

II-232 - AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS POR UASB E FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR ENTRE DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MINAS GERAIS

Marina Salim Dantas⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Josiani Cordova de Oliveira⁽²⁾

Engenheira Agrônoma e Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Gabriela Rodrigues Barroso⁽³⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Ana Luiza Cunha Soares⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestre e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira⁽⁵⁾

Engenheira Eletricista, Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora Associada do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Escola de Engenharia - UFMG, Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 - Bloco 1 – Sala 4617 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 99109-8861 – e-mail: marina-dantas@hotmail.com

RESUMO

No Brasil, a maior parte das estações de tratamento de esgotos em operação utilizam processos biológicos voltados para a remoção de matéria orgânica e sólidos. Uma tecnologia muito adotada no cenário nacional é o processo de reatores UASB seguidos por filtros biológicos percoladores e unidades de decantação secundária. Dentro deste contexto, o presente trabalho avaliou o desempenho operacional de sete estações de tratamento desta tipologia, localizadas em municípios de duas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio São Francisco, em Minas Gerais. As concentrações afluentes, efluentes e eficiências de remoção dos componentes foram confrontadas com valores típicos da literatura, bem como comparadas entre as duas bacias estudadas. Foram verificadas diferenças significativas entre as concentrações efluentes dos parâmetros *Escherichia coli* e fósforo total, entre as duas bacias hidrográficas. Além disso, foram identificadas ETEs operando em sobrecarga, o que levou a piores qualidades dos efluentes tratados em relação ao esperado para a tecnologia. Apesar da identificação de concentrações no esgoto tratado acima do esperado para a tecnologia em estudo, foram verificados baixos percentuais de violação em relação às condições de lançamento dos efluentes, considerando a legislação estadual. É necessário investir no monitoramento contínuo das estações de tratamento de esgotos, visando a melhoria operacional das mesmas, a fim de garantir um efluente de qualidade e reduzir os impactos do lançamento dos efluentes tratados nos corpos receptores das bacias hidrográficas.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes sanitários, Tratamento de esgotos, Desempenho operacional, Bacias hidrográficas.

INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da população e da urbanização, a demanda por recursos hídricos e a consequente geração de efluentes domésticos também se elevaram, principalmente em grandes centros urbanos. Os principais parâmetros de qualidade de tais efluentes são indicadores de matéria orgânica, nutrientes, sólidos e indicadores de organismos patogênicos (VON SPERLING, 2014).

No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), os esgotos domésticos gerados por 45% da população urbana (correspondente a 96,7 milhões de habitantes) não recebem nenhum tipo de tratamento. Quando há algum tratamento, este é feito por meio de processos biológicos voltados para a remoção de matéria orgânica e sólidos. Do total de volume coletado no Brasil (8,5 milhões de m³ por dia), apenas 10% são tratados a nível terciário (ANA, 2012), nível esse capaz de remover componentes como nutrientes e patógenos. Mesmo com o objetivo da remoção de matéria orgânica, muitas estações de tratamento de esgotos (ETEs) apresentam problemas de projeto e operacionais. Sendo assim, cerca de 70% dos municípios brasileiros possuem remoção de, no máximo, 30% da carga orgânica gerada (ANA, 2017).

A qualidade do efluente tratado pelas ETEs depende de diversos fatores, como variações da carga afluente, condições ambientais, natureza do esgoto, entre outros (OLIVEIRA, 2006). Assim, é importante haver um monitoramento frequente do desempenho das estações para detectar previamente a causa de possíveis problemas e falhas operacionais que possam afetar o processo (LIU *et al.*, 2014). O monitoramento também deve ser realizado para atender padrões normativos, tendo em vista a garantia da saúde pública e o controle da poluição ambiental (BATEGANYA *et al.*, 2015), permitindo, ainda, melhorar o desempenho das ETEs (COLLIVIGNARELLI *et al.*, 2018). Entretanto, Cordero (2016) salienta que há pouca disponibilidade de estudos sobre ETEs em escala real. Dessa forma, torna-se fundamental desenvolver pesquisas que se proponham a investigar os processos de tratamento em escala real, a fim de verificar as condições operacionais existentes. Além disso, é importante que ações do setor de saneamento sejam desenvolvidas com a visão da bacia hidrográfica, integrando políticas de saneamento e de recursos hídricos, a fim de garantir o uso múltiplo de tais recursos (ANA, 2017).

Dentro deste contexto e, considerando que cerca de 4,5 milhões de habitantes no Brasil têm seus esgotos tratados por reator anaeróbio seguido de filtro biológico percolador (FBP) e decantador secundário (DS) (ANA, 2017), o presente trabalho tem como objetivo avaliar comparativamente o desempenho operacional de ETEs dessa modalidade de tratamento, no período de 2011 a 2016. Tais estações localizam-se em municípios das bacias hidrográficas do rio das Velhas e dos rios Jequitaiá, Pacuí e trechos do São Francisco, as quais integram a macro-bacia do rio São Francisco em Minas Gerais. Essas Bacias possuem características distintas, sendo a primeira mais urbanizada e com maior adensamento populacional em relação à segunda.

