Revisão DOI: 10.14295/2238-6416.v69i3.341

SORO DE LEITE: TECNOLOGIAS PARA O PROCESSAMENTO DE COPRODUTOS

Whey: technologies for coproducts production

Maura Pinheiro Alves[1], Renam de Oliveira Moreira[1], Paulo Henrique Rodrigues Júnior[1], Mayra Carla de Freitas Martins[1], Ítalo Tuler Perrone[1], Antônio Fernandes de Carvalho[1]*

RESUMO

O objetivo do presente artigo foi apresentar os princípios da capacidade de processamento de soro de leite. Para alcançar este objetivo, o artigo aborda sobre as proteínas do soro de leite, o processo de filtração por membrana e a tecnologia de secagem por atomização.As principais tecnologias para o uso de soro de leite são apresentadas: bebidas proteicas de soro de leite, soro de leite em pó, concentrado de proteína de soro em pó, isolado de proteína de soro em pó e frações de proteínas de soro de leite em pó.

Palavras-chave: separação por membranas, secagem por atomização; proteínas do soro.

ABSTRACT

The aim of the present article was to present the principles of whey processability. In order to reach these objectives, the article presents the whey proteins, the membrane filtration process and the spray drying technology. The main technologies for use whey are presented: whey protein beverages, whey powder, whey protein concentrate powder, whey protein isolate powder and powders of whey protein fractions.

Keywords: membrane filtration; spray drying; whey proteins.

1 Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), Campus Universitário s/n, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil. E-mail: italoperrone@ig.com.br

* Autor para correspondência.

Recebido / Received: 02/08/2013
Aprovado / Approved: 05/05/2014

INTRODUÇÃO

A produção leiteira e o processamento de leite e derivados são importantes atividades do estado de Minas Gerais. Segundo dados do IBGE, a produção de queijos no Brasil com Inspeção Federal foi de 896 mil toneladas no ano de 2010 (IBGE, 2010a), resultando na produção de, aproximadamente, oito bilhões de litros de soro de leite.

O soro de leite representa de 80 a 90% do volume total do leite utilizado durante a produção de queijos e contém, aproximadamente, 55% dos nutrientes do leite: proteínas solúveis, lactose, vitaminas, minerais e uma quantidade mínima de gordura. O soro pode ser utilizado na sua forma original para produção de bebidas lácteas. Porém, considerando o seu alto teor de água e a finalidade de agregar valor ao produto e a seus derivados, o soro pode ser concentrado. O produto concentrado é classificado, então, de acordo com o teor de proteína, e pode ter aplicações diversas, devido a suas características nutricionais e tecnológicas, que vão do seu uso como ingrediente alimentício à produção de medicamentos.

O Brasil caracteriza-se como um importador de produtos lácteos. Entretanto, em 2004, as exportações brasileiras de lácteos superaram as importações. Essa situação durou até 2008, pois no ano de 2009, a balança comercial voltou a apresentar saldo deficitário (MDIC, 2012) devido, principalmente, à importação de proteínas de soro. Apesar do elevado volume de soro de leite produzido anualmente no Brasil, o país importa um alto volume deste coproduto, pois seu beneficiamento requer a aplicação de tecnologias ainda não adaptadas à realidade nacional.

O processo de industrialização do soro, em geral, requer a utilização de instalações industriais com um determinado grau de complexidade, o que demanda um investimento financeiro considerável. Assim, é necessário que haja um volume mínimo de matéria-prima que justifique o investimento. Entretanto, grande parte do soro de leite gerado no Brasil e no estado de Minas Gerais tem origem nas operações de pequenas e médias queijarias, nas quais se torna difícil o investimento em tecnologia necessária para o beneficiamento deste coproduto. A tendência é a instalação de unidades centrais de processamento, que recebam o soro produzido pelas queijarias de uma determinada região.

O governo tem incentivado o desenvolvimento de tecnologias que permitam o aproveitamento do soro de uma forma que seja viável, tanto do ponto de vista econômico como tecnológico. Dentre elas, tem se destacado a tecnologia de separação por membranas que apresenta grande potencial por possibilitar que o processamento do soro resulte em produtos com características tecnológicas adequadas para utilização nos mais diversos tipos de aplicações. Essa tecnologia pode permitir a melhoria da qualidade microbiológica do soro de leite e, ainda, a sua concentração. Esse processo proporciona a remoção parcial da água com o aumento do teor de sólidos e, consequentemente, melhora a conservação do produto. Também garante a otimização da logística de captação do soro, com redução dos custos de transporte. No entanto, muitas indústrias ainda consideram o soro como um efluente, o qual, quando indevidamente tratado, gera um sério problema ambiental devido à sua elevada carga orgânica. Estes fatores tornam importante o desenvolvimento de alternativas para um adequado aproveitamento do soro de leite. Isto se deve ao fato de que ao mesmo tempo em que a transformação do soro em produtos diversos diminui o problema ambiental, ainda permite o desenvolvimento de novos produtos e proporciona aumento de lucratividade nas indústrias de laticínios.

O presente artigo tem como objetivo apresentar os princípios da capacidade de processamento de soro de leite através do processo de filtração por membranas e da

secagem por atomização, abordando sobre as propriedades das proteínas do soro de leite.

REFERENCIAL TEÓRICO

O estado de Minas Gerais é o maior produtor de leite do país. Em 2010, produziu 8,38 bilhões de litros de leite, o que representou 27,3% do total de 30,71 bilhões de litros produzidos no Brasil (IBGE, 2010b).Grande parte desse volume de leite industrializado no país em estabelecimento sob Serviço de Inspeção Federal é usada na produção de queijos, o que representou aproximadamente, 896 mil toneladas no ano de 2010 e consequemente, um alto volume de soro (IBGE, 2010a).

O soro de leite é um coproduto da indústria de laticínios que representa a porção aquosa do leite que se separa do coágulo durante a fabricação de queijo ou da caseína. Apresenta-se como um líquido opaco e de cor amarelo-esverdeada (GIRALDO-ZUÑIGA et al., 2004; GUIMARÃES et al., 2010). Pode ser obtido em laboratório ou em indústrias de processamento de leite por três operações principais: pela coagulação enzimática, resultando na coagulação das caseínas, matéria-prima para a produção de queijos, e no soro doce; pode ser obtido também pela precipitação ácida no pH isoelétrico das caseínas (pI = 4,6), resultando na caseína isoelétrica e no soro ácido; e por último, pela separação física das micelas de caseína por microfiltração, em membranas de 0,1 µm, obtendo-se um concentrado de micelas e as proteínas do soro (MORIN et al, 2007).

