

EFEITO DO PERÍODO DE AMOSTRAGEM NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS DO TIPO BIO-RACK E FOSSA SÉPTICA ALIMENTADOS COM ESGOTO DA ETE-UFLA

Isabelly Leite de Souza¹
Débora Soares de Oliveira²
Lucas dos Santos Ribeiro³
Mateus Felipe da Silva⁴
Aroldo Lopes de Paula Valácio⁵
Mateus Pimentel de Matos⁶

Reaproveitamento, Reutilização e Tratamento de Resíduos (sólidos e líquidos)

Resumo

Sistemas Alagados Construídos do tipo Bio-Rack (SACs-BR) são unidades compactas de tratamento, de grande eficiência e composição paisagística, que apresentam potencial para substituição de fossas sépticas, visando a descentralização e o aumento do atendimento com serviços de saneamento. O desempenho destas unidades é monitorado com amostragem da água residuária da entrada e saída das unidades, comumente feito no mesmo dia. Porém, ao avaliar o tratamento de águas residuárias com composição muito variável, o dia de coleta pode influenciar na análise. Assim, com a realização do presente trabalho, objetivou avaliar o efeito do tratamento do efluente sanitário bruto da ufla pelo sistema Bio-Rack através do período de amostragem na avaliação do desempenho das unidades. As unidades diferiram entre si quanto às espécies vegetais cultivadas (capim-vetiver, capim-tifton 85 ou sem plantas, respectivamente, SACs 1, 2 e 3), e também foram comparadas à uma fossa séptica. O monitoramento foi realizado por sete semanas, sendo coletadas amostras de entrada e saída no mesmo dia (segunda-feira), e também a coleta após o tempo de detenção hidráulica (TDH) das unidades, que era de 1,0 d (coletas também às terças-feiras). Em seguida, foram realizadas análises de pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, sólidos totais (ST), voláteis (SV) e fixos (SF), empregando testes estatísticos de Kruskal-Wallis, Wilcoxon e Mann-Whitney, ao nível de 5% de significância. Os resultados encontrados demonstram que não há diferença significativa entre os valores de entrada e saída nos diferentes dias de amostragem avaliados na maioria das condições avaliadas (variáveis monitoradas e nas comparações entre as unidades), bem como mudança na análise do desempenho dos reatores investigados.

¹Aluna de mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Engenharia Ambiental - DAM, isabellyleitecvo@gmail.com.

²Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Engenharia Ambiental - DAM, oliveiradebora201185@hotmail.com.

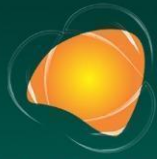
³Aluno de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Engenharia Ambiental - DAM, lucasdossantosribeiro01@gmail.com.

⁴Aluno de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Engenharia Ambiental - DAM, mateusfelipesilva0808@gmail.com.

⁵Aluno de doutorado em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras - UFLA, departamento de Recursos Hídricos, aroldolp1204@gmail.com.

⁶Prof. Dr. Universidade Federal de Lavras - UFLA – Departamento de Engenharia Ambiental, mateus.matos@ufla.br.

REALIZAÇÃO



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Palavras-chave: wetlands construídos; TDH; monitoramento; amostragem de águas residuárias.

INTRODUÇÃO

Os baixos índices de atendimento da população com serviços de saneamento (água, esgoto, resíduos e drenagem urbana) evidenciam um grande problema da atualidade no país. Enquanto a população cresce com grande velocidade, gerando maior demanda por água, em consequência, e a geração de águas residuárias e resíduos sólidos, o atendimento dos cidadãos com esgotamento sanitário não acompanha na mesma agilidade. Como consequência desse panorama, há aumento na disseminação de doenças de veiculação hídrica; contaminação das águas, tendo efeito direto na diminuição de água potável disponível e no aumento dos custos de tratamento (“escassez técnica e econômica”). Além disso, a destinação incorreta dos esgotos (não tratados ou tratados em nível insuficiente) pode resultar na perda da diversidade de seres aquáticos e a inviabilidade do uso do solo, entre outros impactos negativos possíveis (Tonetti *et al.*, 2018).