METODOLOGIA

Área de estudo

Cerca de 37% da área da bacia do rio São Francisco encontra-se no estado de Minas Gerais (CBHSF; ANA, 2004). Neste estado, a bacia é dividida em dez Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), que são unidades físico-territoriais que englobam áreas de bacias, grupos de bacias ou sub-bacias contíguas, com características semelhantes (CERH, 2010). Dentre as dez UPGRHs, tem-se a sub-bacia do rio das Velhas (UPGRH SF5) e dos rios Jequitaiá, Pacuí e trechos do São Francisco (UPGRH SF6). A Figura 1 ilustra a localização das duas sub-bacias hidrográficas e os municípios inseridos em suas áreas.

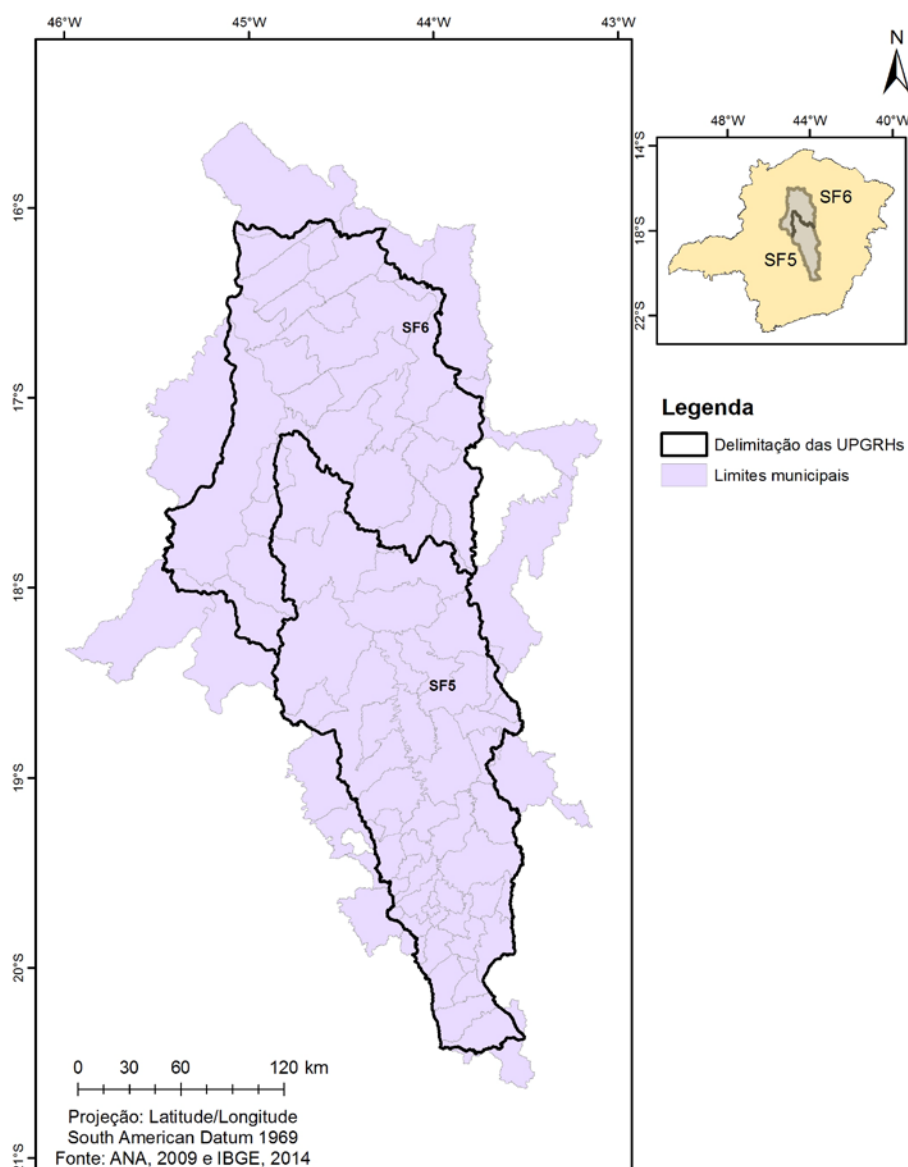


Figura 1: Mapa das UPGRHs SF5 e SF6, sub-bacias da bacia hidrográfica do rio São Francisco, localizadas em Minas Gerais, e os limites municipais inseridos na área.

A UPGRH SF5 compreende uma área de 27.850 km², englobando 51 municípios, sendo que destes, 44 têm suas sedes urbanas nos limites da bacia. São desenvolvidas importantes atividades econômicas na área, como mineração, agricultura e pecuária. A população total residente na UPGRH SF5 era de aproximadamente 4,4 milhões de habitantes em 2010, correspondente a 24,7% da população total mineira (CBH RIO DAS VELHAS, 2015).

