



II-398 – FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NO PRÉ E NO PÓS-TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE ABATEDOURO DE FRANGO

Valéria Del Nery⁽¹⁾

Engenheira química, pela Universidade Federal de São Carlos, mestra e doutora em Hidráulica e Saneamento, pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC)-USP. Projeto e consultoria em sistemas de tratamento de águas residuárias.

Márcia Helena Rissato Zamariolli Damianovic⁽²⁾

Engenheira Civil EESC – USP; Mestre em Hidráulica e Saneamento EESC – USP; Doutora em Hidráulica e Saneamento EESC – USP; Pós-doutorado pela EESC – USP; Pós-doutoranda Sênior CNPq UFSCAR.

Ivana Ribeiro de Nardi⁽³⁾

Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Professora no Centro Universitário Central Paulista, São Carlos, SP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Francisco Zavaglia, 405, CEP: 13569-590, São Carlos, SP, Brasil. Telefone: +55-16-3307-4774. e-mail: vdelnery@terra.com.br

RESUMO

As águas residuárias de abatedouros de frango contêm elevadas concentrações de sólidos suspensos, de óleos e graxas e de nutrientes. Sistemas de flotação por ar dissolvido (FAD) têm sido utilizados no pré-tratamento de efluente industrial de abatedouro de frango e apresenta-se como alternativa de pós-tratamento de efluente do sistema biológico.

Este trabalho tem por objetivo apresentar a utilização FAD, associado a processo químico, no pré e no pós-tratamento de sistema de lagoas de estabilização de uma indústria de abate de frango.

A promoção da coagulação foi realizada em equipamento de teste de jarro com gradiente médio de mistura rápida (Gmr) de $800s^{-1}$ e tempo de mistura rápida (Tmr) de 20s. A floculação e a flotação foram realizadas em unidade de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (flotateste) interligada a uma câmara de saturação. O gradiente médio de floculação (Gf) foi de $60s^{-1}$ e tempo de floculação foi de (Tf) 10min. A pressão de saturação foi de 450kPa. Cloreto férrico foi utilizado como coagulante nos testes de pré e de pós-tratamento. Polímero catiônico foi utilizado como coagulante e como auxiliar de floculação nos testes de pós-tratamento.

O ensaio de pré-tratamento com DCF de 60 mg/l, R de 30% e Vf de 10 cm/min reduziu em mais de 94% as cargas de óleos e graxas e de sólidos em suspensão afluentes à lagoa anaeróbia, atendendo às exigências do processo anaeróbio e demonstrando ser uma eficiente tecnologia disponível para o ajuste de sistemas biológicos sobrecarregados.

Os ensaios de pós-tratamento do efluente da lagoa facultativa apresentaram redução significativa da concentração de matéria orgânica (DBO), SST e de Nitrogênio, indicando a possibilidade de redução do impacto do lançamento de efluentes de abatedouros de aves nos corpos hídricos receptores, após sistema de tratamento por FAD complementar.

PALAVRAS-CHAVE: Água residuária, flotação por ar dissolvido, pré-tratamento, pós-tratamento, sistema de lagoas de estabilização

INTRODUÇÃO

A indústria de abate de aves brasileira passou por uma verdadeira revolução nas últimas décadas, consequência da implantação de um moderno parque industrial a partir da década de 70. A gestão competente deste segmento industrial colocou o Brasil entre os principais produtores e competidores do mercado mundial.

Em 2007, pelo terceiro ano consecutivo, o Brasil figurou no cenário mundial como o terceiro produtor (9.348 mil ton) e o primeiro exportador (2.762 mil ton) de carne de frango. Como produtor mundial o Brasil é precedido apenas pelos Estados Unidos e pela China cujas produções atingiram 16,4 e 10,5 milhões de toneladas, respectivamente. O crescimento expressivo da indústria de abate de frango no Brasil, a potencialidade poluidora deste tipo de indústria e as exigências cada vez mais restritivas da qualidade do



efluente final estão induzindo as empresas ao aprimoramento e à adequação dos sistemas de tratamento de águas residuárias.

