

II-259 - DESEMPENHO NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO (FACULTATIVA E MATURAÇÃO) TRATANDO EFLUENTES DE AEROPORTO AO LONGO DE 17 ANOS DE OPERAÇÃO

Ricardo Gomes Passos⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Engenheiro Ambiental na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

Marcos von Sperling

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College (Universidade de Londres). Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Thiago Bressani Ribeiro

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Rua Cambuquira, 175 – Carlos Prates - Belo Horizonte - MG - CEP: 30710-550 - Brasil - Tel: (31) 9278-8056 - e-mail: ricardogpassos@yahoo.com.br

RESUMO

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) que atende o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins – MG (AITN) realiza o tratamento dos efluentes de todo o complexo aeroportuário, incluindo áreas administrativas, operacionais, hangares e o efluente sanitário das aeronaves. O sistema entrou em operação em 1984, e é composto por unidades de tratamento preliminar, medição de vazão e um sistema de lagoas, composto de uma lagoa de estabilização facultativa seguida de uma lagoa de maturação. O lodo das lagoas nunca foi removido. A ETE atualmente opera em condições de subcarga e, ainda assim, apresenta eventos de baixa eficiência de remoção. Com vistas à obtenção de um diagnóstico geral da eficiência das unidades e atribuição de causas prováveis a um melhor ou pior desempenho que foi apresentado pelo sistema, o trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho das lagoas do AITN em termos de remoção de matéria orgânica. Dados de monitoramento ao longo de 17 anos (1994-2010) foram analisados e comparados com registros de literatura. De maneira geral, a ETE apresentou uma qualidade satisfatória em termos das concentrações efluentes de matéria orgânica. Espera-se que o trabalho venha a contribuir aos estudos de desempenho de lagoas de estabilização facultativas e lagoas de maturação, especialmente no caso do tratamento de efluentes de um aeroporto, cujas referências em literatura são escassas.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoa facultativa, Lagoa de maturação, Aeroportos, Desempenho, Matéria orgânica.

INTRODUÇÃO

O desempenho das lagoas de estabilização pode estar relacionado a diversos fatores, desde as condições climáticas e a própria qualidade do afluente até a configuração geométrica das unidades. Nesse sentido, diversas são as pesquisas com o intuito de avaliar o desempenho de lagoas e identificar os principais fatores que interferem ou que podem interferir na eficiência desses sistemas.

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) que atende o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins – MG (AITN) realiza o tratamento dos efluentes de todo o complexo aeroportuário, incluindo áreas administrativas, operacionais, hangares e o efluente sanitário das aeronaves (com possibilidade de ter características não domésticas). O sistema entrou em operação em 1984, e é composto por unidades de tratamento preliminar (grade manual), medição de vazão (calha Parshall) e um sistema de lagoas, composto de uma lagoa de estabilização facultativa seguida de uma lagoa de maturação. O lodo das lagoas nunca foi removido. Na perspectiva dos parâmetros de projeto, a ETE encontra-se superdimensionada, entretanto, ainda assim apresenta eventos de baixa eficiência de remoção.

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho do sistema de lagoas do AITN na remoção de matéria orgânica (DBO e DQO) por meio de análise estatística de dados de monitoramento nas lagoas, de 1994 a 2010 (17 anos). Espera-se que o trabalho venha a contribuir com os estudos de desempenho de lagoas de estabilização facultativas e lagoas de maturação, com vistas à atribuição de causas prováveis a um melhor ou pior desempenho que foi apresentado pelo sistema. O trabalho também apresenta, mesmo que de forma preliminar, o comportamento desse sistema tratando efluentes de um aeroporto, cujas referências em literatura são escassas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A ETE que atende o Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), em Confins – MG (ETE Confins) realiza o tratamento dos efluentes de todo o complexo aeroportuário a nível secundário. O corpo receptor do efluente da ETE é o Córrego Olhos d'água (classe 1), afluente do Córrego do Jaque, que é tributário do Rio das Velhas.

Além do efluente oriundo do terminal de passageiros, terminal de cargas e dependências administrativas (proveniente das instalações sanitárias e cozinhas), a ETE recebe contribuições pontuais de esgotos com possíveis características industriais, sendo que uma delas diz respeito ao efluente da cloaca (sanitários das aeronaves).

