

II-126 - FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD) UTILIZADA COMO PÓS-TRATAMENTO PARA EFLUENTES DE SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM SÉRIE - ETE SAMAMBAIA

Antônio Carlos Teixeira Pinto Filho⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal Fluminense (UFF, 1982). Mestre (UnB, 1999) em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (Engenharia Civil e Ambiental) pela Universidade de Brasília-UnB. Analista de Sistema de Saneamento III (Eng^o Sênior) da CAESB, atualmente Coordenador de Operação do Sistema Brazlândia, Melchior, Samambaia e Recanto das Emas.

Mauro Roberto Felizatto

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU, 1985). Mestre (UnB, 2000) e Doutorando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (Engenharia Civil e Ambiental) pela Universidade de Brasília. Analista de Sistema de Saneamento III (Eng^o Sênior) da CAESB, atualmente Coordenador de Operação do Sistema Alagado, Santa Maria e Gama. Professor Assistente no Centro Universitário/Escola de Engenharia nos cursos de Engenharia Civil e Mecânica da Universidade do Distrito Federal (UDF).

Analta de Barros Campos

Bióloga pela Faculdade da Terra de Brasília (FTB, 2006). Especialização em Gestão Integrada em Saneamento pela Universidade de Brasília (UnB, 2008). Técnico em Sistemas de Saneamento II da Coordenadoria de Operação do Sistema Brazlândia e Melchior da CAESB, atualmente Supervisor de Operação da ETE Melchior.

Edson da Silva Soares

Técnico em Química Industrial (DIOCESANO, 1983). Licenciado em Química pela Universidade Federal do Piauí (UFPI, 1996). Especialização em Docência do Ensino Superior pelas Faculdades Integradas de Jacarepaguá (FIJ-RJ, 2006). Técnico em Sistemas de Saneamento II da Coordenadoria de Operação do Sistema Gama, Santa Maria e Alagado da CAESB, atualmente Supervisor de Operação da ETE Gama.

Carlos Alexandre Batista dos Santos

Técnico Industrial em Saneamento pela Escola Técnica Federal de Goiás (IFG – Instituto Federal de Goiânia, 1997). Bacharel em Química pelo Centro Universitário de Goiás (Uni-Anhanguera, 2009), atualmente Técnico em Sistema de Saneamento I da Coordenadoria de Operação do Sistema Gama, Santa Maria e Alagado da CAESB, atualmente Supervisor de Operação da ETES Alagado e Santa Maria.

Endereço⁽¹⁾: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB, Avenida Sibipiruna, Lotes 13/21, Águas Claras, Distrito Federal-DF, CEP: 71928-720, Brasil - e-mail: antoniopfilho@caesb.df.gov.br

RESUMO

Um estudo foi realizado para avaliar o desempenho de uma unidade de flotação por ar dissolvido sob pressão-FAD (escala real), para remoção de algas e fósforo do efluente de um sistema de lagoas- ETE Samambaia, no período de 2006 a 2012. Os dados obtidos mostraram o desempenho operacional confiável da unidade de FAD, com remoções médias de 72%, 76%, 16% e 90%, para DQO, SST, NTK e Pt, respectivamente. As concentrações do efluente final apresentaram os seguintes valores médios: 12 mg/L, 45 mg/L, 17 mg/L, 35,0 mg/L e 0,87 mg/L, para DBO, DQO, SST, NTK e Pt, respectivamente. A remoção de Coliformes Termotolerantes na unidade de FAD foi de 1,40 unidades logarítmicas.

PALAVRAS-CHAVE: Remoção de algas, FAD, Remoção de fósforo, Remoção de SST, Remoção de CTer.

INTRODUÇÃO

O processo de lagoas de estabilização possui uma série de vantagens: (i) simplicidades de projeto, construção e operação; (ii) boa relação custo efetividade; (iii) baixos valores quanto a custo de manutenção e demanda energética e (iv) elevada eficiência operacional e facilidade para “upgrade” de seu efluente (ARCEIVALA, 1985; MENDONÇA, 2000; YÁNEZ, 1993; METCALF & EDDY, 2003; VISMARA, 1998).

Consoante as características do esgoto bruto e do efluente final da ETE, o sistema de lagoas (SL) pode ser projetado com três unidades em série. Projetos clássicos, contudo, utilizam apenas duas, uma lagoa anaeróbia

seguida de uma lagoa de estabilização primária ou secundária, configuração também chamada de “Sistema Australiano”. Entretanto, uma remoção ampliada de patógenos pode ser alcançada com a introdução de lagoas de maturação (LM) ou polimento (LP) (ARCEIVALA, 1985; MENDONÇA, 2000; YÁNEZ, 1993).

