificações. A % Rc foi calculada somente para o microfiltrado obtido das variáveis selecionadas no processo de MF.

$$\% Rc = \left[ \frac{\text{kg de um componente no permeado}}{\text{kg de um componente no leite}} \right] 100 \quad (\text{Equação 3})$$

## 2.6 Índice de sinerese

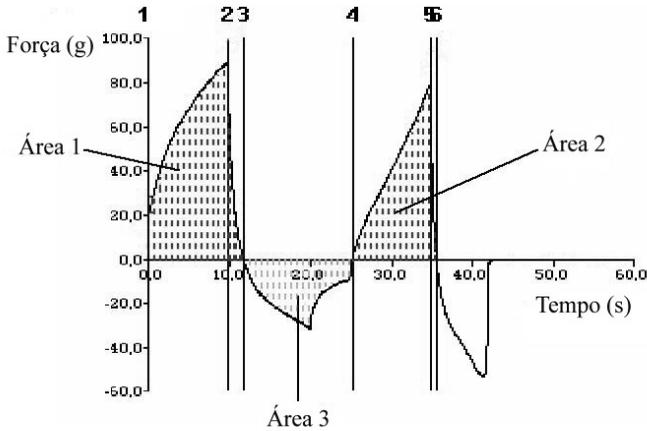
O índice de sinerese das duas amostras de leite fermentado (padrão e prebiótico) foi determinado por centrifugação segundo a metodologia proposta por Farnsworth et al. (2006), com modificações. As amostras (15 g) foram centrifugadas a 350 g em centrífuga refrigerada ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ) (Jaetzi K24, Jena, Alemanha) por 10 min. O sobrenadante foi coletado, pesado e o índice de sinerese foi calculado de acordo com a Equação (4).

$$\text{Sinerese (\%)} = \frac{\text{Sobrenadante (g)}}{\text{Leite fermentado (g)}} 100 \% \quad (\text{Equação 4})$$

## 2.7 Análise Instrumental do Perfil de textura (TPA)

As propriedades de textura dos leites fermentados foram medidas utilizando-se um texturômetro modelo TA-XT2 (*Stable Micro System, Texture Expert, Surrey, UK*), operando com o *software Texture Expert*. A análise de dupla compressão foi realizada utilizando um corpo de prova (*probe*) de acrílico de 25 mm de diâmetro (P25/L). A análise foi conduzida em cápsula de alumínio de 50 mL com a amostra a uma temperatura de  $5 \pm 1^\circ\text{C}$ . A velocidade de teste, o tempo e a distância percorrida foram iguais a  $2,0 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 5,0 s e 5,0 mm, respectivamente.

A partir da curva da TPA, foram obtidos os seguintes parâmetros: firmeza, gomosidade e adesividade (Figura 3). A firmeza é definida pelo primeiro pico durante o ciclo de penetração inicial; enquanto a gomosidade é o produto da firmeza pela coesividade e a adesividade é a área negativa sob a curva obtida entre os ciclos (BOURNE, 2002).



**Figura 2.3** - Curva padrão para a determinação dos parâmetros de Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA) obtida pela plotagem da força pelo tempo através de dois ciclos de penetração, a firmeza é determinada pelo do pico 2; a gomosidade é resultante do valor da firmeza versus coesividade, onde a coesividade é dada pela razão entre Área 2 e Área 1; e a adesividade é representada pela Área 3

Fonte: Friedman et al. (1963) apud Pons e Fiszman (1996).

## 2.8 Análise de cor

As medidas de cor dos leites fermentados foram realizadas com um colorímetro Minolta Chroma Meter CR-400 (Minolta®, Japão), previamente calibrado. O colorímetro foi ajustado para operar com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. Foram obtidos os valores de luminosidade ( $L^*$ ), intensidade da cor vermelha ( $a^*$ ) e intensidade da cor amarela ( $b^*$ ) (FERREIRA, 2004).

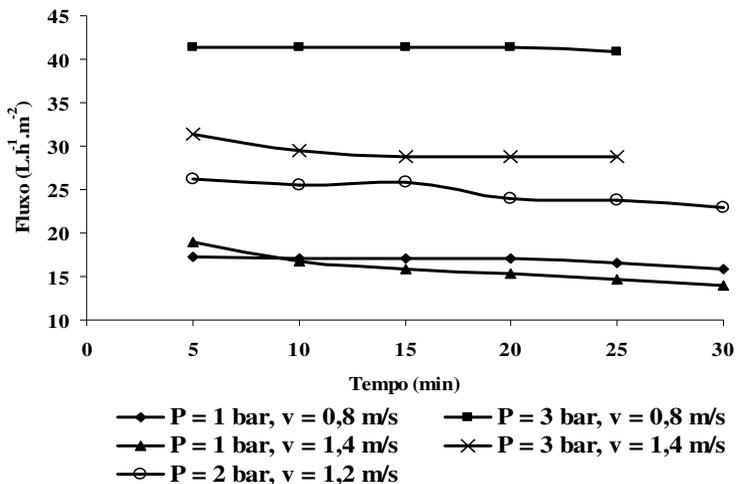
## 2.9 Análise estatística

As médias, o desvio padrão, a análise de variância e o teste de Tukey (5 % de significância) dos dados foram obtidos através do *software* STATISTICA versão 6.0.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Microfiltração

Na Figura 4 pode-se visualizar o comportamento de  $J$  versus tempo, onde durante 25 min os valores medidos de  $J$  permaneceram constantes em todos os experimentos. Comportamento similar, ou seja, um  $J$  constante foi observado por Beolchini, Veglio e Barba (2004) e Akbache et al. (2009) durante os primeiros 30 min do processamento de MF em leite de ovelha desnatado (0,1 % de lipídios), utilizando membrana tubular cerâmica; e no processo de ultrafiltração do soro de queijo, empregando membrana fibra oca, respectivamente. Segundo Nóbrega, Borges e Habert (2005) na operação de escoamento tangencial é comum a queda inicial nos valores de  $J$  com posterior estabilidade no decorrer do processo. Desta forma, nos experimentos realizados não devem ter ocorrido a deposição de solutos e o *fouling* da membrana.



**Figura 2.4** - Comportamento de fluxo do permeado ( $J$ ) durante o processo de MF do leite nas diferentes condições de processo

Os resultados para os parâmetros empregados a partir dos cinco experimentos na MF encontram-se Tabela 2. A melhor dinâmica de filtração para o leite cru desnatado foi o experimento 2, onde foi empregado  $p$  de 3 bar e  $v$  de  $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ , cujos FRV,  $J$  e teor de protéico

foram maiores. Segundo Nóbrega, Borges e Habert (2005) processos de separação por membranas, que usam gradiente de pressão como força motriz, resultam em um  $J$  diretamente proporcional ao gradiente de pressão empregado. FRV similares foram encontrados por Prudêncio (2003) para o leite de búfala e por Ozer et al. (1998) para leite de vaca, que afirmam que a viscosidade do permeado foi semelhante a do leite quando o FRV ficou próximo a 4. O controle do  $J$  é relevante, porque valores elevados indicam redução no tempo de processamento, resultando em um microfiltrado de melhor qualidade. Assim como o afirmado por Gésan-Guiziu, Boyaval e Daufin (1999), ao melhor fluxo permeado, credita-se uma melhor eficiência do processo. O valor de  $J$  da melhor dinâmica de filtração foi maior do que o obtido por Krstic et al. (2002) ( $35 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ), que empregaram membrana de  $0,1 \mu\text{m}$  e pressão menor que 1 bar. A diferença nestes valores poderia estar relacionada ao diâmetro médio dos poros da membrana e pressão empregada. No entanto, Kromkamp et al. (2007) afirmam que o desempenho da separação de partículas no processo de MF é influenciado também pelos tipos de partículas presentes no alimento, bem como o comportamento de sua deposição sobre a membrana.

**Tabela 2. 2-** Resultados do fluxo médio, fator de redução volumétrico e teor de proteína no microfiltrado

Experimento	Respostas		
	$J^*$ ( $\text{L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ )	FRV**	Teor Protéico (% m/m)
1	$16,79^a \pm 0,01$	$2,26^a \pm 0,01$	$1,68^a \pm 0,01$
2	$41,27^b \pm 0,01$	$4,24^b \pm 0,01$	$2,59^b \pm 0,01$
3	$15,93^c \pm 0,01$	$2,55^c \pm 0,01$	$1,67^a \pm 0,01$
4	$29,41^d \pm 0,01$	$2,58^c \pm 0,01$	$2,46^c \pm 0,00$
5	$24,72^e \pm 0,02$	$3,41^d \pm 0,01$	$2,10^d \pm 0,00$

Médias seguidas com a mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente (5 % de significância),  $J^*$  = fluxo médio; FRV\*\* = Fator de Redução Volumétrico.

O teor protéico também é primordial para a escolha dos parâmetros, pois se deseja um microfiltrado de boa qualidade nutricional, com características físico-químicas, tecnológicas e

econômicas adequadas (PATEL; MISTRY, 1997), que se assemelham ao máximo a corrente de alimentação, neste caso o leite cru desnatado. É indicado por Tamime e Robinson (1991) na elaboração de iogurtes, o emprego de matérias-primas com teor protéico próximo a 3 %. Al-Malack e Anderson (1997) afirmam que modificações nos parâmetros operacionais do equipamento como: p, v, temperatura, tempo do processo, tipo de membrana, matéria-prima e FRV melhoram a passagem do produto pela membrana. Apesar de PAM (2008) especificar que no processo de MF podem ser utilizadas pressões de até 4 bar, maiores valores de pressão empregados neste trabalho poderiam comprometer a membrana. O objetivo da tecnologia de membranas é de separar, fracionar, concentrar e purificar os componentes (NÓBREGA; BORGES; HABERT, 2005) garantindo a eficiência do processo, evitando danos à membrana e ao equipamento.

### 3.1 Análise microbiológica

O leite cru e o microfiltrado apresentaram contagens de mesófilos iguais a  $4 \log \text{UFC.mL}^{-1}$  e  $3 \log \text{UFC.mL}^{-1}$ , respectivamente. Já a contagem de psicrófilos no leite cru foi de  $3 \log \text{UFC.mL}^{-1}$ , enquanto no microfiltrado foi igual a  $2 \log \text{UFC.mL}^{-1}$ . Bansal et al. (2006), Lawrence et al. (2008) e Morais Coutinho et al. (2009) afirmam que a MF tem sido empregada na separação de microrganismos, pois consegue reduzir o uso de tratamento térmico elevado evitando, de acordo com Lawrence et al. (2008), a desnaturação de componentes, como por exemplo, as proteínas do leite. Apesar de Pafylas et al. (1996), Guerra et al. (1997) e Saboya e Maubois (2000) afirmarem que a redução bacteriana na MF do leite ser de 4 a  $5 \log \text{UFC.mL}^{-1}$ , esta poderá ser mais baixa, conforme afirmam Trouvé et al. (1991), em decorrência da menor contaminação bacteriana encontrada inicialmente no leite cru. Carvalho, Viotto e Kuaye (2007) citam que rigorosos controles na obtenção do leite resultam em derivados de melhor qualidade, além de garantir a eficiência dos processos tecnológicos empregados no seu beneficiamento.

Menores reduções de bactérias mesófilas ( $2 \log \text{UFC.mL}^{-1}$ ) e psicrófilas ( $2 \log \text{UFC.mL}^{-1}$ ), também foram detectadas por Beuvier et al. (1997), em microfiltrado de leite. Além disso, Trouvé et al. (1991) afirmam que a diminuição da carga microbiana pode também ser influenciada pelos parâmetros de operação e pelo tipo de membrana (MF).

Enfim, as contagens bacterianas (mesófilos e psicrófilos) obtidas no microfiltrado demonstram que o mesmo pode ser empregado na produção de um leite fermentado prebiótico, pois Angelidis et al. (2006) afirmam que contagem acima de 6 e 7 log UFC.mL<sup>-1</sup> é um indicativo do emprego de matéria-prima de baixa qualidade, bem como resultante do processamento em condições higiênicas inapropriadas, ou ainda o não controle efetivo de temperatura no transporte e/ou armazenamento. A Instrução Normativa N° 51, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2002) limita a contagem máxima de bactérias em 4 log UFC.mL<sup>-1</sup> para que o leite pasteurizado possa ser utilizado na obtenção de derivados lácteos.

### 3.2 Análise físico-química

A MF do leite resultou em um microfiltrado com menores ( $p < 0,05$ ) teores de Sólidos Totais (ST), proteínas e lipídios (Tabela 3) quando comparado ao leite cru desnatado. Desta forma a diminuição no teor de ST estaria relacionada, à redução no teor de lipídeos e proteínas. Comportamento similar foi verificado por Pafylis et al. (1996) em microfiltrado resultante de um leite com teor lipídico igual a 1 % e FRV final igual a 10 e por Prudêncio (2003) em microfiltrado obtido a partir do leite de búfala com teor lipídico  $\leq 2$  % e FRV igual a 4. Os demais valores determinados na composição físico-química dos microfiltrados não foram diferentes ( $p > 0,05$ ) do que os encontrados para o leite cru desnatado.

A percentagem de recuperação (% Rc) das proteínas totais presentes no microfiltrado após o processo de MF do leite cru desnatado foi de aproximadamente 96 %. Ainda que as micelas das caseínas apresentem um tamanho pequeno (0,3  $\mu\text{m}$  – 0,03  $\mu\text{m}$ ) (GÉSANGUIZIOU; DAUFIN; BOYAVAL, 2000; AL-AKOUM; DING; JAFFRIN, 2002) quando comparado com a porosidade da membrana utilizada (1,4  $\mu\text{m}$ ), uma pequena parcela ficou retida. Segundo Zeman e Zydney (1996) apud Lawrence et al. (2008), são muitos os parâmetros que afetam a extensão da separação da proteína, mas de fundamental importância é o tamanho da micela da caseína, com relação aos poros da membrana.

**Tabela 2.3** - Composição físico-química média do leite cru desnatado e do microfiltrado

Análises	Leite*	Microfiltrado*
Proteínas (% m/m)	3,27 <sup>a</sup> ± 0,01	3,13 <sup>b</sup> ± 0,01
Lipídios (% m/m)	0,55 <sup>a</sup> ± 0,07	0,40 <sup>b</sup> ± 0,01
ST** (% m/m)	8,80 <sup>a</sup> ± 0,02	8,41 <sup>b</sup> ± 0,03
Cinzas (% m/m)	0,74 <sup>a</sup> ± 0,01	0,72 <sup>a</sup> ± 0,01
Carboidratos (% m/m)	4,23 <sup>a</sup> ± 0,04	4,15 <sup>a</sup> ± 0,01
pH	6,66 <sup>a</sup> ± 0,00	6,67 <sup>a</sup> ± 0,00
Acidez (°D)	19,5 <sup>a</sup> ± 0,71	18,5 <sup>a</sup> ± 0,71

\*Médias seguidas com a mesma letra na horizontal (linha) não diferem estatisticamente (5 % de significância), \*\* ST = sólidos totais.

O resultado obtido para a % Rc das proteínas totais é condizente ao estudo realizado por Mourouzidis-Mourouzidis e Karabelas (2006), no processamento do soro utilizando membrana cerâmica tubular de MF, com diâmetro de poro de 0,8 µm, onde os percentuais de transmissão da proteína foram superiores a 96 %. Essas observações também estão de acordo com trabalhos anteriores realizados por Tracey e Davis (1994) que utilizaram a MF convencional e Guell e Davis (1996) no processo de MF tangencial, onde a retenção das proteínas foi inferior a 15 %. Ao final do processo de MF a % Rc obtida demonstrou que 73 % dos lipídios contidos inicialmente no leite cru desnatado foram transferidos para o microfiltrado. Assim como o esperado, esse comportamento ocorreu porque segundo Saboya e Maubois (2000), os glóbulos de gordura do leite de vaca apresentam tamanho entre 0,2 µm e 15 µm. O mesmo não foi verificado por Prudêncio (2003) na MF do leite de búfala desnatado, onde não foi detectada a presença de lipídios no microfiltrado. Verruma e Salgado (1993) relatam que os maiores tamanhos dos glóbulos de gordura encontrados neste tipo de leite (4,1 µm e 4,8 µm), impedem a passagem dos mesmos através dos poros da membrana (1,4 µm).