Em relação à UPGRH SF6, a bacia do rio Jequitaiá ocupa uma área de cerca de 8.661,77 km², e abarca 11 municípios. A bacia do rio Pacuí possui área de aproximadamente 3.920 km², incluindo 9 municípios. Os trechos Norte, Centro e Sudoeste do rio São Francisco também compõem a UPGRH SF6, com área de aproximadamente 12.375 km². Em toda a UPGRH SF6 predominam atividades de agricultura e pecuária na economia local (CBH RIOS JEQUITAIÁ E PACUÍ, 2010), sendo que a população total estimada da região era de 271.535 habitantes em 2010 (IGAM, 2010).

Estruturação do banco de dados

Foram obtidos, junto ao prestador de serviço de tratamento de esgotos, os dados dos monitoramentos de ETEs localizadas em municípios das duas bacias hidrográficas em estudo. Foram selecionadas cinco ETEs da UPGRH SF5 e duas ETEs da UPGRH SF6, todas da modalidade de tratamento por UASB seguido por FBP e DS. Como parte de um acordo com o prestador dos serviços, os nomes dos municípios e das ETEs serão apresentados em códigos.

As cinco ETEs da bacia do rio das Velhas (ETEs A, B, C1, C2 e D) apresentavam dados de monitoramento entre os anos de 2011 a 2016, e foram selecionados os seguintes parâmetros de monitoramento dos esgotos para análise: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), *Escherichia coli*, nitrogênio amoniacal (N-amoniacal) e fósforo total (P-total). As ETEs A, C1, C2 e D apresentaram concentrações do esgoto bruto e tratado para todos os parâmetros analisados. A ETE B apresentou dados do esgoto tratado para todos os parâmetros, no entanto não apresentou concentrações do esgoto bruto para *E. coli*, N-amoniacal e P-total.

Em relação às duas ETEs dos municípios da bacia dos rios Jequitáí, Pacuí e trechos do São Francisco (ETEs E e F), a ETE E apresentou monitoramento entre 2013 e 2016, e a ETE F entre 2011 e 2016. Foram selecionados os mesmos parâmetros das ETEs da UPGRH SF5, no entanto, assim como a ETE B, as ETEs E e F apresentaram apenas dados efluentes (esgoto tratado) para os parâmetros *E. coli*, N-amoniacal e P-total. Para os demais parâmetros (DBO e DQO), as ETEs apresentaram as concentrações afluentes e efluentes.

Avaliação comparativa das ETEs entre as duas bacias hidrográficas

Após a obtenção dos dados e organização em planilhas Microsoft Excel®, foram calculados os percentis 5% e 95% das vazões afluentes a cada ETE, a fim de verificar a faixa de vazões e compará-la com as vazões de projeto. Além disso, considerando a faixa encontrada, as ETEs foram enquadradas em portes de acordo com os critérios definidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 217/17 (COPAM, 2017). Assim, a ETE era considerada de pequeno porte quando as vazões afluentes eram inferiores a 50 L/s; de médio porte quando entre 50 a 100 L/s; e de grande porte quando maiores que 100 L/s.

Foi criado um banco de dados para as coletas do monitoramento das cinco ETEs da UPGRH SF5, bem como outro banco de dados relativo ao monitoramento das duas ETEs da UPGRH SF6. Assim, foram calculadas as estatísticas descritivas das concentrações afluentes, efluentes e eficiências de remoção (quando possível calcular), por sub-bacia. Os resultados encontrados foram comparados com valores típicos reportados na literatura para esgotos brutos (concentrações afluentes) e para o tratamento UASB seguido por FBP e DS (concentrações efluentes e eficiências de remoção).

Além disso, foram comparadas entre as duas bacias hidrográficas as concentrações efluentes de DBO, DQO, *E. coli*, N-amoniacal e P-total e as eficiências de remoção dos parâmetros DBO e DQO. Para realizar as comparações, foi aplicado o teste estatístico não paramétrico de *Mann-Whitney*, ao nível de significância de 5%, por meio do *software* Statistica® 10.0.

Após essa etapa, foram verificados os percentuais de violação aos padrões de lançamento de DBO e DQO, conforme disposto na Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/08 (Tabela 1), em relação às concentrações efluentes e eficiências de remoção por bacia hidrográfica.

Tabela 1: Condições de lançamento de efluentes domésticos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/2008, considerando os parâmetros em estudo.

Parâmetro	Valores limites permitidos
DBO	Concentração efluente máxima de 60 mg/L, ou eficiência de remoção de no mínimo 60% (com média anual igual ou superior a 70%)
DQO	Concentração efluente máxima de 180 mg/L, ou eficiência de remoção de no mínimo 55% (com média anual igual ou superior a 65%)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 traz as informações referentes às sete estações de tratamento de esgotos avaliadas. Ressalta-se o fato de as ETEs C1 e C2 pertencerem ao mesmo município (município C).

Tabela 2: Descrição das sete ETEs localizadas nos municípios das UGRHs SF5 e SF6.

