

# AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO APLICADO COMO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTES DE ABATEDOURO DE FRANGOS

Marlise Schoenhals<sup>1</sup>; Rennio F. Sena<sup>2</sup>; Humberto J. José<sup>3</sup>

---

## RESUMO

Nos matadouros e frigoríficos os efluentes são gerados em grande quantidade e representam um sério problema pelo alto teor de matéria orgânica necessitando, portanto, de um tratamento eficaz para a redução da mesma. Nesse sentido, a etapa primária de tratamento desempenha um importante papel, por ser responsável pela eliminação de grande parte da carga poluidora do despejo e de seu condicionamento para as etapas posteriores. Neste trabalho foi avaliado o tratamento de efluentes de abatedouro de frangos através do processo de coagulação/floculação seguido por flotação com aeração simples em escala laboratorial. Foram empregados três coagulantes comerciais: SF-PIX, CF-PIX e PAC; e o coagulante SF-LEMA desenvolvido no Laboratório de Energia e Meio Ambiente (LEMA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), juntamente com o polímero aniônico FLONEX9073, utilizado como floculante. A máxima eficiência de remoção da turbidez, dos sólidos suspensos totais, dos óleos e graxas, da demanda química de oxigênio, do fósforo e do nitrato foram de 97%, 96%, 90%, 82%, 98% e 90%, respectivamente. O coagulante SF-PIX proporcionou os melhores resultados, reduzindo fortemente a carga poluidora do efluente. O processo de tratamento empregado demonstrou ser muito efetivo no condicionamento da água residuária em questão, atingindo altos índices de redução dos parâmetros físico-químicos, destacando-se a elevada remoção de nutrientes.

**Palavras-chave:** Coagulação, Efluentes de Abatedouro de Frango, Floculação, Flotação.

## EFFICIENCY EVALUATION OF THE COAGULATION/FLOTATION PROCESS APPLIED AS PRIMARY TREATMENT OF A POULTRY SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER

### ABSTRACT

Abattoirs generate a large amount of wastewater which represents a serious problem due their high levels of organic matter, demanding therefore an important role by the elimination of considerable amounts of pollution charge and conditioning the effluent for the subsequent steps. In this work the effectiveness of the treatment of a poultry slaughterhouse wastewater through the coagulation/flocculation followed by induced air flotation in laboratory scale was evaluated. Three commercial coagulants: SF-PIX, CF-PIX and PAC; one coagulant developed at Energy and Environmental Laboratory –LEMA of Federal University of Santa Catarina- UFSC (SF-LEMA), with anionic flocculant FLONEX9073 were evaluated. The maximum removal efficiencies achieved for turbidity, suspended solids, oil and grease, chemical oxygen demand, phosphorous and nitrate were: 97%, 96%, 90%, 82%, 98% and 90%, respectively. SF-PIX showed the best results, decreasing meaningfully the pollution charge of the effluent. The treatment process employed showed the great effectiveness for effluent conditioning, achieving high reduction of physical-chemical parameters, detaching the high reduction of the nutrient charge.

**Key words:** coagulation, poultry slaughterhouse wastewater, flocculation, flotation.

---

Trabalho recebido em 27/06/2006 e aceito para publicação em 13/07/2006.

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Química (UFSC/2006), Avenida João XIII n.2066 apt.22- Centro-Medianeira/PR/Brasil. CEP. 85884-000 E-mail: [marlise\\_schoenhals@yahoo.com.br](mailto:marlise_schoenhals@yahoo.com.br) telefone: 55 45 32641639.

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia Química – UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Universitário, Departamento de Engenharia Química –Trindade –Florianópolis/SC/Brasil. CEP. 88040-900. E-mail: [rennio@enq.ufsc.br](mailto:rennio@enq.ufsc.br) telefone: 55 48 3319715

<sup>3</sup> Dr. Rer. nat. Universidade Técnica de Aachen, Alemanha (1989). Docente do Departamento de Engenharia Química – UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Universitário, Departamento de Engenharia Química –Trindade – Florianópolis/SC/Brasil. CEP. 88040-900. E-mail: [humberto@enq.ufsc.br](mailto:humberto@enq.ufsc.br) telefone: 55 48 3319715

## 1. INTRODUÇÃO

Nos matadouros e frigoríficos os efluentes líquidos são gerados em grande quantidade e representam um sério problema pelo seu alto teor de matéria orgânica. Como consequência do lançamento destes despejos *in natura*, são acarretados sérios prejuízos ao meio ambiente.

Segundo FORESTI et al. (1978) e HÜBNER (2001), a instalação de abatedouros de alta capacidade agrava os problemas de poluição, pois concentra o lançamento de grandes volumes de despejo. Muitas são as regiões brasileiras com abatedouros de alta capacidade de abate que não possuem corpos receptores do despejo com capacidade de absorção da carga orgânica decorrente do lançamento sem tratamento prévio dessas águas residuárias.

Embora seja teoricamente possível tratar o efluente para qualquer padrão requerido, existem fatores limitantes, como os custos de capital, orçamento operacional e espaço físico. Um tratamento primário eficiente irá reduzir significativamente o tamanho, o capital e os custos de operação de uma planta de tratamento biológico, devido à significativa redução de sólidos suspensos (SS) e óleos e graxas (OG) no efluente que, usualmente, contribuem para 30% a 70% da demanda bioquímica de oxigênio total (DBO) da água residuária.

Dentre os vários processos utilizados na etapa primária de tratamento, podem-se destacar os processos físicos de separação de fases, como a flotação, que pode ser definido como um método de separação de partículas via adesão de bolhas de ar (DI BERNARDO, 1993). Trata-se de uma prática que abrange inúmeras aplicações no beneficiamento mineral, e nos últimos anos tem sido de fundamental importância para o tratamento de efluentes e na reciclagem de materiais de valor econômico (FOERESTMAN, 1976; KITCHENER, 1985; MATIS, 1995).

Entretanto, os efluentes frigoríficos contêm suspensões coloidais que possuem grande estabilidade devido à pequena dimensão e a existência de cargas superficiais que promovem a sua repulsão. Deste modo, os métodos físicos de separação, somente, não são efetivos.