O sistema é composto por tratamento preliminar (grade manual), medição de vazão (calha Parshall), seguido de uma lagoa facultativa e lagoa de maturação (Figura 1), e está em funcionamento desde o início da operação do aeroporto (1984).



Figura 1: Vista aérea das lagoas facultativa e de maturação na ETE Confins.
Fonte: Google Earth, 2012

A lagoa facultativa e a lagoa de maturação apresentam como principais dimensões/características os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Principais dimensões/características das lagoas facultativa e de maturação.

	LAGOA FACULTATIVA	LAGOA DE MATURAÇÃO
Formato: Trapezoidal	Arestas de 118m, 190m, 120m e 145m	Arestas de 118m, 118m, 48m e 20m
Relação comprimento/largura	~ 1,4	~ 3,5
Área do espelho d'água	2,39 ha	0,47 ha
Área de fundo	1,99 ha	0,36 ha
Inclinação dos taludes internos	1 : 2,5	1 : 2,5
Volume máximo da lagoa	55000 m ³	5105 m ³
Profundidade (mín - máx) de operação	1,90 – 2,90m	0,65 – 1,25m
Profundidade de operação atual	2,90m	1,20m
Borda livre acima do NA máximo	0,50 m	0,50 m

A avaliação de desempenho das lagoas, em termos de remoção de DQO e DBO, foi feita por meio da análise estatística de dados de monitoramento compreendidos entre os anos de 1994 e 2010. Os dados foram fornecidos pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), empresa que opera o sistema.

Foram analisados dados de três pontos de coleta: esgoto bruto (afluente), saída da lagoa facultativa e saída da lagoa de maturação (efluente do sistema). A programação do monitoramento realizado pela COPASA compreendeu coletas quinzenais (em alguns períodos mensais) para os dois parâmetros.

RESULTADOS

Apresentam-se os resultados referentes aos parâmetros relacionados à matéria orgânica: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a relação entre esses dois parâmetros (DQO/DBO), para o esgoto bruto e ao longo do tratamento. Também são apresentados os dados da taxa de aplicação orgânica superficial (TAS) e do tempo de detenção hidráulica, bem como sua relação com o desempenho das lagoas. Os valores de DBO e de DQO se referem à DBO ou DQO Total, isto é, sem filtragem da amostra.

Concentrações de DBO e DQO

São apresentados na Tabela 2 e na Figura 2, respectivamente, a estatística descritiva das concentrações de DBO e DQO ao longo do período de análise, para o esgoto bruto e efluentes da lagoa facultativa e de maturação e os gráficos *box-plot*, ilustrando alguns desses dados.

Tabela 2: Estatísticas descritivas das concentrações de DBO e DQO (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

	DBO			DQO		
	E.Bruto	Facult.	Matur.	E. Bruto	Facult.	Matur.
Núm dados	186	133	150	186	130	151
Mínimo	14	6	6	21	19	19
Máximo	882	276	263	1507	609	887
Coef. Var	0,63	0,86	0,77	0,61	0,64	0,63
TENDÊNCIA CENTRAL						
Média	235	41	45	472	152	188
Mediana	201	32	36	417	133	157
Média geométrica	188	31	36	313	130	159
PERCENTIS						
10%	81	12	15	166	68	82
25%	125	17	22	223	93	111
50%	201	32	36	417	133	157
75%	320	52	59	641	167	229
90%	424	73	86	835	241	335

