



## AValiação da Eficiência de Diferentes Coagulantes no Tratamento Primário de Efluentes de Laticínios

**Fernanda Rosa da Silveira** – fernanda.rsilveira@outlook.com  
Centro Universitário La Salle Canoas-RS  
Av. Vítor Barreto, 2288  
CEP: 92010-000 – Canoas – RS

**Lucas Pisoni da Silva** – pisoni.lucas.s@gmail.com  
Centro Universitário La Salle Canoas-RS

**Silvio Roberto Taffarel** – silvio.taffarel@unilasalle.edu.br  
Centro Universitário La Salle Canoas-RS

**Resumo.** A indústria de laticínios gera em seus processos produtivos efluentes líquidos que devido à suas características físico-químicas e biológicas possuem elevado potencial poluidor principalmente para os recursos hídricos, necessitando tratamento e destinação adequados conforme a legislação ambiental. Neste trabalho foram caracterizados os efluentes de leite e doce gerados numa indústria de laticínio do Município de Nova Petrópolis-RS, quanto aos parâmetros pH, turbidez, cor aparente e demanda química de oxigênio (DQO). Foram testados coagulantes Policloreto de Alumínio (PAC), Tanino, Sulfato de Alumínio e Sulfato de Alumínio Ferroso nas concentrações 50, 100, 250 e 500 mg/L, variando-se o pH (5 a 8), em ensaio de coagulação (jar test) a nível de bancada. A finalidade foi avaliar as dosagens de coagulantes e o pH e determinar o ponto ótimo de coagulação, comparando-se a remoção de turbidez e cor aparente. As análises de DQO foram realizadas pelo método de refluxo fechado e titulação. Os resultados indicam que o sulfato de alumínio obteve melhor coagulação em condição ácida, enquanto o PAC em condição básica, na concentração de 250 mg/L.

**Palavras-chaves:** Efluente de laticínio, Eficiência de coagulação, Tratamento físico-químico.

**Abstract.** The dairy industry in their production processes generates wastewater that due to their physicochemical and biological characteristics have high pollution potential especially for water, necessitating suitable treatment and disposal according to environmental legislation. In this work the effluent generated and sweet milk in a dairy plant in the Nova Petrópolis RS - industry, as the parameters pH, turbidity, apparent color and chemical oxygen demand (COD) were characterized. Polyaluminium chloride (PAC), tannin, aluminum sulfate and aluminum sulfate Ferrous coagulants were tested at concentrations of 50, 100, 250 and 500 mg / L, varying the pH (5 to 8), clotting assay (jar test) the level of countertop. The purpose was to evaluate the dosages of coagulants and pH and determine optimum coagulation, comparing the removal of turbidity and apparent color. The analyzes were performed by COD closed reflux and titration method. The results indicate that aluminum sulfate obtained a better coagulation in acid condition, whereas the PAC in basic condition at a concentration of 250 mg /L.

**Keywords:** Dairy wastewater, Coagulant efficiency, Physicochemical treatment.



## 1. INTRODUÇÃO

A crescente industrialização e a rápida urbanização contribuem para o aumento da poluição dos recursos hídricos (Sarkar et al, 2006).

Dentre as indústrias alimentícias, a indústria de laticínios tem se destacado pela sua importância econômica, social e nutricional, sendo considerada estratégica para o Brasil. Segundo indicadores do IBGE sobre produção animal no segundo semestre de 2013 houve um crescimento na produção de leite de 2,0% em relação ao mesmo período em 2012 no País, em cuja pesquisa participou 2.136 informantes distribuídos por todas as Unidades da Federação, com destaque para a região Sul que cresceu 45% nos últimos cinco anos (IBGE, 2013).

Neste tipo de indústria, a água é utilizada em todas as etapas do processo produtivo, na limpeza, sanitização de equipamentos e utensílios, aquecimento, resfriamento e até lavagem de pisos. Conforme o tipo de instalações, do sistema de limpeza e de gerenciamento, a quantidade de água consumida pode ultrapassar o volume de leite processado, sendo considerados normais valores entre 1,0 e 6,0 litros/kg de água por kg/litro de leite recebido, porém esse volume pode chegar a 10,0 litros/kg. (Maganha, 2006; Kushwaha et al, 2010 apud Vourch et al, 2008).

A preocupação com o meio ambiente tem refletido no amadurecimento da cadeia produtiva, e como consequência da destinação final adequada, tem buscado garantir o equilíbrio ambiental e minimizar os impactos ambientais gerados, sendo possível aperfeiçoar o processo para que ocorra redução desses índices (Maganha, 2006).

Os efluentes desse segmento são caracterizados pela sua alta demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), cujas concentrações representam o conteúdo da carga orgânica do leite, incluindo-se sólidos dissolvidos e suspensos, gorduras, óleos, graxas, nutrientes e proteínas, principalmente a caseína (Kushwaha et al, 2010 apud Gough et al, 2000).

Esse material em contato com a água provoca turbidez, que é a inferência da concentração das partículas suspensas na água, medida por meio do efeito da dispersão da luz que elas causam. Do ponto de vista sanitário, estas partículas podem proteger os microrganismos da ação de desinfetantes gerando risco indireto à saúde dos consumidores (Di Bernardo; Sabogal Paz, 2008).

Conseqüentemente, tais efluentes causam sérios problemas ao sistema de tratamento de esgotos e ao meio ambiente em caso do seu lançamento inadequado em cursos hídricos como a promoção da eutrofização, a toxicidade para os organismos aquáticos, a depleção do oxigênio dissolvido na água e a floração de algas (Amini et al, 2013). Essa contribuição de efluentes líquidos em termos de poluição hídrica é bastante significativa, sendo a indústria de laticínios considerada, dentre as indústrias alimentícias, a que gera o maior volume de efluentes com características poluidoras e que causa grande impacto ambiental (Sarkar et al, 2006; Carvalho, 2010; Kushwaha et al, 2010).

Apesar de serem gerados de maneira intermitente, esses efluentes apresentam variação em suas características como concentração da carga orgânica e pH devido às diversas operações e atividades a que a matéria-prima é submetida e à utilização de ácidos e produtos alcalinos na higienização, sendo necessário e obrigatório o tratamento prévio de seus despejos líquidos antes do lançamento em corpos receptores (Demirel et al, 2005; Braile, 1993).