A coagulação/floculação promove a desestabilização e agregação das partículas coloidais e finamente divididas, formando flocos maiores e mais densos, passíveis de separação, o que é possível através do emprego de coagulantes, geralmente sais de ferro e alumínio e polímeros sintéticos utilizados como floculantes.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do processo de coagulação/floculação seguido de flotação

por aeração simples em escala laboratorial como etapa de tratamento primário de efluentes de abatedouro de frangos, por meio da análise do desempenho de quatro coagulantes em conjunto e um floculante na remoção dos parâmetros representativos da poluição do efluente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Energia e Meio Ambiente (LEMA) do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), onde foram conduzidos os ensaios de flotação e determinados os parâmetros físico-químicos necessários para avaliar a eficiência do tratamento. O experimento foi realizado no período de julho a dezembro de 2005.

### 2.1 Efluente utilizado nos testes

O efluente utilizado foi proveniente de um abatedouro de frangos localizado no município de Santo Amaro da Imperatriz – SC. A coleta foi realizada na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes da indústria.

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização físico-química deste efluente.

### 2.2. Agentes coagulantes e floculantes utilizados

Foram utilizados três coagulantes comerciais: Sulfato Férrico  $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$  aqui denominado SF-PIX, Cloreto férrico  $[\text{FeCl}_3]$ -CF-PIX e Policloreto de Alumínio  $[\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}]$  – PAC. Também foi utilizado o coagulante Sulfato Férrico  $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$  desenvolvido no Laboratório LEMA da UFSC e em fase de testes, sendo denominado SF-LEMA.

O floculante selecionado para os estudos foi o polímero aniônico FLONEX9073, devido aos bons resultados anteriores obtidos com o emprego do mesmo.

### 2.3 Determinação das dosagens ótimas de coagulante e floculante

A determinação da dosagem ótima dos coagulantes e floculante para o efluente em questão foram realizadas através de *Jar Test*.

### 2.4 Metodologia para a determinação dos parâmetros de poluição

As determinações dos parâmetros representativos de poluição do efluente foram realizadas de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

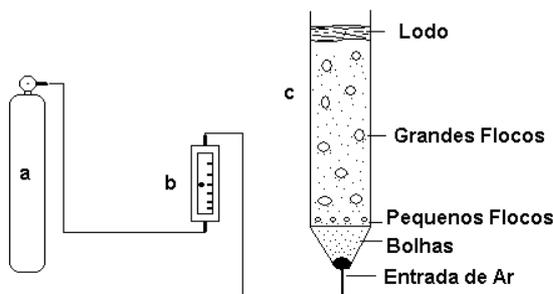
**Tabela 1.** Caracterização física e química do efluente *in natura* proveniente de um abatedouro de frangos, localizado no município de Santo Amaro da Imperatriz – SC, no ano de 2005.

Parâmetro	Concentração
Temperatura	24 °C
pH	6,7
Cor verdadeira	2257 mgPtCo.L <sup>-1</sup>
Alcalinidade	60 mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>
Turbidez	920 NTU
Óleos e Graxas (OG)	430 mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos Totais (ST)	1740 mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos Suspensos Totais (SST)	1280 mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos Voláteis Totais (SVT)	318 mg.L <sup>-1</sup>
% de SVT	18,27%
DQO total	1020 mg.L <sup>-1</sup>
DQO solúvel	771 mg.L <sup>-1</sup>
Nitrogênio Total	16 mg N.L <sup>-1</sup>
Nitrogênio Amoniacal	11,04 mg NH <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	N.d.
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	4,96 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .L <sup>-1</sup>
Fósforo Total	53,3 mg P.L <sup>-1</sup>
Ortofosfatos	25,8 mg PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .L <sup>-1</sup>

## 2.5 Sistema experimental utilizado para os ensaios de flotação

Utilizou-se uma coluna de flotação em escala laboratorial com aeração ascendente com as seguintes dimensões: 0,8 cm de diâmetro, 30 cm de altura e capacidade volumétrica de 1000 mL. O efluente foi adicionado em sistema batelada e a coleta das amostras após o tratamento era realizada por sucção. A vazão específica de ar utilizada nos testes foi de  $0,2 \text{ L/L.min}^{-1}$ , sendo o controle realizado pelo ajuste de rotâmetro conectado ao cilindro de ar pressurizado e a coluna de flotação.

A Figura 1 apresenta um desenho esquemático do sistema utilizado.



**Figura 1.** Sistema utilizado para a condução dos experimentos de flotação, incluindo: (a) cilindro de ar pressurizado, (b) rotâmetro e (c) coluna de flotação.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Dosagens de coagulante e floculante utilizadas

A Tabela 2 apresenta as dosagens ótimas obtidas para coagulante e floculante através de *Jar test*.

A maior variação nas dosagens ocorreu para o coagulante PAC, pois para um resultado satisfatório fez-se necessária uma dosagem maior em relação aos coagulantes férricos.

Para a realização dos ensaios com o coagulante PAC, o pH do efluente foi corrigido para 7,5, valor este ideal para a atuação do mesmo. Para os coagulantes férricos, o ajuste de pH não foi necessário, pois sua faixa de atuação situa-se entre pH 4 e 11.

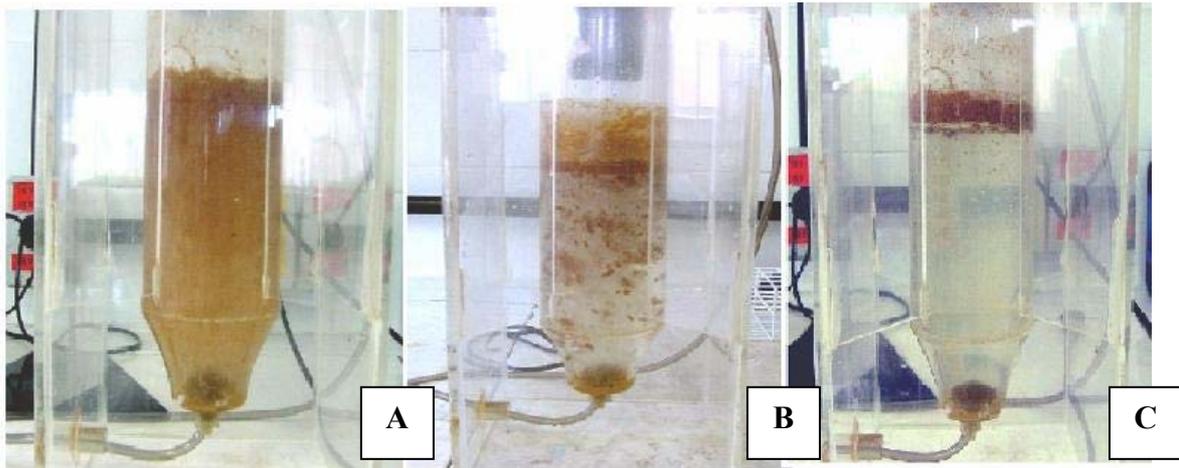
### 3.2. Ensaio de flotação e caracterização físico-química dos efluentes ao processo

A Figura 2 mostra a evolução das etapas do processo de coagulação/floculação e flotação.

