



INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

"KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE"

Destino Ambientalmente Correto a Rejeitos de Queijaria e Análise de Viabilidade Econômica

L. Serpa ¹; W. L. Priamo ¹, V. Reginatto

¹ Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 88034001, Florianópolis/SC, Brasil. leo@eafc.edu.br, wagnerpriamo@yahoo.com.br

² Departamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 88040900, Florianópolis/SC, Brasil. valeria@cca.ufsc.br

Resumo

O soro de queijo é considerado um dos grandes poluentes da indústria de laticínios, rico em lactose, gorduras e proteínas. Atualmente é pouco aproveitado para fins alimentícios, sendo que os grandes volumes desperdiçados, através de tratamentos de efluentes, enviados para nutrição de suínos, ou direcionados a mananciais de água, contaminando drasticamente corpos receptores e gerando problemas ambientais como alta demanda bioquímica de oxigênio. O presente estudo visa propor alternativas para o aproveitamento economicamente viável e ambientalmente correto do soro de queijo oriundo de queijarias de pequeno, médio e grande porte. Foi utilizada como base metodológica uma pesquisa experimental qualitativa, com dados obtidos em laboratório para o soro de queijo oriundo de uma queijaria industrial. Obteve-se soro de queijo com percentual médio de 93,70 % ($\pm 0,49$) de sólidos totais, 0,84 % ($\pm 0,04$) de proteínas e 4,99 % ($\pm 0,22$) de lactose. Com a presente carga orgânica, definiu-se como um sistema viável aquele onde o soro de queijo pôde ser direcionado para a concentração de sólidos através de membranas de micro e ultrafiltração, destinando proteínas para o aumento do rendimento de queijos, reduzindo a DBO do líquido enviado a mananciais e agregando valor ao produto industrializado. Com base no estudo, conclui-se a viabilidade econômica de sistemas para aproveitamento do soro de queijo apresentando algumas alternativas viáveis para empresas com escalas diferentes de produção.

Palavras-Chave: Soro de queijo, separação por membranas, ultrafiltração.

Introdução

O Brasil é o sexto maior produtor mundial de leite bovino, com uma taxa anual de aumento de produção na faixa de 4%. Cerca de 35% da produção é destinada à fabricação de queijos, onde as maiores produções são de queijo *mozzarella*, prato e minas frescal ⁴.

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Queijo (ABIQ), a produção anual de queijo é de 488 mil toneladas, se considerarmos um volume de 9 litros de soro para cada kg de queijo produzido, pode-se estimar um volume de aproximadamente 4,392 milhões de litros de soro de queijo. Este produto, é resultante da precipitação de gorduras e caseína do leite durante a fabricação de queijos, representa 85 a 90% do volume de leite e retém 55% de seus nutrientes, dentre eles a lactose (4 a 5%) e proteínas (0,6 a 0,7%). Porém, caso seja destinado diretamente a rios ou esgotos públicos, o que atualmente não é permitido, torna-se um importante problema ambiental, com uma demanda

bioquímica de oxigênio (DBO) de 30 a 50 g/L ^{5,11} e uma demanda química de oxigênio (DQO) de 50 a 80 g/L.

Num mercado competitivo, poucas empresas apresentam preocupação efetivamente ambiental quanto ao destino correto de seus efluentes. Desta forma, tecnologias são geradas diariamente com objetivo de fornecer suporte técnico minimizando o impacto ambiental causado por resíduos industriais. Com base nesta análise, o setor agroindustrial lácteo não é uma exceção, pois somente nas queijarias, 90% do volume de leite processado é considerado resíduo, apresentando-se sob a forma de soro de queijo, o que em muitos casos é desperdiçado e destinado a corpos receptores com cargas orgânicas em níveis de atendimento à legislação, sem preocupação com o impacto ambiental por eles gerado. O alto percentual de água presente na sua composição inviabiliza economicamente sua desidratação, e o fato de ser perecível agrava o problema, impossibilitando seu armazenamento prolongado, direcionando as pesquisas para seu aproveitamento na produção de biogás, etanol e proteínas concentradas.