Essa obrigatoriedade está expressa a nível federal na Lei nº 9605/1998, nas Resoluções CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), CONAMA nº 430/2011 (Brasil, 2011) e nas Resoluções CONSEMA nº 128/2006 e CONSEMA nº 129/2006 (Brasil, 2006) a nível estadual, as quais tratam especificamente dos crimes ambientais, dos recursos hídricos e do lançamento de efluentes líquidos em águas superficiais, cujo principal objetivo é minimizar os problemas de poluição ambiental causados pela emissão de efluentes em corpos receptores (Mierzwa; Hespanhol, 2005).

Deste modo, a obrigatoriedade em se atingir os padrões de qualidade ambiental imposta às indústrias pela legislação ambiental tem elevado os custos do tratamento de água. (Sarkar et al, 2006).



Além disso, o principal condicionante para uma eficiente gestão da qualidade é a redução de custos e desperdícios, já que grande parte dos consumidores considera o preço, em vez da qualidade, como principal fator de decisão para a aquisição de produtos lácteos. Contudo, o controle efetivo pode reduzir os custos com processo de tratamento e com reagentes e ainda melhorar a qualidade da água tratada. (Maganha, 2006; Ayeche, 2012).

Em geral, as indústrias de laticínios utilizam a combinação de tratamentos físico, ou físico-químicos e biológicos para promover a remoção dos poluentes, porém, a eficiência dessa remoção é variável em função do método, do tipo de tratamento utilizado e de suas variantes e tem sido discutida por muitos autores (Leme, 2008).

Os tratamentos biológicos mais utilizados são lodos ativados, filtros biológicos, lagoas de estabilização facultativas, lagoas de estabilização aeradas e digestão anaeróbia devido à grande quantidade de matéria orgânica biodegradável presente nesse efluente (Braile, 1993). Nos tratamentos físico-químicos a etapa de coagulação/floculação tem por finalidade remover o material suspenso, tanto de origem orgânica quanto mineral, e também a matéria orgânica dissolvida, de modo a promover a clarificação do efluente, sendo um dos métodos mais utilizados (Ayeche, 2012).

Para isso, são utilizados coagulantes que promove o crescimento do material coloidal pela desestabilização das partículas suspensas, ocorrendo a formação de flocos por mecanismos de adsorção e agregação, os quais poderão sedimentar e serem removidos. Entretanto, a maior dificuldade está em se determinar a dosagem e a condição ótima para sua aplicação de acordo com as características do efluente e da energia de agitação, sendo necessário ensaios específicos em jar test (Mierzwa; Hespanhol, 2005; Ayeche, 2012).

Entretanto, na execução dos tratamentos de efluentes de laticínios, verifica-se a existência problemas relacionados à dificuldades operacionais até a eficiência da tecnologia empregada, sendo os mais comuns a elevada produção de espuma, baixa sedimentabilidade do lodo, interferências de choques de carga, dificuldades na remoção de nutrientes e na degradação de gorduras e corantes (Machado et al, 2002).

Recentes pesquisas buscam novas tecnologias e a otimização de tecnologias já existentes a fim de obterem maior eficiência nos processos de tratamento dos efluentes, inclusive de coagulantes.

Franceschi et al (2002) pesquisaram a otimização do processo de coagulação/floculação, utilizando sulfato de alumínio para água bruta. Sirianuntapiboon et al (2005) pesquisaram o sistema de reator seqüencial de batelada e biofilme (MSBR) para tratamento do efluente da indústria de leite. Sarkar et al (2006) estudaram o tratamento das águas residuárias da indústria de laticínios e sua possibilidade de reuso. Healy et al (2007) revisaram o uso de banhados construídos e filtros intermitentes de areia para tratar efluentes de laticínio. Kushwaha et al (2010) realizou estudo sobre a eficiência de coagulantes inorgânicos ( $PAC$ ,  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  e  $FeSO_4$ ) utilizados no tratamento de efluentes de laticínios e a disposição do lodo gerado. Amini et al (2013) estudaram a determinação de condições ótimas para o tratamento de efluentes de laticínio utilizando um reator UAASB que é a combinação entre um reator UASB e processo de lodos ativados para remover nutrientes.

Uma indústria de laticínios localizada no município de Nova Petrópolis, RS, emprega tratamento físico-químico (coagulação/floculação e flotação) e tratamento biológico (lagoas anaeróbia, aerada e de polimento) para tratar os efluentes gerados nas fábricas de doce e leite.

Com base no exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência do processo de coagulação utilizado no tratamento primário de efluentes da indústria de laticínios. Para isso, foram caracterizados os efluentes gerados nessa indústria de laticínio quanto aos parâmetros turbidez, cor, demanda química de oxigênio (DQO) e pH. Também foi avaliado o desempenho, a nível de bancada, de quatro coagulantes testados (sulfato de alumínio, sulfato de alumínio ferroso, policloreto de alumínio - PAC e tanino), determinado o coagulante de maior eficiência e o seu ponto ótimo de coagulação/floculação. Posteriormente aos resultados, elaborou-se uma análise de custos.

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade da indústria de laticínio obter informações a fim de aplicá-las à sua realidade e deste modo a aperfeiçoar seu processo de tratamento de efluentes tornando-o mais eficiente, além de reduzir custos com reagentes e coagulantes.



## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Efluente

O efluente gerado em uma indústria de laticínio localizada no município de Nova Petrópolis, RS, especificamente das fábricas de leite e doce foi coletado semanalmente, por um período de 2 meses, acondicionado em bombonas plásticas de 20 litros, transportado para o laboratório do Centro de Estudos Ambientais do Unilasalle no município de Nova Santa Rita e mantido sob refrigeração a 4°C, a fim de preservar suas características, conforme metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). O efluente coletado foi separado em bombonas conforme o tipo (leite e doce), as quais foram lacradas e identificadas.