Nos últimos anos foram projetadas lagoas menores, de maior eficiência e menos sujeitas a gerar maus odores. Da mesma forma, estabeleceram-se novos conceitos de tratamento, quais sejam: lagoas anaeróbias cobertas, reatores anaeróbios de fluxo ascendente construídos no interior de lagoas facultativas e lagoas com recirculação, de fluxo pistão ou parcialmente misturadas (JUANICO, 2008).

O Professor William J. Oswald e colaboradores, na Universidade de Berkeley, Califórnia, concebeu o Sistema Integrado Avançado de Lagoas de Estabilização – AIWPS - (ERTAS e PONCE, 2008), sendo que uma unidade típica consiste de no mínimo quatro lagoas em série, com as seguintes características: (i) Facultativa avançada; (ii) Alta taxa, (iii) Sedimentação de algas e (iv) Maturação (OSWALD, 1990).

Ertas e Ponce (2008) salientam que efluentes de lagoas de alta taxa devem sofrer pós-tratamento em outra lagoa, para sedimentação/separação das algas, ou então passar por outro processo que cumpra a mesma função. Remoções ampliadas de coliformes termotolerantes- C_{Ter} e turbidez podem requerer o auxílio de flotação ou filtração, ao passo que, para a obtenção de um efluente com teor de C_{Ter} de 2,2 NMP/100 mL e turbidez de 2 uT, pode ser necessária a remoção de algas residuais e desinfecção com raios ultravioleta.

A ETE Samambaia, inaugurada em 1996, foi pioneira no Brasil na adoção dos novos conceitos de projeto, ampliando-se a eficiência dos mecanismos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nas lagoas de estabilização. Foi projetada com três lagoas em série, em dois módulos iguais, a primeira, uma lagoa facultativa com um reator anaeróbio de fluxo ascendente em sua parte interna, vindo a seguir lagoas de alta taxa e de maturação, ao custo de US\$ 32/habitante (PINTO *et al.*, 1998).

O Distrito Federal-DF está localizado na região central do Brasil, cerca de 1.000 metros acima do nível do mar, possuindo atualmente, agregada a população de entorno, quase três milhões de habitantes. Os corpos d’água da região possuem baixa vazão, resultando em baixa oferta de água e pouca capacidade de diluição (PINTO FILHO e BRANDÃO, 2001).

A construção do Reservatório Corumbá, inaugurado em 2006, foi uma iniciativa governamental para garantir uma nova fonte de abastecimento de água para a região. Os rios tributários deste reservatório recebem esgoto tratado de diversas ETEs da área oeste do DF, obrigando que estas unidades de tratamento incorporassem novos processos voltados à remoção ampliada de fósforo e nitrogênio.

Tal ocorreu com a ETE Samambaia, que passou a contar com polimento final químico associado à uma unidade de FAD, para separação de seu lodo flotado, formado por algas. A planta atende à cidade de Samambaia-DF, distante 35 km do centro de Brasília, pertencente à bacia do Rio Corumbá.

MATERIAIS E MÉTODOS

A ETE Samambaia foi projetada para tratar os esgotos domésticos de uma população de 180.000 habitantes, com uma vazão média de 512 L/s. A planta, conforme fluxograma simplificado da Figura 1, é dividida em dois módulos, cada um compreendendo as seguintes etapas:

a) Lagoa facultativa avançada, com reator UASB integrado (LFA) – Após a etapa de gradeamento e remoção de areia, o esgoto flui para o fundo do reator UASB, construído internamente à lagoa facultativa (LF). Essa configuração reduz a produção de maus odores, pois há suficiente concentração de oxigênio na zona eufótica. Uma zona mais profunda da lagoa foi colocada logo após o reator UASB, com o objetivo de reter sólidos. O biogás produzido no reator anaeróbio é coletado e queimado. O tempo de detenção hidráulica na LFA é de aproximadamente seis dias;

b) Lagoa de alta taxa (LAT) – A lagoa possui baixa profundidade, 0,5 m a 1,0 m, (geração de elevados níveis de oxigênio – processo de fotossíntese) visando a obtenção de elevadas taxas de remoção de matéria orgânica. Foi projetada com misturadores, que fornecem uma velocidade média de 15 cm/s (OSWALD, 1990). A

variação de pH, verificada ao longo das 24 horas do dia, contribui para uma maior inativação de organismos patogênicos e também pode auxiliar na remoção de nutrientes. A lagoa tem recirculação interna e uma relação comprimento/largura de 64. O tempo de detenção hidráulica de projeto é de 2,6 dias, seguindo fluxo pistão;

c) Lagoa de maturação (LM) – Esta célula foi projetada para complementar o tratamento, reduzindo a biomassa algal através de sedimentação, proporcionando ainda uma maior remoção de patógenos. Foram introduzidas chicanas para melhorar o fluxo hidráulico. O tempo de detenção hidráulica é ao redor de quatro dias, com uma relação comprimento/largura de 16.