Ao mesmo tempo em que desperdiça o soro de queijo, entre 1998 a 2001, o Brasil importou mais de 140.000 toneladas de soro de queijo em pó, devido à falta de capacidade interna de produção ¹². Neste resíduo, encontram-se proteínas e gorduras, as quais podem ser utilizadas como fonte de enriquecimento de diversos produtos, ou simplesmente utilizadas para aumentar o rendimento do próprio processo de fabrico dos queijos. Ainda, contém lactose (que representa 40% da carga orgânica do soro de queijo 15) e minerais, sendo estes com pouca utilidade na linha de processo, mas podendo apresentar destino para outros fins, desde que devidamente separados e tratados.

O soro de queijo é pouco aproveitado no setor tecnológico alimentício, representando ainda um grande desperdício nutricional e financeiro, sendo grandes volumes enviados para nutrição de suínos, ou direcionados a sistemas de tratamento de efluentes com baixa eficiência ou altos custos.

Este desperdício, aliado ao valor nutritivo do soro de queijo, leva a direcionar a atenção do meio científico ao seu estudo, para a criação de alternativas economicamente viáveis para o aproveitamento de suas proteínas (alto valor nutricional e comercial), sua gordura residual e principalmente a lactose, a qual é uma das responsáveis pela contaminação de mananciais.

Com objetivo de propor sistemas economicamente viáveis para o aproveitamento dos componentes do soro de queijo, reduzindo seu impacto ambiental, e oferecendo uma proposta de destino a seus componentes, o objetivo deste estudo é apresentar uma análise de viabilidade para a utilização do soro de queijo, gerando proposições tecnologicamente limpas na área de processamento de leite e derivados.

Materiais e Método

Caracterizou-se o soro de queijo, utilizando soro in natura oriundo da fabricação de queijo tipo *mozzarella* de um laticínio local. Para a avaliação da composição centesimal do objeto de estudo, foram realizadas as análises de: proteínas, realizada através do método de NKT (Kjeldahl); de lactose, através do método de cloramina-T; sólidos totais, através da desidratação até peso constante, e minerais utilizando mufla.

Com base na literatura, buscou-se definir processos viáveis para o aproveitamento e destino correto do soro de queijo. Após definido os processos, selecionou-se dois sistemas para definição e comparação de sua viabilidade econômica com base nos custos fixos, variáveis, marginais, custos fixos médios e custos médios, visando

uma avaliação mais precisa em relação à possível economia de escala, a qual poderia ser obtida pelo laticínio com um possível aumento de sua escala de produção.

Resultados e discussão

Composição do Soro de Queijo

A Tabela 1 apresenta a composição centesimal média do soro de queijo encontrada na literatura e determinada experimentalmente, através de caracterização analítica.

Tabela 1. Composição centesimal do soro de queijo (expressas em percentagem).

Componentes	Literatura	Experimental
Água	93,39 ± 0,44	93,70 ± 0,49
Extrato seco total (EST)	6,61 ± 0,44	6,30 ± 0,49
Gorduras	0,43 ± 0,19	---
Extrato seco desengordurado (ESD)	8,40 ± 0,22	---
Proteínas	0,78 ± 0,25	0,84 ± 0,04
Lactose	4,90 ± 0,11	4,99 ± 0,22
Minerais	1,59 ± 0,02	1,31 ± 0,07

Fonte: Oliveira (1986); Pereira (1992); Linden e Ioriant (1996); Tronco (1997); Kar e Misra (1999); farro e Viotto (2003).

