

Artigo de revisão**OSMOSE REVERSA NA PRODUÇÃO DE LEITE CONDENSADO:
UMA POSSIBILIDADE TECNOLÓGICA****Sweetened condensed milk production by applying osmosis reverse:
a tool for the technology***Paula Nunes MENDES¹**Marco Antônio Moreira FURTADO²**Ítalo Tuler PERRONE^{3*}***RESUMO**

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sobre as tecnologias de produção do leite condensado e de concentração do leite por membranas de osmose reversa. Diferentes aspectos destas tecnologias foram apresentados: mercado de leite condensado, proteínas lácteas, concentração do leite, regulamentações sobre leite condensado, adição de açúcar, filtração por membranas e osmose reversa. Estas duas tecnologias podem ser acopladas objetivando a redução dos gastos com a evaporação durante a produção do leite condensado.

Palavras-chave: evaporação; separação por membranas; tecnologia.

ABSTRACT

The objective of this work was to show a review focused on sweetened condensed milk technology and on reverse osmosis milk concentration. Different aspects of these technologies have been showed: sweetened condensed milk market, milk proteins, milk concentration, sweetened condensed milk regulations, sugar addition, membrane filtration and reverse osmosis. The use of both technologies can reduce evaporation costs in sweetened condensed milk production.

Keywords: evaporation, membrane separation, technology

1 INTRODUÇÃO

O leite condensado é um dos principais produtos lácteos concentrados produzidos nas indústrias de laticínios, tendo sua produção iniciada em 1856 por Gail Borden (RENHE et al., 2011).

Apresentou importante papel na redução da mortalidade infantil nos Estados Unidos e atualmente na América do Sul é produzido principalmente pelo Peru, Brasil e pelo Chile. A tecnologia de produção sofreu aperfeiçoamentos desde a origem do produto, sendo pontos determinantes a

1 Mestre em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, Laticínios Flórida, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. E-mail: paulamendes2003@yahoo.com.br.

2 Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Professor da Faculdade de Farmácia da UFJF, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. E-mail: marcoantoniofurtado@yahoo.com.br

3 Doutor em Tecnologia de Alimentos. Professor da Universidade Federal de Viçosa no Departamento de Tecnologia de Alimentos, Avenida Peter Henry Rolfs S/N, Campus Universitário, CEP 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Email: italo.perrone@ufv.br

* Autor para correspondência: Universidade Federal de Viçosa no Departamento de Tecnologia de Alimentos, Avenida Peter Henry Rolfs S/N, Campus Universitário, CEP 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Email: italo.perrone@ufv.br

padronização do leite, a intensidade dos tratamentos térmicos aplicados, o controle da atividade de água final e a cristalização da lactose.

2 MERCADO DE LEITE CONDENSADO

A produção de leite condensado mudou consideravelmente em sua distribuição geográfica durante as últimas três décadas. A produção mundial, que, na década de oitenta, foi dominada pela União Européia, Estados Unidos e a ex-União Soviética agora está muito mais dispersa, com contribuições significativas no Extremo Oriente (Malásia, Tailândia, Cingapura e China) e América do Sul (Brasil, Peru e Chile). A FAO estimou a produção mundial de 2009 em cerca de 4,7 milhões de toneladas (IDF, 2010). De acordo com dados coletados entre os Comitês da International Dairy Federation IDF Nacional e outros entrevistados, a produção de leite condensado vem diminuindo em alguns países e com pequenos aumentos em outros, como apresentado na Tabela 1.

A indústria nacional de laticínios vem aumentando significativamente sua produção nos últimos anos, incentivada pelo aumento das exportações que passaram de sete milhões de

toneladas em 1996 para 142 milhões em 2008, sofrendo queda em 2009, para 64 milhões de toneladas, ainda assim com aumento de 814 % em relação ao início da avaliação. O número de indústrias que produzem leite condensado vem aumentando, não somente as de grande porte com maiores volumes, mas as de médio porte, ampliando a linha de produtos, fato observado nas várias novas marcas encontradas no mercado. Muitas delas adaptando equipamentos antes utilizados para outros produtos, como leite em pó ou adquirindo equipamentos de empresas nacionais ou multinacionais.

3 PROTEÍNAS DO LEITE

O leite bovino contém diversos compostos nitrogenados, dos quais aproximadamente 95% ocorrem como proteínas e 5% como compostos nitrogenados não protéicos. Em torno de 80% do nitrogênio protéico do leite constitui-se de nitrogênio caseínico e 20% de nitrogênio não caseínico (WALSTRA; JENNESS, 1984). O aquecimento do leite desnatado até que a maioria das proteínas do soro sejam desnaturadas pela temperatura elevada aumenta a viscosidade em,

Tabela 1 – Produção de leite condensado no mundo.