Segundo Tronco (1997), a qualidade do leite pode ser evidenciada por meio de determinações físico-químicas. Assim, através de exames quantitativos, é possível identificar a adição de substâncias adulterantes, a eventual presença de conservantes e mesmo fazer o cálculo aproximado do rendimento industrial. Sendo assim, através das análises físico-químicas do microfiltrado pôde-se verificar que o valor do pH e da acidez (Tabela 3) não foram influenciados pela MF. Dessa

forma a composição do microfiltrado foi considerada adequada para a elaboração dos leites fermentados. A composição físico-química do microfiltrado foi similar a do leite desnatado utilizado por Sivieri e Oliveira (2002) na elaboração de bebidas lácteas preparadas com substitutos de gordura, onde o valor do pH foi igual a 6,65 e da acidez 19,66 °D; enquanto os teores de lipídios e ST de 0,4 % e 8,56 %, respectivamente. Os valores de pH e acidez (°D) também são condizentes com os obtidos para os leites pasteurizados empregados por Sivieri e Oliveira (2002) (pH = 6,68, acidez = 19,31 °D) e por Cunha et al. (2008) (pH = 6,69, acidez = 17,33 °D), na elaboração de leites fermentados.

A Tabela 4 apresenta os resultados da composição físico-química para as duas formulações (leite fermentado padrão e prebiótico), durante os 28 dias de armazenamento. Como esperado, a adição de inulina aumentou o teor de ST refletindo também em um aumento nos carboidratos totais, e conseqüentemente no valor calórico ( $p < 0,05$ ). O aumento no teor de ST e carboidratos foi também observado por Akalin et al. (2007) e Castro et al. (2008) em iogurte adicionado de inulina e bebida láctea suplementada com oligofrutose, respectivamente.

Durante o armazenamento o leite fermentado padrão e prebiótico apresentaram um aumento ( $p < 0,05$ ) no teor de ST devido à perda de umidade, que pode ser creditada à forma de armazenamento empregada, ou seja, utilização de embalagem plástica sem um sistema perfeito de vedação. O mesmo problema foi detectado por Pantaleão, Pintado e Poças (2007) e Cunha et al. (2008) em queijos e bebidas lácteas respectivamente, com perda de umidade durante os 28 dias de armazenamento. Na amostra prebiótica os valores encontrados para ST foram próximos ao encontrado por Penna, Sivieri e Oliveira (2001) (19,01 % a 21,71 %) para bebidas lácteas comerciais. A fim de prevenir a perda de água em derivados lácteos, Pintado e Malcata (2000) ressaltam a importância do emprego de embalagens com alta barreira ao vapor de água.

O tempo de armazenamento não influenciou ( $p > 0,05$ ) nos teores de proteínas e lipídios, tanto no leite fermentado padrão como no prebiótico, concordando com os resultados obtidos por Fernandes (2003) que avaliou a composição físico-química de iogurtes durante 30 dias.

Quando comparados os teores de proteínas e lipídios entre os leites fermentados padrão e prebiótico, pôde-se observar (Tabela 4) que não apresentaram diferenças ( $p < 0,05$ ), no dia 1 e no dia 28 de armazenamento. Oliveira et al. (2002) e Fernandes (2003) encontraram

um comportamento similar quanto aos teores de proteínas e lipídios durante 30 dias de armazenamento.

O tempo de armazenamento e a adição da inulina, não influenciaram ( $p > 0,05$ ) no teor de cinzas nos leites fermentados avaliados. A adição de prebiótico também não provocou variação no teor de cinzas no estudo realizado por Thamer e Penna (2006) e Castro et al. (2008), em bebidas lácteas acrescidas de prebióticos, onde estes teores corresponderam a 0,61 % e 0,66 %, respectivamente, ficando também próximos aos encontrados para os leites fermentados elaborados (padrão e prebiótico). Comportamento similar foi observado por Cunha et al. (2008) (0,65 %), onde as bebidas lácteas não sofreram alterações no teor de cinzas, durante 28 dias de armazenamento.

**Tabela 2.4** - Composição química média (desvio padrão) das amostras de leite fermentado padrão e prebiótico no dia 1, 7, 14, 21 e 28 de armazenamento ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ )

LEITE FERMENTADO	DIAS	SÓLIDOS			LIPÍDIOS (% m/m)	CINZAS (% m/m)	CARBOI- DRATOS		VALOR CALÓRICO (kcal/100 g)
		TOTAIS (% m/m)	PROTEÍNAS (% m/m)	(% m/m)			(% m/m)		
<b>Padrão</b>	1	14,50 <sup>Aa</sup> ± 0,03	2,78 <sup>Aa</sup> ± 0,02	0,34 <sup>Aa</sup> ± 0,03	0,63 <sup>Aa</sup> ± 0,03	10,75 <sup>Aa</sup> ± 0,04	57,44 <sup>Aa</sup> ± 0,23		
	7	14,69 <sup>Ab</sup> ± 0,03	2,82 <sup>Aa</sup> ± 0,02	0,35 <sup>Aa</sup> ± 0,02	0,63 <sup>Ab</sup> ± 0,01	10,89 <sup>Ab</sup> ± 0,03	57,99 <sup>Aa</sup> ± 0,18		
	14	14,71 <sup>Ab</sup> ± 0,04	2,84 <sup>Aa</sup> ± 0,02	0,36 <sup>Aa</sup> ± 0,02	0,62 <sup>Aa</sup> ± 0,04	10,89 <sup>Ab</sup> ± 0,03	58,16 <sup>Aa</sup> ± 0,01		
	21	15,20 <sup>Ac</sup> ± 0,04	2,84 <sup>Aa</sup> ± 0,03	0,37 <sup>Aa</sup> ± 0,03	0,65 <sup>Aa</sup> ± 0,03	11,34 <sup>Ac</sup> ± 0,02	60,05 <sup>Ab</sup> ± 0,48		
	28	15,22 <sup>Ac</sup> ± 0,03	2,85 <sup>Aa</sup> ± 0,03	0,37 <sup>Aa</sup> ± 0,02	0,66 <sup>Aa</sup> ± 0,04	11,34 <sup>Ac</sup> ± 0,04	60,09 <sup>Ab</sup> ± 0,18		
<b>Prebiótico</b>	1	18,39 <sup>Ba</sup> ± 0,08	2,72 <sup>Aa</sup> ± 0,03	0,30 <sup>Aa</sup> ± 0,03	0,66 <sup>Aa</sup> ± 0,03	14,71 <sup>Ba</sup> ± 0,03	72,42 <sup>Ba</sup> ± 0,03		
	7	18,49 <sup>Ba</sup> ± 0,05	2,72 <sup>Ba</sup> ± 0,03	0,33 <sup>Aa</sup> ± 0,01	0,68 <sup>Ab</sup> ± 0,03	14,76 <sup>Ba</sup> ± 0,04	72,89 <sup>Ba</sup> ± 0,54		
	14	18,47 <sup>Ba</sup> ± 0,03	2,69 <sup>Ba</sup> ± 0,03	0,33 <sup>Aa</sup> ± 0,04	0,67 <sup>Aa</sup> ± 0,04	14,78 <sup>Ba</sup> ± 0,04	72,85 <sup>Ba</sup> ± 0,03		
	21	19,01 <sup>Bb</sup> ± 0,06	2,74 <sup>Aa</sup> ± 0,03	0,34 <sup>Aa</sup> ± 0,03	0,67 <sup>Aa</sup> ± 0,02	15,26 <sup>Bb</sup> ± 0,04	75,06 <sup>Bb</sup> ± 0,19		
	28	19,04 <sup>Bb</sup> ± 0,04	2,75 <sup>Aa</sup> ± 0,01	0,35 <sup>Aa</sup> ± 0,01	0,69 <sup>Aa</sup> ± 0,01	15,25 <sup>Bb</sup> ± 0,03	75,15 <sup>Bb</sup> ± 0,07		

<sup>A,B</sup> – Para cada coluna, letras maiúsculas sobrescritas diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) obtidas entre as formulações para um mesmo período de armazenamento.

a,b,c – Indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) obtidos entre os diferentes períodos de armazenamento para cada formulação.

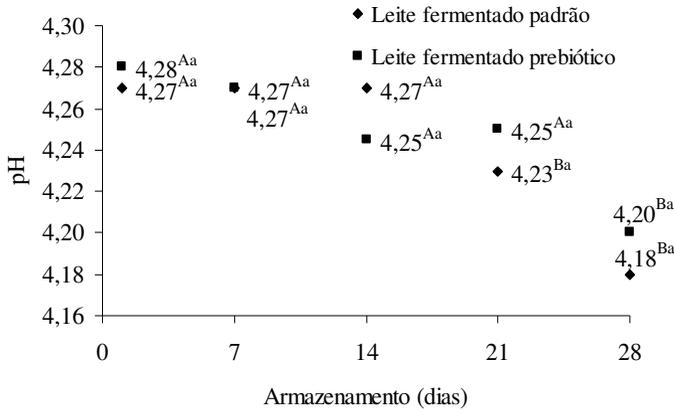
Os leites fermentados elaborados apresentaram decréscimo ( $p < 0,05$ ) nos valores de pH; nos dias 1 e 21, para o padrão e 1 e 28, para o prebiótico (Figura 5). A diminuição nos valores de pH está relacionada à pós-acidificação do iogurte durante o armazenamento refrigerado. Oliveira e Damin (2003) também observaram ligeira diminuição do pH, quando estudaram a viabilidade de bactérias do iogurte e das culturas probióticas em leite fermentado armazenado sob refrigeração a 4°C. Salaün, Mietton e Gaucheron (2005) afirmam que um dos fatores que mais afetam a variação do pH seria a capacidade tamponante, sendo esta correspondente à habilidade do produto ser acidificado ou alcalinizado.

Quando avaliados no mesmo dia de armazenamento os valores do pH para os leites fermentados não diferiram ( $p > 0,05$ ). Comportamento similar foi observado por Fuchs et al. (2006) em iogurte contendo 5 % (m/v) de oligofrutose e 1 % (m/v) de inulina, cujo valor de pH ficou em torno de 4,33 e 4,20, no 1° e 28° de armazenamento, respectivamente.

No leite fermentado padrão a diferença na acidez ( $p < 0,05$ ) foi verificada a partir do dia 7, enquanto para o leite fermentado prebiótico o aumento ( $p < 0,05$ ) foi verificado somente a partir do dia 21, no entanto, mantiveram-se constantes ( $p > 0,05$ ) até o dia 28 de armazenamento (Figura 6). Comportamento similar foi observado por Hauly, Fuchs e Prudêncio-Ferreira (2005) e Cunha et al. (2008), em iogurte de soja suplementado com oligofrutose e bebida láctea prebiótica, respectivamente. Tal comportamento pode ocorrer, segundo Kailasapathy (2006), devido à pós-acidificação, detectada em leites fermentados armazenados em temperaturas entre 0°C e 5°C. Wolfschoon-Pombo, Granzinolli e Fernandes (1983) observaram que o armazenamento de iogurtes com maiores teores de ST, resultaram em uma maior pós-acidificação.

Os valores da acidez foram maiores ( $p < 0,05$ ) para o leite fermentado prebiótico quando comparado ao padrão, no dia 1 e 7 de armazenamento. No entanto, estes valores foram maiores do que os encontrados por Fuchs et al. (2006) (1,76 %) e Akalin et al. (2007) (1,33 %), para iogurtes probióticos suplementados com prebióticos.

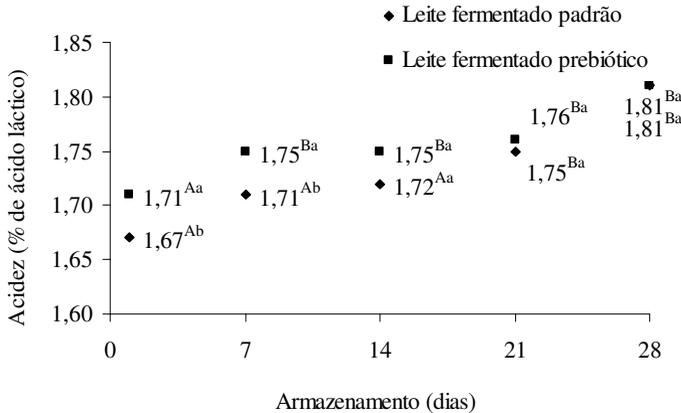
Enfim, Thamer e Penna (2006) ainda afirmam que a acidez de leites fermentados pode apresentar alterações em maior ou menor grau dependendo do tipo de sólido adicionado, lácteo ou não, bem como o tipo de cultura responsável pela fermentação. Já Salji e Ismail (1983) afirmam que a temperatura de refrigeração e o tempo de armazenagem do produto seriam os responsáveis pela variação da acidez.



<sup>A,B</sup> – Indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) obtidos entre os diferentes dias de armazenamento para cada formulação.

<sup>a,b</sup> – No mesmo dia de armazenamento, letras diferentes indicam diferença (nível de significância de 5 %) entre as formulações.

**Figura 2. 5** - Resultados médios dos valores de pH, no dia 1, 7, 14, 21 e 28 de armazenamento ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ), do leite fermentado padrão e prebiótico (5 % inulina)



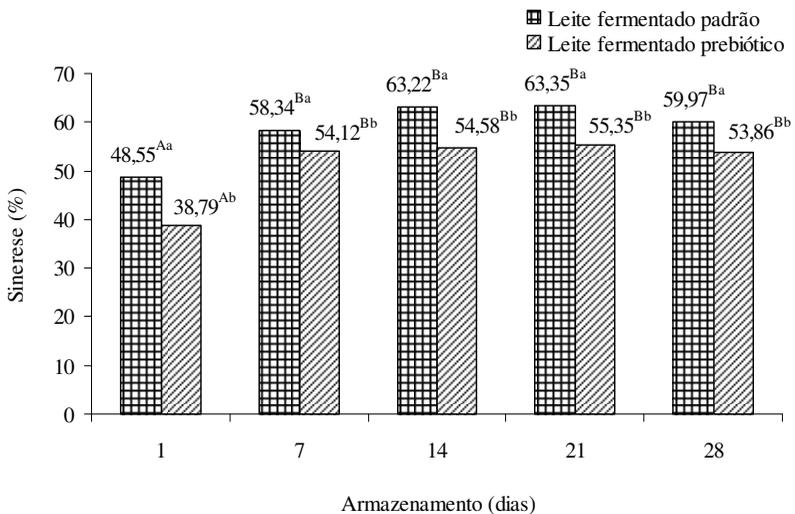
<sup>A,B</sup> – Indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) obtidos entre os diferentes dias de armazenamento para cada formulação.

<sup>a,b</sup> – No mesmo dia de armazenamento, letras diferentes indicam diferença (nível de significância de 5 %) entre as formulações.

**Figura 2. 6** - Resultados médios dos valores de acidez (% de ácido láctico), no dia 1, 7, 14, 21 e 28 de armazenamento ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ), do leite fermentado padrão e prebiótico (5 % inulina)

### 3.4 Índice de sinerese

O índice de sinerese dos leites fermentados (padrão e prebiótico) aumentou ( $p < 0,05$ ) a partir do dia 7, no entanto, manteve-se constante ( $p > 0,05$ ) até o dia 28 de armazenamento (Figura 7). Como o esperado, o emprego de inulina na elaboração de um leite fermentado prebiótico contribuiu na obtenção de um produto com menor ( $p < 0,05$ ) índice de sinerese. Essa diminuição pode estar relacionada com a quantidade de ST presentes no leite fermentado prebiótico (Tabela 1), pois segundo Lucey (2001), uma maior quantidade de ST resulta num menor índice de sinerese. Niness (1999), Muller (2001), Neven (2001), Kaur e Gupta (2002) e Montan (2003) afirmam que o emprego de inulina em leites fermentados teria como objetivo principal a substituição de gordura. Thomopoulos, Tzia e Milkas, (1993) citam que a gordura estabiliza a contração do gel protéico, prevenindo a separação do soro, ou seja, o surgimento da sinerese.



<sup>A,B</sup> – Indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) obtidos entre os diferentes dias de armazenamento para cada formulação.

<sup>a,b</sup> – Letras diferentes para cada dia de armazenamento indicam diferença (nível de significância de 5 %) entre as formulações.