### 2.2. Coagulantes e reagentes

Foram utilizados coagulantes inorgânicos de sulfato de alumínio, na concentração de (600 g.L<sup>-1</sup>), sulfato de alumínio ferroso (600 g.L<sup>-1</sup>), policloreto de alumínio ou PAC (380 g.L<sup>-1</sup>) e um tanino - BWE Veta Organic (solução estoque) nos ensaios de coagulação/floculação. Também foram utilizadas soluções de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 5% (v/v) e NaOH a 50 g.L<sup>-1</sup> (m/v) para ajuste de pH do efluente. Na análise da demanda química de oxigênio (DQO) foram utilizados soluções de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (0,01667 M), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/AgSO<sub>4</sub>, solução padrão FAS (0,10M) e indicador ferroína. Para diluição de amostras foi utilizada água deionizada. Todos os reagentes utilizados nas análises são de grau analítico (P.A) e as soluções foram preparadas com água deionizada. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

### 2.3. Equipamentos

Para realização dos ensaios e análises foram utilizados agitador jar test (Nova Ética), agitador magnético com aquecimento (Fisatom, modelo 752), medidor de cor aparente microprocessado (Alfakit), micropipetas de 10-100 µL e 100-1000 µL (Digipet), pHmetro portátil (Hanna, modelo HI 8424), refrigerador (Electrolux RE 28 Super), termorreator (DMG), turbidímetro (Hach, modelo 2100 P) e vidrarias diversas.

## 3. Métodos

### 3.1. Caracterização dos efluentes

A caracterização dos efluentes brutos e após ensaio de coagulação/floculação foi realizada a cada semana no Centro de Estudos Ambientais do Unilasalle. Para cada efluente foram avaliados os parâmetros pH, turbidez (NTU) e cor aparente (mg Pt-Co/L) por meio de equipamentos portáteis pHmetro, turbidímetro e colorímetro e, a demanda química de oxigênio - DQO (mg.L<sup>-1</sup>) por meio do método de refluxo fechado e titulometria, conforme Método 5220 C do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

### 3.2. Ensaios de coagulação/floculação

Para determinar as concentrações ótimas dos coagulantes foram preparadas soluções com concentrações de 25, 50, 100, 250 e 500 mg.L<sup>-1</sup>. Para determinar o valor ótimo de pH foram realizados ensaios variando o pH de coagulação em valores entre 5 e 8. Para executar o ensaio de coagulação/floculação, o efluente foi homogeneizado manualmente, fracionado em quatro béqueres no volume de 500 mL cada e o pH foi ajustado com auxílio de pHmetro para o valor ótimo do coagulante em teste, ou seja, sulfato de alumínio (5,5 a 6,0), sulfato de alumínio ferroso (5,0 a 5,5), PAC (5,5 a 5,8) e tanino (6,0). Foram utilizadas, quando necessário, soluções de NaOH e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para ajuste do pH da amostra ao valor ótimo de pH do coagulante. Após a adição do coagulante as amostras foram

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES

submetidas ao ensaio de coagulação/floculação em jar-test, nas velocidades de mistura rápida (VMR) de 120 rpm e mistura lenta (VML) de 15 rpm. Os tempos de mistura rápida (TMR) e lenta (TML) foram 1,5 min e 3 min, e o tempo de sedimentação foi de 15 min. Após esse período, alíquotas foram colhidas de cada béquer e procederam-se as análises de turbidez, cor e DQO.

#### 4. Resultados e discussões

##### 4.1. Caracterização físico-química

A Tabela 1 mostra os resultados de pH, turbidez, cor aparente e DQO (obtida pelo método de refluxo fechado e titulometria), os quais correspondem à caracterização físico-química das amostras de efluentes brutos de leite e doce da indústria de laticínios de Nova Petrópolis/RS.

Tabela 1- Características dos efluentes brutos de laticínio de uma indústria de laticínios (Nova Petrópolis/RS) no período de realização dos experimentos (agosto à setembro/2015).

Parâmetros	Leite	Doce
pH	2,5 a 12,5	4,5 a 5,95
Turbidez (NTU)	206,0 a 1205,40	73,5 a 1312,5
Cor aparente (mg Pt-Co/L)	686,74 a 6652,20	304,01 a 6560,0
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	576,0 a 5568,0	2560,0 a 8384,0

As Figuras 1 e 2 apresentam o comportamento dos resultados médios dos parâmetros turbidez e cor aparente respectivamente, do efluente bruto de doce submetido ao ensaio de coagulação/floculação em jar test no qual foram utilizados os coagulantes tanino, PAC, sulfato de alumínio ferroso e sulfato de alumínio no período de agosto e setembro. As Figuras 3 e 4 apresentam o comportamento destes mesmos parâmetros, também a partir dos valores médios para o efluente bruto de leite no mesmo período.

Figura 1 – Caracterização dos valores médios de turbidez do efluente bruto de doce submetido ao tratamento com coagulantes, por período.

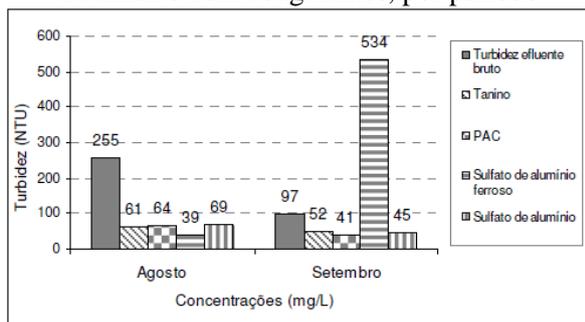
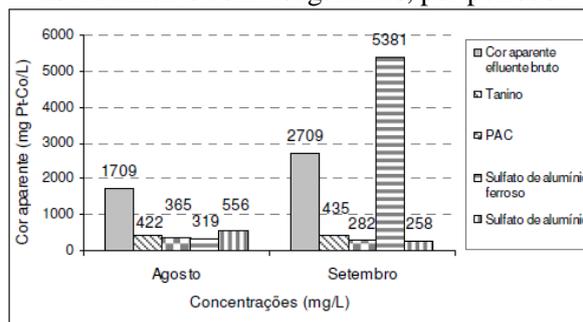


Figura 2 – Caracterização dos valores médios de cor aparente do efluente bruto de doce submetido ao tratamento com coagulantes, por período.



