

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/286937331>

AValiação DO DESEMPENHO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM ESCALA REAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS./ Performance Evaluation of Full-Scale Waste Stabilization Ponds in Minas Gerais

Conference Paper · October 2015

CITATIONS

0

READS

3

4 authors, including:



[Maria Fernanda Espinosa Cordero](#)

Federal University of Minas Gerais

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

SEE PROFILE

II-111 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM ESCALA REAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS.**Maria Fernanda Espinosa Cordero** ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade de Cuenca, Equador. Aluna de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Bolsista do Programa Estudantes - Convênio de Pós-Graduação – PEC-PG, da CAPES/CNPq – Brasil.

Pedro Albuquerque

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Marcos von Sperling

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

Aníbal Freire

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da UFMG. Especialista em Engenharia Sanitária pela DESA/UFMG. Analista Master de Saneamento da COPASA-MG.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Princesa Leopoldina, 252 Apto. 502 – Ipiranga - Belo Horizonte - MG – CEP: 31160-120 – Brasil - +55 (31) 9943-6256 – e-mail: ferespinosac@hotmail.com

RESUMO

Existem vários sistemas para o tratamento de águas residuárias, nos quais são utilizados diferentes processos (físicos, químicos ou biológicos). Um dos sistemas mais utilizados no mundo são as lagoas de estabilização e suas variantes, pelo fato de serem uma das formas mais simples quanto à manutenção e operação, e menos custosas de tratamento. Nesta pesquisa, foram avaliadas 25 ETes que tratam esgotos domésticos, localizadas no Estado de Minas Gerais e operadas pela COPASA, que utilizam em seus processos de tratamento, lagoas de estabilização. A avaliação utilizou os dados do monitoramento rotineiro das ETes com relação aos parâmetros DBO, DQO e *E. coli*. As concentrações afluentes foram comparadas com a literatura e as efluentes foram avaliadas conforme os padrões de lançamento estabelecidos pela legislação do Estado de Minas Gerais (DN COPAM/CERH 01/2008). Os resultados mostraram a utilização de sete configurações diferentes de sistemas de lagoas, sendo a mais utilizada a com reator UASB + lagoa facultativa, a qual produziu eficiências médias de remoção de DBO e DQO de 84% e 76% respectivamente, e 1,9 unidades log removidas de *E. coli*. Todas as configurações estudadas apresentaram uma eficiência de remoção de DBO entre 81% e 86%, de DQO entre 67% e 76%, e para *E. coli* as unidades log removidas foram entre 1,2 e 2,5. Quanto ao atendimento aos padrões de lançamento, 13 das ETes têm igual ou mais de 50% das amostras cumprindo com a concentração efluente máxima permitida de DBO (60mg/L) e 12 das ETes têm igual ou mais de 50% das amostras cumprindo com o limite de 180 mg/L de DQO. Para o padrão associado à eficiência mínima de remoção requerida, 22 das ETes têm mais do 80% dos dados de eficiência de remoção de DBO cumprindo com a normativa (eficiência \geq 60%), e 18 ETes cumprindo com a normativa de eficiência de DQO (eficiência \geq 55%). As concentrações efluentes de *E. coli* foram bastante variáveis, indicando a necessidade da adoção de configurações mais eficientes para a remoção de coliformes.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas de estabilização, eficiência de remoção, concentração, padrões de lançamento.

INTRODUÇÃO

O principal objetivo do tratamento de águas residuárias é remover material contaminante, orgânico e inorgânico, que pode estar na forma de partículas em suspensão e/ou dissolvido, para atingir os padrões de qualidade da água exigidos pelo tipo de descarga ou reutilização a que se destinará (NOYOLA et al., 2013).

O sistema de lagoas de estabilização compreende unidades especialmente projetadas e construídas com o propósito de tratar esgotos, e constitui a forma mais simples de tratamento de águas residuárias (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005), pelo baixo custo operacional, mas também pelas boas eficiências de remoção da matéria orgânica e microrganismos patogênicos que podem ser alcançadas nestes sistemas.

No Brasil, dos 5564 municípios, 3069 têm serviço de esgotamento sanitário por rede coletora e 1587 têm tratamento destes. No Estado de Minas Gerais, dos 853 municípios, 194 (23%) têm tratamento de esgotos (IBGE, 2008); dentro destes, existem 27 ETEs que tratam seus esgotos com processos que incluem lagoas de estabilização, operadas pela Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais (COPASA).