No início, a adição e a dispersão do coagulante proporcionaram a desestabilização das partículas. Em seguida, com a adição do floculante e início da aeração, os microflocos iniciaram o movimento ascendente resultando no efluente clarificado, com a interrupção da aeração.

**Tabela 2.** Dosagens ótimas dos coagulantes e floculante.

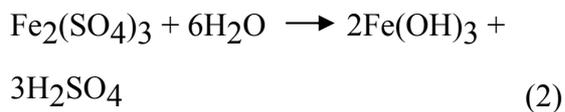
Coagulante/floculante	Dosagem
SF – PIX FLONEX 9073	25 mg.L <sup>-1</sup> Fe <sup>3+</sup> 2 mg.L <sup>-1</sup>
CF – PIX FLONEX 9073	25 mg.L <sup>-1</sup> Fe <sup>3+</sup> 2 mg.L <sup>-1</sup>
SF – LEMA FLONEX 9073	30 mg.L <sup>-1</sup> Fe <sup>3+</sup> 2 mg.L <sup>-1</sup>
PAC FLONEX 9073	80 mg.L <sup>-1</sup> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,5 mg.L <sup>-1</sup>



**Figura 2** Fenômeno da coagulação com forte interação entre as moléculas (a), fenômeno da floculação com aumento do tamanho dos flocos (b) e fenômeno da flotação concluído depois de cessada a aeração (c).

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos avaliados nos efluentes ao processo de flotação.

Os coagulantes férricos ocasionaram uma redução no pH do efluente, reduzindo conseqüentemente os valores de alcalinidade, devido às seguintes reações de hidrólise (PAVANELLI, 2001):



Com o emprego do coagulante PAC, os valores de pH e de alcalinidade foram elevados em função da basicidade do produto visto que o PAC, durante a hidrólise, libera em igualdade de dosagem de íons metálicos uma quantidade de ácido consideravelmente menor.

A turbidez do efluente sofreu uma forte redução com o emprego dos quatro coagulantes, sendo o decaimento mais pronunciado com a utilização do SF-PIX e CF-PIX.

Em relação à concentração de cor, os coagulantes SF-PIX e CF-PIX proporcionaram uma redução maior em comparação com o desempenho do SF-LEMA e PAC, sendo que com o uso deste

último, o efluente tratado apresentou uma concentração ainda elevada do parâmetro, atingindo 660 mgPtCo.L<sup>-1</sup>. Isto pode ser explicado pelo fato de que a remoção mais efetiva deste parâmetro ocorre para faixas mais baixas de pH do que aquelas normalmente requeridas para a remoção de turbidez (LEAL & LIBÂNIO, 2002). Na Figura 3 pode-se observar as eficiências de remoção atingidas na remoção de cor e turbidez com o tratamento.

As eficiências de remoção de turbidez foram elevadas com o emprego dos quatro coagulantes, ocorrendo uma remoção menor com o uso do PAC.

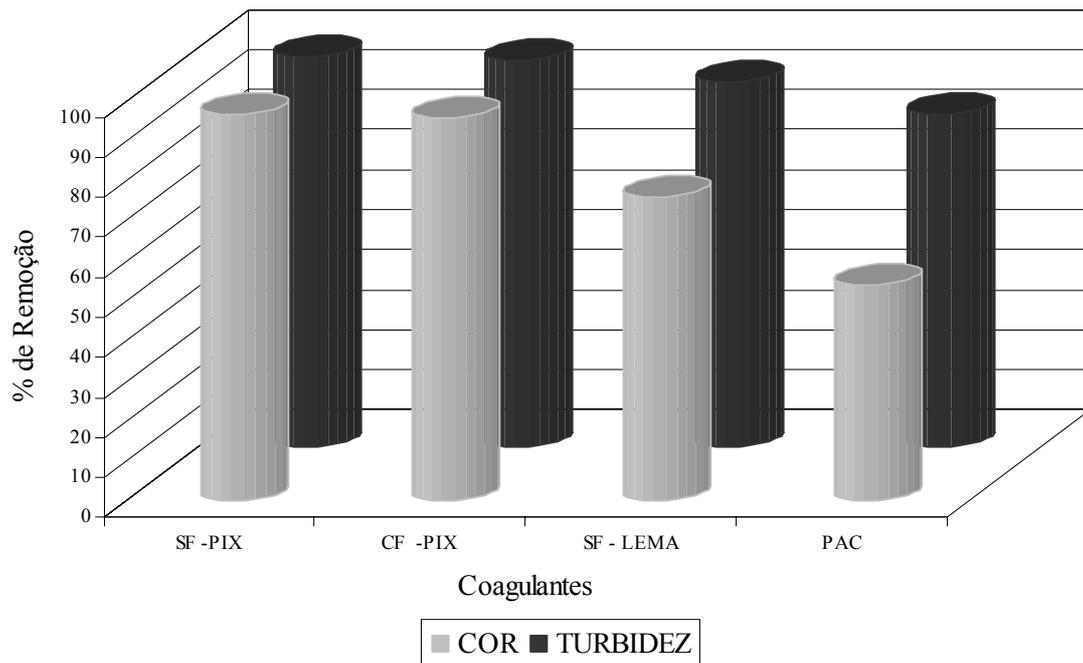
DELGADO et al. (2003), aplicando o processo de decantação no tratamento de efluente frigorífico com cloreto férrico nas dosagens de 5 a 30 mg.L<sup>-1</sup>, alcançaram eficiências de remoção de turbidez na faixa de 60-75%. Portanto, com os resultados obtidos nesse trabalho, empregando-se CF-PIX na dosagem de 25 mg.L<sup>-1</sup> e 2 mg.L<sup>-1</sup> do floculante FLONEX9073, foi atingida uma eficiência consideravelmente maior de 98% na remoção da turbidez.