UPGRH	Município	ETE	População urbana do município (IBGE, 2010)	Capacidade da ETE – vazão de projeto (L/s)	Faixa de vazões afluentes (P5% - P95%)	Porte conforme DN COPAM 217/2017	Período de monitoramento
SF5	A	A	2.375.151	1800,0	1026,4 - 1769,0	Grande	2011-2016
	B	B	67.382	100,0	50,5 - 75,7	Médio	2011-2016
	C	C1	79.232	9,5	13,4 - 20,8	Pequeno	2011-2016
		C2		25,0	24,1 - 48,5	Pequeno	2011-2016
	D	D	11.400	37,4	14,3 - 32,3	Pequeno	2011-2016
SF6	E	E	3.197	10,0	0,5 - 0,9	Pequeno	2013-2016
	F	F	26.840	27,5	22,9 - 33,2	Pequeno	2011-2016

A partir dos cálculos dos percentis 5% e 95% das vazões afluentes à cada ETE, verificou-se que as ETEs C1, C2 e F estão operando com vazões acima da vazão de projeto. Além disso, a partir da comparação entre as faixas de vazões calculadas e os valores definidos na Deliberação Normativa COPAM nº 217/17 (COPAM, 2017), verificou-se que uma ETE é de grande porte (ETE A), uma de médio porte (ETE B) e as restantes de pequeno porte (ETEs C1, C2, D, E e F).

Caracterização dos esgotos bruto e tratado e eficiências de remoção das ETEs

As Tabelas 3 e 4 apresentam o resumo das estatísticas descritivas das UGRHs SF5 e SF6, respectivamente, para as concentrações afluentes, efluentes e eficiências de remoção.

Tabela 3: Estatística descritiva das concentrações afluentes, efluentes e eficiências de remoção para as cinco ETEs da UGRH SF5.

	Estatística	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	N-amoniaco (mg/L)	P-total (mg/L)
Afluente	Nº de dados	296	296	167	124	125
	Mediana	268	591	1,5x10 ⁸	32,1	6,0
	P5%	142	319	5,8x10 ⁶	20,6	3,4
	P95%	710	1429	2,4x10 ⁹	61,8	9,5
Efluente	Nº de dados	296	296	195	133	134
	Mediana	40	123	2,4x10 ⁶	36,0	4,5
	P5%	20	57	2,4x10 ⁵	19,4	2,2
	P95%	177	502	6,1x10 ⁷	73,2	9,7
Eficiência (%)	Nº de dados	269	269	167	123	125
	Mediana	83,8	77,2	96,795	-9,1	23,9
	P5%	52,6	38,9	48,395	-49,7	-19,2
	P95%	91,6	89,3	99,906	20,4	62,5

Tabela 4: Estatística descritiva das concentrações afluentes, efluentes e eficiências de remoção para as duas ETes da UPGRH SF6.

	Estatística	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	N-amoniacoal (mg/L)	P-total (mg/L)
Afluente	Nº de dados	53	52	-	-	-
	Mediana	304	581	-	-	-
	P5%	176	350	-	-	-
	P95%	894	1951	-	-	-
Efluente	Nº de dados	52	51	53	18	18
	Mediana	57	127	6,2x10 ⁵	47,0	7,4
	P5%	23	67	2,4x10 ⁵	7,3	1,4
	P95%	108	236	5,9x10 ⁶	115,8	12,6
Eficiência (%)	Nº de dados	52	51	-	-	-
	Mediana	82,1	77,9	-	-	-
	P5%	66,3	66,4	-	-	-
	P95%	95,0	93,8	-	-	-

De acordo com a análise das Tabelas 3 e 4, observa-se que as concentrações medianas de DBO e DQO afluentes estão dentro da faixa típica de concentrações para esgoto sanitário bruto reportada pela literatura, entre 250 a 400 mg/L e 350 a 600 mg/L, respectivamente (VON SPERLING, 2014). No entanto, para ambos os parâmetros, verifica-se grande variação das concentrações afluentes (indicada pelos percentis), apresentando dados abaixo e acima das faixas reportadas na literatura.

Comparando as concentrações afluentes de DBO e DQO entre as bacias hidrográficas por meio do teste estatístico de *Mann-Whitney*, verificou-se que existe diferença significativa entre as medianas da DBO, sendo a da UPGRH SF6 significativamente maior que da UPGRH SF5. Uma possível explicação para tal resultado é o menor consumo de água nos municípios da UPGRH SF6, o que leva a uma maior concentração nos esgotos brutos. Já em relação à DQO afluente, não houve diferença significativa entre as bacias.

Os parâmetros *E. coli*, N-amoniacoal e P-total afluentes foram obtidos apenas para a UPGRH SF5. A faixa típica de *E. coli* no esgoto bruto situa-se entre 10⁶ e 10⁹ NMP/100 mL (VON SPERLING, 2014), sendo que a maioria dos dados se enquadrou neste intervalo, que é consideravelmente amplo (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005). A literatura indica uma faixa de 20 a 35 mg/L de N-amoniacoal para esgotos sanitários brutos (VON SPERLING, 2014), e as ETes apresentaram cerca de 62% dos dados abaixo de 35 mg/L. As concentrações típicas de P-total para esgotos domésticos são de 4 a 15 mg/L de acordo com a literatura (VON SPERLING, 2014), e verificou-se que as concentrações dos esgotos estão, de maneira geral, dentro da faixa, sendo que apenas cerca de 10% dos dados apresentaram concentrações inferiores a 4 mg/L.