O objetivo geral da pesquisa é fazer uma avaliação do desempenho das lagoas de estabilização da COPASA no Estado de Minas Gerais, quanto à eficiência de remoção dos principais parâmetros físico-químicos e biológicos, e ao atendimento aos padrões de lançamento, através do estudo estatístico destes parâmetros para cada sistema.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa, foi feita uma reclassificação das configurações das 27 ETEs, resultando em 25 estações com as seguintes configurações: lagoas facultativas, lagoas facultativas + lagoa de maturação, lagoa anaeróbia + lagoa facultativa, reator UASB + lagoa facultativa, reator UASB + lagoa de maturação com chicanas, reator UASB + lagoas de estabilização (facultativas e maturação) e, por último, reator UASB seguido por filtros anaeróbios e lagoas facultativas. A informação utilizada foi fornecida pela COPASA, responsável pela operação e monitoramento das ETEs, sendo esta: vazão, concentrações de DBO, DQO e *E. coli* e as dimensões básicas (largura, comprimento e profundidade) das lagoas facultativas e de maturação. Na Tabela 1 se apresentam as ETEs com seus processos de tratamento e as dimensões referentes às lagoas facultativas e de maturação.

Tabela 1 Sistemas de tratamento de esgotos que utilizam lagoas de estabilização de 25 ETEs da COPASA e principais dimensões das lagoas facultativas e de maturação.

Nº	NOME DA ETE	PROCESSO	DIMENSÕES								
			LF			LM1			LM2		
			C (m)	L (m)	P (m)	C (m)	L (m)	P (m)	C (m)	L (m)	P (m)
1	Almenara	UASB+LF	150	240	2,5						
2	Buritis	LAN+LF	190	95	1,5						
3	Campina Verde	UASB+LF	200	65	2,5						
4	Caxambu	UASB+LF+2LM	120	250	2,5	?	?	?	?	?	?
5	Confins/aeroporto	LF+LM	?	?	?	?	?	?	?	?	?
6	Coração de Jesus	UASB+LF	?	?	?						
7	Cordisburgo	LF	266	142	2,5						
8	Corinto	UASB+LF+2LM	130	110	3	123	94,5	2	166	70	2
9	Divisópolis	UASB+3LF	?	?	2						
10	Engenheiro Navarro	UASB+LM(Chic)				300	15	0,8			
11	Frutal	LAN+LF	102	410	2						
12	Glaucilândia	UASB+LF									
13	Guarda - Mor	UASB+LM(Chic)				980	10	0,65			
14	Itaobim	UASB+2LF	136	52	2,5						
15	Iturama	LAN+LF	108	201	1						
16	Janauba	UASB+LF+2LM	110	224	2	69	139	1	66	138	1,2
17	João Pinheiro	UASB+LM(Chic)				225	22	3			
18	Juramento	UASB+LF	30	60	1,5						
19	Lagoa dos Patos	UASB+LF	94	34	2						
20	Lavras-Agua Limpa	UASB+FA+LM				39	250	1,2	70	145	1,2
21	Lavras-Rib. Vermelho	UASB+FA+LM				61	220	1,2	30	154	1,2
22	Matozinhos	2LAN+2LF	?	?	3						
23	Porteirinha	UASB+LF+2LM	170	100	2,2	135	70	1,2	135	70	1,2
24	São Francisco	LF	100	350	2						
25	Serro	UASB+LF+LM	63	137	2,5	168	33,5	1,5			

? = Informação não disponível

C: comprimento; L: largura; P: profundidade

UASB: “*Upflow anaerobic sludge blanket*” (reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente); LAN: lagoa anaeróbia; FA: filtro anaeróbio; LF: lagoa facultativa; LM: lagoa de maturação; LM (Chic): lagoa de maturação com chicanas

Os dados obtidos foram colocados numa planilha padrão de Excel, a qual contém a informação principal de cada sistema, como vazão, dimensões básicas, área, volume e concentrações dos parâmetros (DBO, DQO, *E. coli*). Nesta planilha, uma vez organizado, obtiveram-se as estatísticas descritivas, tais como média aritmética, desvio padrão, mediana, máximo e mínimo, tanto para as concentrações afluentes e efluentes, quanto para as eficiências de remoção de cada parâmetro estudado. Foram realizados gráficos Box-Plot com a finalidade de fazer uma comparação entre os sistemas. Finalmente foi analisado o atendimento aos padrões de lançamento, estabelecidos pela DN 01/2008 COPAM/CERH-MG (2008), para a DBO (concentração efluente máxima de 60mg/L ou eficiência mínima de remoção de 60%) e DQO (concentração efluente máxima de 180mg/L ou eficiência mínima de remoção de 55%). Como não há padrões de lançamento para *E. coli*, foi considerado a meta para irrigação irrestrita (redução de 6-7 unidades log), estabelecido pela *WORLD HEALTH ORGANIZATION* (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que 32% das ETEs avaliadas têm configuração de reator UASB seguido de lagoa facultativa, 20% configuração de UASB seguido de lagoas de estabilização, e 16% lagoa anaeróbia seguido de lagoa facultativa, sendo estas as 3 configurações mais utilizadas, compreendendo cerca de 2/3 das lagoas estudadas. A configuração menos utilizada é a de lagoa facultativa seguido de lagoa de maturação. Na Tabela 2 apresentam-se estes resultados com maior clareza. Também foi observado que 88% das ETEs utilizam um processo anaeróbio (UASB ou lagoa anaeróbia) como primeira etapa do tratamento, podendo ser devido ao clima favorável na região, com temperaturas medias anuais superiores a 18°C (GOVERNO DE MINAS, 2015), sabendo que na faixa mesófila o tratamento anaeróbio tem uma degradação ótima da matéria orgânica (CHERNICHARO, 2007).