País	2008	2009	Variação (%)
União Européia-27	1.142	1.104	- 3,4
Alemanha	416	421	+ 1,2
Holanda	342	320	- 6,5
Reino Unido	110	104	- 5,1
Bélgica	90	87	- 3,8
Espanha	46	47	+ 0,9
Polônia	37	38	+ 2,7
Grécia	24	23	- 5,4
Lituânia	30	21	- 29,5
França	12	12	+ 0,5
Suécia	4	2	- 41,0
Outros	12	11	- 5,1
América do Sul			
Peru	389	360	- 7,5
Brasil	290	300	+ 3,4
Chile	42	33	- 19,8
Argentina	7	6	- 15,9
Ásia			
China	173	160	- 7,6
Japão	44	46	+ 3,2
República da Coreia	4	4	0,0
América Central			
México	162	162	0,0
Oceania			
Austrália	19	19	0,0

Fonte: Adaptada de IDF (2010).

aproximadamente, 10%, devido a uma ligeira agregação protéica. Mas, quando primeiro se concentra o leite e depois o aquece, o aumento da viscosidade (aparente) é muito maior que no leite concentrado após o aquecimento (WALSTRA; JENNESS, 1984). A caseína é muito estável a altas temperaturas, podendo-se aquecer o leite a 100°C por 24 horas sem coagulação e também é resistente a um tratamento de 140°C por 20 minutos. Mas tais tratamentos causam algumas alterações no leite, como produção de ácido a partir da lactose, resultando em queda do pH e alterações no equilíbrio salino, que eventualmente causam a precipitação da caseína (FOX; McSWEENEY, 1998). Vários modelos são encontrados na literatura para representar as micelas de caseína. Nos últimos anos tem ganhado suporte a estrutura proposta por WALSTRA (1999), com as seguintes características: a) a micela apresenta-se essencialmente esférica, contudo sua superfície não se apresenta lisa; b) é formada de unidades menores denominadas submicelas, contendo principalmente caseína, mas apresenta composição mista; c) as submicelas variam em composição, existindo particularmente dois tipos principais, isto é, um tipo formado pelas caseínas α s e κ -caseínas e outro formado pelas caseínas α s e β -caseínas; d) as submicelas parecem permanecer ligadas por aglomerados (clusters) de fosfato de cálcio; e) dessa forma, as submicelas se agregam até a formação completa da micela, em que a κ -caseína se posiciona na superfície da micela; f) a porção C-terminal da caseína κ (glicopeptídeo) projeta-se para fora da superfície da micela, formando uma camada esponjosa que previne, por repulsões estéricas e eletrostáticas, qualquer agregação posterior de submicelas.

4 CONCENTRAÇÃO DO LEITE

O uso de leite concentrado para fabricação de derivados lácteos já vem sendo estudado há anos, principalmente com o intuito de redução de custos, com o uso de coelho, sal e corantes, para a produção de queijos, sendo em sua maior parte concentrados por ultrafiltração (KOSIKOWSKI, 1973). Para fabricação de requeijão cremoso com uso de leite ultrafiltrado, é possível a obtenção de produto com características semelhantes ao produzido pelo processo tradicional. O requeijão cremoso obtido a partir de leite ultrafiltrado com extrato seco total entre 37,2 e 38,1% apresentou melhor resultado final quanto a caracterização do produto e aos atributos físico-químicos – extrato seco total, gordura, pH e nitrogênio total (NEVES; DUCRUET, 1988). A concentração do leite aumenta sua densidade, acarretando também no aumento de refração e na redução da condutividade

térmica. Quanto menor é a atividade de água, maior é a dependência relativa da temperatura: mais energia é requerida para eliminar a água do produto (WALSTRA; JENNESS, 1984). Estas informações indicam que é exigida maior energia para a evaporação da água e para a obtenção do teor final de umidade desejado na produção do leite condensado, principalmente nas etapas finais da concentração. Assim, quanto menor a resistência térmica das micelas de caseína, maior a possibilidade de precipitação do produto final.