Os resultados encontrados para a qualidade do efluente final e as eficiências de remoção alcançadas, conforme mencionado anteriormente, foram comparados com os valores típicos do processo UASB seguido por FBP de alta carga indicados pela literatura (Tabela 5), bem como comparados entre as duas bacias.

Tabela 5: Valores típicos das concentrações médias efluentes e eficiências médias de remoção do sistema UASB seguido por FBP de alta carga.

Qualidade média do efluente					Eficiência média de remoção				
DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	N-amoniacoal (mg/L)	P-total (mg/L)	DBO (%)	DQO (%)	<i>E. coli</i> (unid. log)	N-amoniacoal (%)	P-total (%)
20-60	70-180	10 ⁶ -10 ⁷	>15	>4	80-93	73-88	1-2	<50	<35

Fonte: adaptado de von Sperling, 2014. Observação: von Sperling (2014) reporta-se aos valores de coliformes. Como a ordem de grandeza para *E. coli* é a mesma, podem-se retratar as mesmas faixas.

- DBO e DQO

Em relação às concentrações efluentes de DBO (Figura 2), percebe-se que mais de 50% dos dados nas duas bacias apresentaram concentrações inferiores a considerada típica pela literatura (60 mg/L). As ETEs que contribuíram para as maiores concentrações efluentes são aquelas que estão operando em sobrecarga, tanto na SF5 (ETEs C1 e C2) quanto na SF6 (ETE F), além da ETE B da SF5. A ETE que apresentou menores concentrações efluentes foi a ETE A, única de grande porte avaliada no presente trabalho, o que pode estar relacionado ao melhor controle operacional. No teste estatístico de *Mann-Whitney* não foi verificada diferença significativa entre as medianas do parâmetro DBO para o esgoto tratado entre as bacias hidrográficas.

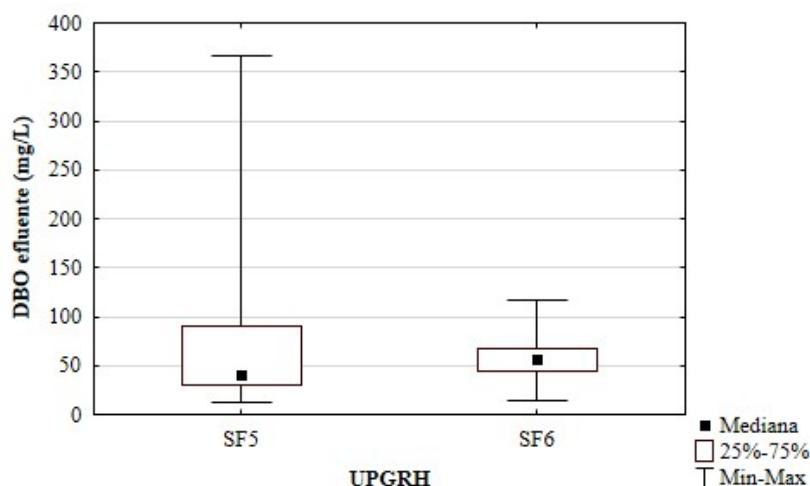


Figura 2: Box-plot das concentrações efluentes de DBO nas UPGRHs SF5 e SF6.

Ainda em relação ao parâmetro DBO, diversas amostragens apresentaram baixas eficiências, sendo que as menores foram reportadas em ETEs operando em sobrecarga, nas duas UPGRHs. Comparando as duas bacias, não houve diferença significativa entre as eficiências de remoção de DBO.

Quanto ao parâmetro DQO, as concentrações efluentes das duas bacias hidrográficas foram bastante variáveis, apresentando dados acima do valor máximo da faixa da literatura, de 180 mg/L (Tabela 5), conforme pode ser visto na Figura 3. As principais ETEs que contribuíram para tais valores na UPGRH SF5 foram as duas ETEs em sobrecarga, além da ETE B. As duas ETEs da UPGRH SF6 apresentaram concentrações efluentes próximas entre si. Na estatística de *Mann-Whitney*, não foi verificada diferença significativa para as concentrações efluentes de DQO entre as duas bacias. Novamente, assim como para a DBO, a ETE com menores concentrações efluentes de DQO foi a ETE A, de grande porte, da UPGRH SF5.