Tabela 2 Frequência dos sistemas de tratamento de esgotos monitorados pela COPASA

Nº	SISTEMAS	REFERÊNCIA	Nº ETEs	(%) ETEs
1	Lagoa facultativa	LF	2	8
2	Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	LAN+LF	4	16
3	Lagoa facultativa + lagoa de maturação	LF+LM	1	4
4	Reator anaeróbio de fluxo ascendente + lagoa facultativa	UASB+LF	8	32
5	Reator anaeróbio de fluxo ascendente + lagoa de maturação com chicanas	UASB+LM (Chic)	3	12
6	Reator anaeróbio de fluxo ascendente + lagoa facultativa + lagoa de maturação	UASB+LF+LM	5	20
7	Reator anaeróbio de fluxo ascendente + filtro anaeróbio + lagoa de maturação	UASB+FA+LM	2	8
Total			25	100

Na Tabela 3 mostra-se os resultados das estatísticas obtidas das vazões afluentes de cada ETE junto com a respectiva vazão de projeto. Observa-se que existe uma variação muito grande entre as vazões das ETEs, resultando em uma faixa de 0,6 L/s a 77 L/s, ou seja, cobrindo sistemas de pequeno a médio porte. Também é possível ver que as vazões atuais das ETEs são muito menores que as vazões de projeto, e só a ETE Caxambú está operando com uma vazão afluente superior à de projeto.

Devido a que não se tinha informação completa sobre as áreas e volumes de todas as lagoas das ETEs, não foi possível fazer uma comparação entre elas. Porém, dos dados fornecidos, observou-se que existe uma variação grande entre os tempos de detenção hidráulica (TDH) das lagoas facultativas, sendo que para a ETE Cordisburgo com sistema de lagoa facultativa, o TDH foi o mais elevado, com 205 dias. Para as lagoas facultativas dos sistemas restantes, o TDH médio resultou numa faixa de 26 a 39 dias, ao passo que para as lagoas de maturação o TDH teve uma faixa mais ampla, com valores médios entre 3 e 27 dias.

Tabela 3 Vazão de projeto fornecida pela COPASA e estatística descritiva referente à vazão afluyente a cada ETE em estudo.

SISTEMA	ETE	VAZÃO Q (m ³ /d)					*Vazão Projeto (m ³ /d)	Relação Q _{mediana} / Q _{projeto}
		Média aritm.	Desvio Padrão	Mediana	Mín.	Máx.		
LF	São Francisco	1231	544	1117	759	3130	1166	96%
	Cordisburgo	288	128	229	190	628	648	35%
LAN+LF	Frutal	6573	1047	6653	3850	8294	21241	31%
	Iturama	3251	640	3378	2048	4147	9962	34%
	Matozinhos	1452	554	1363	191	3084	7975	17%
	Buritis	959	420	1226	467	1486	-	
LF+LM	Confins	446	92	454	284	616	726	63%
	Almenara	2826	553	2808	2151	3628	7949	35%
	Campina Verde	1690	364	1382	1382	2074	2700	51%
	Itaobim	667	48	678	596	717	3180	21%
UASB+LF	Juramento	522	1728	113	70	8220	218	52%
	Coração de J.	476	132	423	306	691	2938	14%
	Divinópolis	160	78	194	43	285	1115	17%
	Lagoa Patos	61	16	53	47	86	247	21%
	Glaucilândia	58	20	49	39	104	-	
	João Pinheiro	1153	1188	350	337	3110	1296	27%
UASB+LM (Chic)	Guarda-Mor	413	16	415	372	423	864	48%
	Engen. Navarro	139	32	147	86	187	506-711	21-29%
UASB+LF +LM	Caxambu	3449	950	3594	2066	5383	2678	134%
	Corinto	2862	1748	2327	910	9158	5357	43%
	Janaúba	1486	523	1359	847	2613	3629	37%
	Porteirinha	1288	523	1538	124	1927	3024	51%
	Serro	796	161	773	570	1322	2592	30%
UASB+FA +LM	Lavras-Água Limpa	11248	12232	3758	2989	42336	4925-5789	65-76%
	Lavras-Rib. Vermelho	5634	1847	6143	1814	7923	11491-13478	46-53%