Devido ao elevado conteúdo de substâncias orgânicas presentes no soro de leite, associado principalmente à presença de lactose e proteínas, o seu poder poluente é considerado alto, com uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que varia de 27 a 60 $kg \cdot m^{-3}$ (PRAZERES et al., 2012).

Este coproduto já foi considerado uma matéria-prima de aproveitamento oneroso para a indústria de lácteos. Entretanto, com as regulamentações ambientais rigorosas que proíbem o descarte de produtos com alta demanda biológica de oxigênio, além das comprovações científicas do alto valor nutricional dos constituintes do soro e com o desenvolvimento de técnicas de fracionamento, esse produto é amplamente requisitado como precursor de ingredientes ou como ingrediente na indústria de alimentos (GERNIGON et al., 2010).

O soro de leite apresenta grande importância, tanto em função do elevado volume produzido, quanto à sua rica composição nutricional. Na produção de 1 kg de queijo tem-se uma produção média de 9 litros de soro. Esse contém mais da metade dos sólidos presentes no leite original, incluindo grande parte da lactose, proteínas do soro (20% da proteína total), sais minerais e vitaminas solúveis (ATRA et al., 2005; BALDASSO et al., 2011). Sua composição depende da composição química do leite que varia de acordo com a alimentação, reprodução, diferença individual de cada animal e do clima.

Além disso, a composição do soro e o seu sabor, ligeiramente ácido ou doce, dependem do tipo de coagulação do leite e da operação de fabricação do queijo. O soro doce é obtido por coagulação enzimática do leite, pela adição da enzima conhecida por renina, que tem a propriedade de coagular a caseína. É um soro resultante da produção de queijos, como por exemplo, o Cheddar ou o Emmental. O soro ácido, com pH entre 4,3 a 4,6, é obtido por coagulação ácida do leite para fabricação de caseína ou de queijo, como o Cottage.

Segundo Paboeuf et al. (2011), o soro doce tem maior teor de lactose comparado ao soro ácido, enquanto que esse último possui maior concentração de sais minerais. A concentração de lactose no soro ácido é menor do que no soro doce, devido ao processo de fermentação, em que uma fração de lactose é transformada em ácido lático durante a coagulação. Por outro lado, o soro

ácido contém maior teor de cálcio e fósforo que o soro doce, associado à solubilização do complexo fosfato de cálcio existente nas micelas de caseína, em pH ácido. No soro doce, a ação da enzima renina não provoca a redução do pH, logo os íons de cálcio são retidos, associados às caseínas, no queijo. A composição proteica de ambos os soros é semelhante no que se refere à maioria das proteínas. As proteínas do leite compreendem duas frações principais: as caseínas (80%) e as proteínas do soro (20%).

A caseína encontra-se organizada no leite sob a forma de micelas esféricas e pode ser definida como a proteína precipitada pela acidificação do leite a um valor de pH próximo a 4,6, sendo assim insolúvel em seu ponto isoelétrico (WALSTRA et al., 2006).

As proteínas do soro são solúveis em ampla faixa de pH, apresentam estrutura globular e contêm pontes dissulfeto, que conferem um determinado grau de estabilidade estrutural (AIMUTIS, 2004). As duas principais frações proteicas do soro são β-lactoglobulina (β-Lg) e α-lactoalbumina (α-La) que estão presentes em maior concentração e constituem, aproximadamente, 70% das proteínas totais do soro. Além dessas, são encontradas a albumina do soro bovino (BSA), imunoglobulina (Ig), glicomacropeptídeo (GMP) e subfrações, que se apresentam em pequenas concentrações no leite, como lactoferrina, lisozima, lactoperoxidase, entre outras (HARAGUCHI et al., 2006; METSÄMUURONEN; NYSTRÖM, 2009).

A β-Lg é a fração mais abundante do soro de leite da maioria dos mamíferos. Representa, aproximadamente, 10% da proteína total do leite e 50% da proteína do soro, no entanto essa fração não está presente no leite humano. A β-Lg contém 162 aminoácidos, uma massa molar de 18,3 kDa. Possui diferentes variantes genéticas, sendo as principais a β-Lg A e β-Lg B que diferem por substituições de dois aminoácidos, Asp64Gly e Val118Ala, respectivamente (EDWARDS et al., 2009). A principal proteína que contém grupos sulfídricos no leite é a β-Lg, normalmente, esse grupo está presente dentro da molécula. Na desnaturação por calor em temperatura de 75 ºC, por exemplo, o grupo –SH da β-Lg é exposto, reage com a caseína e provoca efeitos significativos em algumas das propriedades físico-químicas tecnologicamente importantes do leite, como a estabilidade do leite ao calor e a coagulação através da renina (WALSTRA et al., 2006). Devido à abundância desta proteína no leite bovino, as propriedades dos concentrados proteicos de soro de leite bovino são, na verdade, as propriedades da β-Lg (YADA, 2004).

Em termos quantitativos, a α-La é a segunda fração proteica do soro bovino e a principal do leite humano. Ela contém 123 aminoácidos e tem uma massa molar de 14,2 kDa, sendo encontrada no soro de leite de todos os mamíferos (EDWARDS et al., 2009). O local de síntese da α-La é a glândula mamária; no leite humano representa 28% do teor total de proteínas (WALSTRA et al., 2006). A α-La purificada é usada comercialmente em fórmulas infantis com base na similaridade de sua composição e estrutura com a principal proteína do leite materno (USDEC, 2014).

A concentração do soro leva à formação de produtos proteicos que podem ser utilizados como ingredientes, para melhorar as propriedades tecno-funcionais dos alimentos (solubilidade, gelificação, viscosidade, emulsificação, formação de espuma). Além disso,apresentam grande potencial de utilização em alimentos por também possuírem componentes aos quais se atribuem algumas propriedades biológicas importantes como aumento da resposta imunológica, anticâncer, proteção contra problemas cardiovasculares, entre outras. No entanto, apesar dos experimentos preliminares indicarem a potencialidade dessas ações, muitas delas necessitam de comprovações clínicas conclusivas (BAUMAN et al., 2006).