Apesar de ser um direito assegurado pela Constituição Federal, segundo o SNIS, 44,2% da população brasileira não tem coleta e tratamento de esgoto. Foi instituído o novo Marco Legal do Saneamento (BRASIL, 2020), que traz, dentre as diversas diretrizes, a necessidade de atendimento de 90% dos cidadãos com coleta e tratamento de esgotos. Ressalta-se que para o cumprimento dessa meta, é essencial a implementação de soluções de saneamento em municípios de menor porte, pequenas comunidades e locais distantes dos grandes centros, os menos assistidos e que dispõem de menos recursos para implementação dos serviços de esgotamento sanitário. Assim, a alternativa adotada deve ser eficiente, de simples operação e de baixos custos (Sathe; Munavalli, 2019; Valipour; Raman; Ghole, 2009).

Neste contexto, os Sistemas Alagados Construídos (SACs) ou wetlands construídos se apresentam como promissoras opções, em razão das elevadas eficiências na remoção de poluentes, simplicidade e baixos custos de operação e manutenção, além de oferecer estética paisagística e geração de massa verde (Vymazal, 2005; Caselles-Osorio *et al.*, 2007; Kadlec; Wallace, 2009; Fia *et al.*, 2011; Matos *et al.*, 2012). Entretanto, como qualquer unidade de tratamento apresenta desvantagens, incluindo problemas operacionais, dependência de fatores ambientais e o grande requerimento de área para sua implantação. Foi desenvolvida uma nova configuração, conhecida como Sistemas Alagados Construídos do tipo Bio-Rack (SAC-BR).

O SAC-BR consiste na configuração de tubos perfurados dispostos verticalmente, no qual o sistema radicular das plantas e o crescimento microbiano se desenvolvem (Valipour *et al.*, 2009). Com



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

essa disposição, pode-se abster de etapas de tratamento prévio (demanda somente de tratamento preliminar) e da introdução de meio de suporte, tornando, assim, o sistema mais compacto, e passível para uso em substituição das fossas sépticas em algumas localidades. Porém, por se tratar de uma unidade de tratamento nova, ainda requer-se a definição dos parâmetros de projetos e operacionais mais adequados, como, por exemplo, do tempo de detenção hidráulica (TDH) mais propício (Soares, 2021), da espécie vegetal de maior capacidade fitorremediadora, dentre outros aspectos.

Para essa definição, é fundamental a realização de estudos em escalas de laboratório, piloto e plena, com monitoramento das eficiências de remoção das unidades. Coleta-se, assim, amostras da entrada e saída, normalmente no mesmo dia e horário, e tabula-se os dados para avaliação do desempenho. Soares (2021) realizou um trabalho na Estação de Tratamento de Esgotos da UFLA (ETE-UFLA), comparações feitas de diversas configurações e não permitiram identificar diferenças estatísticas entre os tratamentos realizados, em razão da grande variabilidade de características do esgoto sanitário da ETE-UFLA, podendo estar ligada à forma de amostragem.

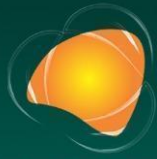
A ETE-UFLA é alimentada com esgoto de duas elevatórias, denominadas Goiaba e Veterinária, que apresentam efluentes com características estatisticamente diferentes. Como a chegada do esgoto é feita por bateladas, sendo observada diferença entre períodos de aula, férias e de isolamento social (Fialho, 2019; Soares *et al.*, 2020). Dessa forma, como as coletas de entrada e saída são feitas no mesmo dia e horário, pode-se estar amostrando esgotos de características distintas, prejudicando a análise, a comparação estatística e as conclusões a respeito da efetividade de uma alternativa em relação a outra. Para reduzir esse problema, poderia ser feita uma nova abordagem na metodologia de coleta, que seria fazer a amostragem da saída com o período TDH após ter sido feita a retirada de alíquotas da entrada. Ou seja, o tempo de amostragem do efluente seria igual ao tempo de coleta do afluente (entrada) somado ao TDH.