Na redução de cor, os coagulantes SF-PIX e CF-PIX apresentaram as melhores eficiências, atingindo 96,7% e 96,0%, respectivamente. O SF-LEMA proporcionou uma remoção menor, a qual correspondeu a 76,0%. O PAC resultou no menor percentual de remoção (54,2%)..

**Tabela 3.** Caracterização físico-química dos efluentes ao processo de flotação.

Coagulante	pH	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	Turbidez (NTU)	Cor (mg PtCo.L <sup>-1</sup> )	OD (mg.L <sup>-1</sup> )
SF – PIX	5,3	8	22	48	2,6
CF – PIX	5,0	8	28	58	2,0
SF -LEMA	5,8	20	78	346	2,1
PAC	7,7	80	154	660	1,9

OD: oxigênio dissolvido.



**Figura 3.** Eficiências de remoção de cor e turbidez em efluente de abatedouro de frango com a utilização dos diferentes coagulantes.

Através da Figura 4 pode-se visualizar a amostra de efluente *in natura* e as alíquotas coletadas após a flotação com a utilização dos respectivos coagulantes.

Conforme pode ser comprovado com a análise visual da Figura 4, a clarificação do efluente com a aplicação dos quatro coagulantes foi satisfatória, sendo mais pronunciada com o uso dos coagulantes SF-PIX e CF-PIX.

A Tabela 4 apresenta os resultados do monitoramento de sólidos nos efluentes submetidos ao tratamento.

No decaimento de ST, o coagulante CF-PIX obteve o melhor desempenho, seguido pelo SF-LEMA, sendo que a maior concentração no efluente tratado foi análoga para o SF-PIX e PAC. A variação dos resultados entre os coagulantes foi baixa.

A remoção de SVT foi maior com o uso do SF-PIX e CF-PIX, atingindo 74,2% e 72,3%, respectivamente, e a concentração final mais elevada ocorreu com a utilização do PAC, a qual correspondeu a uma redução de 50,6%.

Quanto à remoção de SST, foi notável a elevada diminuição com o uso do SF-PIX em relação aos demais coagulantes, alcançando 96,8%. A utilização do PAC resultou na maior concentração deste parâmetro no efluente

tratado, correspondendo a uma diminuição de 87,5%.

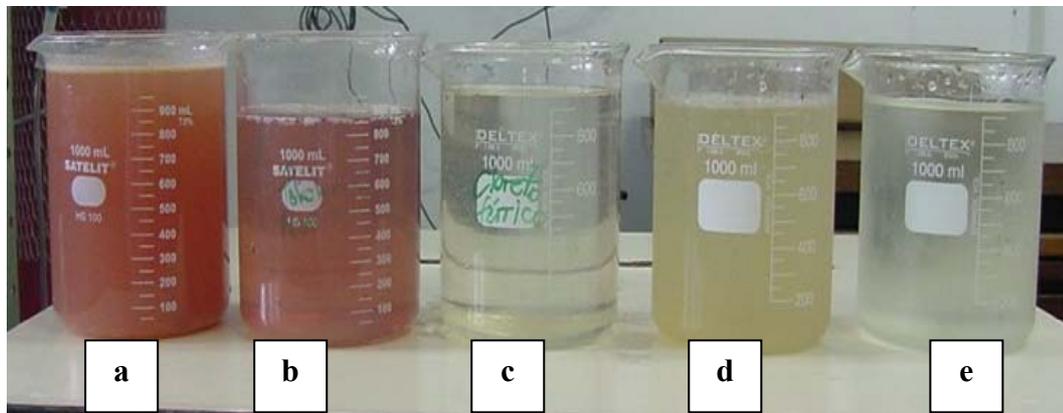
Na Tabela 5 são apresentados os percentuais de SVT e SST em relação aos ST no efluente bruto e tratado.

O percentual de SVT não sofreu grande variação após o tratamento com o emprego dos quatro coagulantes testados, sendo que o coagulante SF-PIX proporcionou a menor concentração no efluente tratado (5%) e o SF-LEMA, a maior (17,1%).

O percentual de material suspenso (SST) foi elevado no efluente bruto, sendo o processo de coagulação/flotação eficaz na sua redução. Com o emprego do SF-PIX o decaimento do percentual de SST foi de 68%.

As eficiências de remoção de sólidos podem ser observadas na Figura 5.

Com o uso do coagulante PAC, a redução de ST foi de apenas 25% enquanto a de SST atingiu 87,5%. Esses resultados comprovam a menor eficiência na remoção de materiais dissolvidos por meio do emprego desse coagulante, justificando a sua baixa eficiência na redução da cor do efluente, a qual alcançou 54,2%. Na remoção de ST, os coagulantes férricos demonstraram um comportamento similar, permanecendo na ordem de 60% de redução. O comportamento foi análogo no que se refere aos SVT.



**Figura 4.** Efluente *in natura* (a) e amostras coletadas após o processo de flotação com a aplicação dos diferentes coagulantes: PAC (b), CF –PIX (c), SF – LEMA (d) e SF –PIX (e).