5 LEITE CONDENSADO – REGULAMENTAÇÕES

O leite condensado açucarado é definido pelo *Codex Alimentarius* (1971) como o produto obtido por eliminação parcial da água do leite e adição de açúcar, ou mediante qualquer outro procedimento que permita obter um produto da mesma composição e características (Gordura do leite – mínimo 8%; Extrato Seco do leite – mínimo 28%; Proteínas do leite no Extrato Seco Desengordurado – mínimo 34%). O conteúdo de gordura e/ou proteína poderá ser ajustado, para cumprir os requisitos de composição, mediante adição ou extração dos constituintes do leite, de maneira que não se modifique a proporção entre proteína do soro e caseína do leite a ser ajustado. No Brasil define leite condensado ou leite condensado com açúcar, “o produto resultante da desidratação em condições próprias do leite adicionado de açúcar, sendo fases da fabricação a seleção do leite, padronização dos teores de gordura e de sólidos totais, pré-aquecimento, adição de xarope (solução de sacarose ou glicose), condensação, refrigeração, cristalização e enlatamento”. Do ponto de vista de especificações a legislação brasileira em vigor estipula que o leite condensado deve apresentar características organolépticas próprias, apresentar acidez em ácido láctico, entre 0,08 e 0,16g% (oito e dezesseis centigramas por cento), quando na diluição de uma parte do produto para 2,5 (duas e meia) partes de água. Deve também apresentar na reconstituição, em volume, uma parte do leite para 2,25 (duas e vinte e cinco centésimos) partes de água, teor de gordura que atinja o limite do padrão de leite de consumo correspondente, tendo 28% (vinte e oito por cento), no mínimo, de extrato seco total do leite e, no máximo, 45% (quarenta e cinco por cento), de açúcar, excluída a lactose. O termo desidratação pode ser substituído por evaporação, pois o objetivo é aumentar a concentração do teor de sólidos, e não secar o produto. Na fabricação de leite condensado não ocorre uma etapa de condensação do produto. O produto final sofre um processo de remoção de calor, para que atinja a temperatura ambiente, ou seja, não ocorre um processo de refrigeração,

sendo a palavra resfriamento mais adequada para a descrição do processo.

ADIÇÃO DE AÇÚCAR

O açúcar utilizado para a fabricação do leite condensado é a sacarose, recomendada, principalmente, por não ser açúcar redutor, ou seja, não favorece a reação de Maillard. Esta reação ocorre entre açúcares redutores e grupamentos amina, sendo um processo de escurecimento não enzimático que produz um rearranjo complexo de açúcar-proteína que influencia a cor e sabor do produto (BRIÃO et al., 2011). A sacarose é um dissacarídeo, formado por uma molécula de glicose uma de frutose em ligação α -1,2, comercialmente extraída da cana-de-açúcar ou da beterraba. Forma soluções altamente concentradas, de elevado poder osmótico (efeito preservativo e umectante) e tem função crioprotetora em alimentos (OETTERER et al., 2006). Vanden Berg (1962) citando Hunziker (1949) recomenda o uso da sacarose granulada para a preparação de produtos enlatados. Diz ainda que a presença de glicose torna o produto mais suscetível ao escurecimento e espessamento durante a estocagem, especialmente em altas temperaturas. A lactose, principal carboidrato do leite da maioria das espécies de mamíferos, é um dissacarídeo redutor, composto de galactose e glicose ligados por uma ligação uma β -1,4-glicosídica. Sua concentração varia de 4,5 a 5,0 %m/v, eo leite é a única fonte conhecida significativa de lactose (MCSWEENEY; FOX, 2009). A cristalização da lactose tem grande importância prática, pois alguns produtos concentrados podem sofrer este processo (WALSTRA; JENNESS, 1984), podendo se tornar um defeito na fabricação, quando ultrapassam o tamanho que pode ser percebido ao paladar – 16 μ m (HOLSINGER, 1997). Segundo Jancic; Grootcholten (1984, citado por PERRONE, 2008), o processo no qual pequenos agregados cristalinos estáveis se formam na solução é chamado de nucleação, e é dividida em duas etapas: nucleação primária (um número de partículas em fluxo, de tamanho superior ao limite crítico, é gerado, em sua maioria, em regiões de elevada supersaturação, como os redores das superfícies de resfriamento e nas zonas de ebulição) e nucleação secundária (uma quantidade de partículas geradas, como resultado da presença do crescimento de cristais matrizes, induz a formação de novos cristais). O solvente e a presença de sais ou sacarose influenciam na solubilidade da lactose, como é o caso do produto estudado. A solubilidade relativa da lactose em soluções com sacarose, a 25°C, como concentração de sacarose de 40% é de 74,5% e de 50% a solubilidade relativa é de 63,0% (NIKERSON; MOORE, 1972). Quando a