O controle de qualidade é realizado através de análises físico-químicas (coletas compostas, 24h), obedecendo frequência semanal. Análises microbiológicas, com rotina mensal, também são realizadas.

São cinco os pontos de coleta: Afluente da ETE, efluentes de LFA, LAT, LM e FAD. Os principais parâmetros analisados (APHA/AWWA/WPCF, 1999) são: Demanda Química de Oxigênio - DQO, Demanda Química de Oxigênio filtrada - DQO_f, Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, Sólidos em Suspensão Totais - SST, Nitrogênio Kjeldahl Total- NTK e Fósforo total – Pt.

No caso da variável Coliformes Termotolerantes (CTer) o monitoramento de Setembro de 1996 a Setembro de 2000 (sem FAD) foi completo, ou seja, afluente e todos os efluentes das lagoas. No período Setembro 2006 a Março de 2008 (com FAD) apenas afluente e efluente da ETE Samambaia. A partir de 29/09/2008 foi incluindo o afluente do FAD, de modo a avaliar a remoção de CTer neste processo.

A vazão de esgoto afluente à ETE é monitorada “online” através de medidor ultrasônico. Os custos da ETE são contabilizados mensalmente, incluindo, entre outros itens: gastos com pessoal, energia, segurança, produtos químicos e transporte.

A flotação é uma operação unitária comumente utilizada na atividade de beneficiamento de minérios (CHAVES, 2006). No tratamento de esgotos, a FAD tem sido muito empregada no adensamento de lodos ativados (METCALF & EDDY, 2003), mas não é procedimento largamente disseminado na remoção de algas e fósforo de efluentes de lagoas. Contudo, vários experimentos foram realizados com efluentes de lagoas, de modo a avaliar o desempenho da FAD (escala de bancada) na remoção de algas e fósforo, tendo sido obtidos resultados confiáveis para o processo (PINTO FILHO e BRANDÃO, 2001; PIVELI *et al.*, 2006).

A unidade FAD foi projetada para a ETE Samambaia através de ensaios em laboratório realizados com o aparelho chamado FLOTATEST (TESSELE *et al.*, 2005), equipamento similar ao utilizado por Pinto Filho e Brandão (2001).

Os parâmetros de projeto estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que as taxas aplicadas são consideradas conservadoras, de modo a garantir a eficiência da operação unitária.

Tabela 1 – FAD/ETE Samambaia- principais parâmetros de projeto

Parâmetros	Valores	Unidades
Vazão média (Q_{med})	590	m ³ /h
Vazão máxima (Q_{max})	1032	m ³ /h
Taxa de reciclo (R)	20	%
Taxa de aplicação (V_f)	8	m ³ / m ² .h
Dosagem de coagulante (D)*	25	mg/L
Relação ar/sólidos (A/S)	0,06	-
Tempo de floculação (T_f)	20	min

Legenda: *Fe or Al, expressa como metal

A FAD/ETE Samambaia possui quatro células, compostas de câmaras de flotação e floculação, e dois tanques de saturação. O lodo flotado sofre digestão anaeróbia e posterior desidratação em centrífugas. Na câmara de floculação é utilizado polieletrólito catiônico de alto peso molecular. Ensaios de bancada de Tessele *et al.* (2005), mostraram que o emprego de hidróxido de sódio, para controle do pH de coagulação, poderia vir a ser necessário. Fluxogramas simplificados da ETE Samambaia e da unidade de FAD, são apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