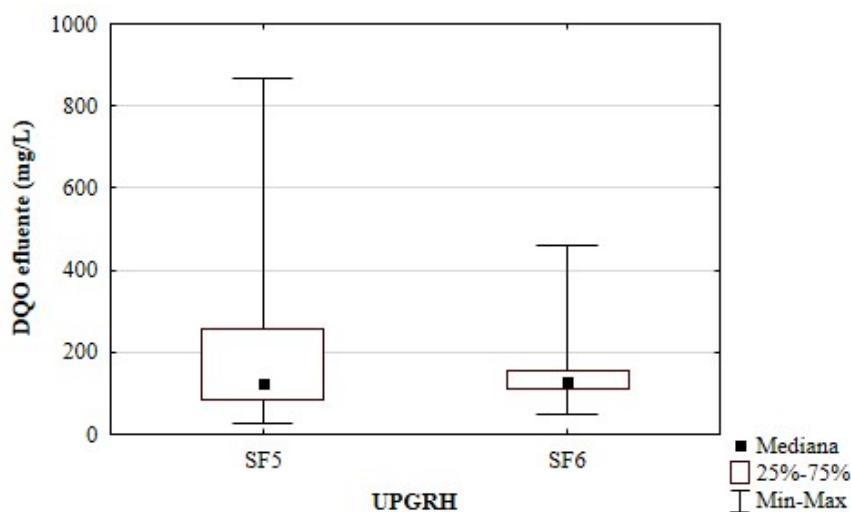


Figura 3: Box-plot das concentrações efluentes de DQO nas UPGRHs SF5 e SF6.

A eficiência de remoção mediana de DQO na bacia UPGRH SF5 foi significativamente menor (teste de *Mann-Whitney*) em relação a UPGRH SF6. Novamente verificaram-se valores abaixo do mínimo reportado na literatura (73%) (Tabela 5) em ambas as bacias.

No tipo de configuração UASB e FBP, o lodo aeróbio excedente, retirado do DS, é recirculado para o UASB, onde sofre adensamento e digestão anaeróbia (CHERNICHARO, 2016). Com vazões acima do projetado para determinado sistema, como é o caso das ETes C1, C2 e F, há comprometimento do tratamento biológico. É possível que o lodo seja arrastado junto ao efluente do UASB, e que o FBP não apresente o desempenho previsto. Além disso, nas unidades de decantação secundária pode haver perda de sólidos, e assim, biomassa, deteriorando a qualidade do efluente final, com consequente aumento das concentrações de DBO e DQO. Pontes (2003) verificou que para o UASB seguido do pós-tratamento por FBP, com o retorno do lodo aeróbio para o reator, os descartes de lodo devem ser mais frequentes. Na ausência do descarte, pode ocorrer deterioração da qualidade do efluente final. Portanto, deve-se investigar se o gerenciamento do lodo está adequado nas ETes do presente estudo.

- *E. coli*

A tecnologia de tratamento de reatores UASB seguido por FBP e DS não é projetada usualmente para remoção de organismos patogênicos. No entanto, avaliando as concentrações efluentes, verificou-se que parte dos dados (29% na UPGRH SF5 e 66% na SF6) apresentou valores inferiores à menor concentração típica para a tecnologia em estudo, mostrando um melhor desempenho em relação ao esperado, como verificado na Figura 4. Houve diferença significativa das concentrações efluentes entre as bacias, sendo a mediana da UPGRH SF5 significativamente maior que a mediana das concentrações da UPGRH SF6.

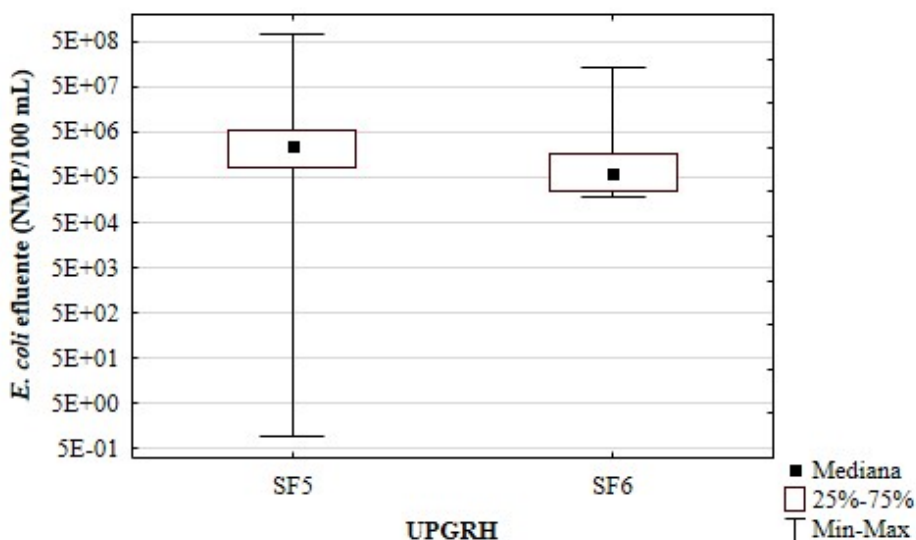


Figura 4: Box-plot das concentrações efluentes de *Escherichia coli* nas UPGRHs SF5 e SF6.

Em relação às eficiências de remoção (apenas para a UPGRH SF5), verifica-se que, de maneira geral, se encontram dentro da faixa esperada para a tecnologia de tratamento, de 1 a 2 unidades logarítmicas (VON SPERLING, 2014).