**Figura 2.7** - Resultados médios do índice de sinerese do leite fermentado padrão e prebiótico, no dia 1, 7, 14, 21 e 28 de armazenamento a  $5 \pm 1^\circ\text{C}$

No entanto, Gauche et al. (2009) observaram menor sinerese (22,93 %) para iogurtes, preparados a partir de leite pasteurizado, do que os verificados nos leites fermentados elaborados no presente trabalho. Vale ressaltar que esta diferença poderia estar associada ao tratamento térmico inicial dado ao leite. Os leites fermentados elaborados (padrão e prebiótico) foram produzidos a partir de leite microfiltrado, não sendo desta forma, submetidos a temperaturas elevadas. Conforme Tamime e Robinson (1991) e Vaman e Sutherland (1994), tratamentos térmicos, como a pasteurização, empregada por Gauche et al. (2009), resultam na associação das proteínas do soro e destas com as caseínas, gerando um gel mais estável com diminuição da sinerese.

Lucey e Singh (1998) afirmam que outros fatores poderiam também estar associados à ocorrência da sinerese, fenômeno este que causa a retração do gel e expulsão do soro, detectados em leites fermentados. Dentre estes fatores pode-se citar o emprego de temperaturas elevadas durante a fermentação, a agitação mecânica sofrida pelo produto durante as etapas de armazenamento e transporte (LUCEY; SINGH, 1998), além da obtenção de produtos com pH diferentes dos recomendados (BRANDÃO, 1995).

### **3.5 Análise Instrumental do Perfil de Textura (TPA)**

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos para os parâmetros firmeza, gomosidade e adesividade do leite fermentado padrão e do leite fermentado prebiótico, durante um período de 28 dias. Neste período não foram observadas mudanças nos parâmetros avaliados para o leite fermentado padrão e para o prebiótico. Para os parâmetros firmeza e gomosidade o mesmo comportamento foi observado por Maruyama et al. (2006) em queijos petit-suisse armazenados por até 21 dias. Maruyama et al. (2006) relatam que tal comportamento é desejado, pois desta forma ter-se-ia mais uma confirmação da manutenção das características físico-químicas e sensoriais do produto durante o armazenamento. Durante os 28 dias pôde-se verificar também que a utilização de inulina contribuiu para a obtenção de um leite fermentado prebiótico com maior firmeza ( $p < 0,05$ ) do que o padrão. O aumento da firmeza foi também observado nos estudos realizados por Bozanic, Rogelj e Tratnik (2001) e Hennelly et al. (2006) em leites fermentados e queijos adicionados de inulina, respectivamente.

**Tabela 2. 5** - Resultados dos parâmetros obtidos na análise instrumental do perfil de textura do leite fermentado padrão e prebiótico

Leite fermentado	Dias	Firmeza (g)	Gomosidade (g)	Adesividade (g.s)
Padrão	1	27,13 <sup>Aa</sup> ± 1,71	9,92 <sup>Aab</sup> ± 0,37	- 27,05 <sup>Aa</sup> ± 2,29
	7	30,10 <sup>Ab</sup> ± 0,62	10,40 <sup>Ab</sup> ± 0,39	- 26,99 <sup>Aa</sup> ± 1,20
	14	24,40 <sup>Aa</sup> ± 0,85	8,92 <sup>Aa</sup> ± 0,69	- 41,87 <sup>Ab</sup> ± 8,26
	21	26,50 <sup>Aa</sup> ± 0,69	9,87 <sup>Aab</sup> ± 0,27	- 31,84 <sup>Aab</sup> ± 2,43
	28	25,75 <sup>Aa</sup> ± 0,07	9,21 <sup>Aab</sup> ± 0,42	- 38,56 <sup>Aab</sup> ± 8,57
Prebiótico	1	36,10 <sup>Ba</sup> ± 1,30	10,83 <sup>Aa</sup> ± 0,47	- 48,52 <sup>Ba</sup> ± 1,77
	7	35,20 <sup>Bba</sup> ± 1,84	10,05 <sup>Aa</sup> ± 1,44	- 43,81 <sup>Bba</sup> ± 5,26
	14	31,50 <sup>Bb</sup> ± 1,27	10,29 <sup>Aa</sup> ± 0,10	- 45,60 <sup>Ab</sup> ± 6,32
	21	34,65 <sup>Bba</sup> ± 1,48	10,29 <sup>Aa</sup> ± 0,51	- 36,24 <sup>Ab</sup> ± 1,61
	28	32,87 <sup>Bba</sup> ± 1,23	10,16 <sup>Aa</sup> ± 0,82	- 42,91 <sup>Ab</sup> ± 1,41

<sup>A,B</sup> – Para cada coluna, letras maiúsculas sobscritas diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) obtidas entre as formulações para um mesmo período de armazenamento.

<sup>a,b,c</sup> – Indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) obtidos entre os diferentes períodos de armazenamento para cada formulação.

Castro et al. (2008) também confirmam que a adição de oligofrutose na proporção de 5 % em bebidas lácteas aumentou a firmeza. Esse aumento poderia estar relacionado, segundo Oliveira e Damin (2003) e Noronha, O’Riordan e O’Sullivan (2007), ao maior teor de ST presente, como o realizado no trabalho através da incorporação da inulina no leite fermentado prebiótico elaborado.

Quanto à gomosidade dos leites fermentados (padrão e prebiótico) não foram verificadas diferenças ( $p > 0,05$ ) durante o período de armazenamento. De modo semelhante Robinson (1995), estudando o emprego de inulina nas concentrações de 0 %, 1 %, 5 % e 10 % não observou diferença na gomosidade de iogurtes. O mesmo comportamento foi observado por Haully, Fuchs e Prudêncio-Ferreira (2005) e Buriti, Cardarelli e Saad (2008) os quais estudaram a suplementação de inulina em iogurtes de soja e queijos frescos cremoso, respectivamente.

A inulina contribuiu para a obtenção de leites fermentados prebióticos com maiores valores ( $p < 0,05$ ) para a adesividade nos dias 1 e 7 de armazenamento. Tal condição foi relatada por Haully, Fuchs e Prudêncio-Ferreira (2005), que observaram um aumento na adesividade de iogurtes de soja suplementados com oligofrutose e inulina, avaliados no dia 1 de armazenamento. Gel-Nagar et al. (2002) observaram um aumento na adesividade quando empregada inulina em *yog-ice cream*,

ou seja, um sorvete obtido a partir de iogurte, e creditaram este aumento à obtenção de um gel mais viscoso. Esta afirmação está de acordo com Niness (1999), Neven (2001) e Montan (2003) que definem a inulina como um “substituto” da gordura láctea em derivados, contribuindo para o aumento da adesividade. Sandoval-Castilla et al. (2004) afirmam que o acréscimo de lipídios em derivados lácteos aumenta a adesividade.

Enfim, da mesma forma que os resultados alcançados por Gel-Nagar et al. (2002) pôde-se verificar que o uso da inulina, é capaz de gerar modificações na textura do produto.

### 3.6 Análise de cor

Levando em consideração que a cor visual é um dos mais importantes atributos de aceitabilidade e qualidade de produtos alimentícios (HUTCHINGS, 1999), tem-se na Tabela 6 os resultados para os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , dos leites fermentados (padrão e prebiótico) elaborados, durante os 28 dias de armazenamento.

No mesmo dia de armazenamento pôde-se verificar que entre os leites fermentados (padrão e prebiótico) somente  $a^*$  diferiu ( $p < 0,05$ ), enquanto os parâmetros  $L^*$  e  $b^*$  praticamente permaneceram inalterados ( $p > 0,05$ ). Os valores de  $a^*$  obtidos para o leite fermentado padrão indicaram que o mesmo tende a uma coloração mais esverdeada do que o leite fermentado prebiótico, ou seja, o adicionado do carboidrato inulina, um açúcar redutor. O teor de inulina empregado, bem como o menor teor de umidade, em decorrência do aumento de ST apresentado pelo produto prebiótico, assim como a temperatura empregada na etapa de fermentação, poderiam ser responsáveis pela diminuição da cor esverdeada e aumento da avermelhada. Jing e Kitts (2002), Acevedo, Schebor e Buera (2006) e Dattatreya e Rankin (2006) afirmam que fatores como o teor de carboidratos redutores; a umidade; a estrutura das partículas, contidas no alimento; a temperatura e o pH envolvidos no processamento de um derivado lácteo, contribuem para a reação de Maillard, gerando mudança na cor. Além disso, Chevalier et al. (2001) relatam que esta reação poderia surgir em etapas de processamento não tão extremas, ou seja, para que a mesma ocorra não é necessário se ter intensa catálise química.

Assim como o verificado, Dello Staffolo et al. (2004) e Castro et al. (2008) também não observaram diferenças ( $p > 0,05$ ) nos valores de  $L^*$ , e  $b^*$  em leites fermentados adicionados de inulina e bebida láctea suplementada com oligofrutose, respectivamente. Dello Staffolo et al.

(2004) e Aryana e McGrew (2007), relatam que a cor dos leites fermentados é influenciada pela coloração dos ingredientes utilizados nas etapas de elaboração, e conforme verificado por Castro et al. (2008) a suplementação do prebiótico, o qual apresenta coloração branca, em bebidas lácteas não influenciou nos parâmetros  $L^*$  e  $b^*$ , concordando com os dados obtidos nesse trabalho.

**Tabela 2. 6** - Parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  do leite fermentado padrão e do leite fermentado prebiótico, durante 28 dias de armazenamento

Dias	Parâmetros avaliados nos leites fermentados					
	$L^*$		$a^*$		$b^*$	
	Padrão	Prebiótico	Padrão	Prebiótico	Padrão	Prebiótico
1	48,59 <sup>Aa</sup> ±1,86	50,46 <sup>Aa</sup> ±2,26	-2,44 <sup>Aa</sup> ±0,11	-2,12 <sup>Ba</sup> ±0,02	6,12 <sup>Aa</sup> ±0,14	5,97 <sup>Aa</sup> ±0,11
7	50,12 <sup>Aa</sup> ±0,51	51,09 <sup>Aa</sup> ±1,29	-2,43 <sup>Aa</sup> ±0,05	-2,11 <sup>Ba</sup> ±0,03	6,20 <sup>Aa</sup> ±0,02	6,11 <sup>Aa</sup> ±0,02
14	49,07 <sup>Aa</sup> ±0,16	49,82 <sup>Aa</sup> ±0,48	-2,45 <sup>Aa</sup> ±0,01	-2,08 <sup>Ba</sup> ±0,03	6,32 <sup>Aa</sup> ±0,09	6,24 <sup>Ab</sup> ±0,13
21	49,35 <sup>Aa</sup> ±1,36	49,51 <sup>Aa</sup> ±1,24	-2,50 <sup>Aa</sup> ±0,02	-2,10 <sup>Ba</sup> ±0,01	6,09 <sup>Aa</sup> ±0,06	6,25 <sup>Bb</sup> ±0,04
28	50,09 <sup>Aa</sup> ±0,92	50,57 <sup>Aa</sup> ±0,48	-2,36 <sup>Aa</sup> ±0,03	-2,02 <sup>Ba</sup> ±0,02	6,29 <sup>Aa</sup> ±0,06	6,28 <sup>Ab</sup> ±0,04

<sup>A,B</sup> – Para cada linha dos parâmetro  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  avaliados, letras diferentes indicam diferença (nível de significância de 5 %) entre as formulações no mesmo dia de armazenamento.

<sup>a,b</sup> – Para cada coluna indicam diferença significativa (nível de significância de 5 %) obtidos entre os diferentes dias de armazenamento para cada formulação.

O armazenamento, durante 28 dias, dos leites fermentados elaborados também não influenciou ( $p > 0,05$ ) nos parâmetros  $L^*$  e  $a^*$ . Entretanto, após 14 dias de armazenamento foi verificado um aumento ( $p < 0,05$ ) na tonalidade amarela (valores de  $b^*$ ) do leite fermentado prebiótico. Este aumento de coloração poderia estar relacionada com a adição do prebiótico, possível responsável pelo surgimento da reação de Maillard, pois segundo Hoyland e Taylor (1991) e Dattatreya e Rankin (2006) a elevação de  $b^*$  é relacionada à fase intermediária da reação de Maillard, na qual ocorre uma maior produção de compostos amarelos, confirmando a instabilidade dos valores obtidos para  $b^*$ .

Quanto aos parâmetros  $L^*$  e  $a^*$  durante o armazenamento, comportamento similar foi observado por Dello Staffolo et al. (2004) e

por Cueva, Kayanush e Aryana (2008), em iogurtes adicionados de inulina, armazenados por 21 dias; e em iogurtes adicionados de minerais, armazenados por 34 dias, respectivamente. Ferreira (2004) analisando a intensidade da cor vermelha (valores de  $a^*$ ) em queijos durante 33 dias de armazenamento, também não observou variação.

Assim como o esperado, os resultados encontrados para os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  foram menores do que os observados por Silva (2007) ( $a^* \cong 18$  e  $b^* \cong 13$ ), para iogurtes com 5 % de inulina obtidos a partir de leite pasteurizado. Portanto, o emprego da microfiltração em substituição ao tratamento térmico de pasteurização, na elaboração de leites fermentados (padrão e prebiótico), pode ter sido um dos responsáveis pela obtenção destes menores valores. Já García-Pérez et al. (2005) relatam que o tratamento térmico de uma mistura contendo leite, açúcar, leite em pó e fibras, a ser utilizada na produção de iogurtes, induziria a uma desestabilidade da micela de caseína, e desta forma seria responsável também pelo aumento dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ .

#### 4 CONCLUSÃO

A melhor dinâmica de microfiltração ocorreu quando se empregou pressão e velocidade de 3 bar e  $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente, resultando em fluxo médio de permeado igual a  $41,27 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ , Fator de Redução Volumétrico de 4,24 e teor protéico de 2,59 % (m/m).

O microfiltrado apresentou redução na contagem de bactérias mesófilas e psicrófilas e nos teores de sólidos totais, protéicos e lipídicos, quando comparado ao leite cru desnatado, não influenciando na obtenção de um leite fermentado prebiótico. O tempo de armazenamento e a adição de inulina não influenciaram ( $p > 0,05$ ) nos teores de lipídios, proteínas e cinzas do leite fermentado prebiótico.

Assim como no leite fermentado padrão, o tempo de armazenamento, 28 dias, acarretou em um aumento dos teores de sólidos totais e carboidratos, do valor calórico e da acidez, e conseqüentemente em uma diminuição do pH do leite fermentado prebiótico.

A adição de inulina resultou em um leite fermentado com menor índice de sinerese e maiores firmeza e coesividade. A firmeza, a gomosidade e a coesividade não sofreram modificações ao longo dos 28 dias de armazenamento. A adição de inulina conferiu ao leite fermentado uma menor tendência à coloração esverdeada, enquanto o tempo de armazenamento nos leites fermentados prebióticos apresentou

maior tendência a coloração amarelada.

## REFERÊNCIAS

ACEVEDO, N.; SCHEBOR, C.; BUERA, M.P. Water-solids interactions, matrix structural properties and the rate of non-enzymatic browning. *Journal of Food Engineering*, v.77, n.4, p.1108-1115, 2006.

AKALIN, A.S.; TOKUSOGLU, Ö.; GÖNÇ, S.; AYCAN, S. Occurrence of conjugated linoleic acid in probiotic yoghurts supplemented with fructooligosaccharide. *International Dairy Journal*, v.17, p.1089-1095, 2007.

AKBACHE, A.; LAMIOT, É.; MORONI, O.; TURGEON, S.; GAUTHIER, S.F.; POULIOT, Y. Use of membrane processing to concentrate TGF- $\beta$ 2 and IGF-I from bovine milk and whey. *Journal of Membrane Science*, v.326, p.435-440, 2009.

AL-AKOUM, O.; DING, L.H.; JAFFRIN, M.Y. Microfiltration and ultrafiltration of UHT skim milk with a vibrating membrane module. *Separation and Purification Technology*, v.28, p.219-234, 2002.

AL-MALACK, M.H.; ANDERSON, G.K. Crossflow microfiltration with dynamic membranes. *Water Research*, v.31, p.1969-1979, 1997.

ALMEIDA, K.E.; BONASSI, I.A.; ROÇA, R. de. O. Características Físicas e Químicas de Bebidas Lácteas Fermentadas e Preparadas com Soro de Queijo Minas Frescal. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.21, n.2, p.187-192, 2001.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA.  
Compendium of methods of the microbiological examination of foods.  
4<sup>th</sup> ed. Washington D. C., 2001. 676p.