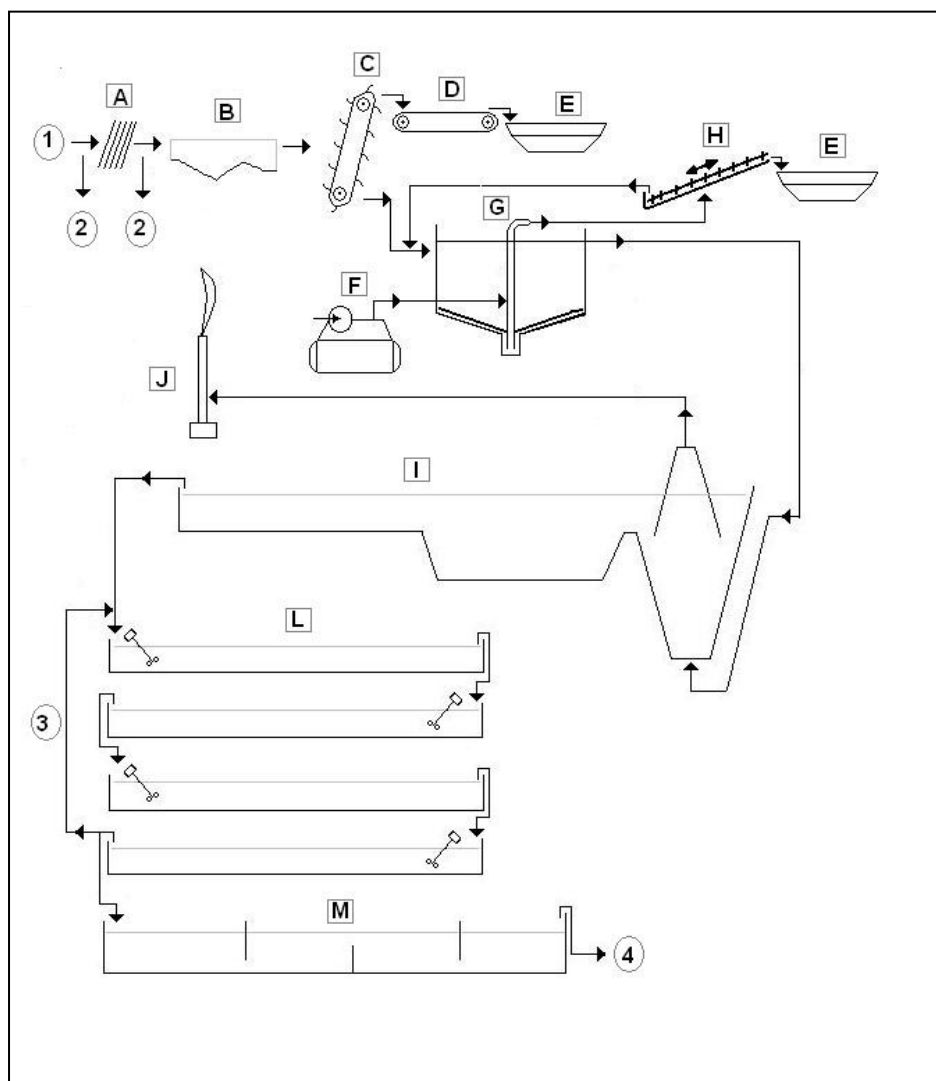


Figura 1 – Fluxograma simplificado da ETE Samambaia (sem FAD)

Legenda: A: Grade grossa; B: Calha Parshall; C: Grade fina; D: Correia transportadora; E: Caçamba para detritos ou areia; F: Compressor; G: Desarenador; H: Lavador transportador de areia; I: LFA ; J: Queimador; L: LAT e M: LM; Fluxos: 1: Afluente; 2: “Bypass” (para Rio Melchior); 3: Reciclo interno da LAT e 4: para unidade de FAD.