concentração de lactose na solução é 2,1 vezes o valor de saturação, produz-se rapidamente a cristalização espontânea, provavelmente porque a nucleação primária é homogênea. Quando a concentração de lactose é menor que 1,6 vezes o valor da saturação, geralmente, é necessário a adição de sementes de cristais para induzir a cristalização (WALSTRA et al., 2001). O teor final de lactose em solução dependerá do teor inicial da lactose e da quantidade de água no produto final. O controle da concentração de sólidos no leite condensado ao final do processo é determinante para uma cristalização adequada. A diminuição da temperatura do produto implica em decréscimo na solubilidade da lactose, favorecendo a cristalização. Esta etapa de resfriamento consiste no abaixamento da temperatura entre 20°C e 28°C, para que ocorra a saturação da lactose na solução, e, adição, sob agitação, de núcleos de cristalização. O resfriamento pode ser realizado em sistemas conhecidos como flash cooler, nos quais o leite condensado entra a uma temperatura superior a de ebulição da água na pressão do equipamento. Desta forma, a energia cinética das moléculas é transformada em energia potencial para a mudança da água do estado líquido para o estado de vapor, e consequentemente a temperatura é reduzida rapidamente. O resfriamento rápido possibilita uma nucleação natural mais intensa, que em conjunto com os núcleos adicionados, possibilita a formação dos cristais de lactose desejados. O processo apresentado é denominado de cristalização forçada ou induzida, microcristalização ou cristalização por nucleação secundária e consiste de 3 ações: resfriamento controlado do leite condensado, adição de núcleos de cristalização (lactose em pó) e agitação constante. Normalmente é empregada alfa lactose em pó como núcleo de cristalização e esta possui tamanho médio entre 1 a 10 μ m. A quantidade de lactose em pó empregada varia de 0,01 a 0,05% sobre a massa de produto a ser cristalizado. A velocidade e a uniformidade da agitação são fundamentais para a homogeneidade dos cristais formados no leite condensado (RENHE et al., 2011).

6 FILTRAÇÃO POR MEMBRANAS

O processo de utilização de membranas teve início no século XVIII. Em 1748 Abbé Nolet usou o termo osmose para descrever a infiltração da água por um diafragma. Somente em 1960 iniciou-se um uso laboratorial e industrial, com uma indústria muito modesta nos Estados Unidos, acarretado principalmente por não ser muito confiável, o processo ainda era muito lento, altamente seletivo e de alto custo. Nos últimos trinta anos apresentaram-se com mais soluções

para o uso das membranas, fato que levou a ampliação no uso pelas indústrias de laticínios (BAKER, 2004). Na década de 50 iniciou-se nos Estados Unidos um projeto de pesquisa em dessalinização de águas que originou algumas descobertas que aumentaram o interesse no uso da filtração por membranas em nível industrial. Membranas homogêneas de acetato de celulose, quando utilizadas para osmose inversa, podiam apresentar retenção salina elevada, por Reid e Breton; e os pesquisadores Loeb e Sourirajan aperfeiçoaram uma técnica de preparo da membrana – técnica de inversão de fase por imersão-coagulação – aumentando muito o fluxo permeado de água, mantendo elevada a retenção de sais (HABERT et al., 2006). As membranas são utilizadas para diversas separações: de misturas de gases e vapores, líquidos miscíveis (misturas de compostos orgânicos e aquosos / misturas orgânicas) e sólido / líquido e dispersões de sólidos dissolvidos e solutos em líquidos. Os principais usos de membrana de separação na indústria são apresentados na Tabela 2.

A indústria de lácteos foi beneficiada com o uso das membranas, tanto para separação de sólido-líquido quanto líquido-líquido, tendo sido desenvolvido em 1969 o primeiro processo de fabricação do queijo Camembert a partir de leite concentrado por ultrafiltração, por Maubois, Macquot e Vassal

(POULIOT, 2008). Nos Estados Unidos o processo é amplamente utilizado nas propriedades produtoras de leite, para redução de custo de transporte da matéria-prima. Como a concentração por membranas é realizada a baixa temperatura, o FDA certificou a tecnologia após uma revisão extensa para garantia de que a concentração do leite não proporcionasse impacto na microbiota do leite. Ao contrário do tratamento convencional, que envolve a recirculação, o leite flui através do sistema de serpentina em uma única passagem, conforme exigido pelo referido órgão. Como o leite não é pasteurizado, o sistema é mantido abaixo de 45°C para evitar o crescimento de micro-organismos patogênicos. A primeira unidade de osmose reversa foi construída e começou a produção comercial em 1997, na cidade de Lake Arthur, Novo México (MERMELSTEIN, 2002). A extração de água do leite através do processo de filtração por membranas traz muitas vantagens para a indústria, não só na redução dos custos de transporte, mas também pela redução do consumo de insumos para o processamento do leite, como energia e vapor, sendo este de maior custo para a indústria. A fase que atravessa a membrana é chamada de permeado e a que se mantém retida pela membrana – enriquecida em um ou mais componentes – trata-se do retentado ou concentrado (LEITE et al., 2006). Em torno de 40% das membranas em uso estão nas indústrias

Tabela 2 – Processos de separação por membranas.