Assim, com a realização do presente trabalho, objetivou-se avaliar o efeito do período de amostragem da saída dos SACs-BR na avaliação do desempenho das unidades, que diferiram quanto à espécie vegetal (capim-vetiver, capim-tifton 85 ou sem plantas) cultivada, que, por sua vez, também foram comparadas à uma fossa séptica.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

(ETE-UFLA), localizada no município de Lavras - MG. A ETE-UFLA é responsável pelo tratamento de esgoto de diversas fontes do campus universitário, contando com tratamento preliminar, formado por gradeamento grosseiro e fino (placas perfuradas), calha Parshall e caixa de gordura/elevatória (reservatório de distribuição); tratamento secundário com reatores UASB e Filtro Biológicos Aerados Submersos (FBAS); e terciário, com polimento em filtros de areia, tanque de cloração e tanque de contato com lâmpadas ultravioletas (UV). Uma pesquisa realizada por Santos (2022) indicou que, atualmente, há diferenças estatísticas entre o esgoto de entrada da ETE-UFLA com o afluente às ETES municipais de Lavras, sendo menos concentrado e de pH mais alcalino. Distintas também são as características do esgoto proveniente das elevatórias da Goiaba e Veterinária, como demonstrado por Fialho (2019), havendo variações quanto ao período de amostragem em relação ao número de usuários contribuintes para a água residuária do campus (Soares *et al.*, 2020).

SACs-BR e Fossa Séptica

Os Sistemas Alagados Construídos do tipo Bio-Rack (SACs-BR) foram confeccionados com a utilização de 3 bombonas que contém um volume de 100 L, 0,65 m de altura, com um diâmetro de 0,45 m e área superficial de 0,16 m², aparato experimental utilizado por Soares (2020) e também por Souza (2021). Cada uma das bombonas foi preenchida com 12 tubos de PVC de 0,60 m de altura e 100 mm de diâmetro, sendo perfurados com orifícios de 20 mm e espaçados em 10 cm, abrangendo toda a superfície do tubo (aproximadamente 20 furos em cada). Esses furos permitem o escoamento intercalado entre vertical e horizontal (Jamshidi *et al.*, 2014), um dos diferenciais dos SACs-BR.

As espécies vegetais selecionadas para se desenvolver no SACs-BR foram *Chrysopogon zizanioides*, comumente conhecido como capim-vetiver, em razão do seu alto potencial de desenvolvimento radicular (Truong *et al.*, 2008); e o capim-tifton 85 (*Cynodon sp.*), devido a capacidade de remoção de macronutrientes e depuração de águas residuárias concentradas (Teixeira *et al.*, 2021). Com isso, foi adicionada uma muda por tubo nos SACs-BR, respectivamente, nos SAC1 (capim-tifton 85) e SAC2 (capim-vetiver), enquanto que o SAC3 permaneceu não plantado. Em relação à fossa séptica, essa foi construída por uma caixa d'água de 100 L em fibra de vidro, com tubulação de entrada e saída posicionada a 3 cm da base. Apresentando um diâmetro inferior de 0,65 m, diâmetro superior de 0,80 m. Para a alimentação do sistema, foi bombeado esgoto proveniente do tratamento preliminar da ETE com cálculo de TDH estimado para 1 dia. As unidades de tratamento instaladas estão apresentadas na Figura 1.



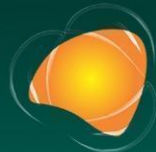
Figura 1. Unidade experimental montada na ETE-UFLA

Amostragem e análise estatística

A unidade experimental atuou como única etapa de tratamento secundário do esgoto, conforme idealizado para o SAC-BR, condição que permite a comparação à utilização das fossas sépticas. De forma a comparar o efeito do período de coleta do efluente dos SAC-BR e da fossa séptica, fez-se a amostragem semanal das amostras do esgoto na entrada e saída das unidades às segundas-feiras (de um experimento que está em desenvolvimento – Souza (2024)), havendo também uma segunda amostragem do afluente e efluente dos SACs e da fossa séptica às terças-feiras, ou seja, após 24 h (TDH), no período de 12/09/23 à 30/10/23. As amostras coletadas foram então analisadas no Laboratório de Águas Residuárias e Reúso de Água do Departamento de Engenharia Ambiental da UFLA (DAM/UFLA).

As análises realizadas incluíram a medição do pH (potencial hidrogeniônico), condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), além da turbidez. Durante o período de amostragem foram realizadas 7 campanhas de coleta para cada variável, com a obtenção de 1 resultado semanal para cada variável (com análises em triplicata). Nas metodologias empregadas, seguiu-se o descrito em Souza (2021) (MATOS, 2015): pH - método potenciométrico com medidor MS Tecnopon (mPA2010); CE - condutividade de bancada da marca AZ. modelo 8650; ST, SF e SV - gravimétrica, estufa de secagem (105°C) e mufla (550°C).