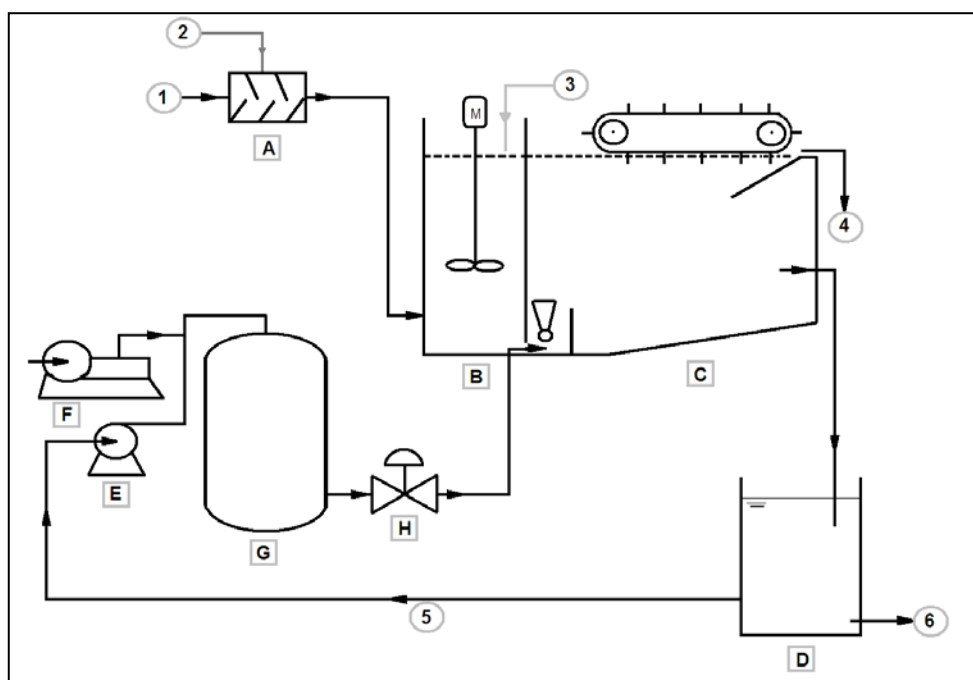


Figura 2 – Fluxograma simplificado da unidade de FAD/ ETE Samambaia

Legenda: A: Mistura rápida (Calha Parshall); B: Câmara de floculação; C: Tanque de flotação; D: Caixa de saída do efluente; E: Bomba de alta pressão; F: Compressor; G: Tanque de saturação e H: Válvula de pressão. 1: Efluente da LM; 2: Dosagem de coagulante (Al ou Fe); 3: Dosagem de polieletrólito; 4: Lodo flotado enviado para desaguamento; 5: Reciclo e 6: Efluente final para o Rio Melchior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta o bom desempenho da ETE Samambaia antes da implantação da FAD, setembro/96 a setembro/00 (FELIZATTO, 2000), com taxas de remoção globais de 93%, 77%, 76%, 65%, 29% e 4,64 unidades logarítmicas para DBO, DQO, SST, NTK, Pt e CTer, respectivamente. Oswald (1990) e Ertas e Pounce (2008) relatam ter obtido melhor desempenho, mas com sistema de lagoas mais sofisticado.

Tabela 2 – Desempenho da ETE Samambaia anterior à FAD – Setembro/96 a Setembro/00

Variáveis*	Afluente	LFA	LAT	LM	Remoção Global
DBO	394 (107 – 780)	48 (16- 256)	38 (9 -272)	29 (2 – 272)	93%
DQO	866 (119 – 1725)	220 (107 – 1190)	217 (112 – 556)	206 (68 – 560)	77%
DQO _f		98 (22 - 387)	91 (28 – 261)	81 (11 – 218)	-
SST	432 (108 – 985)	94 (41 - 948)	115 (51 - 1291)	105 (36 - 182)	76%
NTK	73,6 (34,0–112,0)	59,9 (26,4 – 99,9)	45,1 (16,3 – 91,1)	25,8 (5,2 – 78,5)	65%
P total	10,27 (4,37– 48,0)	8,82 (2,87 – 45,00)	8,00 (2,37 – 14,2)	7,33 (1,41 – 40,0)	29%
CTer**	$6.61.10^{+7}$ ($1.4.10^{+7}$ - $3.8.10^{+8}$)	$8.25.10^{+5}$ (1.10^{+4} - 5.10^{+6})	1.10^{+5} ($4.0.10^{+2}$ - 1.10^{+6})	$1.55.10^{+3}$ (4.10^{+2} - 1.10^{+6})	4,64 Unid. log
Clor-a ^Δ	-	1340 (80- 4435)	1887 (107 - 8950)	1698 (312 – 5016)	-
Θ ^Π	-	26	8	13	-
Carga DBO*	-	310	55	43	-

Legenda: *...todas as unidades expressas em mg/L; exceto **... NMP/100 mL e Δ... Clorofila-a µg/L. Π...Tempo de detenção hidráulica em dias (d) e •... kg DBO/ha.d.

No período de 2000 a 2006, a ETE Samambaia teve problemas em seus separadores de fase (UASB), causando perda de sólidos, bem como a falta de misturadores na LAT e unidades retiradas de carga para obras de melhorias em ambos módulos, sobrecarregando todo o sistema.

A entrada em operação da unidade de FAD melhorou consideravelmente o efluente final da ETE Samambaia, como visto na Tabela 3, que abrange o período de setembro/06 a março/08, com remoções médias globais da ETE situando-se em 98%, 93%, 95%, 43%, 92% e 6,64 unidades logarítmicas, para DBO, DQO, SST, NTK, Pt e CTer, respectivamente. No período de abril/08 a dezembro/12, dados apresentados na Tabela 4, obteve-se remoções globais similares, 97%, 93%, 94%, 38% e 5,90 unidades logarítmicas, para DBO, DQO, SST, NTK, Pt e CTer, respectivamente. Nos dois períodos analisados com FAD, setembro/06 a março/08 e abril/08 a dezembro/12, resultados demonstrados nas Tabelas 3 e 4, a ETE Samambaia manteve praticamente o mesmo desempenho global para DBO, DQO, SST, NTK, Pt e CTer.

Todavia, a remoção global de nitrogênio da ETE foi inferior ao período 1996-2000, provavelmente pela menor nitrificação verificada nas lagoas, já que os misturadores da LAT haviam sido removidos, reduzindo assim o teor de oxigênio dissolvido no espelho d'água.