ANGELIDIS, A.S.; CHRONIS, E.N.; PAPAGEORGIOU, D.K.; KAZAKIS, I.I.; ARSENOGLOU, K.C.; STATHOPOULOS, G.A. Non-lactic acid, contaminating microbial flora in ready-to-eat foods: A potential food-quality index. *Food microbiology*, v.23, p.95-100, 2006.

ARYANA, K.J.; MCGREW, P. Quality attributes of yogurt with *Lactobacillus casei* and various prebiotics. LWT - Food Science and Technology, v.40, p.1808-1814, 2007.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-AOAC. Official methods of analysis of the association analytical chemists. 18<sup>th</sup> ed. Maryland, USA, 2005.

AVALLI, A.; POVOLO, M.; CARMINATI, D.; CONTARINI, G. Significance of 2-heptanone in evaluating the effect of microfiltration/pasteurisation applied to goats' milk. International Dairy Journal, v.14, p.915-921, 2004.

BANSAL, B.; AL-ALI, R.; MERCADÉ-PRIETO, R.; CHEN, X.D. Rinsing and cleaning  $\alpha$ -lactalbumin fouled MF membranes. Separation Purification Technology, v.80, p.257-266, 2006.

BEOLCHINI, B.; VEGLIO, F.; BARBA, D. Microfiltration of bovine and ovine milk for the reduction of microbial content in a tubular membrane: a preliminary investigation. Desalination, v.161, p.251-258, 2004.

BEUVIER, E.; BERTHAUD, K.; CEGARRA, S.; DASEN, A.; POCHET, S.; BUCHIN, S.; DUBOZ, G. Ripening and Quality of Swiss-type Cheese Made from Raw, Pasteurized or Microfiltered Milk. International Dairy Journal, v.7, p.311-323, 1997.

BOURNE, M. C. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Academic Press, 2002. 427p.

BOZANIC, R.; ROGELJ, I.; TRATNIK, L.J. Fermented acidophilus goat's milk supplemented with inulin: Comparison with cow's milk. Milchwissenschaft, v.56, p.618-622, 2001.

BRANDÃO, S.C.C. Tecnologia da produção de iogurte. **Leite e Derivados**, n.25, v.5, p.24-38, 1995.

BRANS, G.; SCHROËN, C.G.P.H.; VAN der SMAN, R.G.M.; BOOM, R.M. Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. Journal of Membrane Science, v.243, n.1-2, p.263-272, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Instrução Normativa nº51, de 18 de setembro de 2002. Coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n. 172, p. 8-13, 20 setembro 2002. Seção I.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 17 dezembro 2008.

BURITI, F.C.A.; CARDARELLI, H.R.; SAAD, S.M.I. Textura instrumental e avaliação sensorial de queijo fresco cremoso simbiótico: implicações da adição de *Lactobacillus paracasei* e inulina. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, v.44, n.1, p.75-84, 2008.

CARVALHO, J.D.G.; VIOTTO, W.H.; KUAYE, A.Y. The quality of Minas Frescal cheese produced by different technological processes. Food Control, v.18, p.262-267, 2007.

CASTRO, F.P. de.; CUNHA, T.M.; BARRETO, P.L.M.; AMBONI, R.D. de. M.C.; PRUDÊNCIO, E.S. Effect of oligofructose incorporation on the properties of fermented probiotic lactic beverages, International Journal of Dairy Technology, v.62, p.82-74, 2008.

CHARCOSSET, C. Preparation of emulsions and particles by membrane emulsification for the food processing industry. Journal of Food Engineering, v.92, p.241-249, 2009.

CHEVALIER, F.; CHOBERT, J.M.; POPINEAU, Y.; NICOLAS, M.G.; HAERTLE, T. Improvement of functional properties of  $\beta$ -lactoglobulin glycosylated through the Maillard reaction is related to the nature of the sugar. International Dairy Journal, v.11, p.145-152, 2001.

CUEVA, O.; KAYANUSH, J.; ARYANA, K.J. Quality attributes of a heart healthy yogurt. LWT – Food Science and Technology, v.41, p. 537-544, 2008.

CUNHA, T.M.; CASTRO, F.P.; BARRETO, P.L.M.; BENEDET, H.D.; PRUDÊNCIO, E.S. Avaliação físico-química, microbiológica e reológica de bebida láctea fermentada e leite fermentado adicionados de probióticos. *Semina: Ciências agrárias*, v.29, n.1, p.103-116, 2008.

DATTATREYA, A.; RANKIN, S.A.; Moderately acidic pH potentiates browning of sweet whey powder. *International Dairy Journal*, v.16, p.822-828, 2006.

DELLO STAFFOLO, M.; BERTOLA, N.; MARTINO, M.; BEVILACQUA, A. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*, v.14, n.3, p.263-268, 2004.

FARNSWORTH, J.P.; LI, J.; HENDRICKS, G.M.; GUO, M.R. Effects of Transglutaminase treatment on functional properties and probiotic cultures survivability of goat milk yogurt. *Small Ruminant Research*, v.65, p.113-121, 2006.

FERNANDES, A.M. Avaliação do iogurte produzido com leite contendo diferentes níveis de células somáticas. 2003. Dissertação de mestrado (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP, Pirassununga.

FERREIRA, D.N. Influência do uso de retentados de baixo fator de concentração no rendimento e na qualidade da mussarela de reduzido teor de gordura feita por acidificação direta. 2004. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)- Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

FUCHS, R.H.B.; TANAMATI, A.A.C.; ANTONIOLI, C.M.; GASPARELLO, E.A.; DONEDA, I. Utilização de *Lactobacillus casei* e cultura iniciadora na obtenção de iogurte suplementado com inulina e oligofrutose. *Boletim CEPPA*, v.24, n.1, p.83-98, 2006.

GARCÍA-PÉREZ, F.J.; LARIO, Y.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; SAYAS, E.; PÉREZALVAREZ, J.A.; SENDRA, E. Effect of orange fiber addition on yogurt color during fermentation and cold storage. *Industrial Applications*, v.30, n.6, p.457-463, 2005.

GAUCHE, C.; TOMAZI, T.; BARRETO, P.L.M.; OGLIARI, P.J.;

BORDIGNON-LUIZ, M.T. Physical properties of yogurt manufactured with whey and transglutaminase. *LWT – Food Science and Technology*, v.42, n.1, p.239-243, 2009.

GEL-NAGAR, G.; CLOWES, G.; TUDORICĂ, C.M.; KURI, V. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. **International Journal Dairy Technology**, v.55, n.2, p.89-93, 2002.

GÉSAN-GUIZIOU, G.; BOYAVAL, E.; DAUFIN, G. Critical stability conditions in crossflow microfiltration of skimmed milk: transition to irreversible deposition. *Journal of Membrane Science*, v.158, p.211-222, 1999.

GÉSAN-GUIZIOU, G.; DAUFIN, G.; BOYAVAL, E. Critical stability conditions in skimmed milk crossflow microfiltration: impact on operating modes. *Lait*, v.80, p.129-140, 2000.

GIBSON, G.R.; BEATTY, E.R.; WANG, X.; CUMMINGS, J.H. Selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin. *Gastroenterology*, v.108, p.975-982, 1995.

GIBSON, G.R.; FULLER, R. Aspects of in vitro and in vivo research approaches directed toward identifying probiotics and prebiotics for human use. **Journal of Nutrition**, v.130 (25 Suppl), p.391S-5S, 2000.

GLOVER, F. A. Concentration of milk by ultrafiltration and reverse osmosis. *Journal of Dairy Research*, v.38, p.373-379, 1971.

GUELL, C.; DAVIS, R.H. Membrane fouling during microfiltration of protein mixtures. *Journal of Membrane Science*, v.119, p.269-284, 1996.

GUERRA, E.; JONSSON, G. RASMUSSEN, A.; NIELSEN, E.W.; EDELSTEN, D. Low cross-flow velocity microfiltration of skim milk for removal of bacterial spores. *International Dairy Science*, v.7, p.879-861, 1997.

HAULY, M.C. de. O.; FUCHS, R.H.B.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S.H. Suplementação de iogurte de soja com frutoligossacarídeos: características probióticas e aceitabilidade. *Revista Nutrição*, v.18, n.5, p.613-622, 2005.

HENNELLY, P.J.; DUNNE, P.G.; O' SULLIVAN, M.; O'RIORDAN, E.D. Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *Journal of Food Engineering*, v.75, p.388-395, 2006.

HOYLAND, D.V.; TAYLOR, A.J. [A review of the methodology of the 2-thiobarbituric acid test](#). *Food Chemistry*, v.40, n.3, p.271-291, 1991.

HUTCHINGS, J.B. *Food colour and appearance*. 2<sup>nd</sup> ed. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz*. 4<sup>o</sup> ed. São Paulo: IAL, 2005.

JELLEN, P.; LUTZ, S. Functional milk and dairy products. In: MAZZA, G., ed. *Functional foods: biochemical and processing aspects*. Lancaster: Technomic Publishing, 1998. p.357-381.

JING, H.; KITTS, D.D. Chemical and biochemical properties of casein-sugar Maillard reaction products. *Food and Chemical Toxicology*, v.40, p.1007-1015, 2002.

KAILASAPATHY, K. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT-Food Science and Technology*, v.39, n.10, p.1221-1227, 2006.

KAUR, N.; GUPTA, A.K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *Journal of Biosciences*, v.27, p.703-714, 2002.

KROMKAMP, J.; RIJNSENT, S.; HUTTENHUIS, R.; SCHROËN, K.; BOOM, R. Differential analysis of deposition layers from micellar casein and milk fat globule suspensions onto ultrafiltration and microfiltration membranes. *Journal of Food Engineering*, v.80, p.257-266, 2007.

KRSTIC, D.M.; TERIC, M.N.; CARIC, M.D.; MILANOVIC, S.D. The effects of turbulence promoter on cross-flow microfiltration of skim milk. *Journal of Membrane Science*, v.208, p.303-314, 2002.

LAWRENCE, N.D.; KENTISH, S.E.; O'CONNOR, A.J.; BARBER, A.R.; STEVENS, G.W. Microfiltration of skim milk using polymeric

membranes for casein concentrate manufacture. *Separation and Purification Technology*, v.60, p.127-244, 2008.

LUCEY, J.A. The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels. *Food Hydrocolloids*, v.15, p.603-608, 2001.

LUCEY, J.A.; SINGH, H. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International*, v.30, n.7, p.529-542, 1998.

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*, v.26, n.2, p.386-393, 2006.

MEHAIA, M.A. Chemical composition of camel skim milk concentrated by ultrafiltration. *International Dairy Journal*, v.6, p.741-752, 1996.

MONTAN, M. As fibras invisíveis. **Revista Brasil Alimentos**, n.19, v.4, 2003.

MORAIS COUTINHO, C. de.; CHIU, M.C.; BASSO, R.C.; BADAN RIBEIRO, A.P.; GUARALDO GONÇALVES, L.A.; VIOTTO, L.A. State of Art of the Application of Membrane Technology to Vegetable Oils: A Review, *Food Research International* (2009), doi: 10.1016/j.foodres.2009.02.010.

MOUROUZIDIS-MOUROUZIS, S.A.; KARABELAS, A.J. Whey protein fouling of microfiltration ceramic membranes-pressure effects. *Journal of Membrane Science*, v.282, p124-132, 2006.

MULLER, V. Alimentos Funcionais, **Revista Laticínios**, n.34, v.6, 2001.

NEVEN, E. Inulina e oligofrutose – ingredientes multifuncionais para o desenvolvimento de produtos lácteos. **Revista Leite e Derivados**, n.6, v.11, 2001.

NINESS, K.R. Inulin and oligofructose: what are they? *Journal of*

Nutrition, v.129, p.1402-1406, 1999.

NÓBREGA, R.; BORGES, C.P.; HABERT, A.C. Processos de separação por membranas. In: JUNIOR, A.P., KILIKIAN, B.V. Purificação de produtos biotecnológicos. São Paulo: Editora Manole Ltda, 2005. p.37-88.

NORONHA, N.; O'RIORDAN, E.D.; O'SULLIVAN, M. Replacement of fat with functional fibre in imitation cheese. *International Dairy Journal*, v.17, p.1073-1082, 2007.

OLIVEIRA, C.A.F.; FERNANDES, A.M.; CUNHA NETO, O.C.; FONSECA, L.F.L.; SILVA, E.O.T.; BALIAN, S.C. Composition and sensory evaluation of whole yogurt produced from milk with different somatic cell count. *Australian Journal of Dairy Technology*, v.57, p.192-196, 2002.

OLIVEIRA, M.N.; DAMIN, M.R. Efeito do teor de sólidos e da concentração de sacarose na acidificação, firmeza e viabilidade de bactérias do iogurte e probióticas em leite fermentado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.23, p.172-176, 2003.

OZER, B.H.; ROBINSON, R.K.; GRANDISON, A.S.; BELL, A.E. Gelation properties of Milk concentrated by different techniques. *International Dairy Journal*, v.8, p.793-799, 1998.

PAFYLIAS, I.; CHERYAN, M.; MEHAIA, M. A.; SAGLAM, N. Microfiltration of Milk with ceramic membranes. *Food Research International*, v.29, n.2, p.141-146, 1996.

PAM MEMBRANAS SELETIVAS. Boletim técnico: unidade de microfiltração orgânica, módulo MF-1. Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

PANTALEÃO, I.; PINTADO, M.M.E.; POÇAS, M.F.F. Evaluation of two packaging systems for regional chesse. *Food Chemistry*, v.102, p.481-487, 2007.

PATEL, R.S.; MISTRY, V.V. Physicochemical and structural properties of ultrafiltered buffalo milk and milk powder. *Journal of Dairy Science*, v.80, n.5, p.812-817, 1997.

PENNA, A.L.B.; SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M.N. Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. *Journal of Food Engineering*, v.49, p.7-13,2001.

PINTADO, M.E.; MALCATA, F.X. Optimization of modified atmosphere packaging with respect to physicochemical characteristics of Requeijão. *Food Research International*, v.33, p.821-832, 2000.

PONS, M.; FISZMAN, S.M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*, v.27, p.597-624, 1996.

PRUDÊNCIO, E.S. Avaliação físico-química, microbiológica, microscópica, reológica e tecnológica do leite desnatado de búfala (*bubalus bubalis*) e de suas frações obtidas por filtração tangencial. 2003. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, UFSC, Florianópolis.

ROBERFROID, M.B. Concept in functional foods: the case of inulin and oligofructose. *Journal of Nutrition*, v.129 (Suppl.7), p.1398-1401, 1999.

ROBINSON, R.K. The potential of inulin as a functional ingredient. *British Food Journal*, v.97, n.4, p.30-32, 1995.

ROSENBERG, M. Current and future applications for membrane processes in the dairy industry. *Trends in food Science & Technology*, v.6, n.1, p.12-19, 1995.

SABOYA, L.V.; MAUBOIS, J.L. Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. *Lait*, v.80, p.541-553, 2000.

SALAUN, F.; MIETTON, B.; GAUCHERON, F. Buffering capacity of dairy products. *International Dairy Journal*, v.15, n.2, p.95-109, 2005.

SALJI, J.P.; ISMAIL, A.A. Effect of initial acidity of plain yogurt on acidity changes during refrigerated storage. *Journal Food Science*, v.48, n.1, p.249-258, 1983.

SANDOVAL-CASTILLA, O.; LOBATO-CALLEROS, C.; AGUIRRE-

- MANDUJANO, E.; VERNON-CARTER, E.J. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. **International Dairy Journal**, v.14, p.151-159, 2004.
- SAXENA, A.; TRIPATHI, B.P.; KUMAR, M.; SHAHI, V.K. Membrane-based techniques for the separation and purification of proteins: An overview. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.145, p.1-22, 2009.
- SILVA, S.V. Desenvolvimento de iogurte probiótico com prebiótico. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Programa de Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, UFSM, Santa Maria.
- SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M.N. Avaliação da vida de prateleira de bebidas lácteas preparadas com “fat replacers” (Litesse e Dairy-Lo). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.22, n.1, p.24-31, 2002.
- TAMIME, A.Y.; ROBINSON, R.K. **Yogurt: Ciencia y Tecnologia**. Zaragoza: Acribia, **1991**. 368p.
- THAMER, K.G.; PENNA, A.L.B. Caracterização de bebidas lácteas funcionais fermentadas por probióticos e acrescidas de prebiótico. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.26, n.3, p.589-595, 2006.
- THOMOPOULOS, C.; TZIA, C.; MILKAS, D. Influence of processing of solids-fortified milk on coagulation time and quality properties of yogurt. *Milchwissenschaft*, v.48, n.8, p.426-430, 1993.
- TIA. *Techniques Industrielles Appliquées. Procédés de filtration*. Disponível em: <http://www.tia.com.fr>. Acesso em: 02 novembro 2007.
- TRACEY, E.M.; DAVIS, R.H. Protein fouling of track-etched polycarbonate micro filtration membranes. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.167, p.104-116, 1994.
- TRONCO, V.M. Manual para inspeção da qualidade do leite. Santa Maria: Editora da Universidade Federal de Santa Maria, 1997, 166p.
- TROUVE, E.; MAUBOIS, J.L.; PIOF, M.M.N; FAUQUANT, J.; ROUAULT, A.; TABARD, J.; BRINKMAN, G. Retention de différentes espèces microbiennes lors de l'épuration du lait par

microfiltration en flux tangentiel. Lait, v.71, p.1-13, 1991.