Analisando-se as Figuras 1 e 2 percebe-se que no mês de agosto, o sulfato de alumínio ferroso obteve o menor valor médio para remoção de turbidez e cor aparente para o efluente bruto de doce. Já no mês de setembro o PAC e o sulfato de alumínio obtiveram os menores valores médios para remoção de turbidez e cor aparente, respectivamente.

As Figuras 3 e 4 apresentam o comportamento dos resultados médios dos parâmetros turbidez e cor aparente, respectivamente, do efluente bruto de leite. Analisando-se o mês de agosto, o PAC obteve o menor valor médio para remoção de turbidez e cor aparente, enquanto o tanino obteve esse resultado no mês de setembro. Esse comportamento deve-se principalmente a variabilidade do pH do efluente, o qual pode influenciar sobre a concentração da carga orgânica, dificultando ou facilitando a coagulação/floculação e sedimentação.

Figura 3 – Caracterização dos valores médios de turbidez do efluente bruto de leite submetido ao tratamento com coagulantes, por período.

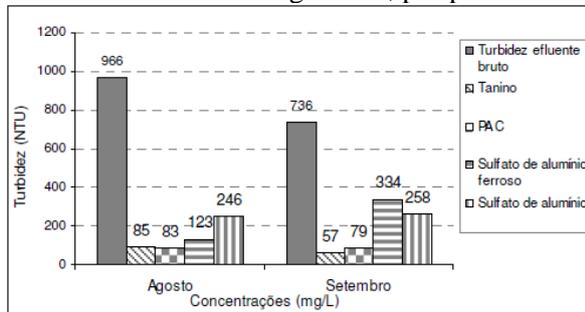
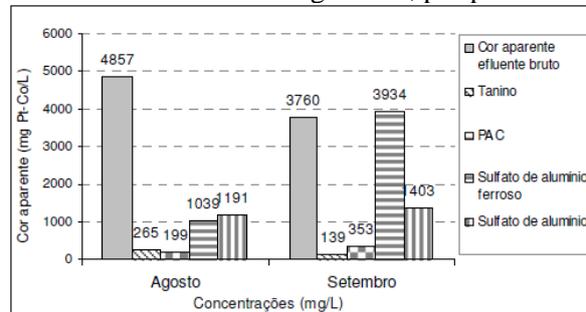


Figura 4 – Caracterização dos valores médios de cor aparente do efluente bruto de leite submetido ao tratamento com coagulantes, por período.



As Figuras 5 a 12 apresentam os resultados médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de doce, conforme valor de pH obtido na caracterização inicial do efluente (meio ácido ou básico), sendo que tais efluentes também foram submetidos ao ensaio em *jar test* nos quais foram testados todos os coagulantes, considerando-se as concentrações predeterminadas (50, 100, 250 e 500 mg/L).

Figura 5 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de doce (meio básico) submetido ao tratamento com tanino.

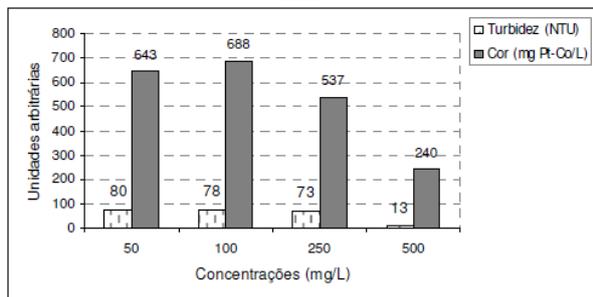


Figura 6 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de doce (meio ácido) submetido ao tratamento com tanino.

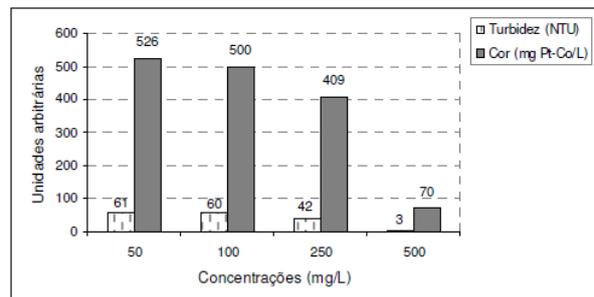


Figura 7 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de doce (meio básico) submetido ao tratamento com PAC.

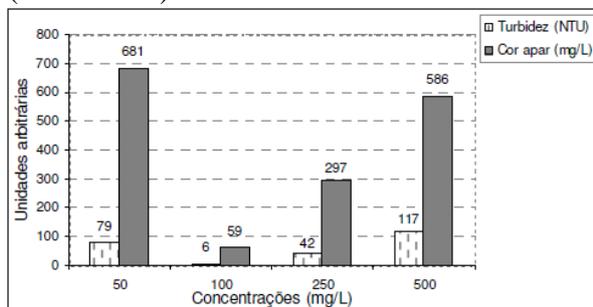


Figura 8 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de doce (meio ácido) submetido ao tratamento com PAC.

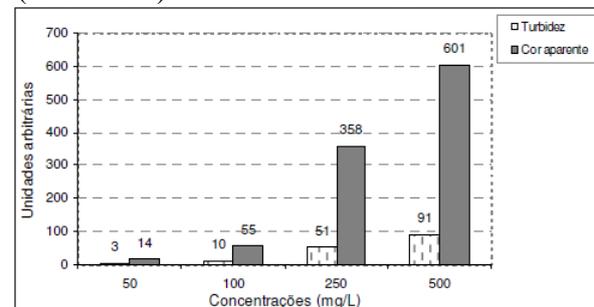


Figura 9 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de doce (meio básico) submetido ao tratamento com sulfato de alumínio ferroso.

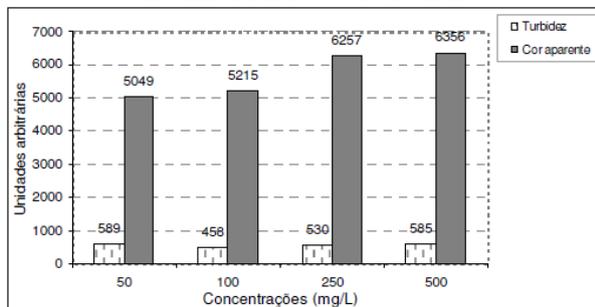


Figura 10 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de doce (meio ácido) submetido ao tratamento com sulfato de alumínio ferroso.