O valor biológico das proteínas do soro é alto comparado ao de outras proteínas, por apresentarem em sua composição alto conteúdo de aminoácidos essenciais, que são aqueles obtidos somente por meio da alimentação, devido a incapacidade do organismo de sintetizá-los. Além disso, essas proteínas contêm uma alta concentração de aminoácidos de cadeia ramificada como leucina, isoleucina e valina (MARSHALL, 2004) e, também, mais aminoácidos contendo enxofre, tais como cisteína e metionina quando comparadas à caseína. Esses aminoácidos sulfurados apresentam importância pela sua capacidade de melhorar a função imunológica e seu estado antioxidante (BAUMAN et al., 2006). As proteínas do soro apresentam quase todos os aminoácidos essenciais em excesso às recomendações nutricionais de consumo, com exceção dos aminoácidos aromáticos (fenilalanina e tirosina) que embora não estejam presentes em excesso, atendem às recomendações para todas as idades (SGARBIERI, 2004).

A qualidade ou balanço de uma proteína alimentar além de depender do tipo e da quantidade de aminoácidos essenciais depende da sua digestibilidade, que representa a medida da eficácia com que pode ser utilizada pelo organismo. Portanto, além da concentração de aminoácidos devemos ter em consideração a sua digestibilidade biológica. As proteínas do soro apresentam elevada qualidade proteica quando comparada a outras proteínas (YADA, 2004). Assim, considerando a elevada quantidade de aminoácidos essenciais e qualidade proteica, as proteínas do soro podem aumentar o valor nutricional dos alimentos usados na dieta humana. Muitas proteínas do soro são associadas a funções imunes ou digestivas. Além disso, o soro é uma grande fonte de Ig e BSA e, por isso, oferece proteção contra infecções, já que estimula a produção de linfócitos. Proteínas do soro secundárias como a lactoferrina e a lactoperoxidase são consideradas proteínas antimicrobianas (YADA, 2004).

As propriedades tecno-funcionais das proteínas do soro são as propriedades físico-químicas, que contribuem para obter uma determinada característica no produto alimentar final em que são inseridas. A grande aplicação destas proteínas em alimentos é relatada não por proporcionar apenas uma propriedade física particular aos alimentos, mas também pela reprodutibilidade dessas propriedades e capacidade de proporcionar mais que uma finalidade funcional na aplicação como ingrediente alimentício. As proteínas do soro apresentam propriedades físicas e tecno-funcionais no seu estado nativo, e também após tratamento físico, químico ou enzimático, em função das várias estruturas conformacionais que possuem e/ou adquirem. São moléculas estruturalmente ordenadas e qualquer alteração na conformação leva à desnaturação. Algumas causas de desnaturação são temperatura, radiação ultravioleta, concentração salina, alterações de pH ou ação mecânica. Com a desnaturação, ocorre modificação da conformação globular das proteínas para a forma linear, com a perda da estrutura terciária da cadeia peptídica, e a formação de novos enlaces entre moléculas, que tornam as proteínas quimicamente mais reativas (WALSTRA et al., 2006).

Os concentrados ou isolados proteicos de soro são valiosos como ingredientes alimentares pela alta solubilidade em ampla faixa de pH. Essa propriedade permite sua aplicação, por exemplo, em bebidas para esportistas, com possibilidade de fornecimento de proteínas em quantidades similares às contidas em uma refeição diária. A capacidade de produtos de proteínas do soro de absorver água e as características de gelificação permite sua aplicação como ingredientes em produtos assados e em carne processada. Como emulsificante, os concentrados proteicos de soro encontram ampla aplicação na formulação de molhos

para saladas, cremes artificiais de café, bebidas nutricionais e sopas (USDEC, 2014).

Vários fatores influenciam na composição e nas características tecno-funcionais dos produtos obtidos a partir das proteínas do soro, dentre eles, a fonte do leite, o método de produção, o tipo de queijo e o processamento (REZAEI et al., 2011). Com o desenvolvimento de novas tecnologias e com um melhor entendimento do soro como matéria-prima que pode conferir à tecnologia alimentar novas potencialidades, em função das propriedades nutricionais e tecnofuncionais de suas proteínas, este coproduto se tornou muito valorizado pelas indústrias alimentícias. Dentre as alternativas para sua utilização incluem a fabricação de produtos como ricota e bebida láctea, a produção de soro em pó, bem como a concentração e fracionamento das proteínas com posterior secagem (CANCINO, et al., 2006). Produtos derivados do soro, como os concentrados proteicos de soro são também utilizados em produtos extrudados à base de milho, batata e arroz (USDEC, 2014).

Alguns produtos derivados de soro comercialmente disponíveis são: concentrado proteico de soro (*whey protein concentrate – WPC)* que é o produto obtido pela remoção de constituintes não proteicos do soro de forma que o produto final seco contenha, em geral, entre 35% e 80% de teor proteico e o isolado proteico de soro (*whey protein isolate – WPI)* que é a forma comercial mais pura das proteínas do soro e contém entre 80 e 95% de proteína (BRANS, 2006). Os concentrados e isolados proteicos têm grande aplicação nas indústrias alimentícias pela funcionalidade

Tabela 1 – Exemplos de propriedades tecno-funcionais conferidas a alimentos por concentrados proteicos de soro

Propriedade funcional	Setor alimentar	Percentual de proteína	Aplicações
Viscosidade	Sobremesas	35	Chocolates, Marshmallow, Nougat, Barras de cereais, Glacê.
Solubilidade, estabilidade coloidal	Bebidas	35	Bebidas fortificadas com proteínas, Bebidas isotônicas, Piña Colada, Bebidas gaseificadas, Chás gaseificados, Bebidas para crianças, Sucos, Iogurtes, Bebidas substituintes de refeições.
Emulsificação	Sopas, alimentos infantis	85	Sopas com baixo teor ou zero gordura, Molhos para saladas, Queijos fundidos.
Formação de espuma	Confeitaria	35	Glacê, Creme de leite UHT, Chantilly, Chocolates aerados.
Gelificação	Produtos lácteos	65	Iogurte, FrozenYogurt, Sorvete.
Elasticidade	Panificação	65	Brownie, Bolo, Cookies, Pães, Muffins, Massa para pizza, Biscoitos, Waffles.
Absorção de água e gordura	Produtos de carne	85	Salsicha, Bife de hambúrguer, Presunto, Nuggets e embutidos.

