

Tratamento de efluente sanitário pela associação de tanque séptico e wetland construído aerado e não aerado

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho e o comportamento de um sistema de tratamento de esgoto sanitário de uma mineradora, localizada no município de Nova Lima – MG, composto por tanque séptico (TS) seguido de um wetland aerado horizontal de escoamento subsuperficial (WAHESS) e um wetland horizontal de escoamento subsuperficial (WHESS), em escala plena e o potencial de replicabilidade em outros sistemas e empresas. O sistema de tratamento de efluentes foi dimensionado para uma vazão média diária de 40 m³ dia⁻¹, cargas de DBO (Demanda bioquímica de oxigênio) de 13,5 kg dia⁻¹, de DQO (Demanda química de oxigênio) de 27,5 kg dia⁻¹, e carga de SST (Sólidos suspensos totais) de 15 kg dia⁻¹, sendo composto por dois TS de 18 m³ cada e TDH (Tempo de detenção hidráulica) de 0,5 dia, seguido de dois Wetlands construídos (WC), sendo o primeiro com TDH de 1,49 dia⁻¹ cultivado com *Cyperus prolifer* e o segundo com TDH de 0,64 dia⁻¹ cultivado com *Thal. ia Deal. bata*, tendo a brita nº 1 como meio suporte nos wetlands. Foram avaliadas as variáveis DBO, DQO, SST, turbidez, pH e temperatura com periodicidade quinzenal, totalizando 10 amostras no período de 03/10/2019 a 18/02/2020, além dos dados de vazão. Observou-se que o sistema de WC foi essencial para o tratamento de efluentes, sendo o WAHESS o que apresentou maiores taxas de remoção dos poluentes (94% e 88% para DBO e DQO respectivamente, SST com 83% e turbidez com 94%), seguido do WHESS. O estudo permitiu concluir que o emprego de WC para o tratamento de esgoto doméstico após tratamento por TS, foi eficiente, atingindo os valores exigidos pela legislação estadual vigente para lançamento de efluentes.

Palavras-chave: Tratamento de águas residuárias; Wetlands horizontal de escoamento superficial; Wetlands aerado horizontal de escoamento superficial.

Treatment of sanitary effluent by the association of septic tank and wetland built aerated and not aerated

The objective of this work was to evaluate the performance and behavior of a sanitary sewage treatment system of a mining company, located in the municipality of Nova Lima - MG, consisting of a septic tank (TS) followed by a horizontal aerated subsurface drainage wetland (WAHESS) and a full-scale horizontal subsurface flow (WHESS) wetland and the potential for replicability in other systems and companies. The effluent treatment system was designed for an average daily flow of 40 m³ dia⁻¹, BOD loads (Biochemical oxygen demand) of 13.5 kg dia⁻¹, COD (Chemical oxygen demand) of 27.5 kg day⁻¹, and SST load (total suspended solids) of 15 kg day⁻¹, consisting of two TS of 18 m³ each and TDH (Hydraulic holding time) of 0.5 day, followed by two built Wetlands (WC), with the first with 1.49 day⁻¹ HDR cultivated with *Cyperus prolifer* and the second with 0.64 day TDH cultivated with *Thal. ia Deal. bata*, with crushed stone 1 as a support medium in the wetlands. The variables BOD, COD, SST, turbidity, pH and temperature were evaluated every two weeks, totaling 10 samples in the period from 03/10/2019 to 02/18/2020, in addition to the flow data. It was observed that the WC system was essential for the treatment of effluents, with WAHESS having the highest pollutant removal rates (94% and 88% for BOD and COD respectively, SST with 83% and turbidity with 94%), followed by WHESS. The study allowed to conclude that the use of WC for the treatment of domestic sewage after treatment by ST was efficient, reaching the values required by the current state legislation for the discharge of effluents.

Keywords: Wastewater treatment; Horizontal runoff wetlands; Aerated horizontal runoff wetlands.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **01/04/2021**

Approved: **28/04/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Lucas de Albuquerque Martins 
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2681130991614276>
<http://orcid.org/0000-0002-4955-9302>
lucas.alb.martins@gmail.com

Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques 
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6991929220004023>
<http://orcid.org/0000-0001-6646-0809>
roeflorestal@hotmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0038

Referencing this:

MARTINS, L. A.; MARQUES, R. F. P. V.. Tratamento de efluente sanitário pela associação de tanque séptico e wetland construído aerado e não aerado. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.4, p.489-503, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0038>

INTRODUÇÃO

No Brasil, no que se refere ao serviço de esgotamento sanitário, 43% da população possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de fossa séptica, ou seja, 55% da população possui tratamento considerado adequado, 18% possuem esgoto coletado e não tratado e 27% não possuem coleta e tratamento (ANA, 2017).