*Fonte: COPASA

A Figura 1 apresenta os box-plot das eficiências de remoção de DBO, DQO e *E. coli* para os sete agrupamentos de sistemas de lagoas. As medianas das eficiências de remoção de DBO para os diferentes sistemas resultaram muito boas e com valores semelhantes entre si, variando entre 81% e 86%, superior à faixa dada na literatura. As eficiências de DQO estiveram dentro da faixa da literatura, com valores entre 67% e 76%. Todas estas estão cumprindo com a normativa do COPAM/CERH para eficiências mínimas de remoção. Quanto a unidades log removidas de *E. coli*, elas estão dentro da faixa reportada na literatura, com valores entre 1,2 a 2,5. A literatura revisada foi dos autores OLIVEIRA (2006) e VON SPERLING (2014).

Analisando-se as medianas das eficiências de remoção de DBO e DQO em cada um dos sete agrupamentos, tem-se os seguintes valores, respectivamente: sistema de lagoa facultativa, 81% e 73%; lagoas anaeróbias seguidas de facultativas, 81% e 70%; reator UASB seguido de lagoas facultativa (sistema mais utilizado) e no reator UASB seguido de lagoa facultativa e lagoa de maturação, 84% e 76%; lagoas facultativas seguidas de lagoas de maturação, 85% e 67%; reator UASB seguido de lagoas de maturação (chicanas), 83% e 74%; reator

UASB seguido de filtro anaeróbico e lagoas de maturação, 86% e 73%. Quanto às unidades log removidas de *E. coli*, foram obtidas as seguintes medianas nos sistemas que monitoravam afluente e efluente: sistema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, 2,5; reator UASB seguido de lagoa facultativa, 2,2; sistema de reator UASB seguido de lagoas de estabilização, 1,2 unidades log.