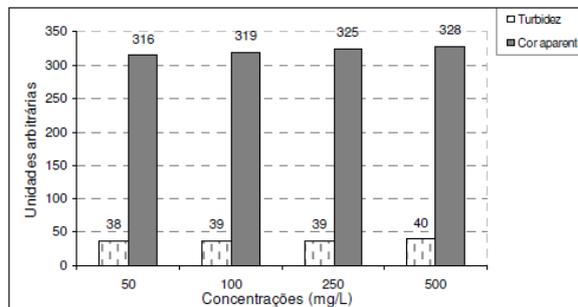


Figura 11 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de doce (meio básico) submetido ao tratamento com sulfato de alumínio.

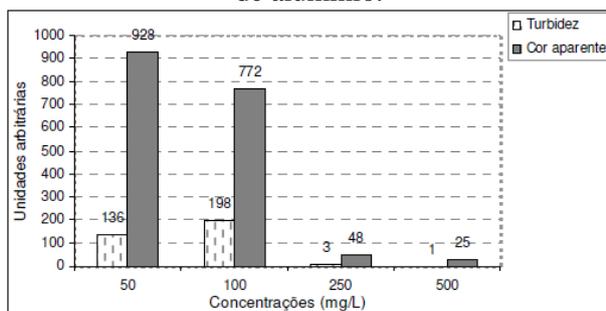
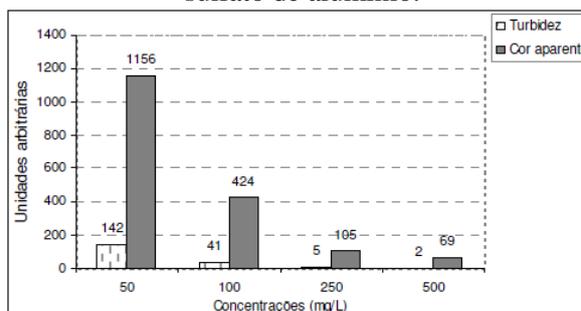


Figura 12 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de doce (meio ácido) submetido ao tratamento com sulfato de alumínio.



Na Tabela 2 consta a concentração ótima de cada coagulante para remoção de cor e turbidez, obtidas a partir dos ensaios de coagulação, conforme a condição ácida e básica do efluente bruto de doce.

Tabela 2 – Concentrações de coagulantes para os menores valores de turbidez e cor aparente.

Coagulantes	Efluente bruto de doce condição básica	Efluente bruto de doce condição ácida
	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )
Tanino	500	500
PAC	100	50
Sulfato de alumínio ferroso	-	-
Sulfato de alumínio	500	500

O sulfato de alumínio ferroso foi ineficaz para remoção de cor e turbidez do efluente de doce. Já o tanino apresentou o melhor resultado na concentração de 500 mg.L<sup>-1</sup> para ambos os casos. Assim, comparando-se todos os resultados infere-se que para o efluente bruto de doce com característica ácida, o PAC na concentração de 50 mg.L<sup>-1</sup> obteve menor resultado e o sulfato de alumínio na concentração de 500 mg.L<sup>-1</sup> para efluente variando entre ácido e base. As figuras 13 a 19 mostram os valores médios dos mesmos parâmetros turbidez e cor aparente para o efluente bruto de leite, obtidos a partir de ensaios de coagulação.

Figura 13 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de leite (meio básico) submetido ao tratamento com tanino.

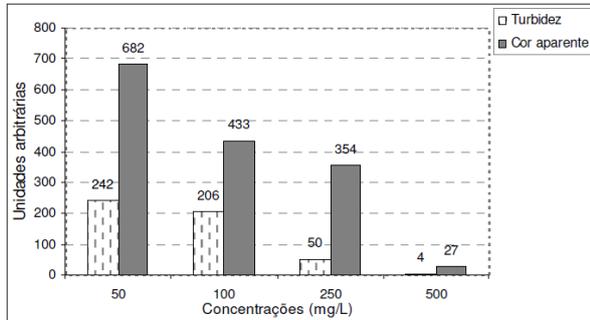


Figura 14 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de leite (meio ácido) submetido ao tratamento com tanino.

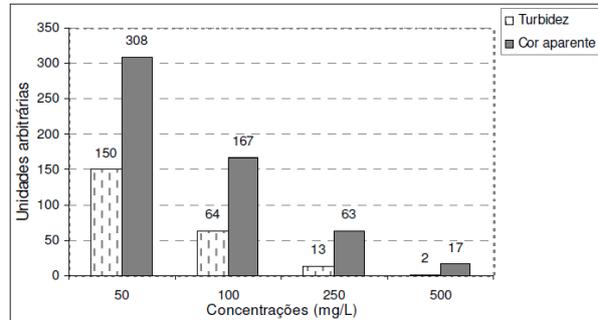


Figura 15 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de leite (meio básico) submetido ao tratamento com PAC.

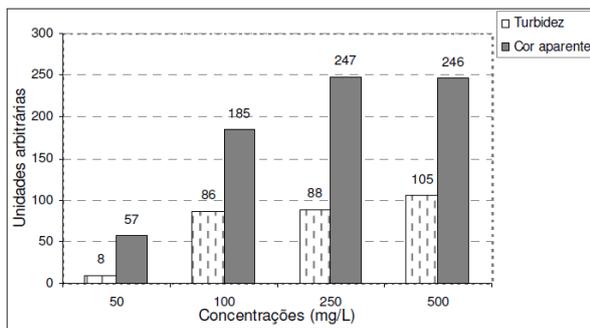


Figura 16 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de leite (meio ácido) submetido ao tratamento com PAC.

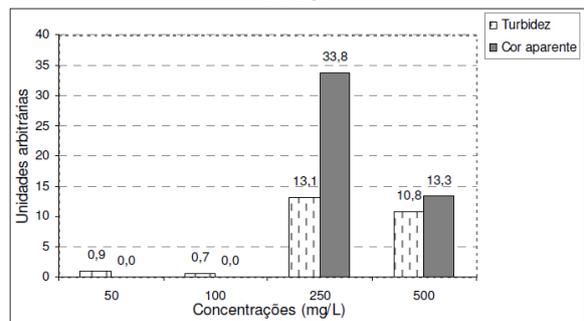


Figura 17 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de leite (meio básico) submetido ao tratamento com sulfato de alumínio ferroso.