O desempenho das unidades e os valores efluentes (de saída das unidades de tratamento) foram comparados por meio de testes estatísticos não paramétricos de Mann-Whitney, Wilcoxon e Kruskal-Wallis, com uso do software Statistica 10. Os testes foram empregados, respectivamente, para



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

comparação dos valores medidos às segundas e terças; para avaliação das diferenças entre as eficiências obtidas considerando a mesma entrada (coletada na segunda-feira) e saídas diferentes (coleta da segunda X coleta da terça); e por fim, avaliação se há diferenças significativas dos valores de saída entre as unidades avaliadas nos dois cenários. O resumo dos testes está apresentado no Figura 2.

Variáveis comparadas		Teste utilizado	Objetivo
Entrada E1 – dia tradicional da coleta (segundas-feiras).	Entrada E2 – dia de coleta realizado após TDH (1,0 d) do dia tradicional de amostragem.	Mann-Whitney (0,05 de significância) – dados independentes	Comparação se há diferença da composição do esgoto quanto ao dia de coleta
Saída S – coletada no mesmo dia e horário da entrada E1	Saída STDH – amostrada após TDH (1,0 d) da coleta da entrada E1.	Mann-Whitney (0,05 de significância) – dados independentes	Verificação da diferença dos valores de saída, em dias de amostragem diferentes. Permite-se assim inferir se as análises estatísticas não são prejudicadas pelo dia da coleta.
Eficiência obtida considerando os valores de E1 e S.	Eficiência obtida considerando os valores de E1 e STDH	Wilcoxon (0,05 de significância) – dados dependentes. Os dados de entrada são os mesmos, o que difere são os valores de saída.	Verificar (1) se há diferença significativa entre os tratamentos; e (2) se o dia de coleta influencia na avaliação dos tratamentos.
Valores e eficiências dos SACs 1, 2 e 3 comparados entre si e em relação à fossa F, calculados tanto considerando valores de E1 e S, quanto de E1 e STDH.		Kruskal-Wallis (0,05 de significância) – grupos de tratamentos.	Verificar (1) se há diferença significativa entre os tratamentos; e (2) se o dia de coleta influencia na avaliação dos tratamentos.

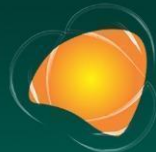
Figura 2. Resumo dos testes estatísticos realizados

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Valores obtidos nas amostragens

Após a realização das coletas e análises, foi construída a Tabela 1 na qual estão contidos os valores médios, os seus respectivos desvios padrões, coeficiente de variação (CV) e medianas monitoradas das entradas (E1 e E2), das saídas das unidades coletadas às segundas-feiras (S) e das saídas após o TDH (STDH – Coleta às terças-feiras), além das eficiências obtidas.

Tabela 1. Valores médios, desvios padrões e medianas monitoradas das entradas e saídas.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