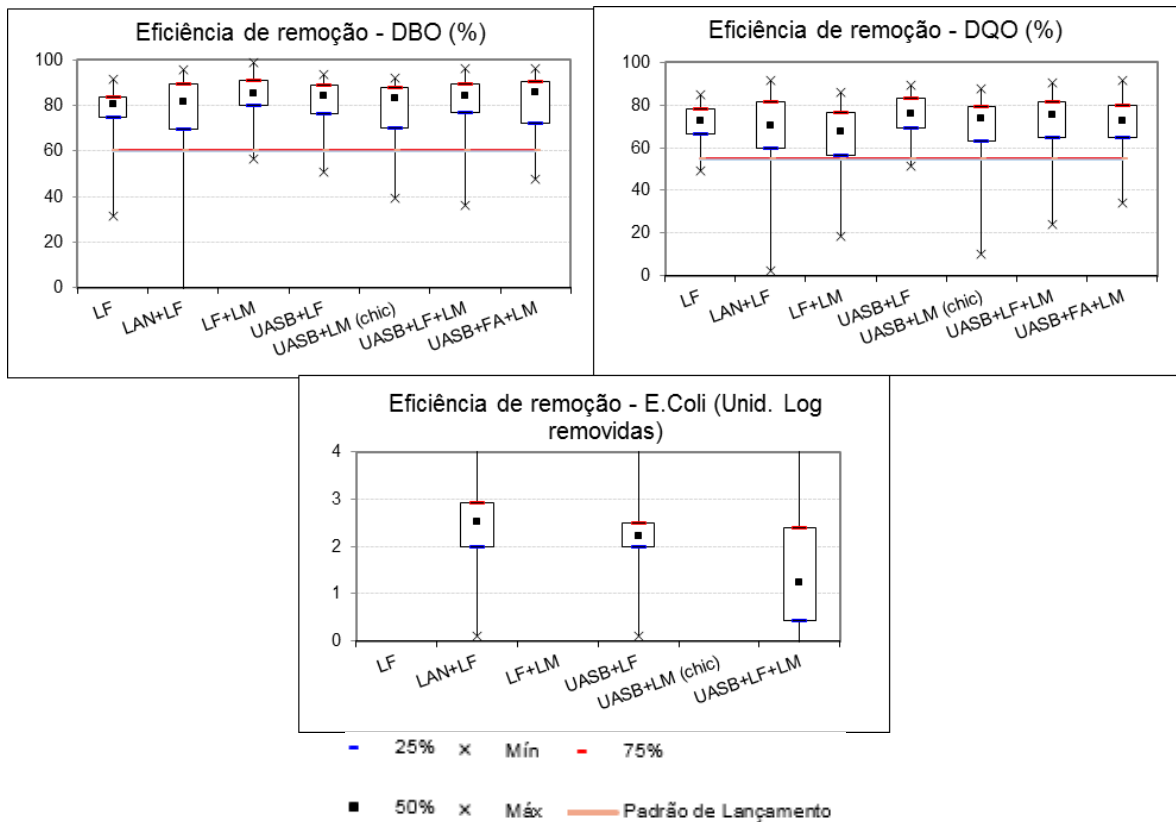


Figura 1 Medianas das Eficiências de remoção de cada sistema

As estatísticas descritivas para as concentrações afluentes e efluentes dos parâmetros estudados são apresentadas nas Tabelas 4 e 5. Quanto às medianas das concentrações afluentes, observa-se que, para DBO, não há uma grande diferença entre os valores, porém, para concentrações de DQO, evidencia-se uma variação maior entre os diferentes sistemas.

Para concentrações de *E. coli* (só três sistemas apresentam a informação sobre o afluente), nota-se que estão muito diferentes entre si, e que só um dos dados está dentro da faixa da literatura, e os outros valores são muito maiores. Os valores reportados na literatura para as concentrações citadas acima são apresentados na Tabela 6. Na Figura 2 pode-se observar o dito anteriormente; nesta figura estão ilustrados os gráficos Box-Plot referentes às concentrações afluentes e efluentes de cada um dos sistemas junto com os padrões de lançamento respectivos para cada parâmetro em estudo.

Fazendo uma comparação entre as concentrações afluentes observadas e as reportadas na literatura (Tabela 6), observa-se que, tanto as faixas como as médias das concentrações afluentes de DBO e DQO obtidas na pesquisa resultaram muito semelhantes àquelas apresentadas na literatura. No entanto, observa-se que predominam concentrações afluentes superiores aos valores de 300 mg/L e 600 mg/L para DBO e DQO, respectivamente, tradicionalmente utilizados em muitos estudos e projetos. Por outro lado, os valores obtidos para concentrações afluentes de *E. coli* resultaram maiores que os reportados na literatura.

Tabela 4 Estatística Descritiva das Concentrações Afluentes (Esgoto bruto)

Constituinte	Parâmetro	Modalidade						
		LF	LAN+LF	LF+LM	UASB+LF	UASB+LM (Chic)	UASB+LF+LM	UASB+FA+LM
DBO (mg/l)	Média	277	434	358	557	574	363	303
	DP	135	197	122	214	411	154	133
	Mediana	237	417	348	523	440	336	310
	Mín	97	110	156	252	152	161	74
	Máx	591	1030	645	1004	1681	838	588
DQO (mg/l)	Média	593	884	754	1130	1371	836	733
	DP	267	347	267	456	966	438	284
	Mediana	551	844	702	1053	1044	735	732
	Mín	185	249	317	567	249	353	191
	Máx	1241	1830	1507	2201	33490	2362	1520
<i>E. coli</i> (NMP/100ml)	Média	-	4,80E+10	-	-	-	2,50E+07	-
	DP	-	4,90E+10	-	-	-	2,30E+07	-
	Mediana	-	3,20E+10	-	-	-	1,80E+07	-
	Mín	-	5,00E+08	-	-	-	3,20E+06	-
	Máx	-	7,80E+10	-	-	-	5,50E+07	-

Tabela 5 Estatística Descritiva das Concentrações Efluentes

Constituinte	Parâmetro	Modalidade						
		LF	LAN+LF	LF+LM	UASB+LF	UASB+LM (Chic)	UASB+LF+LM	UASB+FA+LM
DBO (mg/l)	Média	63	68	56	91	131	53	47
	DP	46	43	36	52	153	32	29
	Mediana	49	58	48	80	75	45	40
	Mín	23	21	2	34	28.9	13	12
	Máx	199	173	183	206	529	150	134
DQO (mg/l)	Média	171	233	249	264	341	183	202
	DP	77	110	117	103	290	80	112
	Mediana	141	215	214	258	248	173	179
	Mín	72	84	91	129	85	55	69
	Máx	321	522	580	474	1088	374	558
<i>E. coli</i> (NMP/100ml)	Média	2,5E+05	1,3E+06	5,4E+04	7,7E+06	7,7E+09	2E+06	8,7E+05
	DP	2,9E+05	2,6E+06	1,2E+05	2,4E+07	1,4E+10	3,5E+06	1,1E+06
	Mediana	1,6E+05	6,7E+04	1,5E+04	4,2E+05	5,9E+08	3,9E+05	5,6E+05
	Mín	5,1E+03	1,5E+03	0,00E+00	3,3E+04	1,1E+06	2,0E+04	2,4E+04
	Máx	1,1E+06	7,9E+06	6,9E+05	8,1E+07	4,5E+10	1,4E+07	5,0E+06

Tabela 6 Comparação entre concentrações afluentes observadas e as reportadas na literatura
Concentrações Afluentes (Esgoto Bruto)

Parâmetros	Observada		*Literatura	
	Faixa	Média	Faixa	**Média
DBO (mg/L)	277 - 574	409	300-527	414
DQO (mg/L)	593 - 1371	900	600-1113	857
E. Coli (NMP/100mL)	2,5E+07 - 4,7E+10	2,40E+10	1E+06 - 1E+09	6,00E+07

*Adaptado de: SILVA FILHO (2007), OLIVEIRA (2006), VON SPERLING (2014).