- N-amoniaco e P-total

Assim como para os organismos patogênicos, a tecnologia UASB seguido por FBP e DS não é dimensionada para remoção de nutrientes. Verifica-se que boa parte dos dados apresentou concentrações efluentes de N-amoniaco acima de 15 mg/L (97% na UPGRH SF5 e 83% na UPGRH SF6), que é o mínimo esperado para a tecnologia, conforme von Sperling (2014) (Figura 5). No teste estatístico de *Mann-Whitney* não foi verificada diferença significativa entre as concentrações efluentes deste parâmetro nas bacias hidrográficas.

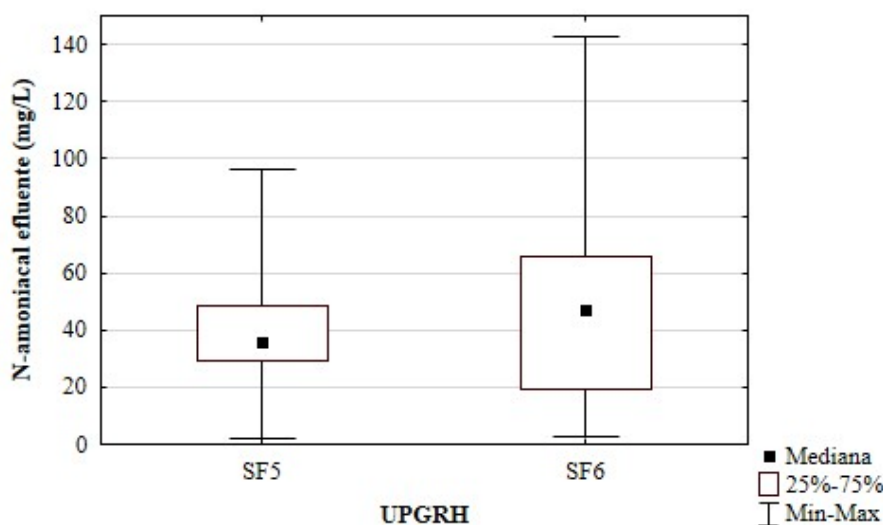


Figura 5: Box-plot das concentrações efluentes de N-amoniaco nas UPGRHs SF5 e SF6.

Quanto às eficiências de remoção (calculadas apenas para a UPGRH SF5), verifica-se que a maior parte dos dados apresentou eficiências negativas de remoção de N-amoniaco, ou seja, concentração efluente maior que a afluente às ETEs. Conforme von Sperling (2014), as eficiências esperadas para a tecnologia são abaixo de 50%. É possível que esteja ocorrendo amonificação nos sistemas, isto é, o nitrogênio orgânico dos esgotos brutos sendo convertido em nitrogênio amoniaco ao longo do tratamento. E como, de maneira geral, não há nitrificação expressiva, a concentração de N-amoniaco aumenta. No entanto, maiores investigações devem ser tomadas para verificar o motivo de eficiências tão baixas e até mesmo negativas nas ETEs.

Com relação às concentrações efluentes de P-total, o teste de *Mann-Whitney* indicou diferença significativa entre as bacias, sendo que a mediana da UPGRH SF5 foi inferior àquela da UPGRH SF6. As concentrações foram, na maioria das vezes, acima de 4 mg/L, que é o mínimo esperado para o efluente tratado por UASB seguido de FBP, de acordo com von Sperling (2014) (Tabela 5), conforme ilustrado na Figura 6.

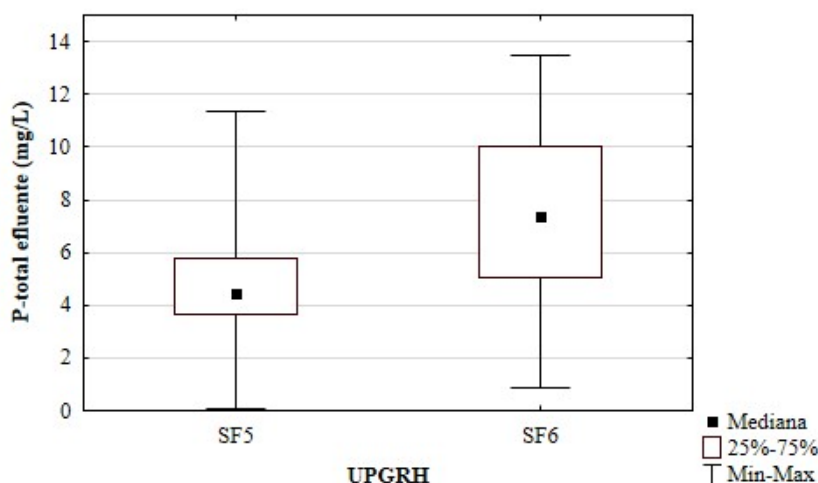


Figura 6: Box-plot das concentrações efluentes de P-total nas UPGRHs SF5 e SF6.