Variável	S					STDH					E2
	E1	F	SAC1	SAC2	SAC3	F	SAC1	SAC2	SAC3		
pH	Média	7,70±0,12	7,91±0,14	7,85 ± 0,11	7,70 ± 0,10	7,89 ± 0,14	7,99±0,20	7,91±0,24	7,80±0,15	7,93±0,12	7,85±0,152
	CV (%)	1,56	1,77	1,40	1,30	1,77	2,50	3,03	1,92	1,51	1,91
	Mediana	7,66	7,84a*	7,84ab*	7,70b	7,97ab*	8,07a*	7,96a	7,80a	7,96a*	7,88a
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Média	1018±333	1004± 295	1041±338	1062±341	1066±360	1029±196	1027±248	1000±287	1015±246	1056±247
	CV (%)	32,71	29,38	32,47	32,11	33,77	19,05	24,15	28,70	24,24	23,38
	Mediana	1054a	1108a	1151a	1130a	1263a	1051a	1064a	1052a	1058a	1142a
Turbidez (NTU)	Média	39,90±16,91	25,54±14,47	10,00 ± 2,42	16,17±11,02	14,11±2,79	22,51±7,78	12,85±4,84	14,51±5,49	20,24±7,24	49,20±23,14
	CV (%)	42,31	56,66	24,20	68,15	19,77	34,56	37,67	37,84	35,77	47,02
	Mediana	33,30	16,30	9,72*	10,91*	14,40*	21,95*	11,80*	13,50*	18,95*	46,05
ST (mg L^{-1})	Eficiência %	-	43,75b	70,81a*	69,01ab	58,86ab*	36,40b	64,57a*	65,56ab	42,34ab*	-
	Média	492± 259	426±81	382±46	462± 149	447±314	411±106	401± 168	376±191	378±98	486±256
	CV (%)	52,64	19,01	12,04	32,25	70,25	25,79	41,90	50,80	25,93	56,40
SF (mg L^{-1})	Mediana	420	420	410	457,50	365	390	465	430	380	430
	Eficiência%	-	-3,21a	12,45a	3,18a	12,87a	-3,21a	12,05a	-5,62a	12,45a	-
	Média	265±115	227±57	241±55	244±59	233±75	188±98	204±137	225±194	211±119	244±150
SV (mg L^{-1})	CV (%)	43,40	25,11	22,82	24,18	32,19	52,13	67,16	86,22	56,40	61,44
	Mediana	420	385	363	405	380	390	350	370	350	460
	Eficiência%	-	1,22a	4,04a	-1,85a	16,65a	27,64a	8,11a	3,24a	8,11a	-
SV (mg L^{-1})	Média	226±160	200±54	141±51	218±151	214±290	223±76	196±115	151± 70	167± 81	260±160
	CV (%)	70,80	27,00	36,17	69,27	135,51	34,08	58,67	46,36	48,50	61,51
	Mediana	500	428	373	380	380	380	395	360	420	560
SV (mg L^{-1})	Eficiência%	-	-7,14a	25,04a	15,87a	16,72a	-20,63a	-13,49a	12,68a	5,35a	-

¹ Medianas seguidas por um * indicam que houve diferença significativa no teste Mann-Whitney (comparação entre entradas e saídas) e Wilcoxon (eficiências calculadas com uso da saída S ou saída STDH, comparada à entrada da segunda-feira).

² Medianas seguidas por uma mesma letra não diferiram significativamente pelo teste de Kruskal-Wallis (comparados dos valores e eficiências das saídas dos SACs e fossas);

³ Na análise de Kruskal-Wallis, para turbidez, ST, SF e SV fez-se a comparação das eficiências. Para os demais (pH e CE), dos valores observados.

⁴ Usou-se letras minúsculas nas comparações no tempo de coleta da saída S, e maiúsculas nas comparações do tempo de coleta STDH.

De forma semelhante aos trabalhos realizados na ETE-UFLA, verificou-se que o esgoto da ETE-UFLA apresentou elevados coeficientes de variação (CV) durante o monitoramento realizado, havendo maiores valores para a série de sólidos, e menores para pH, variável de medição direta (uso de peagâmetro). Santos (2022) também observou grande variação nas análises monitoradas, na avaliação de sólidos suspensos totais (SST), surfactantes, pH e DQO, tendo 110% de CV para a primeira variável. O autor compilou trabalhos anteriormente realizados na ETE-UFLA e o que se verifica é a grande oscilação das características do esgoto da instituição. E essas mudanças, segundo demonstrado pelas pesquisas de Fialho (2019) e Soares et al. (2020), são influenciadas pela elevatória em batelada de



alimentação da ETE, e pelo número de usuários que estejam frequentando a instituição.

Ademais, a composição da água residuária pode ser alterada em razão de descartes inadequados e esporádicos de materiais bem como contribuições de redes fluviais ao sistema de coleta das referidas elevatórias. Durante o monitoramento realizado, havia notória presença de óleo de baixa densidade, proveniente da elevatória da veterinária. Conseqüentemente, esse LNAPL (light non-aqueous phase liquid) pode ter modificado as características do esgoto, além de ter ocasionado entupimentos frequentes das bombas dosadoras dos SACs e da fossa séptica.