Fonte: Adaptado de USDEC, 2014

que podem conferir aos alimentos. A Tabela 1 resume algumas aplicações industriais dos concentrados proteicos de soro.

O uso de proteínas do soro como ingredientes em alimentos funcionais está aumentando extensivamente, conforme tem aumentado a capacidade tecnológica das indústrias para produzir *WPC* e *WPI*. Entre as técnicas utilizadas para a recuperação das proteínas do soro podemos citar a tecnologia de separação por membranas, em especial a ultrafiltração, que é utilizada para recuperar as proteínas solúveis do soro. Os componentes de baixa massa molar como lactose, sais e água permeiam através da membrana de ultrafiltração, a qual retém as moléculas de proteína. Muitas vezes a ultrafiltração é operada no modo de diafiltração e permite uma maior remoção de sais e lactose. O material retido na diafiltração é seco em spray dryer. As proteínas de soro obtidas por separação de membrana possuem boas propriedades tecno-funcionais como solubilidade, capacidade de formar espuma, gel e emulsão (CROGUENNEC et al., 2006).

Outros produtos obtidos a partir do soro de leite são: a proteína de soro hidrolisada, que é obtida pela hidrólise das moléculas de proteínas durante seu processamento com a formação de segmentos proteicos menores; concentrados de soro com teor de lactose reduzido, que são produtos especiais com teor de lactose inferior a 1% e também o soro com teor de minerais reduzidos (produto obtido pela remoção seletiva de uma parte dos minerais do soro através dos processos de troca iônica, eletrodiálise ou outras técnicas de separação por membranas) (CORREIA et al., 2011).

Considerando as diversas aplicações do soro de leite obtido durante a produção de queijos, são necessárias alternativas tecnológicas para o seu adequado aproveitamento. Operações unitárias como a tecnologia de separação por membrana, a evaporação a vácuo e a secagem em spray dryer são utilizadas para obtenção de soro em pó, concentrados e isolados proteicos de soro. O soro de leite é geralmente concentrado por evaporação a vácuo antes da secagem em spray dryer, possibilitando a concentração do soro a teores de sólidos láticos entre 52% m/m e 60% m/m, com um custo energético por quilograma de água evaporada até vinte vezes inferior ao processo de retirada de água em spray dryer (CARIĆ et al., 2009; SCHUCK et al., 2010).

A concentração do leite ou soro de leite por evaporação a vácuo geralmente é aplicada para elaborar produtos concentrados como leite evaporado e leite condensado. É também aplicada como etapa intermediária para produção de produtos lácteos em pó, já que a remoção da água por evaporação a vácuo requer menor energia do que por secagem; e para produzir lactose a partir de recristalização do soro (WALSTRA et al., 2006). A operação de secagem em spray dryer associada à tecnologia de separação por membranas permite a produção de pós lácteos com diferentes propriedades físico-químicas, bioquímicas e graus de pureza, além de variadas propriedades funcionais (NARONG; JAMES, 2008; BALDASSO et al., 2011). A primeira patente que descreve a operação de secagem em spray dryer ou secagem por atomização, data de 1872, realizada por Percy nos Estados Unidos, que foi considerado o inventor desta tecnologia de secagem. Estudos posteriores formaram a base para o desenvolvimento do primeiro equipamento spray dryer industrial, em 1905 (CARIĆ et al., 2009). A secagem por atomização consiste na remoção de parte da água do produto, permitindo armazenamento e conservação por mais tempo. Essa técnica reduz os custos logísticos, e frequentemente é a mais utilizada para desidratação de produtos lácteos. Também é considerada a operação mais importante para conservação de lácteos,

pois possibilita a produção de leite ou soro em pó a partir do leite ou soro, com perdas nutricionais mínimas (SCHUCK, 2002).

O princípio da secagem de um líquido em spray dryer consiste em pulverizar o produto no interior de uma câmara de secagem, na forma de pequenas gotículas, em uma corrente de ar quente para obtenção de um pó (CARIĆ et al., 2009). Quando um produto é colocado em uma corrente de ar com baixa umidade relativa (pressão de 1554 Pa) e temperatura elevada (em média 200 ºC), espontaneamente é formada uma diferença de temperatura e pressão parcial da água entre o alimento e o ar, consequentemente, ocorrerá uma transferência de energia na forma de calor do ar para o produto e uma transferência de água do produto para o ar como mostrado na Figura 1 (SCHUCK et al., 2010). As pequenas gotículas formadas e a grande área superficial das mesmas levam a uma rápida evaporação da água, a uma temperatura relativamente baixa, o que minimiza os danos térmicos ao produto (SCHUCK, 2002).

Segundo Patel et al. (2009), a secagem por atomização envolve algumas etapas principais: a concentração do produto antes da etapa de secagem; a atomização, que cria condições ótimas para evaporação da água do produto; o contato entre a gotícula do produto formada durante a atomização e o ar quente de secagem; a secagem e por último, a etapa de separação do pó produzido. A etapa de atomização é de grande importância na operação de secagem, na qual ocorre a formação de gotículas a partir de um líquido, aumentando a área de troca entre o produto e o ar quente (CAL; SOLLOHUB, 2010). As principais funções da atomização são produzir gotículas do produto com grande relação superfície-massa, que resulta em elevada taxa de evaporação e produz partículas com tamanho, densidade e forma desejadas (SCHUCK, 2009). Segundo Schuck (2009), esta etapa de atomização é diretamente responsável por algumas vantagens apresentadas na secagem em spray dryer: o curto tempo de secagem das gotículas do produto e de retenção das partículas em um ambiente com alta temperatura e, além disso, a produção do pó desejado, a partir de um determinado líquido, com grande estabilidade de armazenamento e transporte.