VARNAN, A.H.; SUTHERLAND, J.P. Leche y productos lácteos. Tecnología, Química y Microbiología. Zaragoza: Acribia, 1994. p.365-401.

VERRUMA, M.R.; SALGADO, J.M. Análise química do leite de búfala em comparação ao leite de vaca. Scientia Agricola, v.51, n.1, p.131-137, 1993.

WOLFSCHOON-POMBO, A.F.; GRANZINOLLI, G.G.M.; FERNANDES, R.M. Sólidos totais do leite, acidez, pH e viscosidade do iogurte. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v.227, n.37, p.19-24, 1983.



**CAPÍTULO 3**  
**Propriedades reológicas de leite fermentado prebiótico obtido a partir do microfiltrado**

## RESUMO

Leite microfiltrado, considerado microbiologicamente aceitável, foi utilizado na elaboração de leites fermentados prebiótico (com inulina) e padrão (sem inulina) e avaliados quanto à composição físico-química. Foram também avaliados após 21 dias de armazenamento, quanto às suas propriedades reológicas. A adição de inulina resultou em aumento no teor de sólidos totais do leite fermentado prebiótico, que pode ter levado a uma maior acidez. Durante o armazenamento, avaliando as propriedades reológicas, nas temperaturas de 4°C e 6°C, através dos modelos de Lei da Potência e Mizrahi and Berk, pôde-se observar que os mesmos foram aplicados com sucesso para descrever o comportamento de fluxo do leite fermentado prebiótico, que apresentou características de fluido pseudoplástico e comportamento não newtoniano. O emprego da adição de inulina no leite fermentado contribuiu também para o aumento da viscosidade aparente, quando comparado ao produto sem inulina. No entanto, nos leites fermentados o tempo de armazenamento resultou no aumento da viscosidade, enquanto que nas temperaturas empregadas na análise reológica, a viscosidade diminuiu. Os leites fermentados apresentaram comportamento tixotrópico, porém, a adição de inulina resultou em maior tixotropia, aumentando a histerese, que foi menor com o aumento da temperatura.

**Palavras-Chave:** Microfiltrado, leite fermentado, inulina, viscosidade, reologia.

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as aplicações para a microfiltração, encontra-se a retenção de bactérias e esporos (LAWRENCE et al., 2008; MORAIS COUTINHO et al., 2009), visando à obtenção de um microfiltrado, líquido que permeia a membrana (SABOYA; MAUBOIS, 2000), capaz de ser empregado na obtenção de derivados lácteos, como os leites fermentados.

O emprego da microfiltração em substituição aos processos térmicos tradicionais como a pasteurização, pode reduzir alterações nas propriedades químicas do leite, como a desnaturação protéica (TZIBOULA et al., 1998; MISTRY; MAUBOIS, 2004). Outra característica relativa à obtenção do microfiltrado é a necessidade de se utilizar leite desnatado ou com baixo teor de gordura, pois a ausência de lipídios ajuda a diminuir o *fouling* da membrana (SABOYA; MOUBOIS, 2000), podendo também esta fração de gordura ser empregada para outras finalidades industriais. Portanto, a remoção da fração lipídica do leite, bem como a ausência de tratamentos térmicos elevados durante a microfiltração, podem resultar em leites fermentados com diferentes propriedades, incluindo o comportamento reológico.

Modificações nas propriedades reológicas, de leites fermentados, podem ser observadas quando incorporados ingredientes alimentares funcionais, como por exemplo, a inulina (HAULY; MOSCATTO, 2002; TUNGLAND, 2006). A inulina, ingrediente não digerível, afeta benéficamente o homem, pois estimula seletivamente o crescimento e/ou atividade de uma ou de um número limitado de bactérias no cólon (GIBSON; ROBERFROID, 1995). Além de demonstrar estabilidade ácida (MARTÍNEZ-VILLALUENGA et al., 2005), sendo portanto, recomendada na fabricação de derivados lácteos fermentados. Tecnologicamente a inulina tem sido aplicada como substituto de gordura, reduzindo o conteúdo energético e não conferindo sabor residual doce ao produto final (FLAMM et al., 2001; ROBERFROID, 2005). Além do estímulo seletivo de bactérias, Gibson et al. (2004) relatam que estes ingredientes são classificados como prebióticos porque resistem aos processos de digestão, absorção e adsorção pelo trato gastrointestinal. Logo, as modificações causadas com o emprego da inulina são importantes porque interferem na aceitação do produto pelo consumidor (MOHAMEED; ABU-JDAYIL; AL-SHAWABKEH, 2004), influenciam nos processos de engenharia, como, por exemplo, cálculo de vazão, seleção de bombas, determinação da perda de carga

em tubulações (HOLDSWORTH, 1993; STEFFE, 1996; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005), bem como no dimensionamento de equipamentos (MASKAN; GOGUS, 2000; ABU-JDAYIL; MOHAMEED, 2002).

Assim como o observado por Ziemer e Gibson (1998), informações referentes ao comportamento de prebióticos em produtos lácteos fermentados armazenados por um determinado período são praticamente inexistentes. Portanto, o objetivo deste trabalho foi empregar o microfiltrado, com características microbiológicas aceitáveis, na elaboração de leite fermentado prebiótico, de composição físico-química adequada, avaliando a influência da adição de inulina nas suas propriedades reológicas durante 21 dias de armazenamento.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Material**

Foram utilizados leite cru desnatado, inulina (HP-Gel-Beneo®, Orafiti, Oreya, Belgium), cultura láctea termofílica (YC-X11 Yo Flex®, Chr. Hansen) composta por *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus*, e sacarose. Todos os reagentes utilizados foram de alto grau analítico (P.A.).

### **2.2 Microfiltração (MF)**

O leite cru desnatado foi submetido ao processo de MF em uma unidade piloto, utilizando membrana orgânica (MF-1, PAM Membranas Seletivas, Rio de Janeiro, Brasil), de poli(imida), tipo fibra oca, com poro médio de corte de 1,4  $\mu\text{m}$ , e área filtrante útil de 0,7  $\text{m}^2$ . Os parâmetros operacionais controlados durante o processo de MF foram a temperatura, pressão e velocidade tangencial iguais a  $45 \pm 1^\circ\text{C}$ , 3 bar e 0,8  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectivamente, até o Fator de Redução Volumétrico (FRV) igual a 4, resultando também em um fluxo de permeado (J) médio de 41,27 ( $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Após cada etapa de MF, o equipamento foi higienizado segundo instruções do fabricante.

### **2.3 Elaboração dos leites fermentados**

Para a elaboração do leite fermentado, a partir do microfiltrado, empregou-se, com adaptações, a metodologia proposta por Almeida, Bonassi e Roça (2001). O leite aquecido e mantido a  $45 \pm 1^\circ\text{C}$  foi submetido à MF. O microfiltrado foi utilizado na elaboração de um leite fermentado prebiótico, com adição de 5 % de inulina, cujo teor empregado foi o sugerido por Jelen e Lutz (1998), Niness (1999) e Roberfroid (1999). Um leite fermentado foi também elaborado denominado padrão, ou seja, sem adição de inulina. Em ambos os leites fermentados foram adicionados 8 % de sacarose e cultura láctea termofílica, inoculada a temperatura de  $42 \pm 1^\circ\text{C}$ . Após a fermentação ( $42 \pm 1^\circ\text{C}$ ), encerrada quando o pH ficou entre 4,5 e 4,7, os leites fermentados foram resfriados a  $10 \pm 1^\circ\text{C}$ , batidos lentamente e armazenados ( $5 \pm 1^\circ\text{C}$ ), até a realização das seguintes análises: físico-química, no dia 1 de armazenamento, e reológica, nos dias 1, 7, 14 e 21.

### **2.4 Análise microbiológica**

A fim de garantir a possibilidade do emprego do microfiltrado na obtenção dos leites fermentados, realizou-se a contagem de bactérias mesófilas e psicrófilas, de acordo com a metodologia descrita pela APHA (2001). Os resultados foram expressos em Unidade Formadora de Colônia (UFC) por mL de produto. Estas análises foram realizadas em triplicata.

### **2.5 Análise físico-química**

O leite cru desnatado, o microfiltrado e os leites fermentados (prebiótico e padrão) foram analisados quanto aos teores de sólidos totais (% m/m), através da secagem das amostras até peso constante (925.23) (AOAC, 2005). A acidez (% ácido láctico) dos leites fermentados foi determinada de acordo com o método do Instituto Adolfo Lutz (2005), enquanto as medidas dos valores de pH foram realizadas utilizando pH metro (MP220, Metler-Toledo, Greinfensee, Suíça). Todas estas análises foram realizadas em triplicata.

## 2.6 Análise reológica

As medidas reológicas dos leites fermentados (padrão e prebiótico) foram conduzidas em viscosímetro rotacional Thermo Haake DC 10 (modelo VT 550, Thermo Haake, Karlsruhe, Alemanha), com cilindros concêntricos (NV ST 807-0713 CE e NV 807-0702), e coletadas através do *software* Pro Rheowin® (versão 2,93). A taxa de deformação aumentou linearmente de 10,82 s<sup>-1</sup> a 221,80 s<sup>-1</sup> nos primeiros 20 min (curva ascendente) e retornou para 10,82 s<sup>-1</sup> nos 20 min seguintes (curva descendente), sob temperatura controlada de 4 ± 0,1 °C e 6 ± 0,1 °C, através de circulação da água em um banho (Phoenix P1, Thermo Haake, Karlsruhe, Alemanha) com controle de temperatura e acoplado ao equipamento. A velocidade rotacional aumentou de 2 rpm a 41 rpm, aumentando 2 rpm a cada minuto.

O comportamento de fluxo foi descrito pelo modelo Lei da Potência (Equação 1) e pelo modelo de Mizrahi and Berk (Equação 2).

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n, \quad \text{Equação 1}$$

$$\sigma^{1/2} = K_{OM} + K_M (\dot{\gamma})^{n_M}, \quad \text{Equação 2}$$

onde  $\sigma$  é a tensão de cisalhamento (Pa),  $K$  é o índice de consistência (Pa.s<sup>-1</sup>),  $\dot{\gamma}$  é a taxa de deformação (s<sup>-1</sup>),  $K_{OM}$  é a raiz quadrada da tensão inicial de cisalhamento (Pa<sup>1/2</sup>),  $K_M$  é o índice de consistência (Pa<sup>1/2</sup>.s<sup>n</sup>), e  $n$  e/ou  $n_M$  é o índice de comportamento de fluxo.

Os valores da viscosidade nas curvas descendentes viscosidade/taxa de deformação a uma taxa de 50 s<sup>-1</sup> foram consideradas como a viscosidade aparente ( $\eta$ ) das amostras dos leites fermentados, que de acordo com Bourne (2002) representa a viscosidade aproximada percebida no palato.

O comportamento tixotrópico do leite fermentado padrão e prebiótico foi avaliado calculando a área de histerese entre as curvas de fluxo ascendente e descendente. Para a determinação da tixotropia e da viscosidade aparente, as medidas foram realizadas à temperatura controlada de 4 ± 0,1 °C e 6 ± 0,1 °C.

Os parâmetros reológicos  $K$ ,  $K_M$ ,  $K_{OM}$ ,  $n$ ,  $n_M$ ,  $\eta$  e as curvas de fluxo (tensão de cisalhamento versus taxa de deformação) foram obtidos levando em consideração uma taxa de deformação inicial de 20 s<sup>-1</sup>. Todas as medidas foram realizadas em duplicata.

## 2.7 Análise estatística

As médias, o desvio padrão, a análise de variância e o teste de Tukey (5 % de significância) dos dados foram obtidos através do *software* STATISTICA versão 6.0.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análise microbiológica

O microfiltrado apresentou contagens de mesófilos iguais a 3 log UFC.mL<sup>-1</sup> e de psicrófilos iguais a 2 log UFC.mL<sup>-1</sup>. Estes valores foram menores e similares aos obtidos por Zocche et al. (2002), para a contagem de mesófilos (entre 3 e 4 log UFC.mL<sup>-1</sup>) e psicrófilos (entre 2 e 3 log UFC.mL<sup>-1</sup>), respectivamente, enquanto Pietrowski et al. (2008) obtiveram contagens para mesófilos entre 2 e 4 log UFC.mL<sup>-1</sup>, em leites pasteurizados.

Figueiredo e Porto (2002) relataram que altas contagens de bactérias mesófilas geram maior produção de ácido láctico, resultando na obtenção de iogurtes mais ácidos, comprometendo a sua qualidade física, química, sensorial e reológica. Valores para a contagem de microrganismos psicrófilos iguais a 4 log UFC.mL<sup>-1</sup> (ADAMS; BARACH; SPECK, 1975), entre 5 e 6 log UFC.mL<sup>-1</sup> (CROMIE, 1991; MUIR, 1996) e 6 e 7 log UFC.mL<sup>-1</sup> (SCHRÖDER; COUSINS; McKINNON, 1982; SCHRÖDER; BLAND, 1983), resultam na produção de enzimas termoestáveis (proteolíticas e lipolíticas) que são capazes de degradar os componentes do leite, produzir odor e sabor desagradáveis, além de influenciar na coagulação e no rendimento de derivados lácteos. Figueiredo e Porto (2002) citaram também que a presença de enzimas microbianas compromete a qualidade de iogurte, influenciando na capacidade de retenção do soro pela rede protéica e na viscosidade.

Smithwell e Kailasapathy (1995), verificaram que a contaminação do leite por bactérias psicrófilas, é um problema que afeta toda a indústria láctea, sendo considerado o fator mais importante no controle da manutenção da qualidade do leite visando o aumento da validade.

Enfim, as baixas contagens de microrganismos mesófilos e psicrófilos, observadas no microfiltrado demonstram que o mesmo apresenta qualidade microbiológica adequada, podendo ser empregado

na produção de leite fermentado prebiótico.

### 3.2 Análise físico-química

O resultado médio das análises físico-químicas do leite cru desnatado, do microfiltrado, do leite fermentado padrão e prebiótico e seus respectivos desvios estão apresentados na Tabela 1. Como esperado a adição de inulina ao leite fermentado prebiótico resultou no aumento ( $p < 0,05$ ) do teor de Sólidos Totais (ST). O mesmo comportamento foi observado por Akalin et al. (2007) e Guggisberg et al. (2009), em iogurte suplementado com inulina, e também por Castro et al. (2008) e por Villegas et al. (2009) em bebida láctea adicionada de oligofrutose e inulina, respectivamente.

**Tabela 3. 1** - Resultados das análises físico-químicas do leite cru desnatado  $\pm$  desvio padrão do microfiltrado e dos leites fermentados (padrão e prebiótico)

	<b>SÓLIDOS TOTAIS (% m/m)</b>	<b>ACIDEZ (% ácido lático)</b>	<b>pH</b>
<b>Leite cru desnatado</b>	8,80 $\pm$ 0,02	0,19 $\pm$ 0,01	6,66 $\pm$ 0,00
<b>Microfiltrado</b>	8,41 $\pm$ 0,03	0,18 $\pm$ 0,01	6,67 $\pm$ 0,00
<b>Leite fermentado padrão</b>	14,50 <sup>a</sup> $\pm$ 0,03	1,67 <sup>a</sup> $\pm$ 0,01	4,27 <sup>a</sup> $\pm$ 0,01
<b>Leite fermentado prebiótico</b>	18,39 <sup>b</sup> $\pm$ 0,08	1,71 <sup>b</sup> $\pm$ 0,01	4,28 <sup>a</sup> $\pm$ 0,02

\*Médias seguidas com a mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente (5 % de significância).