Em geral, na sua composição, o soro de queijo apresenta pouca quantidade de gordura, composta por ácidos graxos de baixo ponto de fusão (em torno de 29 °C); proteínas hidrossolúveis, dentre elas a α -lactoalbumina e a β -lactoglobulina, respectivamente com massas molares (MM) em torno de 14.000 e 18.000 Daltons; lactose; minerais e vitaminas hidrossolúveis ^{4,9}. Possui pH médio de 6,82 ($\pm 0,13$), densidade média 1027 g/L ($\pm 1,21$) e Brix médio de 9,17° ($\pm 0,21$). Apresenta altos teores de lactose ($\pm 4,9\%$), proteína ($\pm 0,8\%$) e gordura ($\pm 0,4\%$) fazem deste um elemento altamente danoso aos sistemas de tratamento de efluentes. Em contrapartida apresenta características atrativas à área de nutrição, principalmente pela presença de α -lactoalbumina, proteína altamente digestível ao sistema digestivo de monogástricos (humanos) com valor biológico (VB) de 124, o mais alto dentre as proteínas de origem animal.

Com base na sua composição, o soro de queijo possibilita várias vias para seu aproveitamento. A Tabela 2 apresenta diferentes alternativas de sistemas para seu destino, respeitando as peculiaridades de cada laticínio, sua capacidade, tamanho, e objetivos econômicos.

Tabela 2. Alternativas para o aproveitamento de soro de queijo em diferentes sistemas.

Sistema	Resíduo Líquido	Resíduo Sólido	Lodo	Impacto	Retorno Econômico
Tradicional	Alto	Médio	Médio	Alto	Nulo
Tratamento com lodo ativado	Alto	Baixo	Médio	Alto	Nulo
Membranas	Alto	Médio	Nulo	Baixo	Médio
Bebida láctea	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Médio

Sistema Tradicional Utilizado para Tratamento de Soro de Queijo

Neste sistema de tratamento, o soro de queijo é enviado ao sistema de tratamento de efluentes, passando por uma separação da gordura, através de flotador, um decantador para decantação de sólidos suspensos, e após, direcionado às lagoas de fermentação para redução de DQO e DBO. Como desvantagens deste tratamento destacam-se a baixa eficiência ambiental, a falta de retorno econômico e o

desperdício de componentes importantes à nutrição humana, como proteínas, minerais, lactose e gordura. Como vantagens do sistema destacam-se o baixo investimento no sistema e a não necessidade de conhecimento técnico. O sistema tradicional, como já citado gera impactos ambientais de níveis elevados, riscos de acidentes gerados por vazamentos, baixa eficiência, excesso de volume de soro e baixa eficiência de redução de DBO e DQO.

Lodo Ativado

O tratamento de soro de queijo através de lodo ativado consiste em um crescimento de massa biológica em contato com a matéria orgânica do soro de queijo na presença de oxigênio. O sistema utiliza soro de queijo diluído para reduzir a concentração de carboidratos evitando assim a formação de *bulking*.

Para que o soro possa ser tratado eficientemente através de lodo ativado, este deve ter seu pH ajustado para valores entre 7 e 8. Em estudos com soro de queijo, obteve amostras com pH 4,6 ($\pm 0,4$), DBO de 35,5 ($\pm 6,54$), DQO de 54,7 ($\pm 4,70$) e 4,3% ($\pm 0,4$) de lactose¹⁶. Segundo Dankin (1997) os rejeitos de queijaria apresentam pH variável e altos teores de lactose, sendo conhecidos por gerarem problemas nos sistemas de tratamentos de efluentes como o intumescimento do lodo e a sedimentação da biomassa.

Como vantagem do sistema, cita-se o consumo da lactose do soro de queijo, juntamente com os demais componentes de sua carga orgânica, porém, o sistema não gera retorno financeiro, e apresenta problemas em altas concentrações de carboidratos, sendo que falhas em sua eficiência podem aumentar o tempo de retenção hidráulica do soro no sistema, de 6 para mais de 36 dias, reduzindo significativamente o fluxo do sistema, aumentando a necessidade cúbica de armazenamento do soro, gerando aumentos de investimentos, ou seja não gera lucro e necessita de maiores investimentos, porém através do consumo da lactose apresenta menor impacto ambiental se comparado com o sistema tradicional.