A secagem por atomização pode ser realizada em um único estágio ou em múltiplos estágios. Na secagem em um único estágio, a evaporação da água do produto até alcançar o teor de umidade final acontece apenas na câmara de secagem. O tempo de processamento nesta câmara de secagem é

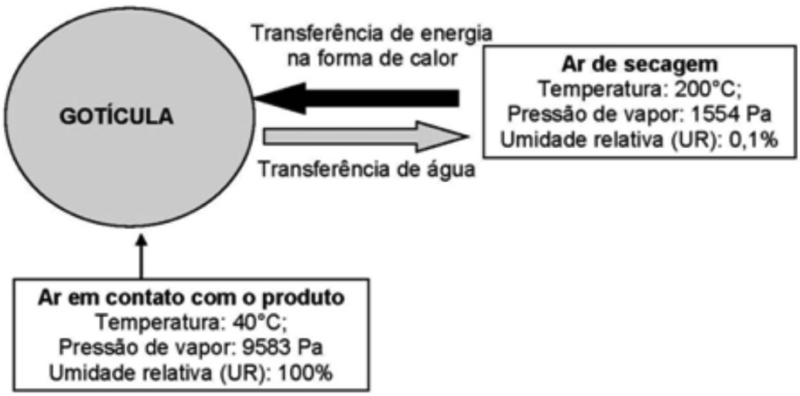


Figura 1 – Princípio de secagem por atomização (Schuck, 2010)

muito curto, em média, de 20 a 60 segundos. Desta forma, não existe um tempo de residência suficiente para obter um verdadeiro equilíbrio entre a umidade do produto e do ar. Assim, a temperatura do ar de saída é maior e a eficiência térmica é reduzida (CARIĆ et al., 2009; SCHUCK, 2009).

Um avanço significativo foi alcançado com a secagem em dois estágios, em que o processamento do produto é realizado em um período de tempo maior, até alguns minutos, promovendo portanto um maior equilíbrio termodinâmico. Isso envolve uma considerável redução na temperatura do ar de saída (para aumentar o conteúdo de umidade do pó) e também um aumento na temperatura do ar de entrada e da taxa de fluxo do pó, sem o risco de desnaturação térmica devido ao aumento do conteúdo de umidade do pó durante este primeiro estágio (proteção térmica) (SCHUCK, 2009). Para obtenção de um teor de umidade residual requerida, a secagem final ocorre em um leito fluidizado externo vibrante, onde a temperatura de tratamento é menor que na secagem em um único estágio, contribuindo para melhor qualidade do pó.

A secagem em unidades com mais de um estágio nos mostra como reduzir os custos de secagem e melhorar o desempenho das unidades: transferindo a maior parte da secagem da fase de "atomização" para a fase de "fluidização" (SCHUCK, 2002). Segundo Schuck (2009), o sistema de secagem em três estágios é o maior progresso realizado na área de secagem por atomização, dominando atualmente a indústria de produtos lácteos em pó. Esse sistema combina todas as vantagens estendidas da secagem em dois estágios, usa a secagem por atomização em um primeiro estágio, a secagem em um leito fluidizado estático como um segundo estágio e a secagem em um leito fluidizado externo vibratório como terceiro estágio. Para as unidades de secagem de três estágios, aproxima-se o meio do equilíbrio termodinâmico. Devido à melhora do rendimento térmico, a temperatura de entrada deste sistema pode ser mais elevada, sendo que, ao contrário, a temperatura de saída é mais baixa.

A tecnologia de separação por membrana tem encontrado muitas aplicações, tanto nas indústrias químicas e farmacêuticas e na área médica, como nas indústrias agroalimentares, podendo ser usada para garantir desde a potabilidade da água a partir da água do mar, até o fracionamento, concentração e purificação de soluções (BRANS et al., 2004; HABERT et al., 2006).

Dentre as indústrias alimentícias, a indústria de laticínios apresentou maior introdução das tecnologias de membrana, tais como microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR) (CARVALHO; MAUBOIS, 2010). O processamento de soro de leite representa um dos primeiros campos de aplicação desta tecnologia na indústria de lácteos (BALDASSO, 2008). O mecanismo de separação ocorre devido à influência de alguns parâmetros, como: composição da membrana, configuração do equipamento, superfície da membrana, classificação da membrana (MF, UF, NF e OR), temperatura, pressão e condição de escoamento do fluido (HABERT et al., 2006). As operações de separação com membranas podem ser classificadas quanto ao tipo de membrana utilizada na separação, quanto ao princípio de operação, quanto aos fenômenos envolvidos ou com base na força motriz promotora da separação (HABERT et al., 2006). As operações que têm a diferença de pressão como força motriz, são muito utilizadas para concentração, fracionamento e purificação de soluções diluídas. Em função da natureza e do tipo de soluto e da presença ou não de partículas em suspensão, membranas com diferentes tamanhos e distribuição de poros, ou mesmo densas, são utilizadas caracterizando as operações conhecidas como MF, UF, NF e OI (OLIVEIRA et al., 2006). Essas quatro operações são as mais

utilizadas nas indústrias de laticínios (CARVALHO; MAUBOIS, 2010) e utilizam da microfiltração à osmose inversa, meios filtrantes com poros cada vez menores e com isso, pressões cada vez maiores (HABERT et al., 2006). A tecnologia de membranas é uma escolha adequada para o fracionamento de componentes do leite, pois muitos deles podem ser separados por diferença de tamanho (BRANS et al., 2004).

A MF, assim como as outras operações, permite a concentração diferencial no líquido retido pela membrana (retentado) que contém componentes com tamanho maior que o diâmetro dos poros da membrana (CARVALHO; MAUBOIS, 2010). A operação utiliza membranas porosas com diâmetro médio de poros na faixa de 0,1 a 10 µm, sendo indicado para retenção de materiais em suspensão e emulsões. A MF do leite permite a retenção de células somáticas, glóbulos de gordura, bactérias e micelas de caseína. As pressões empregadas como força motriz são pequenas e dificilmente ultrapassam 3 bar, já que utilizam membranas com poros maiores (HABERT et al., 2006).

A UF é utilizada para a retenção de macromoléculas e colóides presentes em uma solução. As membranas utilizadas apresentam poros de diâmetro na faixa entre 0,01 e 0,1 µm. Como os poros das membranas de UF são menores, é necessária uma maior força motriz para obtenção de fluxos permeados elevados. Por isso, as diferenças de pressão através da membrana variam na faixa de 2 a 10 bar (HABERT et al., 2006). As membranas comerciais de UF são especificadas através da sua massa molar de corte (MMC), que é definida como a massa molar para a qual a membrana apresenta retenção igual ou maior a 90%, cuja unidade mais utilizada é o Dalton (Da).