Assim como o verificado por Wolfschoon-Pombo, Granzinoli e Fernandes (1983), em iogurtes, foi observado também no leite fermentado prebiótico elaborado uma relação entre o aumento de ST e o aumento da acidez ( $p < 0,05$ ). Segundo Martínez-Villaluenga et al. (2005) estes resultados poderiam estar relacionados com a utilização da inulina pelas culturas iniciadoras durante a fermentação, que resultaria na formação de ácido e, portanto gerando aumento na acidez.

Quanto ao valor das medidas de pH, não foram observadas diferenças ( $p < 0,05$ ) entre os leites fermentados (padrão e prebiótico).

Güven et al. (2005) e Guggisberg et al. (2009) também relataram que a adição de inulina não alterou o pH de leites fermentados. O mesmo foi observado por Villegas et al. (2009) em bebida láctea adicionada de inulina. Os valores de pH obtidos estariam de acordo com o sugerido por Tamime e Robinson (2000) e por Gallardo-Escamilla, Kelly, Delahunty (2007), que indicam como ideais a obtenção de leites fermentados com pH entre 4,8 e 4,2, respectivamente. A obtenção de leites fermentados nesta faixa de pH resultaria no melhor rearranjo e agregação das partículas de caseína (TAMIME; ROBINSON, 2000), contribuindo para a formação de um gel mais estável, evitando a separação de fases (GALLARDO-ESCAMILLA; KELLY; DELAHUNTY, 2007).

### 3.3 Análise reológica

A viscosidade aparente dos leites fermentados padrão e prebiótico, nas temperaturas de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  diminuiu com o aumento da taxa de deformação, indicando comportamento de fluido não newtoniano (Figura 1 a, b). A diminuição da viscosidade em produtos similares ao elaborado, ou seja, em bebidas lácteas comerciais; iogurte batido; bebida láctea simbiótica, com probióticos e prebiótico; e em leite fermentado, contendo soro de queijo, foi também verificada por Penna, Sivieri e Oliveira (2001), O'Donnell e Butler (2002), Castro et al. (2008) e Cunha et al. (2008), respectivamente. A diminuição da viscosidade aparente dos leites fermentados, com o aumento da taxa de deformação nas temperaturas avaliadas, indica que o fluido apresenta características pseudoplásticas, concordando com o obtido por Donkor et al. (2007) e Guggisberg et al. (2009) para iogurte adicionado de inulina; Villegas e Costell (2007), para bebidas lácteas contendo inulina; por Castro et al. (2008), para bebida láctea simbiótica; por Cunha et al. (2008), para leites fermentados probióticos; por Damin et al. (2009), para iogurtes; e por Yasar, Kahyaoglu e Sahan (2009), bebidas lácteas. A queda da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, nestes tipos de produtos, pode estar relacionada a vários fatores. Lucey (2002) credita tal fato à destruição das fracas ligações físicas existentes e à diminuição do somatório da repulsão eletrostática e da interação hidrofóbica, entre as moléculas do gel. Karazhiyan et al. (2009) relatam que o aumento da taxa de deformação e a diminuição da viscosidade ocorreriam devido à quebra das estruturas das macromoléculas em solução, em decorrência do cisalhamento. Alparslan e Hayta (2002) e

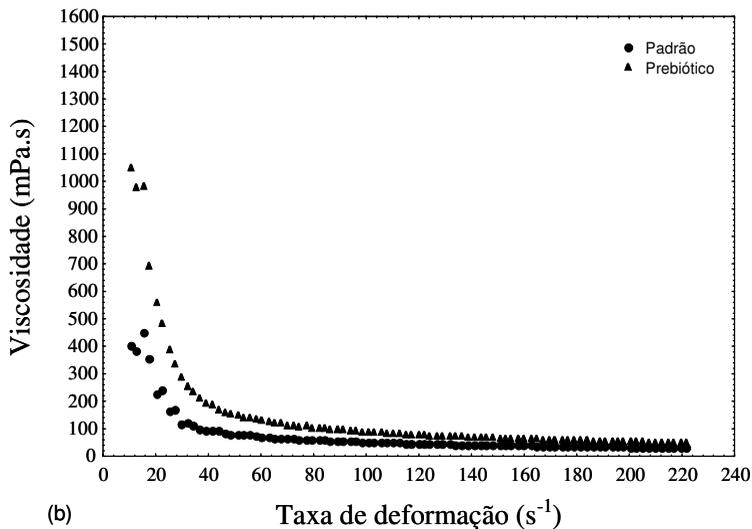
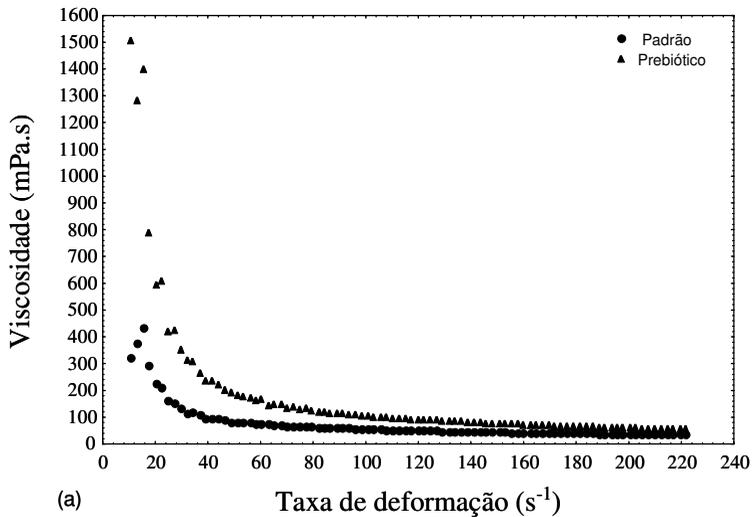
Castro (2002) afirmam que as forças hidrodinâmicas, no início do cisalhamento, são mais intensas, provocando maior ruptura, onde com o tempo estas forças geram um alongamento do sistema permitindo um alinhamento com o escoamento, e por consequência, a redução dos valores da viscosidade. Por fim, Rao (1994) cita que a viscosidade aparente decresce devido ao rearranjo e/ou deformação das partículas, que resulta na diminuição da resistência ao escoamento.

Na Figura 1 (a, b), nas duas temperaturas avaliadas, pôde-se verificar que o leite fermentado adicionado de inulina apresentou uma viscosidade inicial mais elevada, com acentuada queda, com o aumento da taxa de deformação.

Esse comportamento já era esperado, pois conforme Guggisberg et al. (2009) o emprego de teores de inulina maiores do que 1 % resulta em produtos mais viscosos. Toneli et al. (2007) além de ressaltarem a habilidade da inulina em formar gel, relatam também que a mesma aumenta a viscosidade de iogurtes. Além disso, González-Tomás et al. (2008) verificaram, que apesar de ser mais estável termicamente do que outros tipos de fibras, a inulina tende a formar microcristais em leite, pequenos agregados, que retêm uma grande quantidade de água, resultando em géis mais viscosos. Tal comportamento é associado por Silva (1996) à capacidade de uma molécula de inulina em se ligar a duas moléculas de água.

Os parâmetros reológicos dos leites fermentados avaliados nas temperaturas de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  durante 21 dias de armazenamento estão apresentados na Tabela 2, para o modelo Lei da Potência, e na Tabela 3, para o modelo Mizrahi and Berk. Os valores dos coeficientes de correlação (R), para o modelo Lei da Potência e Mizrahi and Berk, foram iguais ou maiores do que 0,994. O ajuste dos modelos Lei da Potência e Mizrahi and Berk aos resultados experimentais, pode também ser visualizado na Figura 2 (a, b), para o leite fermentado padrão, e na Figura 3 (a, b), para o leite fermentado prebiótico, nas temperaturas de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ . Dessa forma, pôde-se observar que ambos os modelos foram adequadamente empregados, ou seja, conseguiram descrever o comportamento reológico dos leites fermentados, nos diferentes tempos e temperaturas utilizados.

Nos tempos e temperaturas avaliados, os índices de comportamento de fluxo (n) dos leites fermentados, obtidos através dos modelos de Lei da Potência e Mizrahi and Berk (Tabelas 2 e 3) demonstram que todos os valores obtidos para n foram menores do que 1, confirmando as características de fluido pseudoplástico e o comportamento não newtoniano.



**Figura 1:** Relação da viscosidade aparente *versus* taxa de deformação na temperatura de (a)  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e (b)  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , para o leite fermentado padrão e para o leite fermentado prebiótico.

**Tabela 3. 2** - Parâmetros reológicos obtidos pelo modelo Lei da Potência ( $\eta = K (\dot{\gamma})^{n-1}$ ) para o leite fermentado padrão e para o leite fermentado prebiótico nas temperaturas de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , no dia 1, 7, 14 e 21 de armazenamento.

Amostras	T ( $^\circ\text{C}$ )	Dias	K* (Pa.s <sup>n</sup> )	n**	$\eta$ *** (mPa.s)	R****
<b>Padrão</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	0,213	0,650	54,21 <sup>Aa</sup>	0,996
		<b>7</b>	0,197	0,696	59,97 <sup>Ab</sup>	0,997
		<b>14</b>	0,185	0,704	58,14 <sup>Ab</sup>	0,996
		<b>21</b>	0,228	0,655	59,21 <sup>Ab</sup>	0,995
<b>Padrão</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	0,215	0,634	51,29 <sup>Aa</sup>	0,996
		<b>7</b>	0,215	0,664	57,77 <sup>Ab</sup>	0,996
		<b>14</b>	0,219	0,657	57,11 <sup>Ab</sup>	0,995
		<b>21</b>	0,222	0,646	55,13 <sup>Ab</sup>	0,995
<b>Prebiótico</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	0,132	0,816	64,41 <sup>Ba</sup>	0,994
		<b>7</b>	0,139	0,809	65,44 <sup>Ba</sup>	0,995
		<b>14</b>	0,190	0,758	73,92 <sup>Bb</sup>	0,996
		<b>21</b>	0,187	0,753	71,13 <sup>Bb</sup>	0,994
<b>Prebiótico</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	0,117	0,821	58,29 <sup>Ba</sup>	0,995
		<b>7</b>	0,136	0,805	63,73 <sup>Ba</sup>	0,995
		<b>14</b>	0,209	0,732	72,94 <sup>Bb</sup>	0,994
		<b>21</b>	0,219	0,706	71,96 <sup>Bb</sup>	0,994

\* Índice de consistência (K)

\*\* Índice de comportamento de fluxo (n)

\*\*\* Viscosidade aparente ( $\eta$ ) a  $\dot{\gamma}$  de  $50 \text{ s}^{-1}$

\*\*\*\* Coeficiente de correlação (R)

<sup>A,B</sup> – Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna, indicam diferença (nível de significância de 5 %) entre as formulações no mesmo dia de armazenamento e na mesma temperatura.

<sup>a,b,c</sup> – Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa (nível de significância de 5 %) entre os dias de armazenamento para mesma amostra e temperatura.

**Tabela 3.3** - Parâmetros reológicos obtidos pelo modelo Mizrahi and Berk ( $\eta = ((K_{OM} + K_M \cdot (\dot{\gamma}_M^n)^2) / \dot{\gamma})$ ) para o leite fermentado padrão e para o leite fermentado prebiótico nas temperaturas de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , no dia 1, 7, 14 e 21 de armazenamento

Amostras	T (°C)	Dias	$K_{OM}^*$ (Pa)	$K_M^{**}$ (Pa.s)	$n_M^{***}$	$\eta^{****}$ (mPa.s)	R <sup>*****</sup>
<b>Padrão</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	0,852	0,091	0,551	55,50 <sup>Aa</sup>	0,998
		<b>7</b>	0,924	0,080	0,593	61,77 <sup>Ab</sup>	0,999
		<b>14</b>	0,985	0,063	0,638	60,24 <sup>Ab</sup>	0,998
		<b>21</b>	1,101	0,048	0,662	61,33 <sup>Ab</sup>	0,999
<b>Padrão</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	0,92	0,072	0,583	52,65 <sup>Aa</sup>	0,998
		<b>7</b>	1,020	0,061	0,629	59,66 <sup>Ab</sup>	0,998
		<b>14</b>	1,019	0,059	0,629	58,62 <sup>Ab</sup>	0,998
		<b>21</b>	1,017	0,057	0,627	56,86 <sup>Ab</sup>	0,998
<b>Prebiótico</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	1,257	0,023	0,838	69,30 <sup>Ba</sup>	0,999
		<b>7</b>	1,207	0,029	0,794	69,84 <sup>Ba</sup>	0,999
		<b>14</b>	1,436	0,018	0,867	79,30 <sup>Bb</sup>	0,999
		<b>21</b>	1,295	0,030	0,782	75,35 <sup>Bb</sup>	0,998
<b>Prebiótico</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	1,149	0,026	0,808	62,48 <sup>Ba</sup>	0,999
		<b>7</b>	1,131	0,037	0,755	67,57 <sup>Ba</sup>	0,998
		<b>14</b>	1,345	0,028	0,791	77,18 <sup>Bb</sup>	0,998
		<b>21</b>	1,393	0,024	0,803	75,86 <sup>Bb</sup>	0,999

\* Raiz quadrada da tensão inicial de cisalhamento ( $K_{OM}$ )

\*\* Índice de consistência ( $K_M$ )

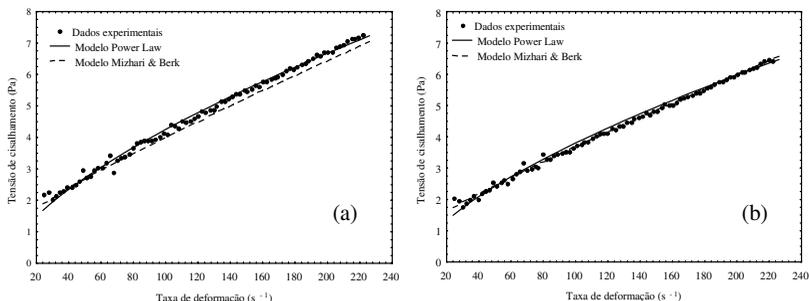
\*\*\* Índice de comportamento de fluxo ( $n_M$ )

\*\*\*\* Viscosidade aparente ( $\eta$ ) a  $\dot{\gamma}$  de  $50 \text{ s}^{-1}$

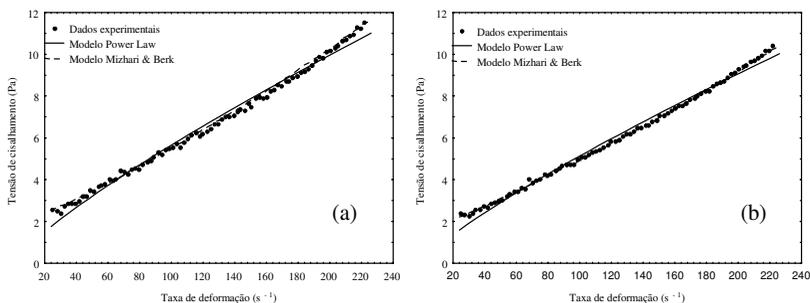
\*\*\*\*\* Coeficiente de correlação (R)

<sup>A,B</sup> – Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna, indicam diferença (nível de significância de 5 %) entre as formulações no mesmo dia de armazenamento e na mesma temperatura.

<sup>a,b,c</sup> – Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa (nível de significância de 5 %) entre os dias de armazenamento para mesma amostra e temperatura.



**Figura 3. 1** - Representação gráfica do ajuste aos modelos de Lei da Potência e Mizrahi and Berk no dia 1 de armazenamento para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o leite fermentado padrão nas temperaturas de (a)  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e (b)  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ .