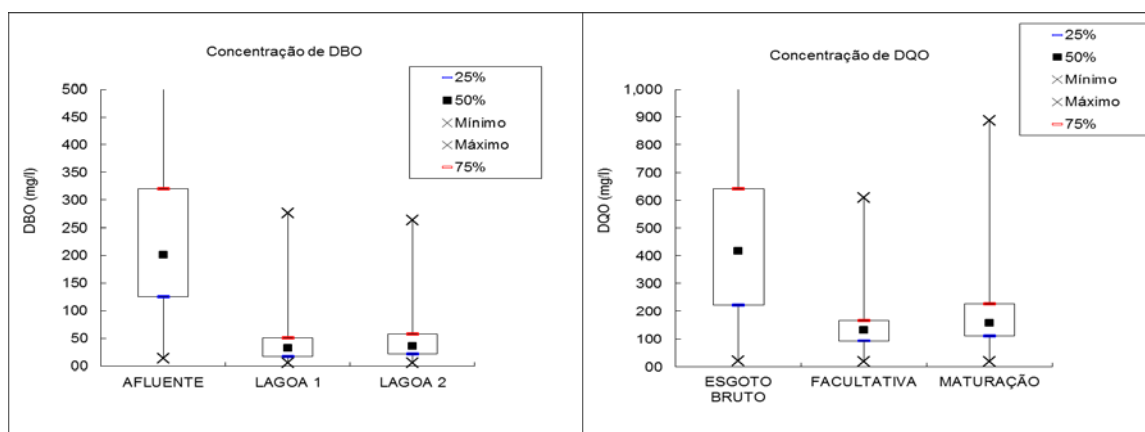


Figura 2: Gráficos *box-plot* da concentração de DBO e DQO ao longo do tratamento – ETE Confinis.

Observa-se a grande contribuição dada pela lagoa facultativa na remoção da matéria orgânica, gerando um efluente de ótima qualidade. Nota-se ainda aumento na concentração de matéria orgânica na lagoa de maturação. Tal fato pode estar relacionado à saída de algas com o efluente, conferindo DQO e DBO particuladas ao mesmo. Entretanto, as concentrações médias de DBO e DQO do efluente final (45 e 188 mg/L, respectivamente) ainda estão dentro da faixa esperada para esse tipo de sistema (lagoa facultativa - lagoa de maturação), tal como apresentado por von Sperling (2005), de 40 a 70 mg/L para DBO e 100 a 180 mg/L para DQO.

Eficiências de remoção

A Tabela 3 apresenta, por meio de estatística descritiva, os valores de eficiência de remoção de DBO e DQO para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e para o sistema. Também são apresentadas as séries temporais (Figura 3).

Tabela 3: Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de DBO e DQO (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confinis.

	DBO			DQO		
	Facult.	Matur.	Sistema	Facult.	Matur.	Sistema
Núm dados	130	95	150	130	96	151
Mínimo	8	-259	-15	-55	-242	-55
Máximo	97	93	98	90	88	97
Coef. Var	0,22	-2,50	0,22	0,58	-3,37	0,51
TENDÊNCIA CENTRAL						
Média	77	-22	77	52	-16	52
Mediana	80	-10	82	60	-3	56
PERCENTIS						
10%	59	-89	56	11	-96	19
25%	69	-50	72	35	-38	38
50%	80	-10	82	60	-3	57
75%	88	7	89	73	16	73
90%	93	27	93	82	42	82