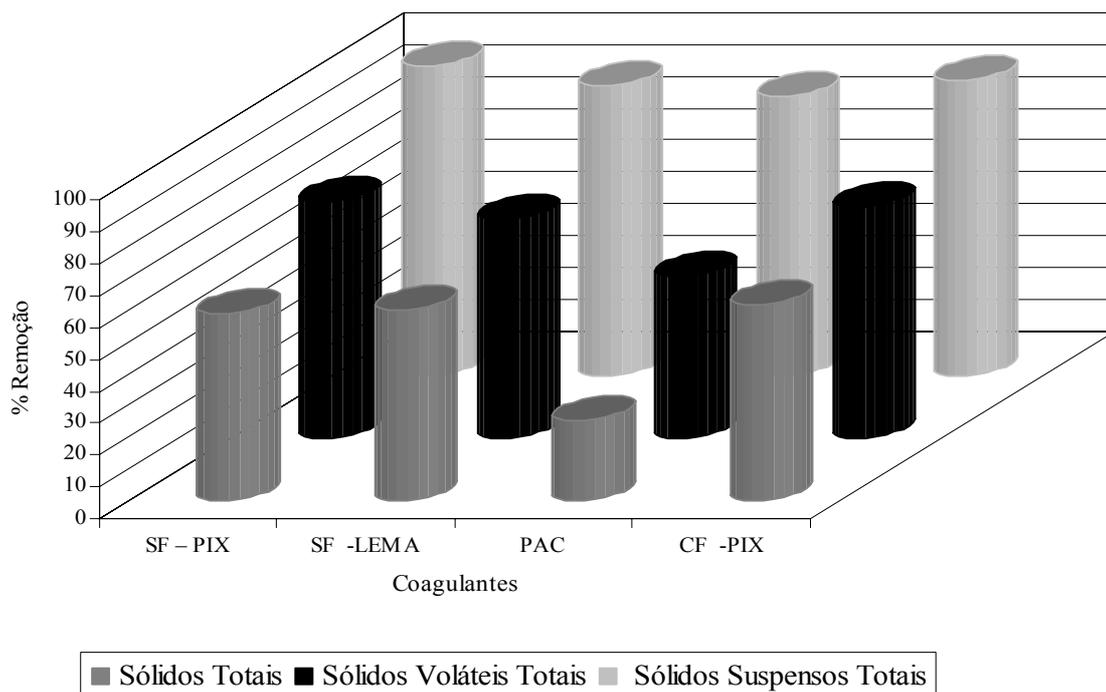
**Tabela 4.** Concentrações de sólidos em efluente de abatedouro de frango após os ensaios de flotação.

Coagulante	ST	SVT	SST
	----- (mg.L <sup>-1</sup> ) -----		
SF – PIX	725	82	40
CF – PIX	675	88	100
SF – LEMA	703	101	120
PAC	725	157	160

ST: sólidos totais; SVT: sólidos voláteis totais; SST: sólidos suspensos totais

**Tabela 5.** Percentuais de sólidos voláteis totais (SVT) e sólidos suspensos totais (SST) em relação aos sólidos totais nas amostras do efluente tratado (ET) com os diferentes coagulantes e do efluente bruto (EB)

Efluente	% SVT	% SST
	----- (%) -----	
ET (SF – PIX)	11,3	5,5
ET (CF – PIX)	13,0	14,8
ET (SF –LEMA)	14,4	17,1
ET (PAC)	12,0	12,3
EB	18,3	73,6



**Figura 5.** Eficiências de remoção de sólidos totais, sólidos voláteis totais e sólidos suspensos totais em efluente de abatedouro de frango submetido a tratamentos com coagulantes testados.

LOVETT, TRAVERS (1986) e JAMESON (2005), afirmam que mais de 98% dos sólidos suspensos podem ser removidos das águas residuárias industriais com o uso da flotação por ar dissolvido e coagulação. Neste trabalho, com o emprego do coagulante SF-PIX, atingiu-se uma eficiência de 96,8% na remoção de SS.

As altas taxas de remoção de material suspenso verificadas nos experimentos são vantajosas quando existe uma etapa posterior de tratamento biológico, pela facilidade dos microrganismos em degradar materiais dissolvidos.

Na Tabela 6 encontram-se os valores obtidos para a demanda química de oxigênio total (DQOt), para a demanda química de oxigênio solúvel (DQOs) e para os óleos e graxas (OG).

O maior decaimento de DQOt ocorreu com o emprego do coagulante CF-PIX, seguido pelo SF-PIX, os quais atingiram 82,5% e 84,1% respectivamente. O coagulante PAC proporcionou a menor redução, com uma diferença considerável quando comparado ao desempenho dos coagulantes férricos.

A remoção de DQOs pelos coagulantes seguiu a mesma tendência no que se refere à DQOt. A menor concentração desse parâmetro químico foi

obtida com o emprego do coagulante CF-PIX, seguido pelo SF-PIX, sendo o pior desempenho apresentado pelo tratamento que utilizou o PAC.

O decréscimo na concentração de OG foi elevado para os quatro coagulantes testados, sendo a menor concentração final obtida com o emprego do SF-PIX e a maior com o SF-LEMA.

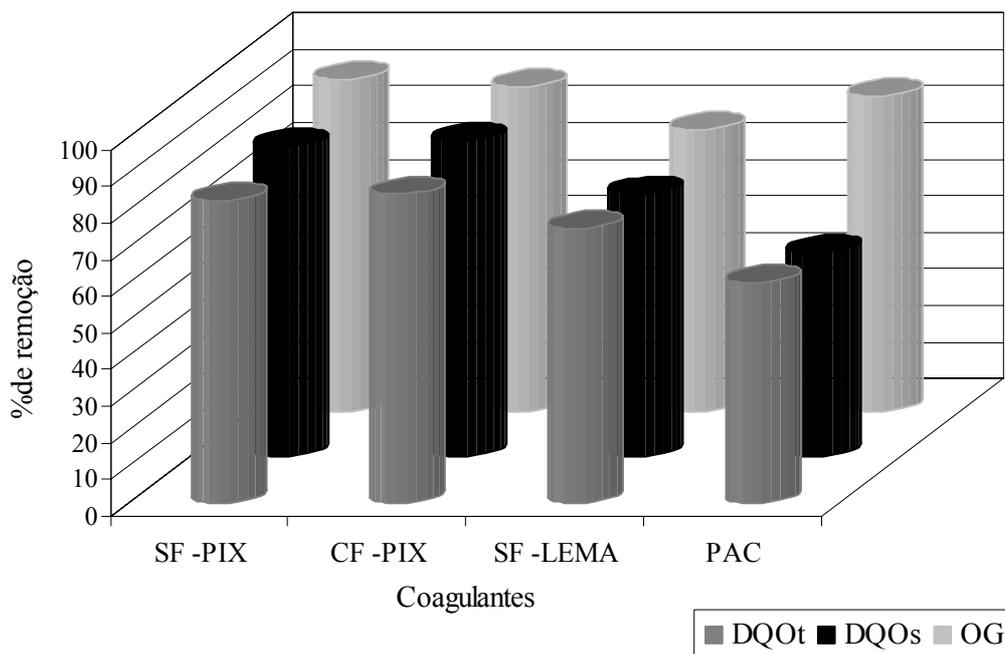
A Figura 6 apresenta as eficiências de remoção de DQOt, DQOs e OG obtidas pelos diferentes tratamentos avaliados.