A NF também é uma operação que possui gradiente de pressão como força motriz e utiliza membranas com poros de tamanho médio de 1 nm. Nesta operação, a lactose e todos os outros componentes do leite são retidos, o que permite a permeação de íons monovalentes solúveis e água (CARVALHO; MAUBOIS, 2010). Já as membranas usadas na OR retêm solutos de tamanhos inferiores a 1 nm e possuem uma massa molar de corte de aproximadamente 100 Da, sendo densas, ou seja, sem poros. A operação envolve pressões, em média, cinco a dez vezes superiores às utilizadas na ultrafiltração, sendo empregada em indústrias de laticínios para concentrar o leite ou soro de leite por eliminação de água e sais minerais (HABERT et al., 2006). Essa tecnologia de separação por membranas é amplamente utilizada nas indústrias alimentícias em substituição as técnicas convencionais de concentração, separação e clarificação (BALDASSO, 2008). Isso acontece devido a algumas vantagens apresentadas por esta tecnologia, tais como: economia de energia, visto que a maioria das operações de separação por membrana acontece sem que ocorra mudança de fase; alta seletividade; simplicidade de operação e escalonamento, por se tratarem de sistemas modulares. Esta tecnologia também cobre um amplo espectro de tamanho, que varia ao longo de várias ordens de magnitude, desde íons a partículas, partículas, como os glóbulos de gordura ou células bacterianas. Permite a separação de compostos termolábeis, já que utiliza temperaturas relativamente baixas, o que reduz as modificações sensoriais e nutricionais, resultando em produtos de maior qualidade (HABERT et al., 2006; GOULAS; GRANDISON, 2008; SAXENA et al., 2009).

Segundo Brans et al. (2004), a MF reduz a concentração de bactérias e esporos bacterianos no leite, aumentando a vida útil do produto, sem afetar o seu sabor. Além disso, pode promover a separação dos glóbulos de gordura do leite que possuem diâmetro entre 0,1 e 15 µm. Com o uso de membranas cerâmicas com poro de tamanho 1,4 µm pode se alcançar um fator de redução decimal de bactéria e esporos acima de 3,5. Este tipo de tratamento pode ser usado para eliminação

dos problemas como o estufamento tardio em queijos duros (DIAS, 2011). A MF também pode ser utilizada na indústria de laticínios para remoção de gordura do soro de leite e tratamento de salmouras (CORREIA et al., 2011). Rektor;Vatai (2004) utilizaram operações de separação por membranas para processamento de soro obtido da produção de queijo tipo mussarela. Esses autores usaram MF para reduzir o número de bactérias do ácido láctico e de outros microrganismos presentes no soro. Os autores constataram 99,99% de retenção dos microrganismos pela membrana, resultado que permitiu afirmar que a MF é eficiente para melhoria da qualidade microbiológica do soro de leite. Cianci et al. (2005); Castro et al. (2007) também demonstraram que é possível a aplicação das membranas de MF na indústria de alimentos para clarificação de suco. A UF pode ser utilizada na indústria de laticínios para concentração de proteínas do soro de leite, para obtenção de *WPC* e *WPI* e de algumas frações concentradas, como α-La e β-Lg (POULIOT, 2008). Além disso, essa operação pode ser aplicada na fabricação de queijos, para pré-concentração do leite, o que permite aumentar o rendimento na produção pela incorporação de proteínas do soro e outros componentes do leite na matriz do produto (MISTRY; MAUBOIS, 2004; CARVALHO; MAUBOIS, 2010). Esse processo foi proposto por Maubois et al. (1969) e leva à concentração diferencial dos principais elementos do leite, matéria graxa e proteínas. A técnica tem como principal característica o uso direto do retentado obtido pela UF do leite na fabricação de queijos, dispensando a etapa de dessoragem e o trabalho da massa nos tanques de fabricação, sendo uma alternativa para a produção de queijos. O processo foi patenteado e ficou conhecido mundialmente como MMV, iniciais dos sobrenomes de seus idealizadores, Maubois, Mocquot e Vassal. A possibilidade de utilização da UF para pré-concentrar o leite foi uma ideia muito atrativa e tem sido continuamente explorada para produção de uma grande variedade de queijos com diferentes variações tecnológicas (HENNING et al., 2006). Ribeiro et al. (2009) desenvolveram um queijo tipo Minas Frescal probiótico a partir de retentados de UF de leite, com grande potencial como alimento probiótico. Segundo os autores, a produção do queijo por meio do uso de retentados da UF de leite resulta em maior rendimento e confere à massa textura mais sólida e fechada, além de maior vida útil e padronização do sabor. A UF permite também fracionamento de proteínas com tamanho muito semelhante, como demonstrado por Cheang; Zydney (2004). Esses pesquisadores analisaram a utilização de um sistema de filtração tangencial de dois estágios para purificação de α- La e β-Lg a partir de isolado proteico de soro. A NF é frequentemente utilizada para a concentração e desmineralização parcial do permeado da ultrafiltração de leite ou soro de leite (ATRA et al., 2005; SUÁREZ et al., 2006).

De acordo com Martinez-Ferez et al. (2006), a NF pode ser usada para a produção de derivados de lactose, como os oligossacarídeos do leite de cabra. Um concentrado com mais de 80% em oligossacarídeos pode ser obtido por meio da filtração tangencial, com dois estágios com membranas cerâmicas de UF e NF. Estes oligossacarídeos podem ser uilizados em formulações de produtos para crianças a fim de diminuir a propensão a doenças.

A OR é utilizada na dessalinização, no reuso e no tratamento de águas (CORREIA et al., 2011) Além disso, é possível a utilização desta operação para concentração de suco anteriormente clarificado por MF (CIANCI et al., 2005).