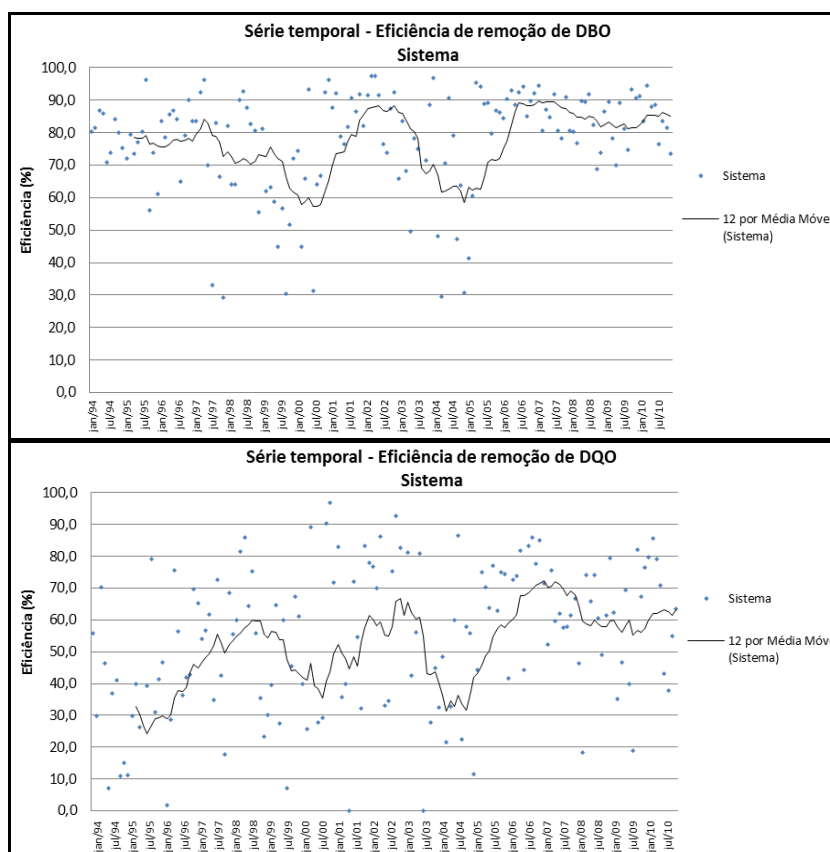


Figura 3: Série temporal da eficiência de remoção de DBO e DQO de cada unidade e do sistema, com média móvel anual (12 termos) – ETE Confins.

Durante os anos de monitoramento, a eficiência da lagoa facultativa na remoção de DBO variou, na grande maioria dos dados, dentro da faixa de 60 a 95%. Os valores dos percentis de 10 e 90% (eficiências de, respectivamente, 59 e 93%) podem ser comparados aos percentis de 10 e 90% observados por Oliveira (2006), de 65 a 84%, com base nos dados de 75 lagoas facultativas tratando esgotos sanitários. Os valores de média e mediana, 77 e 80%, estão dentro da faixa reportada por von Sperling (2002) e Jordão e Pessoa (2011), de 75 a 85%. Uma investigação feita por Oliveira *et al.* (2004), englobando 115 lagoas facultativas (primárias e secundárias) da região sudeste do Brasil, apontou eficiência média de 74%. Tais comparações permitem presumir boa eficiência da lagoa facultativa na remoção de DBO, e dentro do esperado, de acordo com a literatura. Já em relação a DQO, os valores de média e mediana, 52 e 60%, estão abaixo do limite inferior da faixa citada por von Sperling (2002) e Jordão e Pessoa (2011), de 65 a 80%. Apesar do efluente da lagoa facultativa apresentar concentrações de DQO abaixo ou dentro do esperado, a eficiência média da unidade não atingiu a faixa de referência, possivelmente em função da DQO particulada associada às algas.

Segundo Silva (2006), é possível esperar, como regra prática, média de remoção de 20% de DBO em lagoas de maturação, não excedendo 25%. Para a lagoa de maturação em estudo, eficiências negativas de remoção de DBO e DQO foram observadas em mais de 50% dos dados; a média para DBO foi de -22 % e DQO de -23 %. Eficiências negativas já foram reportadas por Silva (2006), compilando trabalhos realizados por Silva *et al.* (1996), Pearson *et al.* (1996), Oliveira *et al.* (1996), Nogueira *et al.* (1999), Araújo *et al.* (2003) e Moreira *et al.* (2003). No presente caso, a lagoa de maturação está também contribuindo com o aumento da concentração de matéria orgânica, provavelmente devido à grande produção de algas, seguida por sua saída com o efluente (contabilizadas como DBO e DQO). No entanto, deve-se ter em mente que a lagoa de maturação traz importante contribuição na remoção de coliformes (não avaliada no presente trabalho).

Relação DQO/DBO

A relação DQO/DBO permite inferências sobre o maior ou menor potencial de biodegradabilidade do esgoto. A Tabela 2 fornece a estatística descritiva dessa relação ao longo do tratamento (esgoto bruto, efluente da lagoa

facultativa e efluente da lagoa de maturação). Os percentis foram inseridos em gráficos *box-plot* e apresentados na Figura 3.

Tabela 3: Estatísticas descritivas das relações DQO/DBO, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

	DQO/DBO		
	Esgoto Bruto	Facultativa	Maturação
Núm dados	186	130	149
Mínimo	0,4	1,05	0,5
Máximo	10,1	20,7	22,6
Coef. Var	0,6	0,7	0,64
TENDÊNCIA CENTRAL			
Média	2,3	5,6	5,3
Mediana	2,1	4,5	4,8
Média Geométrica	2,0	4,3	4,4
PERCENTIS			
10%	1,1	1,8	1,9
25%	1,5	2,2	2,8
50%	2,0	4,5	4,8
75%	2,6	7,6	6,5
90%	3,7	11,7	9,8