Segundo MITTAL (2005) e NUNEZ et al. (1999), as unidades de flotação podem alcançar faixas de redução de DQOt de 32% a 90%, sendo que o processo de coagulação/floculação aplicado ao tratamento de águas residuárias de abatedouro, utilizando cloreto férrico e policloreto de alumínio, atingiu máximas eficiências de remoção de DQOt na faixa de 45% a 75%.

Os resultados obtidos neste experimento encontram-se numa faixa ligeiramente superior, de 59,8% a 84,1%, sendo que a maior eficiência na redução de DQOt ocorreu com o emprego do CF-PIX (84,1%), muito próxima àquela obtida para o SF-PIX (82,5%). A eficiência de remoção mais baixa ocorreu com o emprego do PAC, alcançando uma redução de DQO de 59,8%.

**Tabela 6.** Concentrações da demanda química de oxigênio total (DQOt), da demanda química de oxigênio solúvel (DQOs) e dos óleos e graxas (OG) após o processo de tratamento do efluente (ET) de abatedouro de frango com diferentes coagulantes

Efluente (Coagulante)	DQOt	DQOs	OG
	----- (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> ) -----		(mg.L <sup>-1</sup> )
ET (SF – PIX)	178,3	119,8	40,9
ET (CF – PIX)	162,0	107,4	50,0
ET (SF –LEMA)	258,8	218,5	100,4
ET (PAC)	410,0	342,4	60,1



**Figura 6.** Eficiências de remoção de DQOs, DQOt e OG em efluente de abatedouro de frango obtidas pelos diferentes tratamentos de coagulantes avaliados.

Na remoção de DQOs, os coagulantes CF-PIX e SF-PIX proporcionaram uma eficiência sensivelmente maior em relação à DQOt, alcançando 86,1% e 84,5%, respectivamente. Com o uso do SF-LEMA e PAC, a redução de DQOs foi de 71,7% e 55,6% respectivamente, comparativamente menor que aquela verificada para a DQOt.

As eficiências de remoção de OG que oscilaram entre 76,7% (SF-LEMA) a 90,5% (SF-PIX), são índices elevados que ocorreram, primeiramente, como consequência da interação das moléculas de OG com o coagulante, formando colóides com densidades bem menores que a da água que, por si só, deslocar-se-iam para a superfície da câmara de separação. No entanto, com o auxílio das microbolhas geradas no processo, a flotação das partículas coloidais realizou-se de forma mais rápida e eficiente.

As altas eficiências de remoção obtidas para OG é um fator condicionante para a eficiência das etapas biológicas de tratamento, pois a presença de OG inibe a atividade microbiana pelo fato destes componentes serem formados por compostos orgânicos de cadeia longa, o que dificulta a oxidação, levando a um tempo de detenção hidráulica prolongado e implicando em custos adicionais.

A Tabela 7 apresenta as concentrações de compostos nitrogenados nas amostras analisadas após o tratamento.

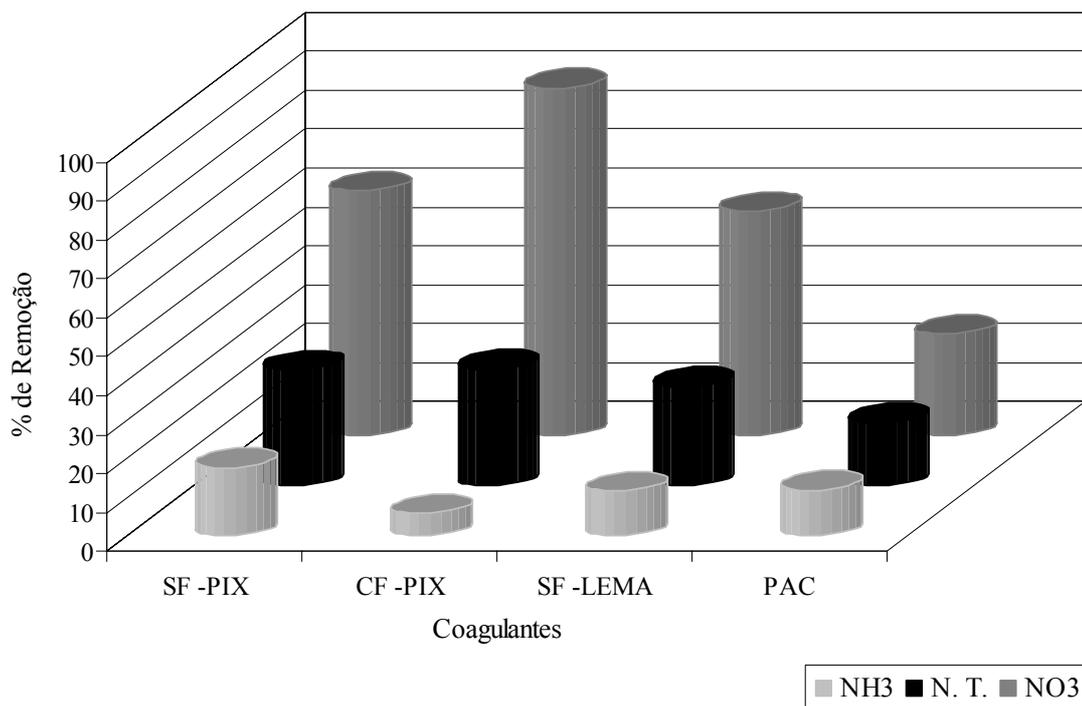
Com os resultados obtidos, pôde-se constatar que a forma predominante de nitrogênio foi o amoniacal, caracterizando um típico efluente bruto, ou seja, em que o processo de nitrificação esteve estático ou atuou de forma lenta.

Ocorreu uma pequena redução na concentração de nitrogênio amoniacal, corroborando o relatado por ROSA, RUBIO (2005) quando aplicaram o processo de coagulação/floculação, pois o mesmo não o remove diretamente. Para nitratos, a redução da concentração em relação ao efluente bruto foi pronunciada.

A Figura 7 apresenta as eficiências de remoção de nitrogênio nas suas diversas formas. Como não foi identificada a presença de nitritos no efluente *in natura*, não há um percentual de redução para o mesmo, sendo identificada apenas a presença de uma pequena concentração nas amostras após o tratamento aplicado. Através do gráfico da Figura 7, pode-se constatar que a remoção de N oscilou de 16,8% (PAC) a 30,0% (CF-PIX), satisfatória por se tratar de etapa primária de tratamento físico-químico e em função da mesma ficar condicionada aos processos biológicos, onde as remoções atingem 90% (SROKA *et al.*, 2004).