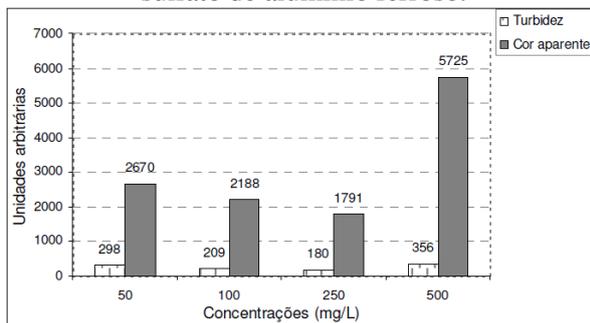


Figura 18 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de leite (meio ácido) submetido ao tratamento com sulfato de alumínio ferroso.

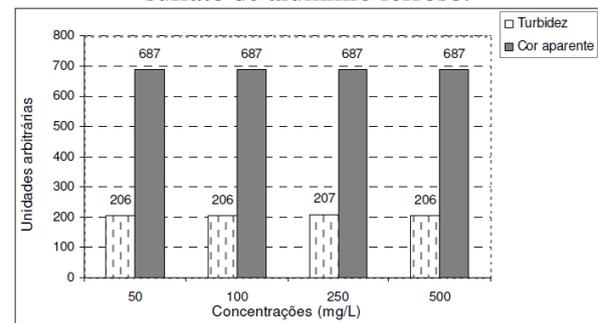


Figura 19 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de leite (meio básico) submetido ao tratamento com sulfato de alumínio.

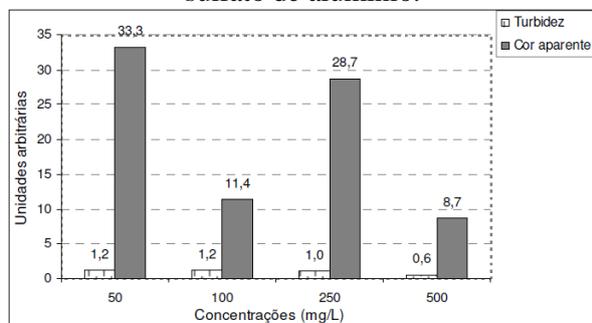
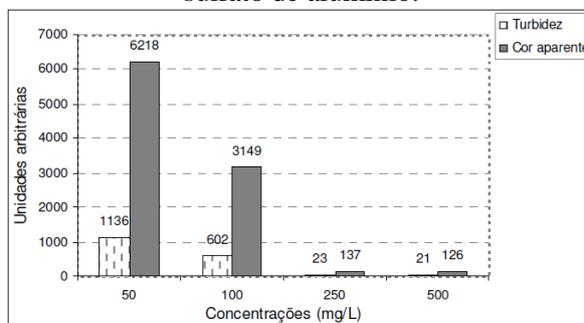


Figura 20 – Caracterização dos valores médios de turbidez e cor aparente do efluente bruto de leite (meio ácido) submetido ao tratamento com sulfato de alumínio.



Na Tabela 3 constam os resultados de concentrações de cada coagulante para remoção de cor e turbidez, de acordo com a condição do efluente bruto de leite.

Tabela 3. Concentrações dos coagulantes para menores valores de turbidez e cor aparente.

Coagulantes	Efluente bruto de doce condição básica	Efluente bruto de doce condição ácida
	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )
Tanino	500	500
PAC	50	100
Sulfato de alumínio ferroso	250	-
Sulfato de alumínio	500	500

O sulfato de alumínio ferroso foi ineficaz para remoção de cor e turbidez no efluente bruto de leite em condição ácida e na condição básica a concentração foi de 250 mg.L<sup>-1</sup>. Assim, comparando-se os resultados da Tabela 3 constatou-se que o coagulante PAC (100 mg.L<sup>-1</sup>) obteve o menor valor para remoção de cor e turbidez para o efluente de leite com caráter ácido e para o caráter básico (50 mg.L<sup>-1</sup>).

Considerando-se a variabilidades dos efluentes em termos de concentração e pH, constatou-se que a diferença entre os resultados obtidos nas concentrações de 50 mg.L<sup>-1</sup> a 500 mg.L<sup>-1</sup>, na maioria dos casos, não foi significativa. Por isso, definiu-se que seria adotada a concentração de 250 mg.L<sup>-1</sup>. Além disso, para a concentração de 500 mg.L<sup>-1</sup> gasta-se o dobro do volume do coagulante para obter praticamente o mesmo resultado, elevando o custo do tratamento.

Em algumas análises o volume de ácido empregado para ajustar o efluente em condição alcalina à faixa de pH ideal do coagulante, triplicou em comparação ao efluente em condição ácida. Tal condição é corroborada pela capacidade de tampão que minimiza a queda brusca do pH e também pela elevada carga orgânica do efluente (Libânio 1997 apud Tambo; François, 1991).

Tratando-se do sulfato de alumínio, a alcalinidade influi consideravelmente na coagulação química, pois ele é um doador de prótons em solução. Deste modo se a alcalinidade da água for baixa, a coagulação poderá exigir a adição de alcalinizante para ajuste do pH, mas se a alcalinidade e o pH forem relativamente altos, é provável que a coagulação com sulfato de alumínio não resulte satisfatória (Di Bernardo; Sobogal Paz, 2008). Portanto, a eficiência do sulfato de alumínio está condicionada à um espectro de variação mais restrito do pH, ou seja, a faixa ideal ou ponto ótimo (Libânio 1997 apud Tambo; François, 1991).

O cloreto de polialumínio, também conhecido como PAC é um coagulante inorgânico catiônico, cujo percentual de basicidade pode influir no pH de coagulação pré-estabelecido para

determinado tipo de água e, portanto, não pode ser relacionada diretamente à eficiência do produto, pois quanto menor a acidez total, maior a quantidade de  $Al_2O_3$  no PAC (Di Bernardo; Sobogal Paz, 2008).