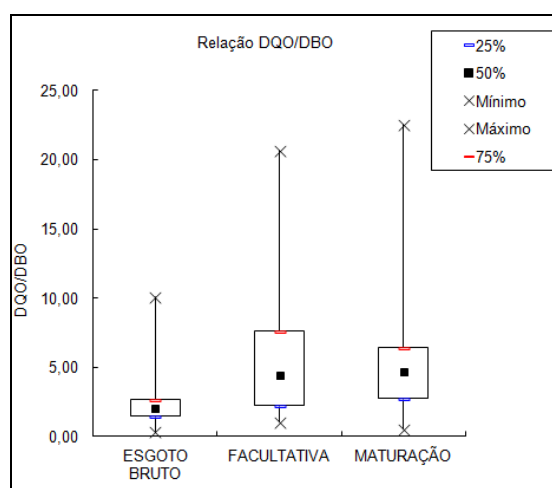


Figura 3: Gráficos *box-plot* da relação DQO/DBO ao longo do tratamento – ETE Confins.

A Tabela 2 e a Figura 3 mostram claramente o aumento da relação DQO/DBO do esgoto após a lagoa facultativa, passando de 2,3 (média esgoto bruto) a 5,6 (média efluente da facultativa) – incremento de 143%. Tal comportamento indica boa remoção da matéria orgânica biodegradável nessa unidade, resultando em um aumento da fração inerte.

Em relação à lagoa de maturação, houve ligeira redução após a unidade, considerando os valores de média (de 5,6 no efluente da lagoa facultativa para 5,3 no efluente da lagoa de maturação). Já em relação aos valores de mediana, ocorreu um ligeiro aumento (de 4,5 para 4,8). Na prática, pode-se considerar que não houve alteração substancial da relação DQO/DBO na lagoa de maturação, o que pode ser devido a um balanço entre degradação de matéria orgânica (mineralização) e produção de algas, por exemplo.

Apenas como comparação, Meneses (2006), monitorando um sistema composto por lagoa facultativa primária e duas lagoas de maturação, encontrou relação DQO/DBO ao longo do tratamento de 1,7 no esgoto bruto, 2,0 no efluente da lagoa facultativa primária (incremento de 20% em relação ao esgoto bruto) e 2,9 no efluente da primeira lagoa de maturação (incremento de 43% em relação a lagoa facultativa).

Segundo von Sperling (2005), quanto maior a eficiência do tratamento na remoção da matéria orgânica biodegradável, maior a relação DQO/DBO, que pode chegar a 4,0 ou 5,0. O efluente final apresentou média de 5,3 (mediana 4,8).

Taxa de aplicação superficial (TAS)

A partir dos dados de carga orgânica e área de cada lagoa, foram obtidos os valores da TAS de DBO e DQO (em kg/ha.d). A estatística descritiva dos valores e a série histórica estão apresentadas na Tabela 4 e na Figura 4, respectivamente. As séries históricas contêm, como linha de tendência, média móvel de 12 termos, representando uma aproximação da média anual. Como a maioria das referências em literatura trata de TAS em termos de DBO, tais valores serão discutidos neste tópico.

Tabela 4: Estatísticas descritivas da TAS de DBO e DQO em cada lagoa (kg/ha.d) – ETE Confins.

	DBO		DQO	
	Facultativa	Maturação	Facultativa	Maturação
Núm dados	186	133	186	130
Mínimo	1	0	2	6
Máximo	157	178	320	262
Coef. Var	0,66	0,86	0,68	0,56
TENDÊNCIA CENTRAL				
Média	44	29	86	110
Mediana	39	21	69	101
PERCENTIS				
10%	13	6	33	34
25%	21	12	47	62
50%	39	21	69	101
75%	59	39	117	157
90%	82	63	167	195