Comparando com as características do esgoto sanitário, verifica-se que o pH está dentro da faixa esperada (6,7-8,0), assim como a condutividade elétrica (480-3600 $\mu\text{S cm}^{-1}$), enquanto que as concentrações de ST (700-1350 mg L⁻¹), SF (340-650 mg L⁻¹) e SV (365-700 mg L⁻¹) estão abaixo do tradicionalmente encontrado (VON SPERLING, 2017; MATOS; MATOS, 2017). Por essas variáveis, essa água residuária seria classificada como esgoto fraco, de acordo com Jordão e Pessoa (2011). Ainda sobre a composição, pode-se inferir que, em relação ao pH, não haveria prejuízo para desenvolvimento da microbiota e nem das plantas cultivadas (Metcalf; Eddy, 2016).

Comparativo dos valores de entrada

Com base no que está apresentado na Tabela 1, não foi observada diferença significativa entre os valores de amostras da entrada coletadas às segundas e terças-feiras (sem presença de * ao lado das medianas). Verifica-se pela análise dos box plots (Figura 3) que aparentemente até há diferença entre as entradas, porém dada a grande variação dos dados, estatisticamente não é possível afirmar e confirmar essa avaliação visual.

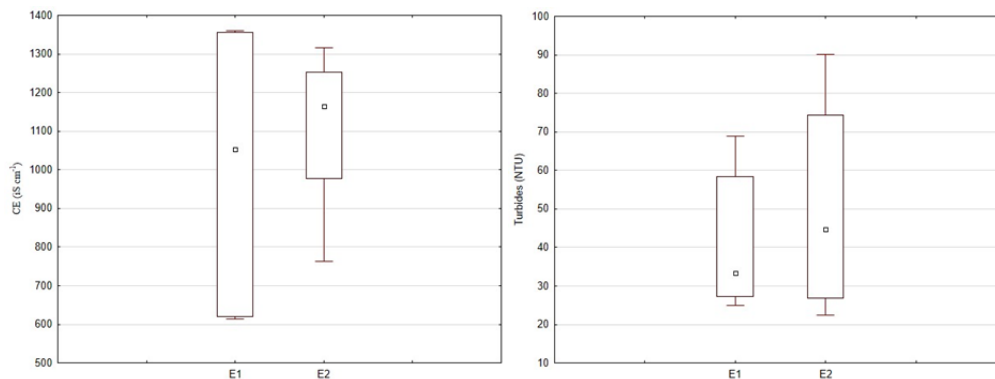
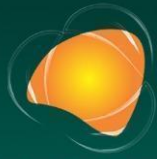


Figura 3. Diferença dos valores de condutividade elétrica (CE) e turbidez das entradas (E1 e E2)

A explicação pode estar ligada ao que foi discutido no item 3.1 (características que variam muito), e também ao fato de que um número reduzido de amostragens (7) resulta em maior margem de



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

erro e maior dificuldade de encontrar diferenças estatísticas, sobretudo na utilização de testes não paramétricos (mais exigentes na apresentação de rejeição da hipótese dos grupos serem semelhantes estatisticamente) (OLIVEIRA, 2017).

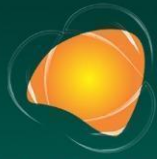
Comparativo dos valores de saída

Assim, como em um curso d'água, o instante da coleta pode resultar em diferenças nas características da amostra, sendo que o mesmo poderia ocorrer na amostragem do esgoto, sobretudo para uma água residuária de composição de grande variabilidade, caso da ETE-UFLA. Com essa ideia, o esgoto afluente a uma unidade de tratamento seria tratado e sairia após o tempo de detenção hidráulica (TDH) teórico do mesmo. Dessa forma, poderiam ser obtidas conclusões mais fidedignas a respeito do desempenho dos reatores. No entanto, os resultados observados não corroboram a expectativa. Somente para algumas das unidades e para as variáveis pH e turbidez, houve diferença significativa pelo teste de Mann-Whitney (ao nível de 5% de significância) entre os valores de saída S (coletadas no mesmo dia da amostragem de entrada) e os de saída STDH (coleta da saída após um tempo “t” + TDH da entrada).