Processos de Separação por Membranas

Laticínios que processam leite em queijo, com produção aproximada de 90% da quantidade de leite processado em soro (resíduo). Considerando um volume de 10.000 litros/dia de leite processado (laticínio de médio porte), estima-se um volume de 9.000 litros/dia de soro de queijo enviado ao sistema de tratamento de efluentes, obviamente desprezando o volume de água de limpeza, salga e higienização de manipuladores dentre outros, o qual perfaz aproximadamente 6 litros de água/litro de leite processado, totalizando um acréscimo de 60.000 litros de líquido enviado ao sistema de tratamento de efluentes.

O processo de separação por membranas torna-se uma alternativa para a separação dos componentes do soro de queijo, porém dentre outros problemas, o fluxo de permeação parece ser o gargalo que inviabiliza atualmente tal processo. Assim, se considerarmos um laticínio com processamento de 10.000 litros/dia de leite, e um destino aproximado de 9.000 litros/dia de soro de queijo ao sistema de tratamento de efluentes, se destinado a uma rota paralela e enviado a um sistema de ultrafiltração com membranas de fibra oca, com eficiência de fluxo, e considerando a necessidade de 2 horas e 30 minutos de parada para realização de "CIP" (*cleaning in place*) e 30 minutos para possíveis ajustes, este soro necessitaria de 750 m² de área de membrana efetivamente filtrante para atender tal demanda em um período de 1 hora. Ainda, considerando 16 m² por cartucho de membranas de fibra oca, seriam necessários 47 cartuchos.

O soro de queijo após ser extraído dos tanques de qualhada do laticínio, a uma temperatura média de 34 °C, é submetido a módulos de membranas com *cut off*

específicos, a fim de reter proteínas e gordura. O concentrado retido pode ser utilizado para elaboração de concentrado protéico, pode ser desidratado por evaporação à vácuo em reatores tanque agitados, utilizando temperaturas de 75 °C, -1 kgf/cm² de pressão e agitação de 200 rpm. Através da ultrafiltração, o processo de separação por membranas permite a permeação da água, lactose e minerais, reduzindo a carga orgânica do efluente líquido. O permeado, rico em lactose pode ser concentrado em membranas de nanofiltração, permeando somente água e sais.

O permeado, livre de lactose, proteínas, e gorduras, então poderá ser destinado ao sistema de tratamento de efluentes tradicional, através de lagoas. O retentado de soro de queijo, obtido através de processo de separação por membranas de ultrafiltração (10.000 Daltons), é composto basicamente por gordura e proteínas, e desta forma, poderá ser destinado ao fabrico de queijos reaproveitando sólidos até então descartados através do envio do soro de queijo a corpos receptores.

Fabrico de Subprodutos - Bebida Láctea

O soro de queijo, se pasteurizado a 90°C, pode ser fermentado com *S. thermophilus* e *L. bulgaricus* e o produto final destinado ao consumo humano através da comercialização sob o nome de bebida láctea. Como ponto positivo, cita-se a ausência da produção de resíduos diretos, sejam sólidos e/ou líquidos juntamente com a agregação de valor ao soro de queijo, até então resíduo de queijaria. Como pontos negativos, além da necessidade de investimentos fixos e mão de obra, consideram-se as dificuldades de mercado para o produto.

Sistema Misto

Neste sistema o soro de queijo passa por vários processos, unindo processos de separação através e membranas, aproveitamento de sólidos para fins alimentícios e aproveitamento da lactose para envio a sistemas de lodo ativado.

Custos e Ganhos de Economia

Para avaliação de custos os mesmos foram divididos em custos fixos (CF), custos variáveis (CV), custos totais (CT), custos fixos média (CFMe), custos médios (CMe) e custos marginais (Cmg).

Um laticínio com volume de processamento médio diário de 10.000 L/dia de leite em queijo, gera aproximadamente 9000 L/dia de soro de queijo, e mais 60.000 L/dia de efluente oriundo de águas de limpeza, higiene de funcionários e higiene de caminhões, dentre outras, totalizando aproximadamente 69.000L/dia de efluente líquido. Se considerarmos 6,30% ($\pm 0,49$) de sólidos, restam 64.170 ($\pm 3,38$) litros de rejeito líquido após separados os sólidos, característica apresentada pelo soro somente após seu tratamento.