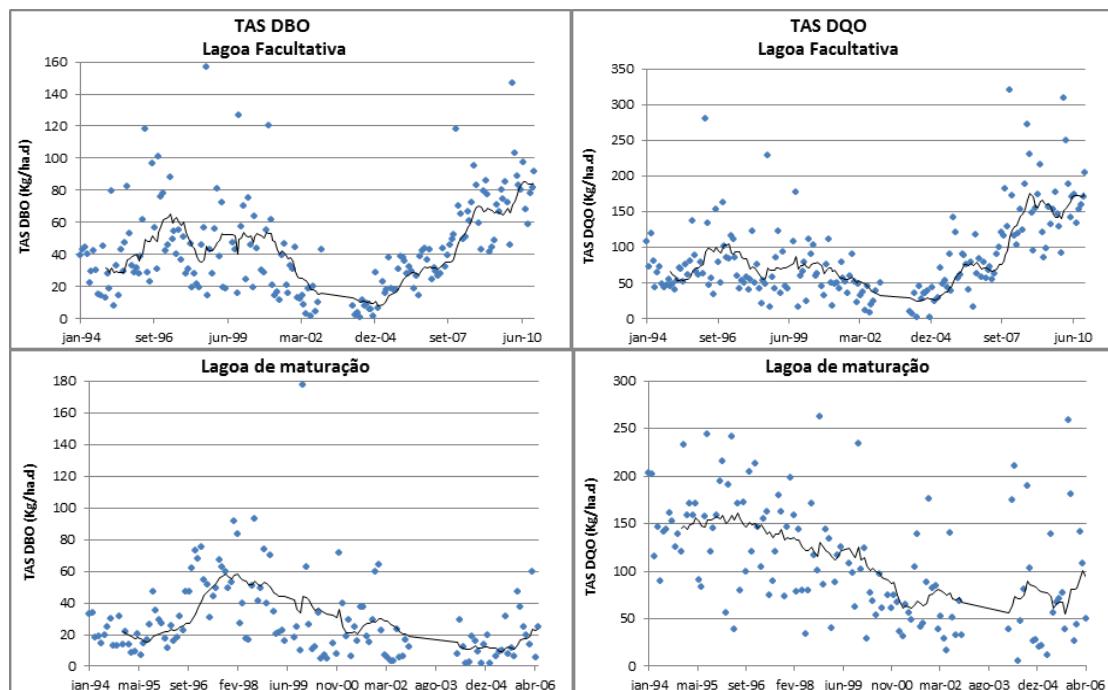


Figura 4: Séries históricas da TAS de DBO e DQO na lagoa facultativa e lagoa de maturação, com média móvel de 12 termos – ETE Confins.

Nota-se que a ETE sempre operou em subcarga, mesmo com o aumento a partir de 2005, quando a operação do aeroporto foi incrementada. A TAS média na lagoa facultativa, considerando os dados de 1994 a 2010, foi de 44 kgDBO/ha.d (mediana 39 kgDBO/ha.d), bem inferior à faixa usual em projetos, de 100 a 350 kgDBO/ha.d em países de clima tropical (GLOYNA, 1971; VON SPERLING, 2002). O percentil 90% (82 kgDBO/ha.d) indica que a grande maioria dos dados estiveram abaixo desse limite mínimo (entretanto, observa-se a tendência de elevação nos últimos anos).

Mara (1997) apresenta uma equação que utiliza a temperatura média do ar no mês mais frio para estimativa da TAS a ser considerado em projetos de lagoas facultativas (Equação 1):

$$TAS = 350 \times (1,107 - 0,002 \times T)^{(T-25)} \quad (\text{equação 1})$$

Em que:

TAS = Taxa de Aplicação Superficial (kgDBO₅/ha.d)

T = temperatura média do ar no mês mais frio (°C)

A partir da Equação 1 e o valor médio da temperatura do ar no mês de Julho (21,7°C), têm-se que a TAS recomendada no projeto da lagoa seria de 285 kgDBO/ha.d, valor superior até mesmo à TAS máxima de operação da lagoa (157 kgDBO/ha.d) durante todo o período de monitoramento.

Em relação à lagoa de maturação, recomenda-se evitar que a mesma opere com taxas superiores a 75% da TAS na lagoa facultativa (MARA, 2005), portanto, inferiores a 33 kgDBO/ha.d. Visto que a mesma apresentou média de 29 kgDBO/ha.d, mediana de 21 kgDBO/ha.d e percentil de 75% igual a 39 kgDBO/ha.d, observa-se que também não ocorreram situações críticas de sobrecarga na unidade.

Relações de carga e TDH

A Figura 5 apresenta os gráficos obtidos para as correlações da taxa de aplicação superficial (TAS) de DBO com a eficiência de remoção e com a concentração de DBO efluente. A Figura 6 apresenta os gráficos para as relações com o tempo de detenção hidráulica. Neste tópico, serão discutidos apenas os resultados da lagoa facultativa, já que a lagoa de maturação não foi projetada para remoção de matéria orgânica.