PROCESSO	MATERIAL RETIDO	MATERIAL QUE PERMEIA	APLICAÇÕES
Microfiltração (MF)	Material em suspensão, bactérias. Massa molar. >500kDa (0,01µm)	Água e sólidos dissolvidos.	Esterilização bacteriana; clarificação de vinhos e cervejas; concentração de células; oxigenação de sangue.
Ultrafiltração (UF)	Colóides, macromoléculas. Massa molar > 5.000 Da.	Água (solvente) sais solúveis de baixa massa molar.	Fracionamento / concentração de proteínas, recuperação de pigmentos / óleos.
Nanofiltração (NF)	Moléculas de massa molar. Média 500 < MM < 2.000 Da.	Água, sais e moléculas de baixa massa molar	Purificação de enzimas; bioreatores a membrana.
Osmose Reversa (OR)	Todo material solúvel ou sem suspensão.	Água (solvente).	Dessalinização de águas; concentração de suco de frutas; desmineralização de águas.
Diálise (D)	Moléculas de massa molar > 5.000 Da.	Íons e orgânicos de baixa massa molar.	Hemodiálise; rim artificial; recuperação de NaOH.
Eletrodiálise (ED)	Macromoléculas e compostos não iônicos.	Íons.	Concentração soluções salinas; purificação de águas.
Permeação de Gases (PG)	Gás menos permeável.	Gás mais permeável.	Recuperação de hidrogênio; separação CO ₂ / CH ₄ ; fracionamento do ar.
Pervaporação (PV)	Líquido menos permeável.	Líquido mais permeável.	Desidratação de alcoóis; eliminação de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) da água.

Fonte: Adaptado de HABERT et al. (2006).

de laticínios no mundo, sendo 10% dessas utilizadas para padronização do teor de proteína nos produtos lácteos (DAUFIN et al., 2001). Os tipos de filtração utilizados com maior frequência são ultrafiltração e osmose reversa. A UF é um processo de separação em fase líquida, por permeação, através de uma membrana seletiva que permitem a seleção dos componentes de um líquido em função de seu tamanho molecular, sob ação de um gradiente de pressão (NEVES; DUCRRUET, 1988). Este processo se aplica em concentração de proteínas de soro de leite, desmineralização e concentração de gelatinas e clarificação de sucos de frutas (GEA FILTRATION, 2005). Existem diferentes configurações dos módulos de filtração, como: placa (ultrafiltração e osmose reversa), tubular, à base de polímeros (ultrafiltração e osmose reversa), tubular com base em cerâmica (microfiltração e ultrafiltração), espiral (osmose reversa, nanofiltração e ultrafiltração) e de fibra oca (ultrafiltração) (BYLUND, 1995).

7 OSMOSE REVERSA

A osmose reversa é um processo de desalinização de água utilizando membranas que são permeáveis à água, mas essencialmente impermeável ao sal (BAKER, 2004), sendo utilizado para remoção de água por alta pressão, para concentração de outras soluções com componentes de baixa massa molecular, ou clarificação de efluentes, com alta eficiência energética. Este sistema se diferencia da ultrafiltração pelo tipo distinto de membrana empregado e pela pressão aplicada ser muito maior. Esta membrana não age como um filtro, mas como uma substância onde a água pode dissolver-se e passar por ele, diferente dos solutos. Mas o permeado não é água pura, contendo alguns sais, ácidos orgânicos, ureia e outras moléculas pequenas, mas a perda de substâncias voláteis é muito menor em comparação à evaporação (WALSTRA; JENNESS, 1984). A Figura 1 apresenta uma ilustração de um equipamento, com a composição do painel de controle, bombas, tanques de equilíbrio e módulos de membranas.

A membrana espiral tem a construção compacta e grande área efetiva de membrana por elemento – apresentada na Figura 2 –, tornando-as soluções de alto custo-benefício em aplicações de grande vazão e quantidades mínimas ou nulas de sólidos suspensos, oferecendo baixo investimento e baixo custo com energia (GEA FILTRATION, 2005). O uso de osmose reversa para concentração de leite desnatado em conjunto com concentração por vácuo foi testado em estudo econômico financeiro, mostrando se tratar de um método viável para redução do consumo de energia, comparando-se a mesma taxa de concentra-

ção sendo realizada somente com múltiplo efeito. A redução da exigência de energia foi de 54% (STABILE, 1983). A membrana mais comumente usada para osmose reversa é fabricada em à base de polímeros.