A Tabela 3 apresenta uma relação do tempo do TRH com a diluição do soro de queijo e redução de DBO em sistemas de tratamento através de lodo ativado.

Tabela 3. Diferentes diluições de soro de queijo em sistemas de tratamento através de lodo.

Diluição em vezes	TRH	Remoção de DQO (%)
100 x	6	93,6 ($\pm 1,6$)
50 x	12	96,5 ($\pm 1,4$)
25 x	24	94,7 ($\pm 3,3$)
10 x	36	95,3 ($\pm 1,8$)

Fonte: Cardí (2007).

Pode-se observar uma relação entre a diluição do soro de queijo e seu tempo de retenção hidráulica (TRH), porém Cardi (2007) desconsiderou o custo efetivo para análise dos tratamentos, o que pode ser analisado através da Figura 1.

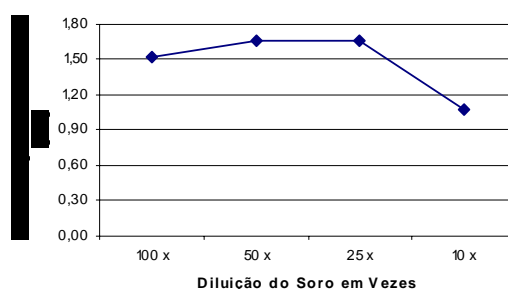


Figura 1. Relação de custo para tratamento de 1.000 L de soro de queijo através de lodo ativado e sua relação com o número de vezes de diluição.

A Figura 1 permite avaliar a relação do custo efetivo para tratamento de cada 1000 litros de soro de queijo. Considerou-se para a composição dos custos, o custo unitário de construção de lagoas com 504 m³, o custo dos aeradores, tubulação, sistema elétrico, sistema hidráulico, mão de obra e gastos com energia, e uma vida útil do sistema de 10 anos, com 360 dias de efetivo uso por ano. Observa-se que diluições de soro de queijo entre 25 e 50 vezes, a redução do TRH, gera a necessidade de um aumento da área de lagoas, o que influencia diretamente nos custos fixos do investimento, mantendo o custo unitário alto do tratamento. Ao passo que a diluição passa para 100 vezes, o TRH se reduz diminuindo a área de lagoas, e mesmo com o aumento de volume o custo unitário de tratamento se reduz. Porém, cabe salientar que com uma diluição de 10 vezes, o volume de líquido a ser tratado também é reduzido, e mesmo com um TRH de 36 dias, em função da redução dos gastos variáveis, como é o caso da energia, o custo unitário de tratamento é menor, ou seja, R\$ 1,08 para cada 1000 litros de soro tratado, além de uma taxa de redução de DQO de 95,3% ($\pm 1,8$), taxa não alcançada através das outras diluições (Tabela 4).

Enfim, pode-se observar que a viabilidade econômica do sistema tradicional utilizando lodo ativado, depende da qualidade do soro de queijo, pois altas concentrações de carboidratos como é o caso do soro de queijo aumentam o tempo de retenção hidráulica (TRH) de 6 para 36 dias, necessitando de uma estrutura maior para armazenagem do grande volume de soro estocado.

O soro de queijo, se diluído 100 vezes pode reduzir o TRH para 6 dias, porém esta economia não representa efetivamente uma economia de desembolso ao laticínio, pois aumenta a área necessária para tratamento em lagoas do soro diluído.

Com base nos dados apresentados na Figura 1, observa-se que o sistema se inviabiliza em grandes volumes de diluições, em função dos custos com investimentos em lagoas, o que pode ser influenciado pela diluição ou grandes volumes de soro, ou seja, o sistema é mais viável para pequenas produções, com pequenos volumes de soro e pequenas diluições para obter bons resultados com TRH de 36 dias. Salienta-se que diluições abaixo de 10 vezes, pode gerar a formação de *bulking*.