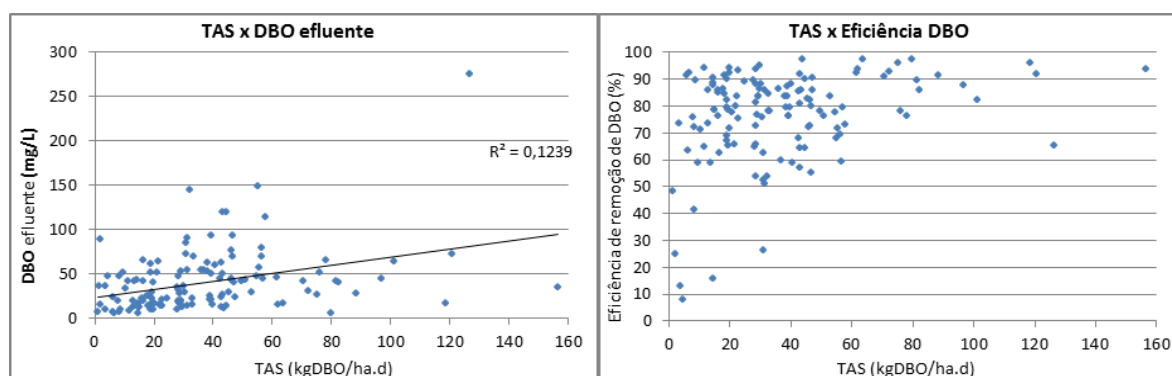


Figura 5: Relação entre TAS e concentração de DBO efluente e eficiência de remoção de DBO na lagoa facultativa – ETE Confins.

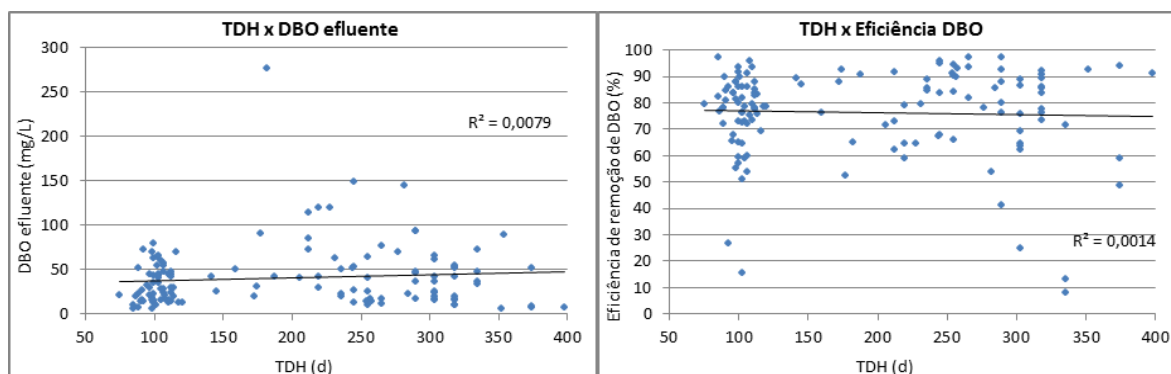


Figura 6: Relação entre TDH e concentração de DBO efluente e eficiência de remoção de DBO na lagoa facultativa – ETE Confins.

Na Figura 5, observa-se alguma relação entre a TAS e aumento da DBO efluente. Apesar da TAS em nenhum momento atingir o limite de 350 kg/ha.d - para se considerar uma situação de “sobrecarga” - é de se esperar que o aumento da TAS implique em aumento da DBO efluente. Entretanto, observa-se, também na Figura 5, uma possível tendência de aumento da eficiência com o aumento da TAS. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que a DBO afluente está contabilizada nos dois eixos e quando esta aumenta, aumentam ambos (caso a DBO efluente não acompanhe esse aumento). Não foi observada qualquer tendência de diminuição da DBO efluente ou aumento da eficiência com o aumento do TDH, mesmo este tendo atingido valores muito superiores ao usual (TDH mínimo de 75 dias; média de 193 dias; mediana de 173 dias; máximo de 424 dias).