**Obtida a partir do cálculo da média entre os valores da faixa reportada.

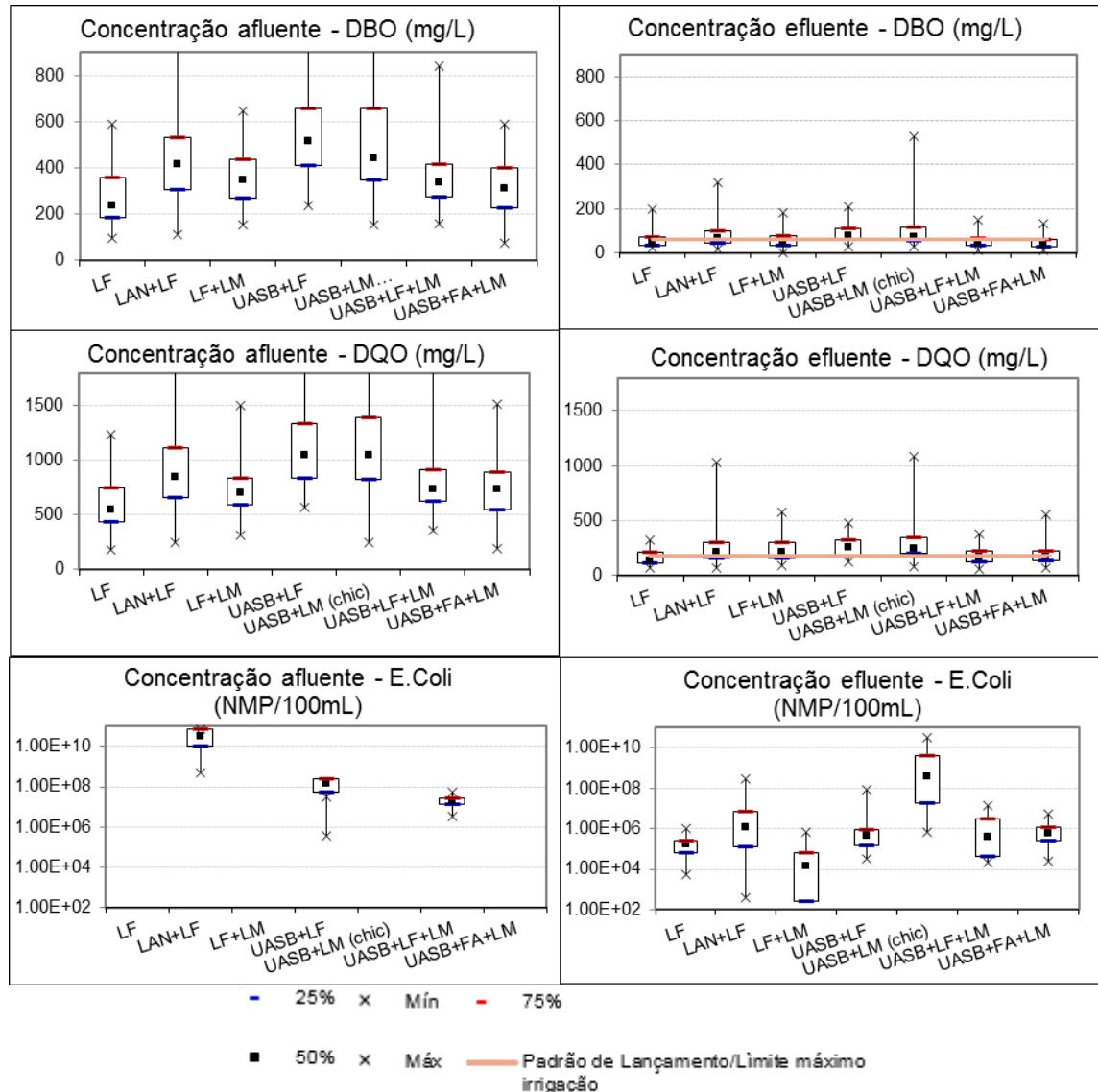


Figura 2 Concentrações afluentes e efluentes dos constituintes, Padrões de lançamento para DBO e DQO, e limite máximo de E. coli para irrigação.