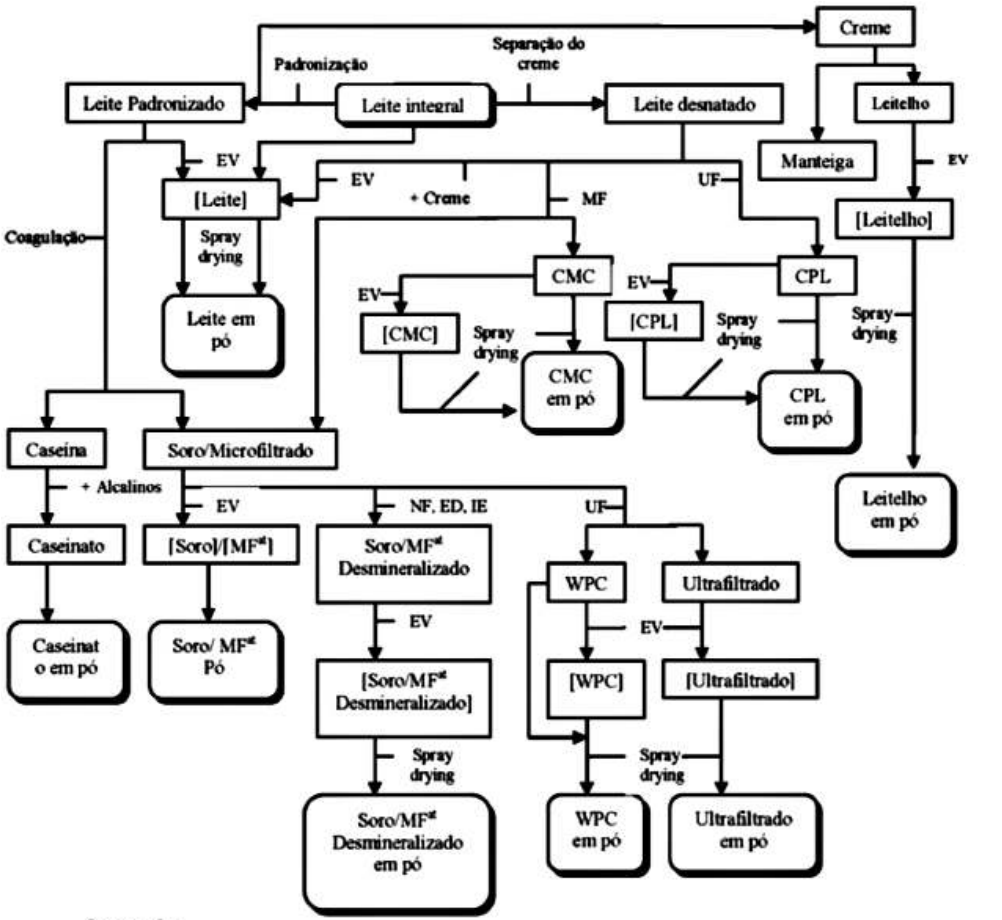
A Figura 2 ilustra as principais tecnologias empregadas na produção de lácteos desidratados, no qual se destaca algumas tecnologias de membranas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de soro na indústria de laticínios torna-se possível por meio da aplicação de diferentes tecnologias de separação por membranas e da secagem por atomização. Essas técnicas permitem a obtenção de produtos lácteos diferenciados com elevado valor de mercado, com destaque para as bebidas energéticas proteicas, os concentrados proteicos, os isolados proteicos e também a obtenção das frações proteicas do soro isoladas.

REFERÊNCIAS

AIMUTIS, W. R. Bioactive properties of milk proteins with particular focus on



Legenda:
[ ]: Concentração a vácuo; CMC: Concentrado de micelas de caseína; WPC: Concentrado de proteínas solúveis; CPL: Concentrado de proteínas do leite; ED: Eletro dialise; IE: Troca iônica; EV: Evaporação à vácuo; MF: Microfiltração 0,1 µm; MFst: Microfiltrado; NF: Nanofiltração; UF: Ultrafiltração.

Figura 2 – "Cracking" do leite (Schuck, 2002)

anticariogenesis.**The Journal of Nutrition**, v. 134, n. 4, p. 989-995, 2004.

ATRA, R. et al. Investigation of ultra and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. **Journal of Food Engineering**, v. 67, n. 3, p. 325-332, 2005.

BALDASSO, C. **Concentração, purificação e fracionamento das proteínas do soro lácteo através da tecnologia de separação por membranas**. 2008. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2008.

BALDASSO, C. ; BARROS, T. C.; TESSARO, I. C. Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. **Desalination**, v. 278, n. 1-3, p. 381-386, 2011.

BAUMAN, D. E. et al. Major advances associated with the biosynthesis of milk. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 4, p. 1235-1243, 2006.

BRANS, G. **Design of membrane systems for fractionation of particles suspensions**. 2006. 146 p. PhD Thesis – Wageningen University, Netherlands, 2006.

BRANS, G. et al. Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. **Journal of Membrane Science**, v. 243, n. 2, p. 263-272, 2004.

CAL, K.; SOLLOHUB, K. et al. Spray Drying Technique. I: Hardware and Process Parameters. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 99, n. 2, p. 575-586, 2010.

CANCINO, B. et al. Whey concentration using microfiltration and ultrafiltration. **Desalination**, v. 200, n. 3, p. 557-558, 2006.

CARIĆ, M. et al. Technology of evaporators, membrane processing and dryers. In: TAMIME, A. Y. **Dairy powders and concentrated products**. 1 ed. Chichester: Blackwell, 2009. cap. 3, p. 99-148.

CARVALHO, A. F.; MAUBOUIS, J. L. Applications of membrane technologies in the dairy industry. In: COIMBRA, J. S. R.; TEIXEIRA, J. A. **Engineering aspects of milk and dairy products**. Boca Raton: CRC Press, 2010. cap. 3, p. 33-57.

CASTRO, T. R. et al. Obtenção de suco clarificado de caju (Anacardiumoccidentali, L) utilizando processos de separação por membranas. **Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p. 164-168, 2007.

CHEANG, B.; ZYDENEY, A.L. A two-stage ultrafiltration process for fractionation of whey protein isolate. **Journal of Membrane Science**, v. 231, n. 1-2, p. 159-167, 2004.

CIANCI, F. C. et al. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 579-583, 2005.

CORREIA, L. F. M.; MAUBOUIS, J. L.; CARVALHO, A. F. Aplicações de membranas na indústria de laticínios. **Revista Indústria de Laticínios**, v. 15, p. 74-78, 2011. Disponível em: <http://www.revistalaticinios.com.br/materias/revista-il-90/13_TecnologiadeMembranas_Revista%20IL%2090.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2012.

CROGUENNEC, T. Interfacial and foaming properties of sulfydryl-modified bovine β-lactoglobulin.**Journal of Colloid and Interface Science**, v. 302, n. 1, p. 32-39, 2006.

DIAS, G. **Microfiltração como alternativa na produção de queijos com olhaduras e utilização da fase aquosa para avaliação de suas características físico-químicas**. 2011. 101p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

EDWARDS, P. B. et al. Structure and stability of whey proteins. In: THOMPSON, A.; BOLAND, M.; SINGH, H. **Milk proteins**: from expression to food. New York: Elsevier, 2009. 535 p.