Oliveira e von Sperling (2005), analisando a influência de fatores de projeto e de operação no desempenho de 132 estações de tratamento de esgotos, também considerando a concentração efluente e a eficiência de remoção de DBO, concluíram que, quando as ETEs operavam em condições de sobrecarga, existia uma tendência de elevação da concentração de DBO efluente. No entanto, valores bastante elevados de taxa de aplicação não teriam conduzido a uma deterioração expressiva da qualidade do efluente. Foi observada, também, uma ausência de relação entre a eficiência de remoção de DBO e TAS. Segundo os autores, as condições de subcarga ou sobrecarga não mostraram ter grande influência no desempenho. Ademais, concluíram sobre a pequena influência do TDH no desempenho das lagoas, já que os piores desempenhos foram registrados com as ETEs operando dentro da faixa recomendada de TDH.

Na presente pesquisa, houve grande dispersão dos dados, com baixos valores de R^2 , não cabendo qualquer conclusão mais aprofundada, exceto as aparentes tendências apresentadas na Figura 5, a respeito da TAS e a DBO efluente, e a ausência de qualquer relação com TDH (Figura 6).

CONCLUSÕES

Nota-se que, no geral, a ETE do Aeroporto Internacional Tancredo Neves operou em subcarga e apresentou uma qualidade satisfatória em termos das concentrações efluentes de matéria orgânica. Em termos de eficiência de remoção, os valores de DQO foram inferiores aos típicos da literatura para esgotos sanitários, muito provavelmente devido à presença de algas na saída da lagoa de maturação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) pela cessão dos dados de monitoramento e a INFRAERO pelo apoio à pesquisa. Os autores agradecem também à FAPEMIG - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, A. L. C.; DUARTE, M. A. C.; VALE, M. B. do. Avaliação de quatro séries de lagoas de estabilização na grande Natal na remoção de matéria orgânica e coliformes fecais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. [Anais...] Joinville: ABES, 2003. 1 CD-ROM.
2. GLOYNA, E. F. Estanques de estabilização de águas residuais. Organização Mundial da Saúde (Ed.), Genebra, Série de Monografias, 60, 1971.
3. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.
4. MARA, D. D. Pond Process Design – a practical guide. In: SHILTON, A. (Ed.) Pond Treatment Technology. London: IWA Publishing, 2005. p. 168-185.
5. MOREIRA, E. A.; LEAL, N. L.; CAVALCANTI, P. F. F.; VAN HAANDEL, A. C. Desinfecção em lagoa de polimento de esgoto pré-tratado anaerobiamente, visando reuso como água de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. [Anais...] Joinville: ABES, 2003. 1 CD-ROM.
6. MENESES, C. G. R. Evolução da biodegradabilidade da matéria orgânica em um sistema de lagoas de estabilização. 2006. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
7. NOGUEIRA, V. L. M. Caracterização de um sistema de lagoas de estabilização numa estação de tratamento de esgotos domésticos em escala real, em Fortaleza, Ceará. 1999. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.
8. OLIVEIRA, R.; SILVA, S. A.; ARAUJO, A. L. C.; SOARES, J.; MARA, D. D.; PEARSON, H. W. The performance of a pilot-scale series of ten ponds treating municipal sewage in northeast Brazil. Water Science and Technology, v. 33, n. 7, p. 57-61, 1996.
9. OLIVEIRA, S. M. A. C. Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. 2006. 214 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
10. OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 – Análise de desempenho. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 4, p. 347 – 357, 2005.
11. PEARSON, H. W.; MARA, D. D.; CAWLEY, L. R.; ARRIDGE, H. M.; SILVA, S. A. The performance of an innovative tropical experimental waste stabilization pond system operating at high organic loadings. Water Science and Technology, v. 33, n.7, p. 63-73, 1996.
12. SILVA, F. J. A. Número de dispersão em lagoas de maturação. Revista Tecnologia. v. 27, n. 1, p. 17-25, 2006.
13. SILVA, S. A.; DE OLIVEIRA, R.; MARA, D. D. Performance of waste stabilization ponds in Northeast Brazil. Leeds: University of Leeds, 1996. 139 p. (Research Monograph No 9).
14. VON SPERLING, M. Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005. 452 p.
15. VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 3: Lagoas de estabilização. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2002. 196p.