Em relação ao atendimento à legislação relativa aos padrões de lançamento, foi verificado o cumprimento à Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01/08, que é mais rigorosa do que a Resolução CONAMA 430/2011. Nesta pesquisa, este atendimento foi avaliado segundo os dois critérios citados na deliberação, o primeiro em função da concentração efluente máxima permitida de DBO e DQO, para o qual foi considerado o quociente entre número de amostras abaixo de 60 mg/L (para DBO) e abaixo de 180 mg/L (para DQO) e o número total de amostras de cada ETE; e o segundo critério, que avalia de acordo com a eficiência

mínima de remoção dos mesmos parâmetros, foi considerado o quociente entre o número de dados de eficiência acima de 60% (para DBO) e acima de 55% (para DQO) e o número total de dados de eficiência de cada ETE.

Na Tabela 7 e 8 apresenta-se o descrito anteriormente, mostrando os resultados obtidos. Assim, 13 das ETES têm igual ou mais de 50% das amostras cumprindo com a concentração efluente máxima permitida de DBO (60mg/L); para a DQO, 12 das ETES têm igual ou mais de 50% das amostras cumprindo com o limite de 180 mg/L. Segundo a eficiência mínima de remoção, em 22 das ETES, mais de 80% dos dados de eficiência de remoção de DBO cumprem com a normativa, e em 18 ETES, mais de 80% dos dados de eficiência de remoção de DQO cumprem com a normativa.

Tabela 7 Percentual de atendimento das ETES estudadas com relação à concentração efluente máxima permitida de DBO e DQO, segundo a DN COPAM/CERH 01/2008.

ETE	DBO			DQO		
	Número total de amostras do efluente	Número de amostras com concent. ≤ 60mg/L	% de cumprimento ao padrão	Número total de amostras do efluente	Número de amostras com concent. ≤ 180mg/L	% de cumprimento ao padrão
São Francisco	18	13	72%	18	4	22%
Cordisburgo	18	7	39%	18	16	89%
Frutal	70	12	17%	70	19	27%
Iturama	59	28	47%	60	35	58%
Matozinhos	45	26	58%	45	14	31%
Buritis	14	6	43%	14	6	43%
Confins	35	23	66%	35	11	31%
Almenara	6	3	50%	8	3	38%
Campina Verde	9	2	22%	9	3	33%
Itaobim	13	5	38%	13	7	54%
Juramento	56	32	57%	57	29	51%
Coração Jesus	12	4	33%	12	6	50%
Divinópolis	10	0	0%	10	0	0%
Lagoa dos Patos	6	4	67%	6	3	50%
Glaucilândia	14	5	36%	14	7	50%
João Pinheiro	18	9	50%	18	4	22%
Guarda-Mor	10	2	20%	10	1	10%
Engenheiro N.	13	7	54%	13	7	54%
Caxambu	55	48	87%	57	50	88%
Corinto	45	31	69%	45	27	60%
Janauba	18	7	39%	18	2	11%
Porteirinha	18	8	44%	18	8	44%
Serro	20	18	90%	20	10	50%
Lavras AL	19	15	79%	19	8	42%
Lavras RV	27	20	74%	27	18	67%

Tabela 8 Percentual de atendimento das ETEs estudadas com relação à eficiência mínima requerida de DBO e DQO, segundo a DN COPAM/CERH 01/2008.

ETE	DBO			DQO		
	Número total de amostras	Número de amostras com eficiência $\geq 60\%$	% de cumprimento ao padrão	Número total de amostras	Número de amostras com eficiência $\geq 55\%$	% de cumprimento ao padrão
São Francisco	18	18	100%	18	12	67%
Cordisburgo	18	15	83%	18	18	100%
Frutal	70	57	81%	70	62	89%
Iturama	60	54	90%	59	56	95%
Matozinhos	45	40	89%	45	40	89%
Buritiz	14	8	57%	14	10	71%
Confins	35	33	94%	35	28	80%
Almenara	6	5	83%	8	8	100%
Campina Verde	9	8	89%	9	9	100%
Itaobim	13	9	69%	13	10	77%
Juramento	56	56	100%	57	55	96%
Coração Jesus	12	11	92%	12	10	83%
Divinópolis	10	10	100%	10	4	40%
Lagoa Patos	6	6	100%	6	5	83%
Glaucilândia	14	14	100%	14	14	100%
João Pinheiro	18	17	94%	18	15	83%
Guarda- Mor	10	9	90%	10	6	60%
Engenheiro N.	13	11	85%	13	11	85%
Caxambu	55	38	69%	57	34	60%
Corinto	44	43	98%	45	40	89%
Janauba	18	18	100%	18	18	100%
Porteirinha	18	17	94%	18	16	89%
Serro	20	20	100%	20	19	95%
Lavras AL	19	18	95%	19	15	79%
Lavras RV	27	26	96%	27	26	96%

Com relação às perspectivas de utilização do efluente tratado para irrigação, anteriormente, as diretrizes da Organização Mundial de Saúde OMS (1989) estabeleciam o limite de concentração efluente de coliformes termotolerantes de 1000 NMP/100mL para irrigação irrestrita, e nenhum limite para irrigação restrita (além de restrições em termos de ovos de helmintos para ambos os tipos de irrigação, item não avaliado no presente trabalho). Segundo este critério, os efluentes finais das ETEs analisadas não estariam aptos para a irrigação irrestrita.