Novamente justifica-se pela grande variabilidade dos dados, o baixo número de campanhas de amostragem realizadas (7) e um outro fator que está relacionado à adoção do TDH de projeto para realizar a amostragem. Em razão de caminhos preferenciais, zonas mortas, evapotranspiração, problemas na alimentação das unidades (por entupimento de bombas, por exemplo), dentre outros, o tempo de detenção hidráulica real difere do valor teórico (de dimensionamento) (MATOS et al., 2015). Dessa forma, um possível ajuste para o monitoramento seria realizar testes com traçadores, obter informações da concentração da substância no tempo, ajustando o TDH real e o pico da passagem do esgoto (Metcalf, Eddy, 2016; Kadlec *et al.*, 2009; Persson *et al.*, 1999). Esses dois períodos poderiam ser mais representativos para tratar do mesmo esgoto coletado na entrada. Por fim, também se especula que o óleo recirculado possa estar sendo retido nas unidades e sendo liberado aos poucos, reduzindo as diferenças entre o esgoto efluente nos diferentes dias de monitoramento dos protótipos dos SACs e da fossa séptica.

Comparativo das eficiências de tratamento

Dada a ausência de diferença significativa entre as entradas e saídas, a expectativa é de que não houvesse mudança nas conclusões sobre as eficiências calculadas. De fato, não houve alteração nos resultados da análise de Kruskal-Wallis, tendo os mesmos tratamentos diferindo considerando tanto a



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

saída S ou STDH. No teste de Wilcoxon, foi verificada diferença nas eficiências somente na comparação da turbidez para os SACs 1 e 3.

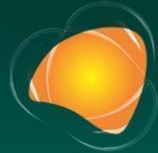
Assim, somente para algum dos casos e para as variáveis com leitura direta (e maior precisão), como pH (análise dos valores de saída) e turbidez (valores de saída e eficiências), é que se observou efeito do período de coleta das amostragens nos valores de saída e no desempenho de Sistemas Alagados Construídos do tipo Bio-Rack (SACs-BR) e da fossa séptica. Conseqüentemente, provavelmente essa abordagem proposta no trabalho também não resultaria em análises e conclusões diferentes no trabalho de Soares (2021), que objetivou avaliar o TDH mais propício e o efeito da introdução de meio suporte e de plantas em SACs-BR instalados na ETE-UFLA, bem como na pesquisa de Ázara (2023), que investigou a influência do período de aclimação das plantas no desempenho de SACs plantados com capim-vetiver e alimentados com esgoto do campus. Há de se destacar, no entanto, que no período avaliado pelos referidos autores, não havia contribuição do referido LNAPL.

Portanto, outras técnicas de amostragem devem ser investigadas, como a coleta composta (misturando amostras simples coletadas em diferentes tempos) das amostras de entrada e saída, a coleta no tempo de pico da substância traçadora ou após o TDH real da unidade, e/ou uso do nível de significância maior nos testes estatísticos, considerando as elevadas variações das características do esgoto da instituição. Encontrar o período correto na amostragem pode auxiliar na construção de planos amostrais mais adequados para monitoramento de ETES e ETARs, favorecendo a correta análise do desempenho das unidades avaliadas. Dessa forma, o presente trabalho pode servir como base para realização de novos estudos que, por sua vez, podem contribuir na prática para o controle da operação do saneamento.

CONCLUSÕES

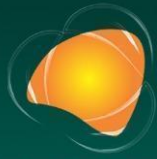
Pode-se concluir, a partir dos dados obtidos no presente estudo, que:

- Não há diferença significativa entre os valores de entrada e saída nos diferentes dias de amostragem avaliados (dia tradicional de coleta ou após transcorrido o TDH das unidades);
- Não houve mudança na análise do desempenho das unidades fazendo a coleta do efluente de saída no dia tradicional ou após transcorrido o TDH das unidades;
- Outras abordagens deverão ser realizadas de forma a avaliar a metodologia mais adequada para análise ou amostragem de águas residuárias com grande variabilidade temporal.



REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA).** Boletim de Acompanhamento da Rede nº 05/2021 (nº39 do Projeto Monitoramento COVID Esgotos). Ano 2021. Número do Boletim 5. Número do Projeto 39.
- ÁZARA, M. S.** **Avaliação do desenvolvimento e desempenho do capim-vetiver após submetido a diferentes lâminas de esgoto no período de aclimação em sistemas alagados construídos.** 2023. 154 p.
- BRASIL.** Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Estabelece o marco legal do saneamento básico. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/14026.htm>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- CASELLES-OSORIO, A. PUIGAGUT, J. SÉGÚ, E. VAELLO, N. GRANÉS, F. GARCIA, D. GARCIA J.** Solids accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. **Water Research**, v.41, p.1388-1398, 2007.
- FILIZOLA, H. F. GOMES, M. A. F. SOUZA, M. D. S.** **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169p. il.
- FIA, F. R. L. MATOS, A. T. FIA, R. LAMBERT, T. F. MATOS, M. P.** Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science.** v.6, n.1, 2011.
- FIALHO, D. E. S.** **Caracterização do esgoto sanitário e avaliação da eficiência da ETE/UFLA na remoção de fármacos e desreguladores endócrinos.** 98 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- JAMSHIDI, S. et al.** Wastewater treatment using integrated anaerobic baffled reactor and Bio-rack wetland planted with *Phragmites* sp. and *Typha* sp. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 12, n. 1, p. 131, 2014.
- JORDÃO, E.P. PESSOA, C.A.** **Tratamento de esgotos domésticos.** 6ª. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011, 969p.
- KADLEC, R. H. WALLACE, R. D.** **Treatment Wetlands.** 2a. ed. Florida: CRC Press, 1016p., 2009.
- MATOS, A. T.** Manual de Análise de Resíduos Sólidos e Águas Residuárias. 1. ed. Viçosa: **Editora UFV**, 2015.
- MATOS, A. T. MATOS, M. P.** Disposição de Águas Residuárias no Solo e em Sistemas Alagados Construídos. Viçosa: n. 6. **Editora UFV**, 2017, 371 p.
- METCALF, L. EDDY, G.** **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** 5. ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2016.
- MATOS, M. P. et al.** Uso de traçador salino para avaliação da colmatção e das condições hidrodinâmicas em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial. **Engenharia Agrícola.** v. 35, n. 6, p. 1137–1148, nov. 2015.
- OLIVEIRA, S. C.** **Tratamento estatístico de dados ambientais – ESA944.** Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SMARH. Apostila. 139 p. 2017



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

- PERSSON, J. SOMES, N. L. G. WONG, T. H. F. Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds. **Water Science and Technology**, Oxford, v.40, n.3, p.291–300, 1999.
- SANTOS, R. R. **Análise Comparativa das Características do Esgoto Universitário com o Efluente Sanitário da Cidade de Lavras-MG**. 2022. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.
- SATHE, S. M. MUNAVALLI, G. R. Domestic wastewater treatment by modified biorack wetland system. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, p. 240-249, 2019.
- SOARES, J. S. S. **Avaliação Do Uso De Sistemas Alagados Construídos Do Tipo Bio-Rack Como Tratamento Simplificado Para Soluções Individuais**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.
- SOARES, J. S. et al. Características do esgoto sanitário gerado na UFLA antes e após início do isolamento social. In: Congresso de Pós-Graduação. 2020. 29., Lavras. **Anais..** . Lavras, 2020. p. 334.
- SOUZA, I. L. **Avaliação do efeito do nível de esgoto no desenvolvimento do desenvolvimento radicular em Sistemas Alagados Construídos do tipo Bio-Rack**. 2021. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Lavras, 2021
- TONETTI, A. L. BRASIL, A.L. MADRID, F.J.P.L. FIGUEIREDO, I.C.S. SCHNEIDER, J. CRUZ, L.M.O. DUARTE, N.C. FERNANDES, P.M. COASACA, R.L. GARCIA, R.S. MAGALHÃES, T.M. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. **Biblioteca/Unicamp. Campinas, São Paulo**, 153 p, 2018.
- TEIXEIRA, D. L. MATOS, A. T. MATOS, M. P. MIRANDA, S. T. TEIXEIRA, D. V. Modelagem de produtividade e extração de nutrientes pelas gramíneas Vetiver e Tifton 85 cultivadas em áreas úmidas construídas com fluxo subterrâneo horizontal. **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH**, Part A, v. 1-9, 2021, DOI: 10.1080/10934529.2020.1868821
- TRUONG, P. VAN, T. T. PINNERS, E. **Sistema de aplicação Vetiver: manual de referência técnica**. 2ª ed. Rede Internacional de Vetiver, 2008.
- VALIPOUR, A. RAMAN, V. K. GHOLE, V. S. A new approach in wetland systems for domestic wastewater treatment using Phragmites sp. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 12, p. 1797-1803, 2009.
- VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: v.1, n. 4. Editora UFMG, 2017, 472 p.
- VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v.25, p.478–490, 2005.