Alguns ganhos de economia podem ser observados nos processos propostos, dentre eles, pode-se obter ganhos de especialização, economia de escala e economia de escopo. Tais fatores referem-se a otimizar economicamente o processo tornando-o viável para a implementação em larga escala industrial.

A economia de especialização aparece através do conhecimento investido para melhorar e manter o sistema, otimizando-o constantemente, através da atualização

técnica com pessoal capacitado para tal. A economia de escala refere-se ao aumento do volume unitário processado ou tratado, ora o soro de queijo, respeitando segundo a Figura 2, o decréscimo da curva de custo médio (CMe). A economia de escopo encontra-se no envio de soro de queijo pelo atual sistema de tratamento para corpos receptores melhorando o aproveitamento de seus componentes. Considerando CT (custo total), q_1 (custo individual de tratamento) e q_2 (custo de aproveitamento do soro de queijo), pode-se analisar que: se o custo total para um sistema de aproveitamento em conjunto, ou seja, destinar corretamente o soro ao passo que este é utilizado como matéria prima para a produção de produto for inferior a soma dos custos parciais, têm-se neste caso uma economia de escopo, a qual pode ser definida através da Equação 1.

$$CT(q_1, q_2) < C(q_1) + C(q_2) \quad (\text{Equação 1})$$

Uma preocupação em relação aos custos de implementação destes sistemas é a deseconomia de escala, observada através da Figura 2, quando a curva de CMe é ascendente, ou seja a partir do início da curva, o aumento do volume de soro tratado representa um acréscimo nos custos, representando assim uma deseconomia de escala, o que pode ser influenciada pelo custo com equipamentos, custos gerenciais e até aumento da necessidade de mão de obra. Através da curva de CMe, pode-se definir a escala ótima de operação da planta, obtendo a maior economia de escala desejada, ou adequando o volume de leite processado e soro tratado a comodidade de processo.

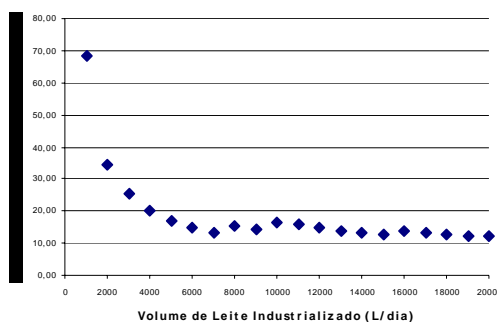


Figura 2. Curva de custo médio (CMe) referente a laticínios produtores de queijo com volumes de 1.000 a 20.000 Litros de leite processado/dia.

Através da Figura 2, observa-se a redução do custo médio de tratamento do soro de queijo obtido pelo aumento da escala de produção, porém cabe ressaltar que na primeira queda da curva, obtida até o volume de 7.000 litros de leite processado em queijo, obteve-se economia de escala, reduzindo o preço de tratamento para cada 1000 litros de soro de R\$ 68,38 para R\$ 13,31, uma redução considerada significativa, ou seja, uma redução de 90,9% no custo de tratamento. A partir de 8.000 litros de leite processado a curva apresenta uma elevação, caracterizando uma deseconomia de escala, em função da necessidade de um aumento da estrutura física para suportar tal capacidade. Com 10.000 litros e com 16.000 litros de leite processado foi detectado novos pontos de deseconomia de escala, ou seja, momentos de necessidade de acréscimo de mão de obra e de investimento com equipamentos respectivamente.

Cabe salientar que para o cálculo dos custos deste sistema considerou-se uma capacidade de equipamento de ultrafiltração para 10 módulos filtrantes. Cada módulo com área de 1,25 m³ com capacidade de 150 litros/hora de soro tratado. Tempo máximo de ultrafiltração de 5 horas/dia, 2:30 horas para sistema de limpeza CIP e 30 minutos para eventuais manutenções. Vida útil de 10 anos para todo o sistema (equipamentos e obra civil). Vida útil de 2 anos para cada módulo de membranas, e necessidade de 01 funcionário para cada 10.000 litros de leite processado, ou seja para cada 9.000 litros de soro tratado. A Tabela 4 apresenta o

resumo dos custos do sistema de tratamento por membranas para cada 1.000 litros de soro tratado.