**Tabela 7.** Concentrações de nitrogênio total (N), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) no efluente de abatedouro de frango (ET) após o tratamento com os diferentes tipos de coagulantes.

ET (Coagulante)	N	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$
----- (mg.L <sup>-1</sup> ) -----				
EF (SF – PIX)	11,23	9,11	1,83	0,29
EF (CF – PIX)	11,21	10,40	0,52	0,29
EF (SF –LEMA)	11,90	9,77	2,09	0,04
EF (PAC)	13,41	9,75	3,66	N.d.



**Figura 7.** Eficiências de remoção de nitrogênio em efluente de abatedouro de frango obtidas pelos diferentes tratamentos de coagulantes avaliados.

A remoção de nitrogênio amoniacal foi mais efetiva com a utilização do SF-PIX (17,5%), similares àquelas obtidas com SF-LEMA e PAC (11,5% e 11,7%, respectivamente). A menor redução ocorreu com o emprego do CF-PIX (5,8%).

A redução de  $\text{NO}_3^-$  foi de 89,5%, 63,1% e 57,9% quando se utilizaram os coagulantes CF-PIX, SF-PIX e LEMA, respectivamente. A eficiência de redução mais baixa para esse parâmetro foi obtida com o uso do PAC.

AGUILAR *et al.* (2002), aplicando o processo de coagulação a um efluente frigorífico, alcançaram taxas de remoção de nitratos de 85% a 88%, sendo que a remoção de nitrogênio amoniacal, como ocorreu neste trabalho, foi baixa e inferior a 10%.

A Tabela 8 mostra os resultados das análises de fósforo total e ortofosfatos nos efluentes submetidos ao processo de flotação.

A concentração de fósforo total no efluente ao processo foi bastante reduzida com o emprego dos coagulantes SF-PIX, CF-PIX e PAC. Com a utilização do coagulante SF-LEMA, a concentração foi elevada, sendo este comportamento análogo no que se refere à remoção de ortofosfatos.

Diversos processos químicos e biológicos têm sido investigados para a remoção de fósforo nos efluentes. Em estudos anteriores, foi constatado que a maior parte do fósforo despejado (50% a 80%) está contida nos sólidos suspensos. Assim, um mecanismo que possa removê-los também irá contribuir para redução do nível global de descarga de fósforo (EBLLING *et al.*, 2005).

A Figura 8 apresenta os percentuais de remoção de fósforo total e ortofosfatos atingidos com o tratamento.

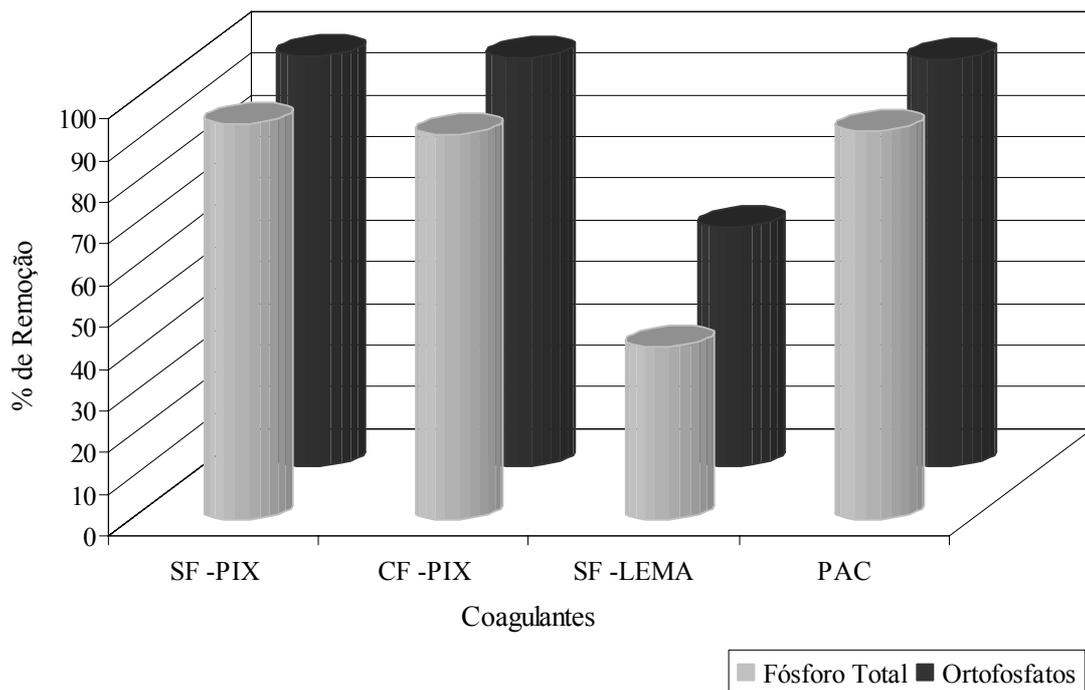
Os resultados são muito satisfatórios no que se refere à remoção de fósforo total para o coagulante SF-PIX que atingiu 95,0%, seguido em eficiência pelo CF-PIX (92,5%) e pelo PAC (93,4%). O SF-LEMA proporcionou a menor redução (41,6%).

Em relação à remoção de ortofosfatos, o comportamento dos coagulantes foi semelhante ao observado para o parâmetro químico anterior. O SF-PIX proporcionou a maior remoção (98,3%), enquanto que com o emprego do SF-LEMA foi obtida uma eficiência de apenas 57,3%.

No processo de coagulação flotação, a remoção de fósforo na água residuária ocorreu devido a (AGUILAR *et al.*, 2002):

**Tabela 8.** Concentração de fósforo total e ortofosfatos no efluente de abatedouro de frango (ET) após o processo de flotação.

ET (Coagulante)	Fósforo Total	Ortofosfatos
	(mg.L <sup>-1</sup> )	
ET (SF -PIX)	2,74	0,45
ET (CF -PIX)	4,14	0,59
ET (SF -LEMA)	32,3	12,17
ET (PAC)	3,66	0,75



**Figura 8.** Eficiências de remoção de fósforo total e ortofosfatos em efluente de abatedouro de frango obtidas pelos diferentes tratamentos de coagulantes avaliados.