Há uma grande parcela da população brasileira não atendida com os sistemas de esgotamento sanitário. Dessa forma, os estudos e a aplicação de sistemas de tratamentos descentralizados ou unifamiliares, são capazes de atender a população carente e núcleos de pequeno porte. Sendo que a coleta e o tratamento dos esgotos gerados, devem ser prioridade, a fim de evitar danos à população e ao meio ambiente, que podem ocasionar a incidência de doenças de veiculação hídrica e o comprometimento da qualidade da água e vida aquática.

Segundo Paulino et al. (2012), a destinação mais comum dos esgotos é o lançamento nos corpos hídricos, o que proporciona condições de poluição e contaminação ao corpo hídrico receptor e dentre os principais impactos ambientais pode-se citar: eutrofização de corpos d'água, diminuição do oxigênio dissolvido, toxicidade aos organismos aquáticos devido à presença de metais pesados, demanda de maiores quantidades de produtos químicos para tratamento de água e alteração da qualidade física, química e microbiológica do corpo receptor.

Os microrganismos presentes nos esgotos podem transmitir doenças, e a origem dos agentes patogênicos presentes nos esgotos é de predominância humana, o que reflete diretamente no nível de saúde pública da população, pois grande parte das doenças de veiculação hídrica são provenientes da água de má qualidade que recebe cargas de esgotos sanitários (ALMEIDA et al., 2017).

Para minimizar os impactos descritos, maior esforço deve ser empreendido na implantação de sistemas de tratamento. Segundo Von Sperling (2014), para escolha do processo de tratamento que será utilizado é preciso considerar aspectos como eficiência, confiabilidade, área de implantação, impactos ambientais, custos de operação e implantação, características do efluente a ser tratado entre outras variáveis.

As condições climáticas no Brasil favorecem a aplicação de sistemas naturais, dos quais destaca-se os *wetlands* construídos (WC), que vem despertando o interesse em algumas empresas, pequenos núcleos populacionais e universidades, pelo seu baixo custo de implantação, operação, manutenção e não há exigência de mão-de-obra qualificada. Os WC já são utilizados por países desenvolvidos como alternativa tecnológica para o tratamento de esgotos e na promoção do saneamento rural (SEZERINO, 2006).

Conforme apontado por Silva et al. (2015) e Sezerino et al. (2015) os WC são sistemas naturais de tratamento de esgotos que utilizam plantas aquáticas, estabelecidas em leitos filtrantes, sendo adequadas às condições climáticas do Brasil. Esses sistemas apresentam baixa demanda energética, baixa ou nenhuma geração de lodo e de maus odores. Os WC são resistentes às variações de carga sem comprometimento de sua eficiência e podem ser utilizadas como pós-tratamento de efluentes domésticos ou industriais (TONIATO,

2005; SEZERINO, 2006; MONTEIRO, 2009; PELISSARI, 2013).

Dentre os modelos de WC destacam-se os *wetlands* horizontais de escoamento subsuperficial (WHESS), que podem promover tratamento satisfatório, quando dimensionadas corretamente e instaladas com materiais adequados para sua construção e operação (PAOLI, 2010). De acordo com Phillippi et al. (2004) esse modelo de *wetland* é constituído de leito filtrante (comumente utilizado brita, cascalho ou areia) onde são plantadas macrófitas aquáticas e por onde o efluente a ser tratado irá percolar. Assim, a brita e a areia atualmente são os materiais filtrantes mais usuais em WC, devido ao fato de oferecerem boas condições de escoamento, apesar da baixa capacidade de adsorção (DECEZARO, 2018).

Para White et al. (2007) a capacidade dos *wetlands* de tratar águas residuárias está condicionada aos termos de quantidade de água e carga dos poluentes. A sobrecarga hidráulica acontece quando a vazão excede a capacidade de dimensão do *wetland*, causando uma redução no tempo de detenção hidráulica (TDH), podendo afetar as taxas de remoção de poluentes. A sobrecarga de poluentes ocorre quando a entrada de poluentes excede as taxas de remoção dentro do sistema.