Sistemas de tratamento típicos de água residuária da indústria de frango caracterizam-se por apresentarem arranjos de unidades onde ocorrem operações físicas e processos químicos e biológicos visando à remoção de poluentes específicos. As águas residuárias de abatedouros de frango contêm elevadas concentrações de sólidos suspensos, de óleos e graxas e de nutrientes. Separadores eficientes de sólidos suspensos e de óleos e graxas (grades, peneiras, tanques de sedimentação e sistemas de flotação) podem ser requeridos, anteriormente, ao processo biológico de tratamento (Manjunath et al., 2000). Os principais sistemas biológicos utilizados neste tipo de indústria são lodos ativados, lagoas aeradas, reatores UASB, sistemas de lagoas de estabilização ou um arranjo sequencial destas unidades. Unidades adicionais podem ser utilizadas para remoção de nutrientes e de matéria orgânica remanescente.

Sistemas de flotação por ar dissolvido (FAD) têm sido utilizados no pré-tratamento de efluente industrial de abatedouro de frango e apresenta-se como alternativa de pós-tratamento de efluente do sistema biológico (de Nardi et al., 2008).

Este trabalho tem por objetivo apresentar a utilização de FAD associado a processo químico, no pré e no pós-tratamento de sistema de lagoas de estabilização de uma indústria de abate de frango, visando à adequação do afluente ao processo biológico e o atendimento do efluente final à legislação ambiental brasileira.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de tratamento de efluentes líquidos é composto por peneiras estáticas e rotativas, tanque de equalização (50 m^3), sistema de flotação (50 m^3) e sistema de lagoas de estabilização (2 lagoas anaeróbias de 1100 m^3 cada), seguidas por lagoa aerada/facultativa (20900 m^3 e 1,3 ha) (Figura 1).

As águas residuária utilizadas nos ensaios de pré e pós-tratamento por flotação foram coletadas, respectivamente, no tanque de equalização de efluentes líquidos e na caixa de saída do efluente do sistema de lagoas de estabilização. As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

A promoção da coagulação foi realizada em equipamento de teste de jarro com gradiente médio de mistura rápida (Gmr) de 800 s^{-1} e tempo de mistura rápida (Tmr) de 20s. A floculação e a flotação foram realizadas em unidade de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (flotateste), constituída por quatro colunas de floculação/flotação interligadas a uma câmara de saturação, similar ao equipamento desenvolvido por Reali (1991). O gradiente médio de floculação (Gf) foi de 60 s^{-1} e tempo de floculação foi de (Tf) 10min. A pressão de saturação foi de 450kPa. Cloreto férrico foi utilizado como coagulante nos testes de pré e de pós-tratamento. Polímero catiônico foi utilizado como coagulante e como auxiliar de floculação nos testes de pós-tratamento.

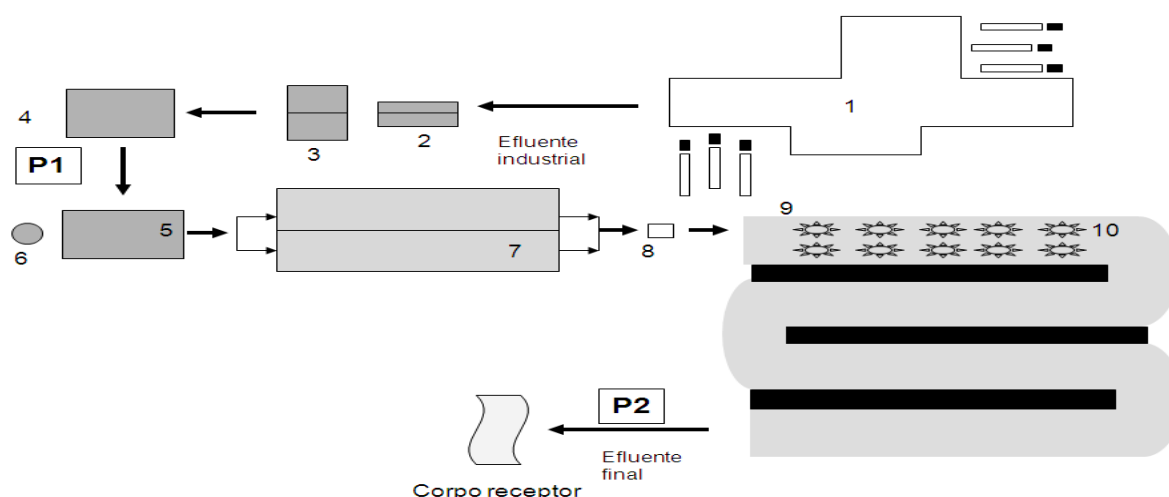


Figura 1: (1) Abatedouro; (2) peneiras rotatórias; (3) peneiras estáticas; (4) tanque de equalização; (5) Tanque de flotação; (6) câmara de saturação; (7) Lagoas anaeróbias; (8) Calha Parshall; (9) Lagoa aerada seguida de lagoa facultativa; (10) aeradores. Localização dos pontos de amostragem: P1 – efluente industrial; P2 – efluente final.