Analisando as eficiências de remoção de P-total na UPGRH SF5, verificam-se novamente alguns dados com remoção negativa, sendo que a maior parte foi também abaixo de 35%, conforme valores típicos da literatura alcançados por tal sistema (VON SPERLING, 2014).

Avaliação dos percentuais de violação à Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/08

Para cada bacia hidrográfica, foram calculados os percentuais de violação à Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/08 quanto aos parâmetros DBO e DQO. Foram calculados, tanto em relação aos valores máximos das concentrações efluentes, quanto às eficiências de remoção mínimas, bem como ao atendimento a um dos dois critérios, como preconizado na referida legislação. A Tabela 6 mostra os resultados obtidos.

Tabela 6: Percentuais de violação à Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/08 por parâmetro (DBO e DQO), por UPGRH (SF5 e SF6) e por critério.

		SF5	SF6
DBO	Concentrações efluentes	36%	44%
	Eficiência de remoção	10%	2%
	Ambos os critérios	9%	2%
DQO	Concentrações efluentes	35%	16%
	Eficiência de remoção	38%	0%
	Ambos os critérios	13%	0%

Conforme Almeida, Oliveira e Chernicharo (2011), o sistema UASB seguido por FBP pode ser compatível com o atendimento a padrões de lançamento de países em desenvolvimento. Os resultados do presente trabalho corroboram esta afirmação, uma vez que, ao avaliar o atendimento às concentrações efluentes ou eficiências de remoção, percebeu-se baixas porcentagens de violação. No entanto, caso fossem avaliadas apenas as concentrações efluentes, haveria um elevado percentual de violações.

CONCLUSÕES

Após a avaliação do desempenho operacional das ETEs, conclui-se que alguns dados apresentaram remoção de contaminantes abaixo do esperado para a tecnologia em estudo, principalmente para os parâmetros DBO e DQO. As principais ETEs que contribuíram para tal resultado foram as que recebem vazões afluentes acima da vazão de projeto, em ambas as UPGRHs. Esta situação pode estar contribuindo para um maior aporte de matéria orgânica aos cursos d'água das bacias, e consequente deterioração dos mesmos, o que salienta a importância da avaliação contínua dos dados de monitoramento das ETEs para verificação das reais condições de operação e para a proposição de melhorias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao prestador do serviço de tratamento de esgotos por ter disponibilizado os dados e assim, viabilizado essa pesquisa, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio permanente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Atlas Esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2017, 92p.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil. Brasília, 2012. 264p.
3. ALMEIDA, P. G. S.; OLIVEIRA, S. C.; CHERNICHARO, C. A. L. Operação de filtros biológicos percoladores pós-tratamento UASB sem a etapa de decantação secundária. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, n. 3, p. 271-280, set. 2011.
4. BATEGANYA, N. L.; NAKALANZI, D.; BABU, M.; HEIN, T. Buffering municipal wastewater pollution using urban wetlands in sub-Saharan Africa: a case of Masaka municipality, Uganda. Environmental Technology, v. 36, n. 17, p. 2149-2160, mar. 2015.

5. CERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2. Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016, v.5, 379p.
6. COLLIVIGNARELLI, M. C.; BERTANZA, G.; ABBÀ, A.; DAMIANI, S. Process auditing and performance improvement in a mixed wastewater-aqueous waste treatment plant. *Water Science & Technology*, v. 77, n. 4, p. 891-898, nov. 2018.
7. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS – CBH RIO DAS VELHAS. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas: Resumo Executivo. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2015. 233p.
8. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – CBHSF; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Plano Decenal dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica – PBHSF. Módulo 1: Resumo Executivo. Salvador, 2004.
9. COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS JEQUITAIÁ E PACUÍ – CBH RIOS JEQUITAIÁ E PACUÍ. Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Jequitaiá, Pacuí e Trechos do Rio São Francisco: Relatório Final. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMAD, 2010. 710p.
10. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n. 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: COPAM, 2008.
11. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. Deliberação Normativa COPAM-MG n. 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá providências. Belo Horizonte: COPAM, 2017.
12. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS – CERH-MG. Deliberação Normativa CERH-MG n. 36, de 23 de dezembro de 2010. Padroniza a utilização dos nomes, siglas e códigos das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CERH, 2010.
13. CORDERO, M. F. E. Avaliação do desempenho e da influência das condições ambientais e operacionais de lagoas de estabilização, com base em um banco de dados internacionais, 2016. Dissertação de mestrado-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
14. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE: Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.
15. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *Comitês Estaduais – MG – Bacia do rio São Francisco*. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg>>. Acesso em: 20 de março de 2019.
16. LIU, Y.; PAN, Y.; SUN, Z.; HUANG, D. Statistical monitoring of wastewater treatment plants using variational Bayesian PCA. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 53, n. 8, p. 3272-3282, dez. 2014.
17. OLIVEIRA, S. M. A. C. Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos, 2006. Tese de doutorado-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
18. OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 – Análise de desempenho. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 347-357, dez. 2005.
19. PONTES, P. P. Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador, 2003. Tese de doutorado-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.
20. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014, v.1, 472p.