TABELA 4. CUSTOS DO SISTEMA DE TRATAMENTO POR MEMBRANAS PARA CADA 1.000 LITROS DE SORO TRATADO.

Litro/dia	CF	CV	Cmg	CFMe	Cme
1.000	102.150,00	40,00	40,00	28,38	68,38
2.000	104.300,00	20,00	-20,00	14,49	34,49
3.000	106.450,00	15,56	-4,44	9,86	25,41
4.000	110.750,00	12,50	-3,06	7,69	20,19
5.000	112.900,00	10,67	-1,83	6,27	16,94
6.000	115.050,00	9,44	-1,22	5,33	14,77
7.000	119.350,00	8,57	-0,87	4,74	13,31
8.000	205.950,00	8,33	-0,24	7,15	15,48
9.000	208.100,00	7,78	-0,56	6,42	14,20
10.000	212.400,00	10,67	2,89	5,90	16,57
11.000	214.550,00	10,30	-0,36	5,42	15,72
12.000	216.700,00	9,72	-0,58	5,02	14,74
13.000	221.000,00	9,23	-0,49	4,72	13,95
14.000	223.150,00	9,05	-0,18	4,43	13,48
15.000	225.300,00	8,67	-0,38	4,17	12,84
16.000	310.130,00	8,33	-0,33	5,38	13,72
17.000	314.430,00	8,04	-0,29	5,14	13,18
18.000	316.580,00	7,96	-0,08	4,89	12,85
19.000	320.880,00	7,72	-0,24	4,69	12,41
20.000	323.030,00	7,67	-0,05	4,49	12,15

Observa-se através da Tabela 4 que os custos marginais, aqueles que aumentam com o aumento de cada unidade a ser tratada, é negativo, ou seja, como a matéria-prima (soro de queijo) não representa custo não há aumento variável de custo, e sim redução. Ainda, pode-se encontrar os pontos exatos de aumento individual de custo, sendo possível através desta caracterização, definir a interface entre o melhor volume a ser tratado no sistema e o início do aumento de custo, chamado de deseconomia de escala, mostrado na Figura 2.

Em síntese, pode-se definir que um sistema de tratamento de efluentes utilizando membranas de ultrafiltração para tratamento de soro de queijo apresenta sua escala ótima de tratamento com volumes de 7.000, 15.000, ou de 18.000 a 20.000 litros, sendo que os intervalos entre as referidas escalas apresentam elevação no custo de tratamento.

Conclusões

Além dos sistemas propostos, o soro de queijo pode ser aproveitado para o fabrico de pães, extratos de leveduras, concentrados protéicos, pode ser utilizado como elemento emulsionante de água em produtos cárneos em função de suas proteínas presentes.

Através do presente estudo observou-se que o soro de queijo é destinado a tratamento de efluentes com uma alta carga orgânica, 6,30% (0,49) de sólidos presentes, dentre eles proteínas, gordura e lactose, elementos altamente nutritivos a alimentação humana, atualmente desperdiçados como rejeitos.

Desta forma conclui-se através do presente estudo que o soro de queijo, se destinado a tratamento através de membranas mesmo representando altos custos operacionais, apresentam uma eficiência de 100% de retenção de gordura e proteína, e se agregado com o sistema de lodo ativado, este pode reduzir a DQO em 95,30% ($\pm 1,8$) consumindo a lactose presente.

Avaliando os dados apresentados no estudo definiu-se como volume ótimo de tratamento 7.000 litros de soro dia, considerando os custos do sistema de tratamento por membranas e as características ideais para tratamento através de lodo ativado.