As experiências brasileiras intensificadas a partir dos anos 2000, para tratamento de efluentes de diversas tipologias, com diferentes projetos de *wetlands*, formas e arranjos, empregando diversos elementos filtrantes e macrófitas, foram difundidas por todo território nacional (SEZERINO et al., 2015). As primeiras experiências foram conduzidas pelos pesquisadores Salati Junior et al. (1999). Phillippi et al. (1999) verificaram o desempenho do tratamento de esgotos com zona de raízes (área superficial 450 m²) pós tanque séptico, implantado na cidade de Agronômica, Santa Catarina em 1994, aumentando a eficiência de remoção de 71 % (DQO) e 69% (DBO) para 98% de remoção em ambos (PHILLIPPI et al., 2006). Em estudo conduzido em escala real, tratando efluente sanitário, composto por tanque séptico, seguido por um *wetland* vertical e *wetland* horizontal, os resultados mostraram que o sistema híbrido foi capaz de remover grande parte dos poluentes, apresentando eficiências de remoção de DQO, SST, N-NH₄⁺ e P-PO₄³⁻ superiores a 90% (ROUSSO, 2017).

As macrófitas cultivadas em *wetlands* horizontais de escoamento subsuperficial (WHESS) auxiliam na remoção de contaminantes absorvendo nutrientes; cujo sistema radicular disponibiliza grande área superficial para aderência e crescimento de microrganismos, além de proporcionar redução na velocidade de escoamento da água residuária em tratamento, como consequência promove maior sedimentação e adsorção de poluentes, e, ainda excretam substâncias tóxicas a microrganismos patogênicos; e alteram os ambientes físico e químico na região da rizosfera (MATOS et al., 2017).

Os tipos de macrófitas mais adequadas para os WHESS são as macrófitas emergentes, uma vez que os níveis da água nesses sistemas, se mantém abaixo da superfície do material suporte. Entre as mais utilizadas para este tipo de WC são a *Phragmites sp.*, *Typha sp.* e *Juncus sp.* (KADLEC et al., 2009; VYMAZAL, 2013; MACHADO et al., 2017). Essas espécies possuem altas taxas de crescimento e adensamento no leito plantado, devido à disponibilidade de nutrientes para o seu desenvolvimento (KLETECK, 2011).

No Brasil, estudos utilizando *wetlands* para tratamento de águas residuárias, devem atender os valores obtidos para parâmetros físicos, químicos e biológicos preconizados na Resolução CONAMA nº 430

de 2011 (BRASIL, 2011) e no âmbito estadual (Minas Gerais), a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008).

O uso dos WC tem-se demonstrado uma alternativa ambientalmente sustentável e estudos que avaliam a eficiência do seu desempenho são de fundamental importância para propor medidas de otimização do processo e divulgação dos resultados, além de promover o tratamento adequado dos efluentes. O diferencial do presente trabalho é a utilização de *Wetland* aerado seguido de *wetland* dando ao sistema uma maior eficiência com menores tempos de detenção hidráulica (SILVA et al., 2020; WU et al., 2016) o qual pode ser aplicado para empresas que apresentem o esgoto sanitário como característica principal, reduzindo assim a área disponibilizada para esses tipos de sistemas. Costa et al. (2019) avaliaram diferentes taxas de aplicação de oxigênio em *wetlands* horizontais de fluxo subsuperficial e determinaram que a aeração tem papel fundamental na melhoria de remoção de nitrogênio total (NT) e DQO, sendo 30 % (NT) e 3% (DQO), superiores aos sistemas que não receberam aeração.

Com o intuito de difundir as técnicas de *wetlands* construídos, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho e o comportamento de um sistema de tratamento de esgoto sanitário de uma mineradora, localizada no município de Nova Lima – MG, composto por tanque séptico (TS) seguido de um *wetland* aerado horizontal de escoamento subsuperficial (WAHESS) e um *wetland* horizontal de escoamento subsuperficial (WHESS), em escala plena

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo, está localizada em uma empresa do ramo de mineração, no município de Nova Lima – Minas Gerais, na latitude 19° 58' 07" sul e longitude 43° 54' 54" oeste (DATUM WGS 84). Segundo a classificação de Köppen (1948) o clima é do tipo Cwa (Clima subtropical úmido), possui um clima quente e temperado, maior pluviosidade no verão que no inverno, uma temperatura média anual de 21° C e 1.390 mm de pluviosidade média anual. O sistema de tratamento de efluentes está em operação desde janeiro de 2018 e possui duas premissas: tratar os efluentes sanitários gerados nos escritórios administrativos e promover um espaço para educação ambiental. É composto por tratamento primário (tanque séptico), secundário (*wetland* aerado horizontal de escoamento subsuperficial seguido de *wetland* horizontal de escoamento subsuperficial). A Figura 1 apresenta o fluxograma de tratamento dos efluentes sanitários da pesquisa.