A turbidez do efluente da unidade da FAD foi monitorada de março/07 a julho/07, apresentando resultados variando de 3 uT a 9 uT, com média de 5 uT. Concentrações de SST no lodo flotado oscilaram, aproximadamente, de 1% a 6%, com média de 2%.

De setembro/06 a março/08, a unidade de flotação operou com vazões de 142 L/s, 225 L/s e 277 L/s (mínima, média e máxima, respectivamente). Foram utilizados dois coagulantes: sulfato de alumínio (setembro/06 a setembro/07), com dosagens variando de 10 mg Al/L a 18 mg Al/L (média de 13 mg Al/L) e cloreto férrico (outubro/07 a março 2008), com dosagens na faixa de 13 mg Fe/L a 28 mg Fe/L, média de 17 mg Fe/L.

Os estudos realizados por Tessele *et al.* (2005), com uma unidade de FAD de bancada, usando $Al_2(SO_4)_3$ e $FeCl_3$ (mesma dosagem para ambos, 25 mg/L, expressa em Al ou Fe), resultaram nas seguintes taxas de remoção, usando NaOH para controle do pH de coagulação: $Al_2(SO_4)_3$: 74%, 89%, 23% e 99%, para DQO,

SST, NTK e Pt, respectivamente; FeCl₃: 51%, 92%, 33% e 98%, para DQO, SST, NTK e Pt. A concentração de Pt no efluente foi inferior a 0,1 mg/L.

Tabela 3 - Desempenho da ETE Samambaia com FAD – Setembro/06 a Março/08

Variáveis*	Afluente	LFA	LAT	LM	FAD	Remoção Global
DBO	569 (150-1950)			56 (3-205)	12 (5-40)	98%
DQO	737 (247-1345)	237 (62-747)	215 (50-470)	202 (58-430)	52 (8-135)	93%
DQO _f		81 (26-174)	72 (5-204)	72 (20-131)		
SST	352 (78-623)	95 (6-484)	93 (30-700)	78 (10-170)	19 (1-68)	95%
NTK	55,2 (23,7-119,4)	54,2 (27,2-80,0)	45,6 (16,9-78,7)	40,4 (20,3-70,8)	31,3 (8,9-85)	43%
Amônia N			31,0 (2,5-56)	26,8 (7,6-50,1)	24,4 (5,9-46,4)	
NO _x				0,3 (0,1-0,5)	0,4 (0-5,2)	
P total	10,46 (4,40-72)	8,90 (5,8-18,4)	9,05 (5,4-20,4)	8,96 (3,2-21,1)	0,87 (0-6,4)	92%
Ortof.			5,50 (0,4-9,5)	5,85 (2,9-9,9)	0,03 (0-0,6)	
CTer**	1.56.10 ⁺⁷ (2.3.10 ⁺⁶ -5.4.10 ⁺⁷)				9.56 (ausência-2.10 ⁺³)	6.21 Un. log.

Legenda: *... todas as unidades estão expressas em mg/L, exceto **... NMP/100 mL.

Com base nos dados da Tabela 3, as remoções médias obtidas especificamente na unidade de FAD, no período de setembro/2006 a setembro/2008, foram: 79%, 74%, 76%, 22% e 90%, para DBO, DQO, SST, NTK e Pt, respectivamente. Tais valores são similares aos obtidos por Tessele *et al.* (2005) em seus ensaios, à exceção de SST, inferior (76% contra 89%), provavelmente pelo fato dos ensaios de bancada proporcionarem um ambiente mais controlado.

Entretanto, as dosagens de trabalho na unidade em escala real foram inferiores ao valor indicado pelos projetistas, 25 mg Metal (Al ou Fe)/L, e variaram de acordo com o coagulante utilizado (sais de Alumínio ou Ferro). Também contrariando o projeto, não foi necessária a aplicação de hidróxido de sódio para controle do pH de coagulação.

Piveli *et al.* (2006) operaram uma planta piloto de FAD com fluxo contínuo (vazão de 200 L/h), para tratar, separadamente, efluentes de lagoas anaeróbia e facultativa (“Sistema Australiano”). Foram realizados seis experimentos, com dosagens de 20mg Fe/L e 50mg Fe/L. Os resultados, tratando efluente da lagoa facultativa foram: 1,1 mg/L, 65 mg/L e 36 mg/L, para Pt, DQO e SST, respectivamente. Reportaram ainda que a planta piloto obteve uma remoção quase completa de cistos de protozoários e ovos de helmintos, além de reduzir para 10² o teor de coliformes termotolerantes. Entretanto, comparando-se com o desempenho global da ETE Samambaia, obtiveram taxas de remoção inferiores, mesmo adotando dosagens de coagulante maiores.