Referências Bibliográficas

- (1) ALMEIDA, K. E.; BONASSI, I. A.; ROÇA, R. O. Características físicas e químicas de bebidas lácteas. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v 21, pp. 187-192, 2001.
- (2) BASSETTI, F.; PERES, L.; PETRUS, J. C. C.; QUADRI, M. B. Aplicação de um Modelo Numérico na Ultrafiltração de Soro de Queijo. **4º Congresso Ibero-americano em Ciência e Tecnologia de Membranas**. Florianópolis. CITEM 2003.
- (3) BASSETTI, F.J.; PERES L.; PETRUS, J.C.C. DESENVOLVIMENTO DE MEMBRANAS ASSIMÉTRICAS MICROPOROSAS E APLICAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO SORO DE QUEIJO. **4º CONGRESSO IBERI-AMERICANO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MEMBRANAS**. FLORIANÓPOLIS. CITEM 2003.
- (4) BEHMER, M. L. A. **Tecnologia do Leite**. São Paulo: Nobel, 1986.
- (4) FARRO, A. P. C. e VIOTTO, L. A. REDUÇÃO DO TEOR DE GORDURA DO SORO DE QUEIJO PRÉ-TRATADO DOR MICROFILTRAÇÃO. **4º CONGRESSO IBERI-AMERICANO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MEMBRANAS**. FLORIANÓPOLIS. CITEM 2003
- (5) HOSSEINI, M., SHOJAOSADATI, S. A., AND TOWFIGHI, J. Application of a bubble-column reactor for the production of a single-cell protein from cheese whey. ind. Eng. **Chem. Res.**, V.42, pp. 764-766, 2003.
- (6) KAR, T and MISRA, A. K. Therapeutic properties of whey used as fermented drink. **Revista de Microbiologia**, v. 30. 1999.
- (7) LINDEN, G. and LORIENT, D. **Bioquímica agroindustrial-revalorización alimentaria de la producción agrícola**. Zaragoza(España): Acribia. 1996
- (8) OLIVEIRA, E. H. P.; PETRUS, J. C. C. Influência da concentração de pvdf em membranas de ultrafiltração para tratamento de efluentes da indústria frigorífica. **4º Congresso Ibero-americano em Ciência e Tecnologia de Membranas**. Florianópolis. CITEM 2003.
- (9) SGARBIERI V.C. **Proteínas em alimentos protéicos**. São Paulo: Varela, 1996.
- (10) SERPA, Léo. Concentração de proteínas de soro de queijo por evaporação a vácuo e ultrafiltração. Dissertação de mestrado. 2005.
- (11) EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado Leiteiro. 2008.
- (12) PEREIRA, A.J.G. Ácido láctico: uma alternativa viável para o aproveitamento de soro de queijo. Artigo técnico: **REVISTA LEITE E DERIVADOS**, v.6, p.21-25, 1992.
- (13) Ferchichi, M. Crabbe, E., Gil, Gh, Hintz, W, Almadidy. A Influence of initial pH on hydrogen production fron cheese whey. J. biotecnol 120. : 402 – 409, 2005.

(14) GHALY A; KAMAL M, A.; **Submerged yeast fermentation of acid cheese whey for protein production and pollution potential prevent.** Water research, v. 38, p. 631-644, 2004.

(15) CARDI, Livia et al. Intumescimento filamentoso no processo de lodos ativados aplicados ao tratamento de soro de queijo: caracterização e uso de floculantes para melhorar a sedimentabilidade. **Engenharia ambiental.** V.4, n.2, p. 26-37. 2007

(16) Ferchichi, M. Crabbe, E., Gil, Gh, Hintz, W, Almadidy, . A Influence of initial pH on hydrogen production from cheese whey. **J. biotecnol** 120. : 402 – 409, 2005.

(17) NGUYEN Minh, REYNOLDS, Norm, VIGNESWARAN, S. By-product recovery from cottage cheese production by nanofiltration. **Journal of Cleaner Production**, Volume 11, Issue 7, November 2003, Pages 803-807.