No trabalho em questão foram considerados apenas os dados relativos aos efluentes nas etapas 1 e 2, ou seja, considerados os dados relativos a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), turbidez, pH e temperatura caracterizando o efluente bruto (EB), após o tanque séptico (TS), após o *wetland* aerado horizontal de escoamento subsuperficial (WAHESS) e após o *wetland* horizontal de escoamento subsuperficial (WHESS), sendo que, este sistema opera em série, bem como os dados relativos ao volume de efluente gerado.

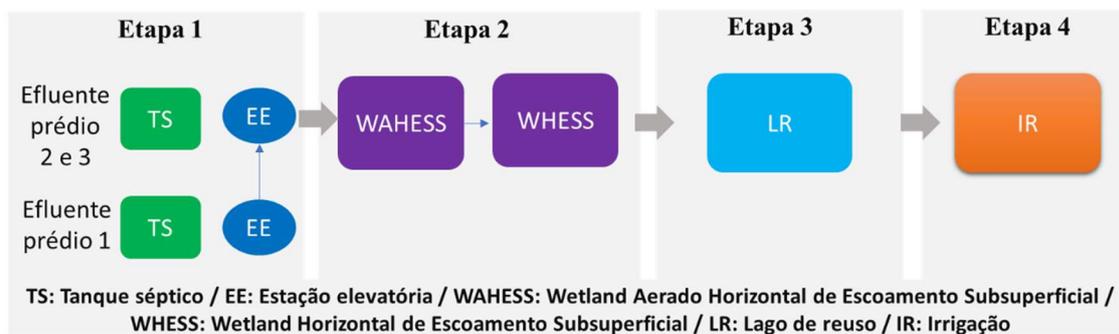


Figura 1: Fluxograma do sistema de tratamento e disposição de efluentes da Mina de Águas Claras.

Fonte: Adaptado de Rotária (2017).

Dimensionamento das Estruturas de Tratamento

O dimensionamento dos TS seguiu os critérios e recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993) e NBR 13969 (ABNT, 1997), e foram dimensionados para uma remoção de carga orgânica e SST com eficiência de 35% e pré-fabricados em polietileno. A tabela 1 apresenta o dimensionamento dos TS.

Tabela 1: Dimensionamento dos Tanques sépticos utilizados no sistema de tratamento da mineradora.

Local	Nº Funcionários	Vazão média Q med (L d ⁻¹)	Tempo de detenção hidráulica TDH (dia)	Volume TS (m ³)
Prédio 1	450	22500	0,5	18
Prédio 2 e 3	350	12500	0,5	18

Fonte: Adaptado de Rotária (2017).

Após o tratamento primário (tanques sépticos), os efluentes são bombeados por estações elevatórias localizadas nos TS, que são acionadas por sensores de nível, para o tratamento secundário que é constituído por dois *wetlands* construídos horizontais de escoamento subsuperficial, sendo que no primeiro há um sistema de aeração, conduzida por compressores de ar. Os WC foram impermeabilizados com manta geotêxtil para evitar infiltrações e possível contaminação do lençol freático.

O oxigênio no WAHESS é fornecido por sopradores de ar, distribuídos em todo o sistema, através de mangueiras difusoras dispostas no fundo do leito filtrante, impulsionados por dois sopradores de ar a uma vazão equivalente a 0,70 m³ min⁻¹.

A partir da eficiência média de tratamento dos tanques sépticos (35%), para tratamento de efluentes domésticos, considerando as variáveis DQO, DBO, SST (VON SPERLING, 2005), foi realizado o dimensionamento do WAHESS e WHHES.

A área dimensionada para os *wetlands* foi calculada de acordo com os valores sugeridos por USEPA (2000), sendo a carga orgânica de 13,5 kg dia⁻¹ de DBO e 27,5 kg dia⁻¹ de DQO e carga de sólidos suspensos totais de 15 kg dia⁻¹ e a vazão de projeto de 40 m³ dia⁻¹ ou 1,67 m³ h⁻¹.