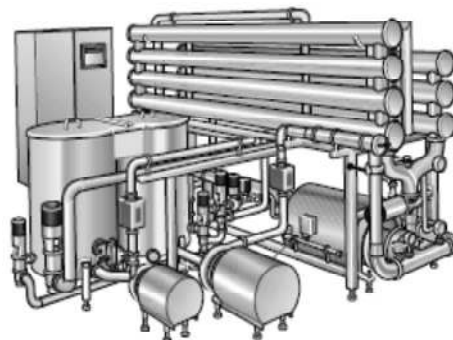


Figura 1 – Módulo de osmose reversa

Fonte: BYLUND (1995).

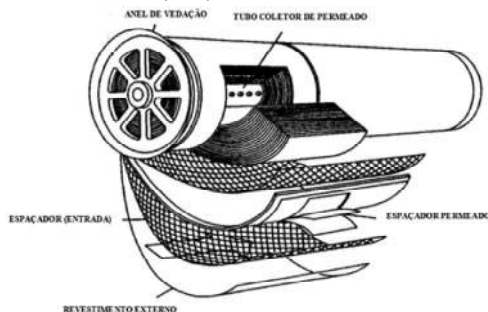


Figura 2 - Construção de cartucho de membrana espiral

Fonte: NOBLE; STERN (1995).

TAMIME (2007) recomenda o uso de membranas de osmose reversa em leite para a fabricação de iogurte e leite em pó, como alternativa ou complementação da concentração a vácuo. Cita ainda seu uso para a padronização de leite para fabricação de leite ultra-alta pasteurizado. O equipamento de filtração por osmose reversa consiste em um sistema de membranas semipermeáveis, por onde passa o produto a ser concentrado, obtendo-se o retentado (leite concentrado) e o permeado. O equipamento funciona a alta pressão, sendo esta gerada por bombas em série. Características detalhadas são apresentadas na Tabela 2. Neste processo é necessária a pasteurização do leite, para que sejam eliminadas

bactérias deteriorantes, que poderiam aumentar suas contagens durante a concentração nas membranas o que, além de favorecer a deterioração do leite também reduz a vida útil das membranas, conforme orientação do fabricante.

A água utilizada para limpeza do equipamento tem um alto custo, não só pelo pagamento à concessionária ou tratamento próprio, quando for o caso, mas devido à exigência de utilização de água desmineralizada para preservação das membranas. Para a desmineralização da água é necessário um sistema de resinas específico (aniônica e catiônica), além do filtro de carvão ativado. Este equipamento necessita também de um tratamento a cada determinado volume – conforme sua capacidade – para a regeneração das resinas e manutenção da qualidade da água.

A aplicação do processo de osmose reversa na produção do leite condensado é realizada como uma pré-concentração do leite, anteriormente a sua entrada em um evaporador a vácuo. Desta forma, há uma considerável diminuição dos custos com a evaporação, uma vez que o consumo de vapor pelos evaporadores será menor. Caric et al. (2009), comparam o processo de concentração de leite empregando um evaporador a vácuo com o de concentração realizado em sistemas por filtração em membranas. Os principais pontos desta comparação são apresentados na Tabela 3.

Conforme os dados apresentados na Tabela 3, a retirada de água em um sistema de membranas pode consumir até dez vezes menos energia do

que um sistema de evaporação a vácuo, o que impacta favoravelmente no custo de obtenção do leite condensado. O emprego do sistema de osmose reversa não exclui os sistemas de evaporação a vácuo, uma vez que os produtos concentrados por membrana possuem limite reológico inferior a 10 mPa's. Segundo Silva et al.(2011), o leite condensado pode apresentar como propriedade reológica até 18 mPa's, o que não pode ser alcançado pelo emprego de membranas de osmose reversa e que justifica a associação destes sistemas com sistemas de evaporação a vácuo para a produção de leite condensado. A concentração de por osmose reversa normalmente produz leite concentrado com 25% de sólidos totais (GRANDISON; GLOVER, 1994). Na Figura 3 é apresentado um fluxograma da produção de leite condensado empregando-se a filtração por osmose reversa.