#### 4.2. Análises de DQO

Os resultados da análise de DQO mostram valores desde 576,0 a 5568,0 ( $mg.L^{-1}$ ) para o efluente bruto de leite e de 2560,0 a 8384,0 ( $mg.L^{-1}$ ) para o efluente bruto de doce. Nas Figuras 21 e 22, tais resultados são comparados com os obtidos nos ensaios de coagulação, em que foram utilizadas concentrações de 250  $mg.L^{-1}$  para todos os coagulantes, a fim de avaliar a eficiência.

Figura 21 – Resultados de DQO do efluente de leite bruto e tratado, conforme coagulante.

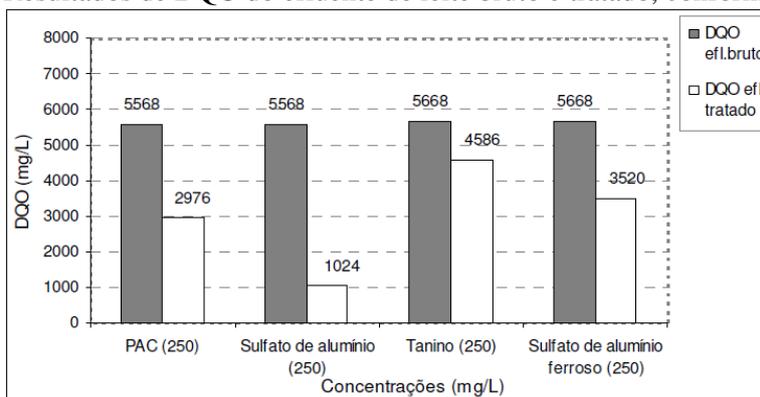
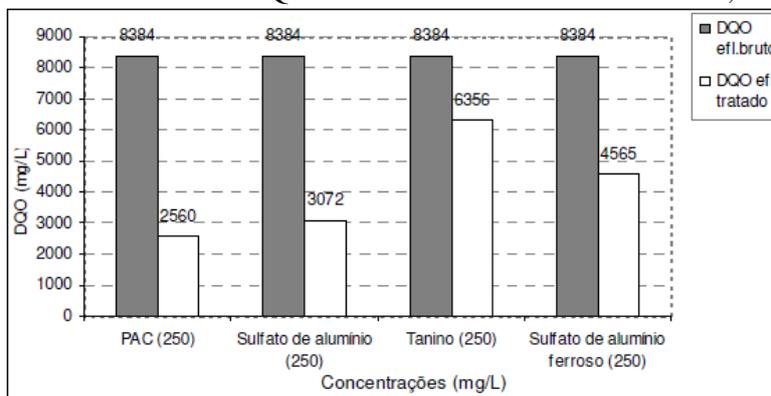


Figura 22. Resultados de DQO do efluente de doce bruto e tratado, conforme coagulante.



Na Tabela 4 consta a compilação dos resultados de eficiência dos coagulantes na remoção de DQO para os efluentes de leite e doce tratados.

Tabela 4. Eficiência dos coagulantes na remoção de DQO para os efluentes de leite e doce.

Coagulante	Efluente de leite	Efluente de doce	Concentração (mg/L)
	Remoção de DQO (%)	Remoção de DQO (%)	
PAC	46,55	69,47	250
Sulfato de alumínio	81,61	63,36	250
Tanino	17,64	24,19	250
Sulfato de alumínio ferroso	36,78	45,55	250

Analisando-se os resultados da Tabela 4 constatou-se que na remoção de DQO o sulfato de alumínio obteve a maior eficiência (81,61 %) para o efluente de leite e que o PAC obteve a maior eficiência (69,47 %) para o efluente de doce, ambos na concentração de 250 mg.L<sup>-1</sup>.

#### 4.3 Volumes dos coagulantes e reagentes

Os resultados apresentados na Tabela 5 e 6 mostram os volumes dos coagulantes na melhor concentração (250 mg.L<sup>-1</sup>), a variação do pH e os volumes das soluções para ajustá-lo à faixa ótima do coagulante (pH final), para o efluente de leite originário de condição básica e ácida, respectivamente e na Tabela 7 constam os valores para o efluente de doce originário de condição ácida. Tais parâmetros representam a condição ótima para remoção de turbidez, cor aparente e DQO.

Tabela 5. Volumes dos coagulantes e reagentes utilizados no tratamento do efluente de leite.

Efluente de leite						
Coagulante	Conc (mg.L <sup>-1</sup> )	Vol(mL)	pH <sub>inicial</sub>	pH adição coagulante	pH <sub>final</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5%) solução (mL)
Sulfato de Alumínio (600 g.L <sup>-1</sup> )	250	0,20	11,40	10,4	5,3	3,25
PAC (380 g.L <sup>-1</sup> )	250	0,329	11,30	8,55	5,6	1,50

Tabela 6. Volumes dos coagulantes e reagentes utilizados no tratamento do efluente de leite.

Efluente de leite						
Coagulante	Conc (mg.L <sup>-1</sup> )	Vol (mL)	pH <sub>inicial</sub>	pH adição coagulante	pH <sub>final</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (5%) solução (mL)
Sulfato de Alumínio (600 g/L)	250	0,20	2,50	2,0	5,3	5,00
PAC (380 g/L)	250	0,329	4,52	4,4	5,6	3,00

Tabela 7. Volumes dos coagulantes e reagentes utilizados no tratamento do efluente de doce.

Efluente de doce						
Coagulante	Conc (mg.L <sup>-1</sup> )	Vol (mL)	pH inicial	pH adição coagulante	pH final	NaOH (50g/L) solução (mL)
Sulfato de Alumínio (600 g/L)	250	0,2	4,49	3,83	5,3	5
PAC (380g/L)	250	0,329	4,52	4,4	5,6	3

#### 4.4. Análise de custos do tratamento de efluentes

A indústria de laticínios de Nova Petrópolis tem um custo mensal estimado em R\$ 30.000,00 para o tratamento físico-químico de efluentes gerados nas fábricas de doce e leite para a vazão de 10500 m<sup>3</sup>/mês.

A partir dos resultados das Tabelas 5 a 7 estimou-se os custos de sulfato de alumínio e PAC, conforme preços de mercado, para tratar o volume de 10500 m<sup>3</sup>/mês de efluentes, conforme Tabela 8.

Tabela 8. Volumes dos coagulantes e custos.