Pinto Filho e Brandão (2001) realizaram uma série de 74 experimentos de FAD (nível de bancada), para tratar efluentes de lagoa de alta taxa. Concluíram que a faixa de dosagem de coagulante com melhor eficiência de remoção foi a de 16 mg Al/L a 25 mgAl/L. Dosagens de Al₂(SO₄)₃ acima dessa faixa ótima acarretaram reversão de carga das partículas, floculação deficiente e perdas de eficiência de remoção. Ensaios de FAD, em condições operacionais ótimas, produziram efluentes com teores de turbidez abaixo de 3 uT, 49 mg/L para DQO, 13 mg/L para SST e 0,1 mg PO₄⁻³/L. As taxas de remoção ficaram dentro dos seguintes limites: turbidez: 77% a 90%, DQO: 70% a 89% e SST: 74% a 95%, sendo superiores a 90% para ortofosfato e

clorofila-a. Tanto as remoções quanto a dosagem de coagulante fora similares aos valores verificados na FAD em escala real da ETE Samambaia.

De abril/08 a dezembro/12, a unidade de flotação operou com vazão média 265 L/s. Foi utilizado cloreto férrico (abril/2008 a setembro/2010), com dosagens variando de 19 a 23 mg Fe/L. O sulfato de alumínio foi aplicado de outubro/2010 até os dias atuais, com dosagens variando de 10 mg Al/L a 19 mg Al/L (média de 13 mg Al/L).

Tabela 4- Desempenho da ETE Samambaia com FAD – Abril/08 a Dezembro/12

Variáveis*	Afluentes	LFA	LAT	LM	FAD	Remoção Global
DBO	448 (46-900)				12 (0-92)	97%
DQO	657 (46-1652)	218 (82-732)	169 (60-363)	140 (29-373)	39 (4-124)	93%
SST	288 (45-800)	110 (16-533)	77 (19-203)	61 (20-124)	15 (0-188)	94%
NTK	71,5 (32,3-109,4)	59,1 (37,5-92,7)	51,2 (6,5-73,5)	46,2 (19,3-90,0)	39,0 (5,6-84,2)	38%
Amônia N					30,86 (6,85-80,00)	
NO _x					0,2 (0-1,2)	
P total	9,09 (3,50-22,20)	8,85 (4,12-18,80)	8,62 (4,85-18,60)	8,27 (3,85-16,20)	0,86 (0-9,00)	90%
Ortof.					0,08 (0-5,90)	
CTer**	2,13.10 ⁺⁷ (1,60.10 ⁺⁴ -7,90.10 ⁺⁷)			650 (1,7-1.300)	61,4 (1,7-6,80.10 ⁺²)	5,90 Un. log.

Legenda: *... todas as unidades estão expressas em mg/L, exceto **... NMP/100 mL.

Com base nos dados da Tabela 4, as remoções médias obtidas especificamente na unidade de FAD, no período de abril/2008 a dezembro/2012, foram: 69%, 76%, 10% e 89%, para DQO, SST, NTK e Pt, respectivamente. Tais valores são similares ao período anterior demonstrado na Tabela 3, à exceção de NTK, inferior (22% contra 10%), provavelmente pelo fato da unidade de tratamento estar recebendo contribuição não doméstica de águas residuárias, proveniente de lixiviados de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

A turbidez do efluente da unidade da FAD foi monitorada de janeiro/10 a dezembro/11, apresentando resultados variando de 3 uT a 30 uT, com média de 8 uT. A vazão tratada pela ETE Samambaia em 2012 sofreu um acréscimo de 20%, em função da estratégia operacional de receber parte dos esgotos da ETE Melchior.

Koivunen (2007) apresenta resultados de FAD para três unidades pilotos e duas estações de tratamento de esgotos da Finlândia, ETES Heinävesi e Pieksämäki, com relação à remoção de Coliformes Totais (CT). A pesquisa foi desenvolvida como pós-tratamento de efluentes de lodos ativados. A unidade de FAD obteve em média 1,28 unidades logarítmicas de remoção para CT, com valores mínimo e máximo de 0,52 e 4,0, respectivamente. No monitoramento da ETE Samambaia foi obtido como média 1,40 unidades logarítmicas de remoção de Coliformes Termotolerantes (CTer), com valores mínimo e máximo de 0,60 e 2,11, respectivamente.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados obtidos na unidade de polimento final da ETE Samambaia mostraram que a FAD é um processo confiável na remoção de fósforo e algas, produzindo um efluente clarificado e um lodo denso (basicamente fitoplânctons). Seria oportuno estudar possíveis usos para esse material, quer seja na alimentação animal ou em outras aplicações (há relatos de utilização na produção de biodiesel e outros combustíveis). Entretanto, deve-se tomar cuidado com a presença de metais e de toxinas derivadas de algas.