De acordo com Walstra; Jellema (1985, citado por Caric, 2009), a membrana dos glóbulos de gordura são facilmente danificadas em processos de filtração por osmose reversa, fazendo com que a opção por concentrar leite integral recaia sobre os evaporadores a vácuo. Desta forma, na produção do leite condensado preferencialmente faz-se a opção por concentrar o leite desnatado em sistemas de osmose reversa. A reincorporação de creme faz-se juntamente com o açúcar anteriormente a evaporação a vácuo. Objetivando aumentar a oferta de produtos para o mercado à empresa Meadow Foods, produtora de chocolates e de leite condensado, instalou um sistema de osmose reversa na

Tabela 3 – Principais diferenças tecnológicas e operacionais entre um sistema de evaporação a vácuo com recompressão mecânica de vapores e um sistema de concentração por membranas¹.

Característica	Concentração por membranas	Evaporação a vácuo com recompressão mecânica de vapores
Consumo de energia por 1000 kg de água retirada (kW'h)	2 a 3	10 a 20
Altura das instalações (m)	<3	>10
Sistema de limpeza	Emprego de agentes especiais para a limpeza	Limpeza tradicional em circuito fechado com solução alcalina e ácida
Temperatura para concentração (°C)	<10 a 60	55 a 70
Qualidade da água removida	Depende do tempo de uso da membrana (vida útil)	Constante
Limite da concentração – determinada pela propriedade reológica do leite concentrado obtido (mPa's)	< 10 mPa's	< 100 mPa's

¹Adaptado de Caric et al. (2009).

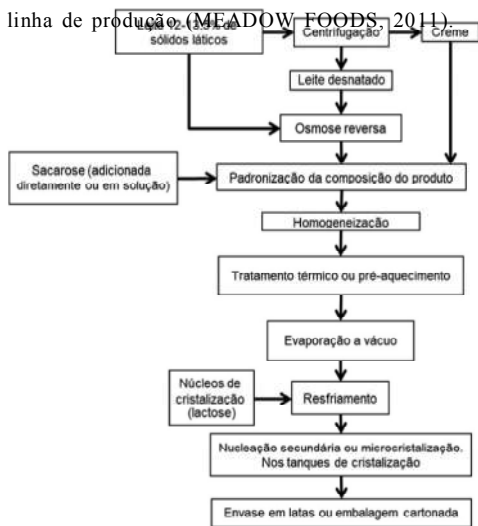


Figura 3 – Fluxograma da produção de leite condensado com o emprego de osmose reversa.

8 CONCLUSÃO

O leite condensado caracteriza-se como importante produto na pauta de exportações e de crescente consumo no mercado interno. A busca por alternativas tecnológicas a produção tradicional visa à obtenção de produtos diferenciados, com menor custo, que busquem a sustentabilidade da cadeia e, desta forma, propiciem maior competitividade do mercado. Os sistemas de membranas são amplamente empregados na indústria de laticínios pelo mundo e a sua aplicação vem ganhando muita força no Brasil. A tecnologia de produção do leite condensado baseia-se na retirada de parte da água por meio da mudança de estado físico líquido para gasoso, enquanto que as tecnologias de membranas não necessitam de mudança de estado físico para retirada da água, desta forma estas duas tecnologias podem ser acopladas objetivando a redução dos gastos com a evaporação durante a produção do leite condensado. O desenvolvimento de pesquisas sobre o efeito da concentração do leite por osmose reversa nas propriedades do leite condensado deve ser realizado, objetivando embasar e apoiar o emprego desta tecnologia pelas indústrias de lácteos concentrados e desidratados nacionais.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, R. W. **Membrane technology and applications**. 2. ed. California: Wiley, 2004. 538p.

BRIÃO, V. B. et al. Cinética do escurecimento não-enzimático com soluções modelo de açúcares e aminoácidos em pH neutro e ácido. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 87-93, 2011.

BYLUND, G. **Tetra Pak dairy processing handbook**. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB, 1995.436p.

CARIC, M. et al. Technology of evaporators, membrane processing and dryers. In: TAMIME, A.Y. **Dairy powders and concentrated products**. Ayr: Willey-Blackwell. 2009. p. 99-111.

CODEX ALIMENTARIUS. **Codex Stan 282**, FAO, 1971. Disponível em: <http://www.codexalimentarius.net/web/standard_list.jsp>. Acesso em: 28 maio 2011.

DAUFIN, G. et al. Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry. **Food and Bioproducts Processing: Transactions of the institution of chemical engineers**, Rugby, part C, v. 79, n.2, p. 89-102, 2001.

FOX, P. F.; McSWEENEY, P. L. H. **Dairy chemistry and biochemistry**. London: Blackie Academic Professional, 1998.478p.