Ensaios de Pré-tratamento

1ª etapa: Investigação da dosagem de cloreto férrico (DCF) (30 a 80 mg/L) e do pH de coagulação (6,0 a 7,0) para fração de recirculação (R) de 30%. As amostras foram coletadas para velocidades de flotação (Vf) de 10 a 25 cm/min. 2ª etapa: Investigação da fração de recirculação (20 a 50%) para o melhor resultado da 1ª etapa.

Para a realização dos ensaios, colocava-se 1,5 litro de amostra no béquer do *jar test* para a promoção de mistura rápida, para cada dosagem de cloreto férrico em estudo e posteriormente transferia-se esse volume para o jarro do flotatest.

Após o término do tempo de floculação (10 min), promovia-se a flotação e coletava-se uma amostra do subnadante medindo-se a turbidez. O trabalho foi dividido em duas etapas, sendo que na primeira investigou-se a dosagem de cloreto férrico (DCF) e seu respectivo pH de coagulação, onde foram analisados valores de DQO, turbidez e cor para os ensaios que apresentaram maior remoção de turbidez para cada DCF estudada. Numa segunda etapa foram feitos ensaios com flotatest variando-se a quantidade de ar fornecida para o ensaio que apresentou o menor valor de turbidez na primeira etapa.

Ensaios de Pós-tratamento

1ª etapa: Investigação da dosagem de cloreto férrico (100 a 600 mg/L) e do pH de coagulação. 2ª etapa: Investigação da aplicação de polímero catiônico (5 a 30 mg/L) e cloreto férrico na mistura rápida. 3ª etapa: Investigação da aplicação de polímero catiônico (5 a 20 mg/L). 4ª etapa: Investigação da fração de recirculação (10 a 50 %) e da velocidade de flotação (5 a 20 cm/min) para os melhores resultados da 3ª etapa. 5ª etapa: Investigação da aplicação de cloreto férrico (150 a 250 mg/L) na mistura rápida e polímero catiônico (1 a 5 mg/L) na mistura lenta.

RESULTADOS

FAD no pré-tratamento

A DCF de 60 mg/L e pH de coagulação na faixa de 6,08 a 7,13 apresentaram os melhores resultados de remoção de turbidez (91 a 99,7%) para as velocidades de flotação testadas. As eficiências de remoção de turbidez obtidas para R de 20 a 50% foram similares e variaram de 97 a 99,5%. As maiores eficiências de remoção foram obtidas para R de 30% e Vf de 10 cm/min (Tabela 1).

**Tabela 1: Caracterização de amostras do tanque de equalização e dos ensaios de flotação no pré-tratamento. Condições do ensaio: DCF 60mg/L, R 30% e Vf 10cm/min.**

Parâmetros	Amostras		Eficiência de remoção (%)
	Tanque de equalização	Efluente dos ensaios de flotação	
pH	7,11	6,2	-
DQO (mg/L)	2465	718	71
DBO (mg/L)	2000	582	71
Óleos e Graxas (mg/L)	262	9	96
Cor aparente (uC)	520	64	88
Turbidez (uT)	634	5,4	99
SST (mg/L)	504	30	94

O efluente tratado (Tabela 1) atendeu aos principais quesitos requeridos no pré-tratamento de sistema de tratamento biológico por processo anaeróbio, possibilitando minimizar problemas operacionais como formação de espumas, sobrecarga orgânica, entre outros, característicos do aporte excessivo de sólidos suspensos e de óleos e graxas, que afeta a estabilidade e o desempenho de unidades anaeróbias de tratamento.

A qualidade do efluente do flotatesto (Tabela 1) foi superior à obtida em ensaios de flotação de efluente de indústria de alimentos, em condições experimentais similares (Liu e Lien, 2001).