O processo de flotação, apesar de sua eficiência na captura de sólidos, não é capaz de promover remoção significativa de nitrogênio, restando, no caso da ETE Samambaia, a alternativa de melhorar o processo de nitrificação que ocorre em suas lagoas, principalmente na de alta taxa. O retorno dos propulsores a esta lagoa poderia contribuir nesse sentido.

A operação da FAD em escala real revelou que sua eficiência e estabilidade dependem, em grande parte, de fatores como: (i) treinamento adequado de operadores; (ii) qualificação das equipes de manutenção (mecânica, elétrica, instrumentação /automação) e (iii) sistema eficiente de bombeamento de lodo flotado.

A unidade, embora operasse com alguns problemas técnicos, produziu um efluente de boa qualidade, mesmo apresentando algumas flutuações na dosagem de coagulante. Comparando com os dados obtidos em bancada, realizados para dimensionar a FAD/ETE Samambaia, as dosagens médias de sulfato de alumínio e cloreto férrico foram inferiores e não foi necessária a aplicação de hidróxido de sódio para controle do pH de coagulação, diferenças relevantes entre as escalas laboratorial e real.

Confrontando os valores obtidos na FAD/ETE Samambaia com a pesquisa de Koivunen (2007), constata-se remoções similares com relação às variáveis microbiológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA-AWWA-WPCF (1999). Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association 20^a Edition (CD Rom), Washington DC.
2. ARCEIVALA, S. J. (1981). Wastewater Treatment and Disposal – Engineering and Ecology in Pollution Control, Marcel Dekker, Inc., 885 p.
3. CHAVES, A. P. (organizador) (2006). Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Flotação - O Estado da Arte no Brasil, Signus Editora, 444p.
4. FELIZATTO, M.R. (2000). Reúso de Água em piscicultura no Distrito Federal: potencial para pós-tratamento de águas residuárias associado à produção de pescado. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 190p.
5. JUANICO, M. (2008). New Concepts for the design of advanced waste stabilization ponds (lagoons), Disponível em: <http://juanico.co.il>. Acessado em: fevereiro/2008.
6. KOIVUNEN, J. (2007). Effects of Conventional Treatment, Tertiary Treatment and Disinfection Processes on Hygienic and Physico-Chemical Quality of Municipal Wastewaters. Tese de Doutorado na Faculdade de Ciências Naturais e Ambientais da Universidade de Kuopio, Finlândia, 81p.
7. MENDONÇA, S. R. (2000). Sistemas de Lagunas de Estabilización – Como utilizar aguas residuales en sistemas de regadío, McGraw-Hill, 370p.
8. METCALF & EDDY, Inc. (2003). Wastewater Engineering – Treatment and Reuse 4th Edition, McGraw-Hill, 1819p.
9. OSWALD, W. J. (1990). Advanced Integrated Wastewater Pond Systems, ASCE Convention EE Div/ASCE, San Francisco, CA, Nov 5-8, 1990, 9p.
10. PINTO FILHO, A.C.T. e BRANDÃO, C.C.S. (2001). Evaluation of flocculation and dissolved air flotation as an advanced wastewater treatment. Water Science and Technology, **43** (8), 83-90 p.
11. PINTO, M. T.; FELIZATTO, M. R. e LUDUVICE, M. L. (1998). Alguns aspectos operacionais e de desempenho do Sistema Samambaia de Lagoas de Estabilização. VIII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa - PB, 14p.
12. PIVELI, R.P.; FABRETI, A.A.; LÉO, L.F.R. e CUTOLO, S.A. (2006). Flotação por ar dissolvido aplicada como pós-tratamento de efluentes de lagoas anaeróbias e facultativas utilizando cloreto férrico com coagulante, *Sanare*, **25** (25), 24-34p.

13. TESSELE, F.; MONTEGGIA, L.O.; NEDER, K.D.; CASTRO JÚNIOR, J.M. e DA ROSA, J.J. (2005). Polimento de Efluentes de Lagoas de Estabilização por Flotação por Ar Dissolvido, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande-MS, 4p.
14. TURBAS, E. e PONCE, V. M. (2008). Advanced Integrated Wastewater Pond Systems (AIWPS), Disponível em: <http://ponce.sdsu.edu>. Acessado em: fevereiro/2008.
15. VISMARA, R. (1998). *Depurazione Biologiche – Teoria e Processi*, Terza Edizione, Editora Hoepli, 778p.
16. YÁNEZ, F (1993). *Lagunas Estabilización - Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento*, Edição ETAPA, 421p.