Com as novas diretrizes da OMS (WHO, 2006), a meta que deve ser alcançada agora dependerá do tipo de irrigação e das medidas de proteção complementares. Assim, valores mais elevados de *E. coli*, como 10^4 e 10^5 NMP/100mL, podem ser aceitos. Pela faixa de valores obtidos, o tipo de irrigação que poderia ser empregado seria o seguinte, associados a valores inferiores a 10^6 NMP/100mL:

- Irrigação restrita – tipo H: técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (por exemplo, tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial)

Já para os sistemas LAN-LF e LF-LM, que atingiram concentrações inferiores a 10^5 NMP/100mL), poder-se-ia ter:

- Irrigação restrita
 - Tipo G: agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada

- Tipo H: técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (por exemplo, tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial)
- Irrigação irrestrita
 - Tipo C: irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo

CONCLUSÕES

A maioria das configurações dos sistemas de lagoas de estabilização da COPASA estudados têm como primeira fase um processo anaeróbio (reator UASB ou lagoa anaeróbia), o que pode ser devido ao clima favorável da região. As vazões das ETES apresentaram uma variação muito grande, entre 0,6 L/s e 77 L/s, indicando que as ETES abrangem populações de pequeno e médio porte. A grande maioria das ETES operou em subcarga hidráulica, ou seja, as vazões reais eram inferiores às vazões de projeto. Os TDH das lagoas facultativas em estudo tiveram uma grande variação, entre 6 e 205 dias. Para as lagoas de maturação, os TDH tiveram menor variação, entre 3 e 27 dias. Todos os sistemas apresentaram eficiências boas, encontrando-se dentro das citadas na literatura para os parâmetros de DBO e DQO. Apesar das eficiências de *E. coli* serem boas, as concentrações efluentes resultaram acima do limite máximo recomendado para irrigação irrestrita. As concentrações afluentes de DBO e DQO estiveram dentro das faixas reportadas na literatura para esgoto doméstico bruto. Quanto aos padrões de lançamento do Estado de Minas Gerais, o percentual de atendimento com relação ao quesito de eficiência mínima de remoção foi elevado, e com relação ao critério de concentração máxima, foi mais baixo. Em geral, os sistemas compostos de lagoas de estabilização tiveram um bom desempenho, não tendo sido avaliada em cada ETE os fatores que podem ter conduzido a desempenhos mais ou menos favoráveis.

AGRADECIMENTOS

À COPASA pelo apoio à pesquisa e cessão dos dados de monitoramento. À CAPES/CNPq pela bolsa de estudos à primeira autora do artigo e à FAPEMG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) pelo apoio ao desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

- CHERNICHARO, C. A. DE L. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Reatores Anaeróbios*. 2a ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007.
- COPAM/CERH-MG. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008*. , 2008.
- GOVERNO DE MINAS. *Dados Gerais do Estado de Minas Gerais*. Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/governomg/portal/c/governomg/conheca-minas/geografia/9940-dados-gerais-minas/5681-dados-gerais/5146/5044>>. Acesso em: 1/1/2015.
- IBGE. *Pesquisa Nacional de Sanemaento Básico*. , 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/defaulttabpdf_esgot_san.shtm>. Acesso em: 1/1/2015.
- NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTAMO, J. M.; GÜERECO, L. P. *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Águas Residuales Municipales*. 2013.
- OLIVEIRA, S. M. A. DE C. *Análise de Desempenho e Confiabilidade de Estações de Tratamento de Esgotos*, 2006. Belo Horizonte, Brasil: Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais.
- OMS. *Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en Agricultura y Acuicultura*. , 1989. Disponível em: <<http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/fulltext/aguresi/direc/direct.html>>. Acesso em: 1/1/2015.
- SILVA FILHO, P. A. DA. *Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização*, 2007. Natal, Brasil: Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Rio Grande do Norte.

VON SPERLING, M. Características das águas residuárias. Em: E. UFMG (Ed.); *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4a ed., v. 1, p.470, 2014. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. D. L. *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. London: IWA Publishing. London. Seattle, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Wastewater Use in Agriculture*. 2006.