FAD no pós-tratamento

1ª etapa: Investigação da dosagem de cloreto férrico (100 a 600 mg/L) e do pH de coagulação: A DCF de 600 mg/L apresentou os resultados mais eficientes de remoção de turbidez (77%) em pH de 6,51, entretanto a remoção de cor foi ineficiente (> 520 uC). Eficiências de remoção superiores foram obtidas em pH de coagulação de 2,44 requerendo adição de ácido clorídrico (1,5mL/L) e DCF de 250 mL/L (amostra 1 da Tabela 2).

2ª etapa: Investigação da aplicação de polímero catiônico (5 a 30 mg/L) e cloreto férrico na mistura rápida: A aplicação de 10 mg/L de polímero catiônico, associado ao cloreto férrico (250 mg/L) na mistura rápida, apresentou resultados inferiores de eficiência de remoção de matéria orgânica e de sólidos, similares de fosfato, e influenciou positivamente a remoção de nitrogênio (amostra 2 da Tabela 2), comparativamente aos resultados da 1ª etapa.

3ª etapa: Investigação da aplicação de polímero catiônico (5 a 20 mg/L) sem aplicação de cloreto férrico: A utilização de 20 mg/L de polímero, em pH de 2,51 resultou em eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos superiores aos resultados das amostras 1 e 2 (amostra 3 da Tabela 2). A remoção de nitrogênio foi praticamente total, entretanto, com prejuízo à remoção de fósforo.

4ª etapa: Investigação da fração de recirculação (30 a 90 %) e da velocidade de flotação (5 a 20 cm/min) para os melhores resultados da 3ª etapa: O aumento da porcentagem de recirculação e a redução da velocidade de flotação não contribuíram para aumentar a eficiência de clarificação por flotação (Tabela 3).

5ª etapa: Investigação da aplicação de cloreto férrico (150 a 250 mg/L) na mistura rápida e polímero catiônico (1 a 5 mg/L) na mistura lenta: Com a utilização de 200 mL/L de cloreto férrico e 5 mg/L de polímero, adicionado na mistura lenta, a eficiência de remoção de turbidez e de cor (93,5% e 85,4%, respectivamente) foi semelhante à obtida com a utilização de 250 mg/L de cloreto férrico e 5 mg/L de polímero adicionado na mistura lenta (93,6 % de remoção de turbidez e 86% de remoção de cor aparente). A redução da dosagem de 200 para 150 mg/L de cloreto férrico prejudicou a eficiência de clarificação (Tabela 4).

As condições de coagulação que forneceram os melhores resultados nos ensaios de flotação foram: (1) a aplicação de 1,50 mL/L de ácido clorídrico antes da mistura rápida e 20 mg/L de polímero catiônico na mistura rápida e (2) aplicação de 1,50 mL/L de ácido clorídrico antes da mistura rápida (pH em torno de 5,6), 200 mg/L de cloreto férrico na mistura rápida e 5 mg/L de polímero catiônico durante a mistura lenta.



A remoção de fósforo e de nitrogênio está fortemente associada ao uso de cloreto férrico e de polímero catiônico, respectivamente. A remoção de nitrogênio através de processo de coagulação-floculação está relacionada à remoção de nitrogênio presente na matéria coloidal (Aguilar et al., 2002).

Embora o pós-tratamento tenha apresentado elevada eficiência de remoção de matéria orgânica (DQO, DBO, óleos e graxas), sólidos em suspensão e nutrientes, os baixos valores de pH indicam a necessidade de correção de pH para o lançamento do efluente final. Um estudo de viabilidade técnica e econômica deverá ser realizado anteriormente à decisão de implantação do sistema complementar por FAD.

Tabela 2: Caracterização de amostras do efluente final do sistema de lagoas de estabilização e do efluente dos ensaios de flotação no pós-tratamento. Condições dos ensaios: Amostra 1- DCF 250mg/L, pH 2,65, R 30% e Vf 8cm/min. Amostra 2- DCF 250mg/L, pH 2,65, polímero catiônico 10 mg/L, R 30% e Vf 8cm/min. Amostra 3- pH 2,65, polímero catiônico 20 mg/L.