**Figura 3. 2** - Representação gráfica do ajuste aos modelos de Lei da Potência e Mizrahi and Berk no dia 1 de armazenamento para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o leite fermentado probiótico nas temperaturas de (a)  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e (b)  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Assim como o verificado por Fuchs et al. (2006), na obtenção de um iogurte suplementado com inulina; por Bortolozzo e Quadros (2007), na aplicação de inulina e sucralose em iogurtes; e por Donkor et al. (2007) e Guggisberg et al. (2009) em iogurtes adicionados de inulina, o leite fermentado probiótico elaborado apresentou maior viscosidade aparente ( $p < 0,05$ ) do que o padrão, durante os 21 dias de armazenamento, nas temperaturas avaliadas (Tabelas 2 e 3). Esse aumento justifica-se, pois Bozanic, Rogelj e Tratnik (2001), Gel-Nagar et al. (2002), Haully e Moscatto (2002), Akin, Akin e Kirmaci (2007) e Soukoulis, Lebesi e Tzia (2009) relatam que a inulina (fibra solúvel) contribui para a modificação das propriedades físicas dos alimentos,

devido a sua capacidade em reter água, auxiliando na formação de géis viscosos. O mesmo foi confirmado por Gel-Nagar et al. (2002) que verificaram aumento da viscosidade em sorvetes adicionados de inulina e creditaram tal fato às interações entre a fibra e a parte aquosa do produto. Gonzalez-Tomás, Coll-Marqués e Costell (2008) informaram que essas mudanças reológicas provocadas pela inulina, seriam devido à estrutura da inulina ser composta por uma rede de microcristais, formada por pequenos agregados, capazes de reter a água. Schaller-Povolny e Smith (2001) citaram que quando a inulina se liga as moléculas de água é observada também a interação destas com as proteínas do leite, acarretando no aumento da massa molar resultando no aumento da viscosidade. Além disso, Kip, Meyer e Jellema (2005) e Villegas e Costell (2007) relataram que a adição de maiores teores de inulina, em iogurtes, também aumenta a viscosidade aparente, confirmando o verificado por Martín-Diana et al. (2003), Ünal, Metin e Isikli (2003), Koksoy e Kilic (2004), Fuchs et al. (2006) Brink et al. (2007) e Teles e Flôres (2007) que creditam este aumento ao maior teor de ST presente, conforme o obtido neste trabalho (Tabela 1).

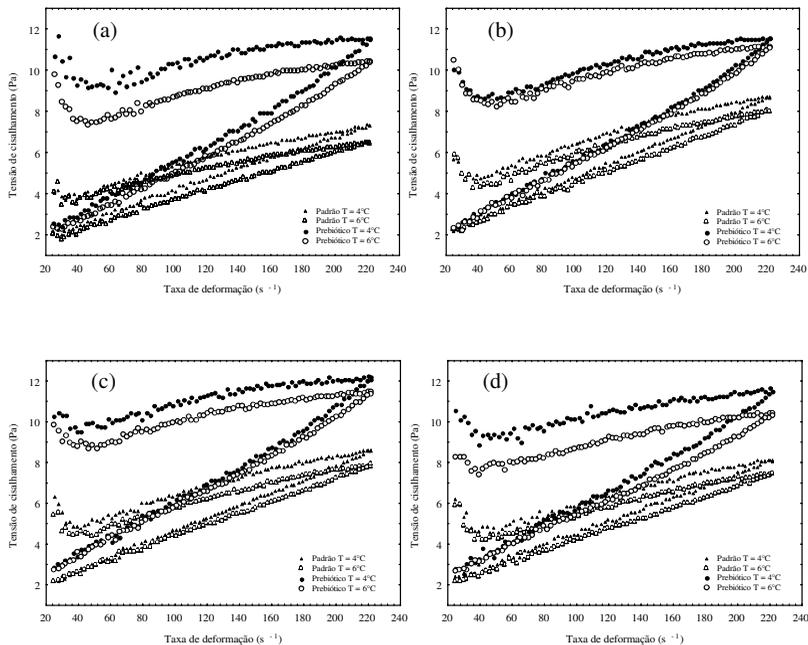
O tempo de armazenamento influenciou significativamente, aumentando a viscosidade aparente dos leites fermentados (padrão e prebiótico) (Tabela 2 e 3). No leite fermentado padrão a diferença na viscosidade aparente ( $p < 0,05$ ) foi verificada a partir do dia 7, enquanto para o leite fermentado prebiótico o aumento ( $p < 0,05$ ) foi verificado a partir do dia 14. No entanto, a partir destes períodos os valores de  $\eta$  mantiveram-se constantes ( $p > 0,05$ ) até o dia 21 de armazenamento. Tal comportamento também foi observado por Fernández-García McGregor e Traylor (1998), em iogurtes adicionados de fibras, por Ibrahim et al. (2004), em leites fermentados adicionados de inulina, e por Cunha-Neto et al. (2005) e Cueva, Kayanush e Aryana (2008), em iogurtes armazenados durante 30 e 21 dias, respectivamente. De modo semelhante ao verificado por Donkor et al. (2007), para iogurtes com (entre 0,5 % e 1,5 %) ou sem inulina, armazenados durante 28 dias, nos leites fermentados (padrão e prebiótico), observou-se também aumento ( $p < 0,05$ ) da viscosidade com o período de armazenamento.

Abu-Jdayil e Mohameed (2002) também observaram um aumento na viscosidade de labneh com o tempo de armazenamento (14 dias). Segundo Ozer et al. (1998) o maior número de interações e, conseqüentemente, o rearranjo das proteínas seriam responsáveis pelo aumento da viscosidade. Ross-Murphy (1990) relata que tal comportamento é fato comum em géis ácidos durante o armazenamento.

Durante os 21 dias de armazenamento, foi observada na avaliação

reológica que a variação da temperatura de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  para  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  influenciou na viscosidade aparente dos leites fermentados (padrão e prebiótico), conferindo diminuição ( $p < 0,05$ ) da viscosidade aparente. O mesmo foi determinado por Penna, Sivieri e Oliveira (2001), Castro et al. (2008) e Cunha et al. (2008) em bebidas lácteas comerciais, bebidas lácteas simbióticas e leites fermentados probióticos, respectivamente. Como previsto, este comportamento está de acordo com Machado (2002) que indica a temperatura como responsável pela diminuição da viscosidade. A diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura, segundo Cruz et al. (2008) está relacionada ao aumento da energia térmica, que reduz a interação intermolecular, enquanto Hassan e Hobani (1998) e Cruz et al. (2008) afirmam que esta baixa interação resulta em partículas de menores tamanhos, facilitando o escoamento e diminuindo a viscosidade do produto. Já Karazhiyan et al. (2009) relatam que tal comportamento pode ocorrer também devido a um aumento na mobilidade das macromoléculas, indicando menor resistência ao fluxo.

Através dos reogramas apresentados na Figura 4 (a, b, c, d) pôde-se observar que tanto o leite fermentado padrão quanto o prebiótico apresentaram histerese, indicando, da mesma maneira que Tárrega, Duran e Costell (2004) e Toneli, Murr e Park (2005) que os mesmos são dependentes do tempo. Penna, Sivieri e Oliveira (2001), Abu-Jdayil e Mohameed (2002) e Toneli, Murr e Park (2005) afirmaram que a formação de uma curva de histerese implica em mudanças no comportamento reológico do produto. Tal mudança no comportamento foi verificada por Penna, Sivieri e Oliveira (2001) e Oliveira et al. (2002), em bebidas lácteas; por Castro et al. (2008), em bebidas lácteas simbióticas; por Cunha et al. (2008), em leites fermentados probióticos; por Guggisberg et al. (2009), em iogurte adicionado de inulina; e por Yasar, Kahyaoglu e Sahan (2009), em bebidas lácteas.



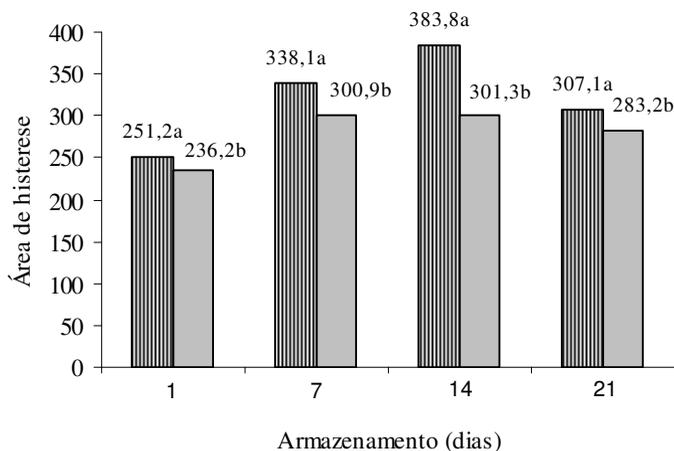
**Figura 3.3** - Curvas de fluxo relação da tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, para o leite fermentado padrão e leite fermentado prebiótico nas temperaturas de  $4,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  e  $6,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , nos dias 1 (a), 7 (b), 14 (c) e 21 (d) de armazenamento.

Assim como o verificado por Hernández (1996), o mesmo foi obtido para o leite fermentado prebiótico elaborado, que apresentou maior viscosidade e, portanto maior área de histerese ( $p < 0,05$ ) (Figura 4 a, b, c, d), demonstrando conseqüentemente, segundo Holdsworth (1993), maior correlação com a tixotropia. Além disso, Hernández (1996) afirma que um fluido tixotrópico de maior viscosidade deve apresentar maior área de histerese do que um fluido com menor viscosidade, mesmo quando houver aumento na quebra da estrutura do produto menos viscoso. O aumento da tixotropia como conseqüência de uma maior viscosidade também foi observada por Tárrega e Costell (2006) e Domagala (2008), para sobremesas lácteas com 6 % de inulina e para iogurtes elaborados com leites de diferentes espécies, respectivamente. Segundo Steffe (1996) e Oliveira et al. (2002) a tixotropia, fenômeno comumente detectado em partículas frágeis aglomeradas, como as de leites fermentados, ocorre quando estas são

submetidas a um cisalhamento. Neste caso, a estrutura tridimensional, inicialmente formada no processo de fermentação, se desfaz, no entanto pode parcialmente ser revertida, após um período de repouso.

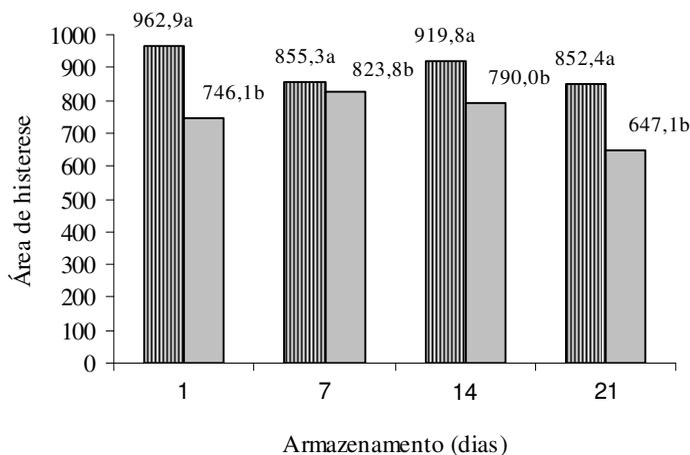
A maior histerese observada no leite fermentado elaborado com inulina pode também estar relacionada com a quantidade de ST (Tabela 1), pois o aumento da histerese estaria relacionado ao maior teor de ST, conforme o demonstrado por Mohameed, Abu-Jdayil e Al-Shawabkeh (2004), Domagala (2008) e Gauche et al. (2009). Mohameed, Abu-Jdayil e Al-Shawabkeh (2004) associam pequenas alterações na concentração de sólidos às mudanças nas propriedades reológicas de iogurtes.

Levando em consideração os tempos e as temperaturas avaliadas na reologia (4°C e 6°C) (Figura 4 a, b, c, d), pôde-se constatar que assim como o definido por González-Tomás et al. (2008) para produtos com maior histerese, como leite fermentado prebiótico elaborado, é necessário o emprego de maior energia para destruir a estrutura. Durante 21 dias de armazenamento, a temperatura teve um efeito significativo sobre a histerese dos leites fermentados, observando que a mudança de 2°C (de 4°C para 6°C) realizada durante a avaliação reológica, diminuiu a histerese (Figuras 5 e 6). Uma relação diretamente proporcional entre a viscosidade e a histerese foi confirmada por Hernández (1996). Portanto, a diminuição da histerese ( $p < 0,05$ ) com o aumento da temperatura, nos leites fermentados elaborados, poderia estar relacionada à diminuição da viscosidade. O mesmo comportamento foi obtido por Penna, Sivieri e Oliveira (2001), para bebidas lácteas comerciais; e por Castro et al. (2008), para bebidas lácteas simbióticas.



<sup>a,b</sup> – Letras diferentes para cada dia de armazenamento indicam diferença (nível de significância de 5 %) entre as temperaturas.

**Figura 3. 4** - Área de histerese do leite fermentado prebiótico, nas temperaturas de 4,0 ± 0,1°C (▨) e 6,0 ± 0,1°C (▩) nos dias 1, 7, 14 e 21 de armazenamento.



<sup>a,b</sup> – Letras diferentes para cada dia de armazenamento indicam diferença (nível de significância de 5 %) entre as temperaturas.

**Figura 3. 5** - Área de histerese do leite fermentado prebiótico, nas temperaturas de 4,0 ± 0,1°C (▨) e 6,0 ± 0,1°C (▩) nos dias 1, 7, 14 e 21 de armazenamento.

## 4 CONCLUSÃO

O microfiltrado apresentou baixa contagem de bactérias mesófilas e psicrófilas, sendo considerado adequado, microbiologicamente, para a elaboração de um leite fermentado prebiótico, enquanto a adição de inulina resultou num aumento no teor de sólidos totais, que por consequência pode ter levado a um aumento na acidez do leite fermentado prebiótico.

Durante 21 dias de armazenamento, foi observada na avaliação reológica que na variação da temperatura de 4°C para 6°C, os modelos de Lei da Potência e Mizrahi and Berk foram aplicados com sucesso para descrever o comportamento de fluxo do leite microfiltrado fermentado prebiótico (com inulina), que apresentou comportamento não newtoniano e características de fluido pseudoplástico. Além disso, a adição de inulina no leite fermentado contribuiu para o aumento da viscosidade aparente quando comparado ao produto sem inulina. No entanto, nos leites fermentados o tempo de armazenamento resultou no aumento da viscosidade, enquanto na variação da temperatura em estudo, a viscosidade diminuiu. A presença do comportamento tixotrópico foi verificada nos leites fermentados, porém a adição de inulina aumentou a histerese que foi menor com o aumento da temperatura.

**REFERÊNCIAS**

- ABU-JDAYIL, B.; MOHAMEED, H. Experimental and modeling studies of the flow properties of concentrated yogurt as affected by the storage time. *Journal of Food Engineering*, v.52, p.359-365, 2002.
- ADAMS, D.M.; BARACH, J.T.; SPECK, M.L. Heat resistant proteases produced in milk by psychrotrophic bacteria of dairy origin. *Journal of Dairy Science*, v.58, n.6, p.828-834, 1975.
- AKALIN, A.S.; TOKUSOGLU, Ö.; GÖNÇ, S.; AYCAN, S. Occurrence of conjugated linoleic acid in probiotic yoghurts supplemented with fructooligosaccharide. *International Dairy Journal*, v.17, p.1089-1095, 2007.
- AKIN, M.B.; AKIN, M.S.; KIRMACI, Z. Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics an probiotic ice-cream. *Food Chemistry*, v.104, p.93-99, 2007.
- ALMEIDA, K.E.; BONASSII, A.; ROÇA, R. de. O. Características Físicas e Químicas de Bebidas Lácteas Fermentadas e Preparadas com Soro de Queijo Minas Frescal. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.21, n.2, p.187-192, 2001.
- ALPARSLAN, M.; HAYTA, M. Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/tahin (sesame paste) blends. *Journal of Food Engineering*, v.54, n.1, p.89-93, 2002.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Compendium of methods of the microbiological examination of foods. 4th. ed. Washington D. C., 2001. 676p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-AOAC. Official methods of analysis of the association analytical chemists. 18th ed. Maryland, USA, 2005.
- BORTOLOZO, E.Q.; QUADROS, M.H.R. Aplicação de inulina e sucralose em iogurte. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v.01, n.01, p.37-47, 2007.