GRANDISON, A.S., GLOVER, F.A. Membrane processing of milk. In: ROBINSON, R.K. **Advances in milk processing**. 2 ed. London: Chapman & Hall, 1994.p. 273-305

GEA FILTRATION: **Filtração por membranas**. Campinas, 2005. Disponível em: <http://www.geafiltration.com/filtration_library/membrane_filtration_Portuguese.pdf>. Acesso em: 05 jan 2010.

HABERT, A. C. et al. **Processo de separação por membranas**. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.180p.

HOLSINGER, V. H. Physical and chemical properties of lactose. In: FOX, P. F. **Advanced dairy chemistry**. 2 ed. London: Chapman & Hall, v. 3, p. 1-38, 1997.

HUNZIKER, O. F. **Condensed milk and milk power**. 5 ed. Illinois: La Grange, 1934. 696p.

International Dairy Federation (IDF). The world dairy situation. **Bulletin of the International Dairy Federation**, Bruxelas, n. 446, 2010. 206p.

- JANCIC, S.J. AND GROOTSCHOLTEN, P.A.M. **Industrial Crystallization**. Delft: Delft University Press, 1984. 434 p.
- KOSIKOWSKI, F. V. Cheesemaking by ultrafiltration. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 57, n.4, p. 488-491, 1974.
- LEITE, Z. T. C. et al. **Leite e alguns de seus derivados – da antiguidade à atualidade**. Química Nova, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 876-880, 2006. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2006/vol29n4/42-AG04349.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2011.
- MERMELSTEIN, N. H. Concentrating milk. **Food Technology**, Chicago, v. 56, n. 3. p. 72-74, 2002.
- McSWEENEY, P. L. H., FOX, P. F. **Advanced dairy chemistry: Lactose, Water, Salts, and Minor Constituents**. 3 ed. Cork, Ireland: Springer. v. 3, 2009. 778p.
- MEADOW FOODS. **Sweetened Dairy Products**. Disponível em: <<http://www.meadowfoods.com/dairy-products/sweetened-products.aspx>>. Acesso em: 29 fev. 2012.
- NEVES, B. S., DUCRUET, P. Emprego de ultrafiltração na fabricação de requeijão cremoso. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 43, n. 257, p. 3-8, 1988.
- NICKERSON, T. A.; MOORE, E.E. Solubility interrelations of lactose and sucrose. **Journal of food science**, Chicago, v. 37, n. 1, p. 60-61, 1972.
- NOBLE, R. D., STERN, S. A. **Membrane separations technology: principles and application**. Colorado: Elsevier, 1995.718 p.
- OETTERER, M., REGITANO-D'ARCE, M. A. B., SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. São Paulo: Manole, 2006. 632p.
- POULIOT, Y. Membrane processes in dairy technology - from a simple idea to worldwide panacea. **International Dairy Journal**, Oxford, v. 18, n.7, p. 735-740, 2008.
- RENHE, I. R. T., PERRONE, I. T., SILVA, P. H. F. **Leite condensado: identidade, qualidade e tecnologia**. 1 ed. Juiz de Fora: Templo, 2011. 231p.
- SILVA, P. H. F., SÁ, J. F. O., PERRONE, I. T. Composição físico-química, microbiológica, microscópica e perfil sensorial dos leites condensados produzidos no Mercosul. In: RENHE, I. R. T. et al. **Leite condensado: identidade, qualidade e tecnologia**. Juiz de Fora: Templo, 2011.231p.
- STABILE, R. L. Economics of reverse osmosis and multistage evaporation for Concentrating skim milk from 8,8 to 45% solids. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 66, n. 8, p. 1765-1772, 1983.
- TAMIME, A. Y. **Structure of dairy products**. Ayr, UK:Wiley-Blackwell, 2007.288p.
- VAN DEN BERG, J. C. T. Evaporated and condensed milk. In: ____ **Milk Hygiene**. Geneva: WHO/FAO, 1962. p. 321-345. Disponível em: <[http://whqlibdoc.who.int/monograph/WHO_MONO_48_\(p321\).pdf](http://whqlibdoc.who.int/monograph/WHO_MONO_48_(p321).pdf)>. Acesso em: 16/09/2011.
- WALSTRA, P. Casein sub-micelles: do they exist? **International Dairy Journal**, Oxford, v. 9, n. 3-6, p. 189-192, 1999.
- WALSTRA, P. et al. **Ciencia de leche y tecnologia de los productos lácteos**. Zaragoza: Acribia, 2001.729p.
- WALSTRA, P.; JENNESS, R. **Química y física lactológica**. Zaragoza: Acribia, 1984. 423p.