Parâmetros	Efluente do sistema de lagoas de estabilização	Amostra			Remoção(%)		
		1	2	3	1	2	3
pH	7,89	2,44	2,53	2,57	-	-	-
DQO (mg/L)	438	151	203	158	66	54	64
DBO (mg/L)	165	13	35	20	92	79	88
Óleos e Graxas (mg/L)	65	49	26	16	25	60	75
Cor aparente (uC)	2015	435	377	278	78	81	86
Turbidez (uT)	286	34	29	16	88	90	94
SST (mg/L)	360	86	104	49	76	71	86
Nitrogênio total (mgN/L)	53	16	1,3	<0,1	66	98	>99
Nitrogênio amoniacal (mgN/L)	2	4	0,26	<0,1	-	87	>99
Nitrito (mgN/L)	0,17	0,018	0,009	<0,001	89	95	>99
Nitrato (mgN/L)	1,60	3,7	12,8	1,45	-	-	-
Fosfato (mgP/L)	52	18	18	42	65	65	19

Tabela 3: Resultados dos ensaios com variação da recirculação e da velocidade de flotação. Condições do ensaio Ácido clorídrico 1,50mL/L, pH 2,65, polímero catiônico 20 mg/L.

Ensaio	Recirculação	Velocidade de flotação	Turbidez residual (uT)	Cor residual (uC)
1	30	5	16,2	277
		8	16,0	278
		15	18,1	294
		20	18,8	299
2	50	5	18,9	320
		8	18,5	322
		15	21,1	323
		20	21,4	341
3	70	5	20,7	364
		8	21,2	366
		15	23,4	376
		20	23,7	383
4	90	5	22,7	411
		8	23,6	413
		15	24,8	419
		20	25,1	423



Tabela 4: Resultados dos ensaios com aplicação de ácido clorídrico, cloreto férrico e polímero catiônico. Condições do ensaio ácido clorídrico 1mL/L, pH 5,83, recirculação 30%, e velocidade de flotação de 8cm/min.

Ensaio	Cloreto férrico(mg/L)	Polímero catiônico	Turbidez residual (uT)	Cor residual (uC)
1	250	0	39	530
	250	1	25,7	411
	250	2	22,2	325
	250	4	18,4	290
	250	5	18,2	283
2	200	0	62,4	>520
	200	1	53,2	>520
	200	2	41,2	>520
	200	4	25,1	348
	200	5	18,7	294
3	150	0	68,8	>520
	150	1	54,7	>520
	150	2	42,4	>520
	150	4	38,1	>520
	150	5	37,7	>520

CONCLUSÕES

O ensaio de pré-tratamento com DCF de 60 mg/l, R de 30% e Vf de 10 cm/min reduziu em mais de 94% as cargas de óleos e graxas e de sólidos em suspensão afluentes à lagoa anaeróbia, atendendo às exigências do processo anaeróbio e demonstrando ser uma eficiente tecnologia disponível para o ajuste de sistemas biológicos sobrecarregados.

Os ensaios de pós-tratamento do efluente da lagoa facultativa apresentaram redução significativa da concentração de matéria orgânica (DBO), SST e de Nitrogênio, indicando a possibilidade de redução do impacto do lançamento de efluentes de abatedouros de aves nos corpos hídricos receptores, após sistema de tratamento por FAD complementar. As condições de agitação e de flotação utilizadas nos ensaios que forneceram os melhores resultados foram gradiente de mistura rápida igual a $800s^{-1}$, tempo de mistura rápida igual a 30s, gradiente de mistura lenta ou floculação igual a $50 s^{-1}$, tempo de mistura lenta igual a 20 minutos, 30% de recirculação pressurizada (pressão relativa de 4,5 bar).

Os resultados obtidos abrem a perspectiva para utilização da FAD com auxiliares químicos como unidades complementares de sistema de tratamento por lagoas de estabilização para tratamento de águas residuárias de abatedouros de aves, requerendo avaliação conjunta dos benefícios potenciais e dos custos envolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar, M.I., Sáez, J., Lloré M., Soler, A., Ortuño J.F (2002) Nutrient removal and sludge production in the coagulation-flocculation process. *Water Research* 36, 2910-2919.
2. de Nardi, I.R., Fuzi, T.P., Del Nery, V. (2008) Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 533-544.
3. Reali M. A. P. (1991) Conception and evaluation of compact system for water treatment using dissolved-air flotation process and declining rate filtration. Ph.D. thesis. São Carlos School of Engineering / University of São Paulo. São Carlos, Brazil. (in Portuguese)
4. Liu J. C., Lien C. S. (2001) Pretreatment of bakery wastewater by coagulation-flocculation and dissolved air flotation. *Water Sci Technol.* 43(8):131-137.
5. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998) 20th edition. American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Federation, Washington DC, USA.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de pesquisa concedida e ao Abatedouro Ideal Ltda pelo apoio financeiro e operacional.