GERNIGON, G., SCHUCK P., JEANTET, R. Processing of mozzarella cheese wheys and stretchwaters: a preliminary review. **Dairy Science and Technology**, v. 90, n. 1, p. 27-46, 2010.

GIRALDO-ZUÑIGA, A. D. Tecnologias aplicadas ao processamento do soro de queijo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 59, n. 340, p. 53-66, 2004.

GOULAS, A.; GRANDISON, A. S. Applications of membrane separation. In: BRITZ, T. J.; ROBINSON, R. K. **Advanced dairy science and technology**. London: Blackwell Publishing, 2008. p. 35-74

GUIMARÃES, P. M. R., TEIXEIRA, J. A.; DOMINGUES, L. Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the v alorisation of cheese whey. **Biotechnology Advances**, v. 28, n. 3, p. 375-384, 2010.

HABERT, A. C. **Processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro: e-papers, 2006. 180p.

HARAGUCHI, F. K.; ABREU, W. C. de; PAULA, H. de. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 479-488, 2006.

HENNING, D. R. et al. Major advances in concentrated and dry milk products, cheese and milk fat-based concepts. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 4, p. 1179-1188, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Tabela 1 – Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e a descrição dos produtos – Brasil – 2010a. Rio de Janeiro, 2010a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2010/defaulttabpdf.shtm>. Acesso em: 10 dez. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Tabela 6 – Produção de leite no período de 01.01 a 31.12, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação – 2010b. Rio de Janeiro, 2010b. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2012.

MARSHALL, K. Therapeutic applications of whey protein. **Alternative Medicine Review**, v. 9, n. 2, p. 136-156, 2004.

MARTINEZ-FEREZ, A. et al. Goats'milk as a natural source of lactose-derived oligosaccharides: Isolation by membrane technology. **International Dairy Journal**, v. 16, n. 2, p. 173-181, 2006.

MAUBOIS, J. L.; MOCQUOT, G.; VASSAL, L. **Procédé de traitement du lait et de sous produits laitières**. Patent Française, FR 2052121, 18 jul. 1969.

METSÄMUURONEN, S; NYSTYÖM, M. Enrichment of α-lactalbumin from diluted whey with polymeric ultrafiltration membranes. **Journal of Membrane Science**, v. 337, n. 1-2, p. 248-256, 2009.

MINISTÉRIO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO (MDIC). Aliceweb – Exportação/Importação. Disponível em: <http://aliceweb.mdic.gov.br/default.asp> Acesso em: 14 nov. 2012.

MISTRY, V. V.; MAUBOIS, J. L. Application of membrane separation technology to cheese production. In: FOX, P. F. (ed.) **Cheese:** chemistry, physics and microbiology. London: Chapman & Hall, 2004. Vol. 1, p. 261-285.

MORIN, P. et al. Microfiltration of Buttermilk and Washed Cream Buttermilk for Concentration of Milk Fat Globule Membrane Components. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 5, p. 2132-2140, 2007.

NARONG, P.; JAMES, A. E. Efficiency of ultrafiltration in the separation of whey suspensions using a tubular zirconia membrane. **Desalination**, v. 219, n. 1-3, p. 348-357, 2008.

OLIVEIRA, R. C. et al. Estudo do mecanismo de fouling em vinho e cerveja. **Iniciação Científica CESUMAR**, v. 8, n. 1, p. 97-104, 2006.

PABOEUF, V. et al. Processo de fabricação de ricota por ultrafiltração. **Revista Indústria de Laticínios**, v. 16, n. 92, p. 144-146, 2011.

PATEL, R. P.; PATEL, M. P.; SUTHAR, A. M. Spray drying technology: an overview. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 2, n. 10, p. 44-47, 2009.

POULIOT, Y. Membrane processes in dairy technology-from a simple idea to worldwide panacea. **International Dairy Journal**, v. 18, n. 7, p. 735-740, 2008.

PRAZERES, A. R.; CARVALHO, F; RIVAS, J. Cheese whey management: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 110, p. 48-68, 15 nov. 2012.

REKTOR, A.; VATAI, G. Membrane filtration of Mozzarella whey. **Desalination**, v. 162, p. 279-286, 19 mar. 2004.

REZAEI, H.; ASHTIANI, F.; FOULADITAJAR, A. Effects of operating parameters on fouling mechanism and membrane flux in cross-flow microfiltration of whey. **Desalination**, v. 274, n. 1-3, p. 262-271, 2011.

RIBEIRO, E; SIMÕES, L; JURKIEWICZ, C. Desenvolvimento de queijo minas frescal adicionado de *Lactobacillus acidophilus* produzido a partir de retentados de ultrafiltração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n.1, p. 19-23, 2009.

SAXENA, A. et al. Membrane-based techniques for the separation and purification of proteins: An overview. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 145, n. 1-2, p. 1-22, 2009.

SCHUCK, P. Spray drying of dairy products: state of the art. **Le Lait**, v. 82, n. 4, p. 375-382, 2002.

SCHUCK, P. Understanding the factors affecting spray-dried dairy powder properties and behaviour. In: CORREDIG, M. **Dairy-derived ingredients:** food and nutraceutical uses. Boca Raton: CRC, 2009. p. 24-50.

SCHUCK, P.; JEANTET, R.; CARVALHO, A. F. **Lactose crystallization and drying of whey**. Viçosa, MG: UFV, 2010. Curso ministrado na disciplina TAL 795 Ciência e Tecnologia de Leite e Derivados.

SGARBIERI, V. C. Propriedades fisiológicas-funcionais das proteínas do soro de leite. **Revista de nutrição**, v. 17, n. 4, p. 397-409, 2004.

SUÁREZ, E. et al. Partial desmineralization of whey and milk ultrafiltration permeate by nanofiltration at pilot-plant scale. **Desalination**, v. 198, n. 1-3, p. 274-281, 2006.

UNITED STATES DAIRY EXPORT COUNTIL (USDEC). Dairy Ingredients Application Library – WPC &WPI. Disponível em: <http://www.usdec.org/Library/DIAL.cfm>. Acesso em: 20 fev. 2014.

WALSTRA, P. et al. **Dairy science and technology**. New York: Taylor & Francis Group, 2006. 768 p.

YADA, R. Y. **Protein in food processing**. England: Woodhead Publishing, 2004. 689 p.