Coagulante/ Reagente	Volume (L)	Volume do efluente (m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
Sulfato de Alumínio (600 g.L <sup>-1</sup> )	2100	10500	1.102,50
PAC (380 g.L <sup>-1</sup> )	3465	10500	2.830,91



Analisando os custos atuais da empresa no tratamento de efluentes com os obtidos no presente trabalho, considerando-se somente os custos dos coagulantes, pode-se perceber uma redução significativa nos mesmos, chegando-se a percentuais menores que 4% para o caso do emprego do sulfato de alumínio e de menos de 10% para o emprego do PAC, conforme Tabela 8.

## 5. Conclusões

Os ensaios de coagulação mostraram que fatores como pH, a natureza do efluente, concentração da carga orgânica e a dose de coagulante influenciam de forma direta sobre a eficiência do processo de coagulação, cujos efeitos podem ser constatados nos resultados de remoção de cor aparente, turbidez e DQO. Diante disso, a determinação da concentração de 250 mg.L<sup>-1</sup> foi realizada com base também no critério da redução de custos, que é o cerne deste trabalho, embora se tenha alcançado em alguns ensaios, menores valores de remoção em concentrações de 50, 100 e 500 mg.L<sup>-1</sup>. Contudo, a escolha da concentração de 250 mg.L<sup>-1</sup> resultou satisfatória em praticamente todos os ensaios. Além disso, para a concentração de 500 mg.L<sup>-1</sup> gasta-se o dobro do volume do coagulante para obter praticamente o mesmo resultado, elevando o custo do tratamento.

Os melhores resultados de remoção de turbidez e cor aparente foram obtidos no pH ótimo dos coagulantes utilizados nos ensaios, a saber, 5,6 para o PAC e 5,3 para o sulfato de alumínio. Coagulante/ Reagente Volume (L) Volume do efluente (m<sup>3</sup>) Custo (R\$) Sulfato de Alumínio (600 g.L<sup>-1</sup>) 2100 10500 1.102,50 PAC (380 g.L<sup>-1</sup>) 3465 10500 2.830,91

A análise de DQO constatou-se que o sulfato de alumínio obteve a maior eficiência (81,61 %) para o efluente de leite e que o PAC obteve a maior eficiência (69,47 %) para o efluente de doce, ambos na concentração de 250 mg.L<sup>-1</sup>, para remoção da carga orgânica.

Assim, conclui-se que a busca pela eficiência dos processos de tratamento, ainda que limitada em alguns aspectos, pode resultar além da redução de custos da empresa, que no presente estudo alcançou 96% de eficiência, mas acima de tudo em benefícios sociais, econômicos e ambientais para a sociedade.

## REFERÊNCIAS

AYECHE, R. Treatment by coagulation-flocculation of dairy wastewater with the residual lime of National Algerian Industrial Gases Company (NIGC-Annaba). Algeria. Elsevier: Energy Procedia v.18, p.147 -156, 2012.

AMINI, M; YOUNESI, H; LORESTANI A. A. Z; NAJAFPOUR, G. Determination of optimum conditions for dairy wastewater treatment in UAASB reactor for removal of nutrients. Bioresource Technology n.145 p.71-79, 2013.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. American Public Health Association, Washington, DC.,2005.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W.A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 357, de março de 2005. Publicado no DOU n° 53, de 18 de março de 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011. Publicado no DOU n° 92 de 16 de maio de 2011.



BRASIL. Resolução CONSEMA nº 128 de 24 de novembro de 2006. Publicado no DOU em 07 de dezembro de 2006.

BRASIL. Resolução CONSEMA Nº 129 de 24 de novembro de 2006. Publicado no DOU em 07 de dezembro de 2006.

CARVALHO, G. R. A indústria de laticínios no Brasil: passado, presente e futuro. Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 102, 2010.

DEMIREL, Burak; YENIGUN, Orhan; ONAY, Turgut T. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review, Process Biochemistry, 40, 8, p.2583-2595, 2005.

DI BERNARDO, L., SABOGAL PAZ, L. P. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. São Carlos: Editora LDIBE Ltda, 2008. 878 p. v.1.

FRANCESCHI, M.; GIROU, A.; CARRO-DIAZ, A.M.; MAURETTE, M.T.; PUECHCOSTES, E. Optimisation of the coagulation–flocculation process of raw water by optimal design method. França: Water Research, n. 36, p. 3561-3572, 2002.

HEALY ,M.G.; RODGERS, MULQUEEN, J. M. Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. Irlanda. Elsevier: Bioresource Technology n. 98, p.2268-2281, 2007.

IBGE. Indicadores sobre produção animal, 2013. Disponível em:<[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos\\_201302\\_publ\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201302_publ_completa.pdf)>.

LEME, E. J. Manual Prático de Tratamento de Águas Residuárias. São Carlos: Edufscar, 2008.

LIBÂNIO, M. PEREIRA, M.M., VORCARO B. M., REIS, R. C., HELLER, L. Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada. ABES. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. II, v.051, p. 1365-1373

MACHADO, R. M. G.; FREIRE, V. H.; SILVA, P. C.; FIGUERÊDO, D. V.; FERREIRA, P. E. Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios. 1ed. Belo Horizonte: Segrac, 2002, 223 p.

MAGANHA, M. F. B. Guia Técnico Ambiental de Produtos Lácteos. São Paulo: CETESB, 2006. 95p.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. Água na Indústria - Uso racional e reúso. Editora Oficina de Textos. São Paulo, 144 p. 2005.

SARKAR, B.; CHAKRABARTI, P.; VIJAYKUMAR, A. ; KALE, V. Wastewater treatment in dairy industries - possibility of reuse. Desalination, v. 195, n.1, p.141-152, 2006.

SIRIANUNTAIBOON, S.; JEEYACHOK, N.; LARPLAI, R. Sequencing batch reactor biofilm system for treatment of milk industry wastewater. Thailandia. Elsevier:Journal of Environmental Management n.76, p.177-183,2005.

KUSHWAHA, J. P; CHANDRA SRIVASTAVA,V; MALL, I. D.Treatment of dairy wastewater by inorganic coagulants: Parametric and disposal studies. Uttarakhand, India:Water Research n.44, p.5867 - 5874, 2010.