- Os fosfatos existentes foram incorporados aos sólidos em suspensão e a remoção destes sólidos, durante o processo, inclui a redução de fosfatos;
- Adsorção direta dos íons de fosfato nos produtos de hidrólise formados pelo íon metálico e utilizados como coagulante;
- Remoção através da formação de fosfatos precipitados com os sais metálicos utilizados como coagulante.

As reações básicas envolvidas na precipitação química de fósforo por sais de ferro e alumínio foram (EBLLING et al., 2005):



A remoção de fosfatos através da precipitação química é afetada por vários fatores: alcalinidade, conteúdo de matéria orgânica, presença de outros metais (METCALF & EDDY, 1995). Portanto, o baixo desempenho do SF-LEMA está relacionado ao grau de pureza do produto, que contém uma elevada concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  quando comparado ao SF-PIX e ainda, devido a presença de  $\text{Al}^{3+}$ , que

provavelmente compete com o  $\text{Fe}^{3+}$  durante a coagulação.

#### 4. CONCLUSÕES

Entre os coagulantes avaliados o SF-PIX proporcionou os melhores resultados, mostrando ser bastante efetivo no tratamento do efluente em questão.

O percentual de sólidos suspensos no efluente bruto (73,6%) sofreu reduções que variaram de 5,5% a 14,8% com a aplicação do processo de coagulação/flotação, destacando-se o coagulante SF-PIX. A redução do teor de óleos e graxas também foi elevada permanecendo na faixa de 76,7% (SF-LEMA) a 90,5% (SF-PIX). Essas remoções são condicionantes para a eficiência dos processos biológicos posteriores.

O coagulante PAC demonstrou ser menos efetivo na remoção de materiais dissolvidos e coloidais, tendo atingido baixas eficiências de redução de ST, cor e  $\text{NO}_3^-$ .

Na remoção da carga de nutrientes, a redução de  $\text{NO}_3^-$  foi elevada quando utilizados os coagulantes férricos, tendo atingindo 89,5% de redução com o emprego do CF-PIX. A menor eficiência de redução do nitrato foi atingida pelo PAC (26,2%), sendo atribuída à remoção de material coloidal.

As remoções de fósforo total foram altas com o uso do SF-PIX (95%), CF-PIX (92%) e PAC (93%). O SF-LEMA proporcionou um desempenho menor (41,5%). Comportamento análogo foi observado para o parâmetro ortofosfatos. O desempenho inferior do SF-LEMA foi atribuído ao menor índice de pureza do produto ocorrendo, neste caso, a remoção de fósforo e ortofosfatos predominantemente através da remoção de SS.

Os consideráveis índices de remoção de carga orgânica e de nutrientes atingidos neste trabalho são muito satisfatórios, comprovando a eficiência do processo de coagulação/flotação no tratamento primário de efluentes do abatedouro de frangos. Entretanto, devido às concentrações dos parâmetros de poluição ainda estarem muito elevados, um tratamento biológico eficiente é recomendado a fim de que esses líquidos obtenham valores dentro dos padrões exigidos para lançamento nos corpos receptores ou, ainda, um tratamento avançado visando seu reuso no sistema industrial.

## REFERÊNCIAS

- AGUILAR, M.I.; SÁEZ, J.; LLORÉNS, M.; SOLER, A.; ORTUÑO, J. F. Nutrient removal and sludge production in the coagulation – flocculation process. **Water Research**, Australia, v.36, n.11, p. 2910-2919, Jun. 2002.
- APHA, AWWA, WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington: American Public Health Association, 1995.
- DELGADO, S.; DIAZ, F.; GARCIA, D.; OTERO, N. Behaviour of inorganic coagulants in secondary effluents form a conventional wastewater treatment plant. **Filtration and Separation**, Oxford, ISSN0015-1882, 2003.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993.
- EBLLING, J. M.; SIBRELLI, P. L.; OGDEN, S. R.; SUMMERFELT, S. T. Evaluation of chemical coagulation -flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorous from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. **Aquacultural Engineering**, Sheperdstown-USA, v.29, n. 3, p. 32-42, agosto, 2005.
- FORESTI, E.; CAMPOS, R. J.; BERNARDO, L. **Águas residuárias de abatedouros de aves: origem, caracterização e tratamento**. São Paulo: Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, 1978.
- FOERESTMAN, M.C. **Flotation**. New York: American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, 1976.

- HÜBNER, R. **Análise do uso da água em um abatedouro de aves.** 2001. 95f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- JAMESON, G. J. The formation of bubble clusters in flotation cells. **Int. J. Miner Process**, Australia, v. 76, p. 123-139, Novembro, 2005.
- KITCHENER, I. A. Physico-chemical elementary events of the flotation process: an analysis from the colloid-science viewpoint. **Colloids and Surfaces**, Berlin, v.4, n.1, Janeiro, 1982.
- LEAL, F.C.T.; LIBÂNIO, M. Study of color removal by chemical coagulation in the conventional water treatment. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.7, n.3, p.117-128, out/dez, 2002.
- LOVETT, D. A.; TRAVERS, S. M. Dissolved air flotation for abattoir wastewater. **Water Research**, Australia, v. 20, n.4, p. 421 -426, abril, 1986.
- MATIS, K. A. Flotation science and engineering. **Journal of Mining and Metallurgy**, New York, v.8, n.4-5, p. 577, abril-maio, 1995.
- METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: treatment disposal and reuse.** 3.ed. New York: McGraw Hill, 1991, 1334p.
- MITTAL, G. S. Treatment of wastewater from abattoirs before land application –a review. **Bioresource Technology**, Canada, v.3, p.30, Novembro, 2002.
- NUNEZ, L. A.; FUENTE, E.; MARTINEZ, B.; GARCIA, P.A. Slaughterhouse wastewater treatment using ferric and aluminium salts and organic polyelectrolites. **J. Environ. Sci. Health**, Espanha, v.34, n.3, p. 721-736, Janeiro, 1999.
- ROSA, J. J.; RUBIO, J. The FF (flocculation –flotation) process. **Minerals Engineering**, Austrália, v. 18, p.701-707, outubro, 2005.
- SROKA, A.; KAMINSKI, W.; BOHDZIEWICZ, J. Biological treatment of meat industry wastewater. **Desalination**, Polônia, v. 162, p. 85-91, março, 2004.