- BOURNE, M. C. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. 2th ed. San Diego: Academic Press, 2002. 427p.
- BOZANIC, R.; ROGELJ, I.; TRATNIK, L.J. Fermented acidophilus goat's milk supplemented with inulin: Comparison with cow's milk. *Milchwissenschaft*, v.56, p.618-622, 2001.
- BRINK, J.; LANGTON, M.; STDING, M.; HERMANSSON, A. Simultaneous analysis of the structural and mechanical changes during large deformation of whey protein isolate/gelatin gels at the macro and micro levels. *Food Hydrocolloids*, v.21, n.3, p. 409-419, 2007.
- CASTRO, A.G. A química e a reologia no processamento de alimentos. *Ciência e Técnica*, p.37-61, 2002.
- CASTRO, F.P. de.; CUNHA, T.M.; BARRETO, P.L.M.; AMBONI, R.D. de. M.C.; PRUDÊNCIO, E.S. Effect of oligofructose incorporation on the properties of fermented probiotic lactic beverages. *International Journal of Dairy Technology*, v.62, p.82-74, 2008.
- CROMIE, S.J. Microbiological aspects of extended shelf life products. *Journal of Dairy Technology*, v.46, n.2, p.101-104, 1991.
- CRUZ, S.A.; FARAH, M.; ZANIN, M.; BRETÃS, R.E.S. Avaliação das Propriedades Reológicas de Blendas de PEAD Virgem/PEAD Reciclado. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.18, n.2, p.144-151, 2008.
- CUEVA, O.; KAYANUSH, J.; ARYANA, K.J. Quality attributes of a heart healthy yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, v.41, p.537-544, 2008.
- CUNHA, T.M.; CASTRO, F.P.; BARRETO, P.L.M.; BENEDET, H.D.; PRUDÊNCIO, E.S. Avaliação físico-química, microbiológica e reológica de bebida láctea fermentada e leite fermentado adicionados de probióticos. *Semina: Ciências agrárias*, v.29, n.1, p.103-116, 2008.
- CUNHA-NETO, O.C.; OLIVEIRA, C.A.F.; HOTTA, R.M.; SOBRAL, P.J.A. Avaliação físico-química e sensorial do iogurte natural produzido com leite de búfala contendo diferentes níveis de gordura. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.25, n.3, p.448-453, 2005.

DAMIN, M.R.; ALCÂNTARA, M.R.; NUNES, A.P.; OLIVEIRA, M.N. Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, 2009. doi: 10.1016/j.lwt.2009.03.019.

DOMAGALA, J. Sensory evaluation and rheological properties of yoghurts prepared from goat, cow and sheep milk. *Food Science and Technology*, v.11, 2008.

DONKOR, O.N.; NILMINI, S.L.I.; STOLIC, P.; VASILJEVIC, T.; SHAH, N.P. Survival and activity of selected probiotic organisms in set-type yoghurt during cold storage. *International Dairy Journal*, v.17, p.657-665, 2007.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, E.; MCGREGOR, J.U.; TRAYLOR, S. The addition of oat fiber and natural alternative sweeteners in the manufacture of plain yogurt. *Journal of Dairy Science*, v.81, p.655-663, 1998.

FIGUEIREDO, M.G.; PORTO, E. Avaliação do Impacto da Qualidade da Matéria-Prima no Processamento Industrial do Iogurte Natural. *Indústria de Laticínios*, v.7, n.41, p.76-80, 2002.

FLAMM, G.; GLINSMANN, W.; KRITCHVSKY, D.; PROSKY, L.; ROBERFROID, M. Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence. *Critical Reviews In. Food Science and Nutrition*, v.41, p.353-362, 2001.

FUCHS, R.H.B.; TANAMATI, A.A.C.; ANTONIOLI, C.M.; GASPARELLO, E.A.; DONEDA, I. Utilização de *Lactobacillus casei* e cultura iniciadora na obtenção de iogurte suplementado com inulina e oligofrutose. *Boletim CEPPA*, v.24, n.1, p.83-98, 2006.

GALLARDO-ESCAMILLA, F.J.; KELLY, A.L.; DELAHUNTY, C.M. Mouthfeel and flavour of fermented whey with added hydrocolloids. *International Dairy Journal*, v.17, p.308-315, 2007.

GAUCHE, C.; TOMAZI, T.; BARRETO, P.L.M.; OGLIARI, P.J.; BORDIGNON-LUIZ, M.T. Physical properties of yogurt manufactured with whey and transglutaminase. *LWT – Food Science and Technology*,

v.42, n.1, p.239-243, 2009.

GEL-NAGAR, G.; CLOWES, G.; TUDORICĂ, C.M.; KURI, V. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal Dairy Technology*, v.55, n.2, p.89-93, 2002.

GIBSON, G.R.; PROBERT, H.M.; VAN LOO, J.; RASTALL, R.A.; ROBERFROID, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Review*, v.17, p.259-275, 2004.

GIBSON, G.R.; ROBERFROID, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*, v.125, n.6, p.1401-1412, 1995.

GONZÁLEZ-TOMÁS, L.; BAYARRI, S.; TAYLOR, A.J.; COSTELL, E. Rheology, flavour release and perception of low-fat dairy desserts. *International Dairy Journal*, v.18, p.858-866, 2008.

GONZALEZ-TOMÁS, L.; COLL-MARQUÉS, J.; COSTELL, E. Viscoelasticity of inulin-starch-based dairy systems. Influence of inulin average chain length. *Food Hydrocolloids*, v.22, p.1372-1380, 2008.

GUGGISBERG, D.; CUTHBERT-STEVEN, J.; PICCINALI, P.; BÜTIKOFER, U.; EBERHARD, P. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, v.19, p.107-115, 2009.

GUVEN, M.; YASAR, K.; KARACA, O.B.; HAYALOGLU, A.A. The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set-type low-fat yogurt manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, v.58, p.180-184, 2005.

HASSAN, B.H.; HOBANI, A.I. Flow properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Journal of Food Engineering*, v.35, n.4, p.459-470, 1998.

HAULY, M.C.O.; MOSCATTO, J.A. Inulina e Oligofrutose: uma revisão sobre propriedades funcionais, efeito prebiótico e importância na indústria de alimentos. *Revista Semina: Ciências Exatas e Tecnologia de*

Alimentos, v.23, n.1, p.23-26, 2002.

HERNÁNDEZ, M.J. Caracterización reológica de hidrogeles de MCC-NaCMC + almidón. Tixotropía y sinergismo. 1996. Tese. Universitat de València, València, Espanha.

HOLDSWORTH, S.D. Rheological models used for the prediction of flow properties of food products. Transactions in Chemical Engineering, v.71, p.139-179, 1993.

IBRAHIM, G.A.; MEHANNA, N.S.; EL-RAB, D.A.G.; ABD EL-SALAM, M.H.; KHOLIF, A.M.; ABDU, S.M.; EL-SHIBINY, S. Preparation and properties of set fermented milk containing inulin and different probiotics. In: 9th Egyptian Conference for Dairy Science and Technology, Cairo, Egypt, p.117-132, 2004.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 4º ed. São Paulo: IAL, 2005.

JELEN, P.; LUTZ, S. Functional milk and dairy products. In: MAZZA, G., ed. Functional foods: biochemical and processing aspects. Lancaster: Technomic Publishing, 1998. p.357-381.

KARAZHIYAN, H.; RAZAVI, S.M.A.; PHILLIPS, G.O.; FANG, Y.; AL-ASSAF, S.; NISHINARI, K.; FARHOOSH, R. Rheological properties of Lepidium Sativum seed extract as a function of concentration, temperature and time. Food hydrocolloids, 2009. doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.03.019.

KIP, P.; MEYER, D.; JELLEMA, R.H. Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts. International Dairy Journal, v.16, n.9, p.1098-1103, 2005.

KOKSOY, A.; KILIC, M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. Food Hydrocolloids, v.18, p.593-600, 2004.

LAWRENCE, N.D.; KENTISH, S.E.; O'CONNOR, A.J.; BARBER, A.R.; STEVENS, G.W. Microfiltration of skim milk using polymeric membranes for casein concentrate manufacture. Separation and Purification Technology, v.60, p.127-244, 2008.

LUCEY, J. A. Formation and physical properties of milk protein gels. *Journal of Dairy Science*, v.85, n.2, p.281-294, 2002.

MACHADO, J.C.V. Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria de petróleo. Rio de Janeiro: Editora Interferência Ltda, 2002. p.3-109.

MARTÍN-DIANA, A.B.; JANER, C.; PELÁEZ, C.; REQUENA, T. Development of a fermented goat's milk containing probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, v.13, n.10, p.827-833, 2003.

MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; FRÍAS, J.; GÓMEZ, R.; VIDAL-VALVERDE, C. Raffinose Family Oligosaccharides from Lupin Seeds as Prebiotics. Application in Dairy Products. *Journal of Food Protection*, v.68, p.1246-1252, 2005.

MASKAN, M.; GOGUS, F. Effect of sugar on the rheological properties of sunflower oilwater emulsion. *Journal of Food Engineering*, v.43, p.173-177, 2000.

MISTRY, V.V.; MOUBOIS, J.L. Application of Membrane Separation Technology to Cheese Production. In: FOX, P.F.; McSWEENEY, P.H.L.; COGAN, T.M.; GUINEE, P.T. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. v.1, 2004. p.261-284.

MOHAMEED, H.A.; ABU-JDAYIL, B.; AL-SHAWABKEH, A. Effect of solids concentration on the rheology of labneh (concentrated yogurt) produced from sheep milk. *Journal of Food Engineering*, v.61, p.347-352, 2004.

MORAIS COUTINHO, C. de.; CHIU, M.C.; BASSO, R.C.; BADAN RIBEIRO, A.P.; GUARALDO GONÇALVES, L.A.; VIOTTO, L.A. State of Art of the Application of Membrane Technology to Vegetable Oils: A Review, *Food Research International* (2009). doi: 10.1016/j.foodres.2009.02.010.

MUIR, D.D. The shelf life of dairy products: Factors influencing raw milk and fresh products. *Journal of the Society of Dairy Technology*, v.49, n.1, p.24-32, 1996.

NINESS, K.R. Inulin and oligofructose: what are they? *Journal of*

Nutrition v.129 (suppl.), p.1402-1406, 1999.

OLIVEIRA, M.N.; SODINI, I.; REMEUF, F.; TISSIER, J.P.;  
CORRIEU, G. Manufacture of fermented lactic beverages containing  
probiotic cultures. *Journal of Food Science*, v.67, p.2336-2341, 2002.

O'DONNELL, H.J.; BUTLER, F. Time-dependent viscosity of stirred  
yogurt. Part II: tube flow. *Journal of Food Engineering*, v.51, n.3, p.255-  
261, 2002.

OZER, B.H.; ROBINSON, R.K.; GRANDISON, A.S.; BELL, A.E.  
Gelation properties of Milk concentrated by different techniques.  
*International Dairy Journal*, v.8, p.793-799, 1998.

PENNA, A.L.B.; SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M.N. Relation between  
quality and rheological properties of lactic beverages. *Journal of Food  
Engineering*, v.49, p.7-13, 2001.

PIETROWSKI, G.A.M.; OTT, A.P.; SIQUEIRA, C.R.; SILVEIRA,  
J.F.; BAYER, K.H.; CARVALHO, T. Avaliação da qualidade  
microbiológica de leite pasteurizado tipo c comercializado na cidade de  
Ponta Grossa-PR. VI Semana de Tecnologia em Alimentos - Ponta  
Grossa/PR, v.2, n.36, 2008.

RAO, M.A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M.A.;  
RIZVI, S.S. *Engineering properties of foods*. 2nd ed. New York: Marcel  
Dekker, 1994. p.1-53.

ROBERFROID, M.B. Concept in functional foods: the case of inulin  
and oligofructose. *Journal of Nutrition*, v.129 (Suppl.), p.1398-1401,  
1999.

ROBERFROID, M.B. Introducing inulin-type fructans. *British Journal  
of Nutrition*, v.93 (suppl. 1), p.13-25, 2005.

ROSS-MURPHY, S.B. In: E. Dickinson (Ed), *Food polymer, gels and  
colloids*. United Kingdom: 1990. p.357-368.

SABOYA, L.V.; MAUBOIS, J.L. Current developments of  
microfiltration technology in the dairy industry. *Lait*, v.80, p.541-553,  
2000.

- SCHALLER-POVOLNY, L.A.; SMITH, D.E. Viscosity and freezing point of a reduced fat ice cream mix as related to inulin content. *Milchwissenschaft-Milk Science International*, v.56, p.25-29, 2001.
- SCHRÖDER, M.J.A.; BLAND, M.A. Post-pasteurization contamination and shelf life of HTST - pasteurized milk when filled in a Liqui-Pak® conventional or Model 820A cartoning machine. *Journal of the Society of Dairy Technology*, v.16, n.2, p.43-49, 1983.
- SCHRÖDER, M.J.A.; COUSINS, C.M.; MCKINNON, C.H. Effect of psychrotrophic post-pasteurization contamination on the keeping quality at 11 and 5°C of HTST pasteurized milk in the UK. *Journal of Dairy Research*, n.49, p.619-630, 1982.
- SILVA, R.F. Use of inulin as a natural texture modifier. *Cereal Foods World*, v.41, n.10, p.792-794, 1996.
- SMITHWELL, N.; KAILASAPATHY, K. Psychrotrophic bacteria in pasteurized milk: problems with shelf life. *Journal of Food Technology*, v.50, p.28-31, 1995.
- SOUKOULIS, C.; LEBESI, D.; TZIA, C. Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, n.115, p.665-671, 2009.
- STEEFE, J.F. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2nd ed. East Lansing -Freeman Press, 1996. 412p.
- TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, v.67, p.147-156, 2005.
- TAMIME, A.Y.; ROBINSON, R.K. *Yoghurt Science and technology*. 3ª ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000.
- TÁRREGA, A.; COSTELL, E. Effect of inulin addition on rheological and sensory properties of fat-free starch-based dairy desserts. *International Dairy Journal*, v.16 p.1104-1112, 2006.
- TÁRREGA, A.; DURAN, L.; COSTELL, E. Flow behaviour of semi-solid dairy desserts. Effect of temperature. *International Dairy Journal*,

v.14, p.345-353, 2004.

TELES, C.D.; FLÔRES, S.H. Influência da adição de espessantes e leite em pó nas características reológicas do iogurte desnatado. *Boletim CEPPA*, v.25, n.2, p.247-256, 2007.

TONELI, J.T.C.L.; MÜRR, F.E.X.; MARTINELLI, P.; FABBRO, I.M.D.; PARK, K.J. Optimization of a physical concentration process for inulin. *Journal of Food Engineering*, v.80, p.832-838, 2007.

TONELI, J.T.C.L.; MURR, F.E.X.; PARK, K.L. Revisão: Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.7, n.2, p.181-204, 2005.

TUNGLAND, B.C.; MEYER, D. Nondigestible Oligo- and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their physiology and role in human health and food. *Food Science and Food Safety*, v.1, p.73-92, 2006.

TZIBOULA, A.; STEELE, W.; WEST, I.; MUIR, D.D. Microfiltration of milk with ceramic membranes: Influence on casein composition and heat stability. *Milchwissenschaft*, v.53, p.8-11, 1998.

ÜNAL, B.; METIN, S.; ISIKLI, N.D. Use of response surface methodology to describe the combined effect of storage time, locust bean gum and dry matter of milk on the physical properties of low-fat set yoghurt. *International Dairy Journal*, v.13, p.909-916, 2003.

VILLEGAS, B., COSTELL, E. Flow behaviour of inulin-milk beverages. Influence of inulin average chain length and of milk fat content. *International Dairy Journal*, v.17, p.776-781, 2007.

VILLEGAS, B.; TÁRREGA, A.; CARBONELL, I.; COSTELL, E. Optimising acceptability of new prebiotic low-fat milk beverages. *Food Quality and Preference*, 2009. doi: 10.1016/j.foodqual.2009.03.001.

ZIEMER, C.J.; GIBSON, G.R. Na overview of probiotics, prebiotics and synbiotics in the functional food concept: perspectives and future strategies. *International Dairy Journal*, v.8, p.473-479, 1998.

ZOCHE, F.; BERSOT, L.S.; BARCELLOS, V.C.; PARANHOS, J.K.; ROSA, S.T.M.; RAYMUNDO, N.K. Qualidade microbiológica e físico-

química do leite pasteurizado produzido na região oeste do Paraná. *Archives of Veterinary Science*, v.7, n.2, p.59-67, 2002.

WOLFSCHOON-POMBO, A.F.; GRANZINOLLI, G.G.M.; FERNANDES, R.M. Sólidos totais do leite, acidez, pH e viscosidade do iogurte. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v.38, p.19-24, 1983.

YASAR, K.; KAHYAOGU, T.; SAHAN, N. Dynamic rheological characterization of salep glucomannan/galactomannan-based milk beverages. *Food Hydrocolloids*, v.23, p.1305-1311, 2009.