Os *wetlands* construídos foram preenchidos com brita nº 1 e as dimensões dos mesmos, bem como os tempos de detenção hidráulica, velocidade de escoamento e plantas utilizadas estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Dimensões dos *wetlands* construídos utilizados no tratamento do efluente do tanque séptico.

Dimensões	WAHESS	WHHES	Total
Comprimento (m)	15	15	30
Largura (m)	15	15	30
Profundidade do leito (m)	0,80	0,40	-
Borda Livre (m)	0,10	0,10	-

Área (m ²)	225	225	450
Volume (m ³)	180	90	270
TDH (dia)	1,49	0,64	-
Velocidade de escoamento (m dia ⁻¹)	3,8	8,8	-
Macrófitas utilizadas	<i>Cyperus prolifer</i>	<i>Thal. ia Deal. bata</i>	-

Fonte: Adaptado de Rotária (2017).

As macrófitas *Cyperus prolifer* e *Thal. ia Deal. bata* foram escolhidas pelos resultados satisfatórios em diversos trabalhos (TREIN et al., 2015; SEZERINO et al., 2015; MOURÃO et al., 2015; NORTE, 2013), Figura 2.



Figura 2: Vista do WAHESS cultivado com *Cyperus prolifer* (Mini Papiro) e do WHESS cultivado com *Thal. ia Deal. bata* (Thalia).

Foram realizadas análises do efluente bruto (EB) e tratado ao passar por cada sistema de tratamento (TS, WAHESS, WHESS) que foram disponibilizadas pela mineradora. As variáveis avaliadas foram: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), turbidez, pH e temperatura, bem como os dados de vazão do efluente. As amostras foram coletadas quinzenalmente, no período de 03/10/2019 a 18/02/2020, totalizando 10 amostras, em cada parte do sistema de tratamento, ressalta-se que o sistema estava em operação desde janeiro de 2018, dessa forma as plantas e microrganismos já estavam estabelecidos nos *wetlands*. Foram monitorados o efluente bruto (EB), após o tanque séptico (TS), após o *wetland* aerado horizontal de escoamento subsuperficial (WAHESS) e após o *wetland* horizontal de escoamento subsuperficial (WHESS), sendo este último o efluente tratado. A Tabela 3 apresenta a metodologia de análise de cada variável bem como seu limite de detecção de acordo com APHA, AWWA e WEF (2012).

Tabela 3: Metodologia adotada para análise das variáveis e limite de detecção de acordo com *Standard of Methods*.

Variáveis	Método	Limite de detecção
DBO	Método 5210 B	3 mg L ⁻¹
DQO	Método 5220 D	5 mg L ⁻¹
SST	Método 2540B	5 mg L ⁻¹
Turbidez	Método 2130B	0,1 NTU
pH	Método 4500H+ B	-
Temperatura	Método 2550 B	1 a 70 ^o C

Fonte: Adaptado de APHA (2012).

Com intuito de avaliar o desempenho dos sistemas de tratamento de efluentes da Mina de Águas Claras, os dados do monitoramento do afluente e efluentes foram analisados por meio de eficiências de remoção parciais e global, estudos de estatística descritiva relativas ao número de dados, média, valores máximos e mínimos e desvio padrão e gráficos box plot.

As variáveis, bem como as eficiências (parcial e global) foram comparadas com os valores máximos permitidos preconizados pela Deliberação Normativa COPAM/CERH 01/2008, relacionada aos padrões de lançamento de efluentes no estado de Minas Gerais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As vazões do afluente seguem descritas nas Figuras 3 e 4, representadas pela vazão média diária e volume mensal, respectivamente. Destaca-se que o sistema opera de forma alternada, sendo o bombeamento acionado por sensor de nível, localizados nos TS.

Observa-se que aos finais de semana não houve bombeamento, pelo fato do regime de trabalho ser administrativo (segunda a sexta). Alguns picos de volume foram observados, correlacionados a maior quantidade de pessoas relacionadas a reuniões e ou visitas externas. Ressalta-se que no período do 21/12/2019 a 08/01/2020, foram observadas as menores vazões, devido ao recesso de fim de ano (natal e virada de ano). A vazão média diária afluente foi equivalente a $29,5 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ durante o período avaliado. A vazão média horária encontrada foi equivalente a $1,22 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, abaixo da vazão de projeto de $1,67 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

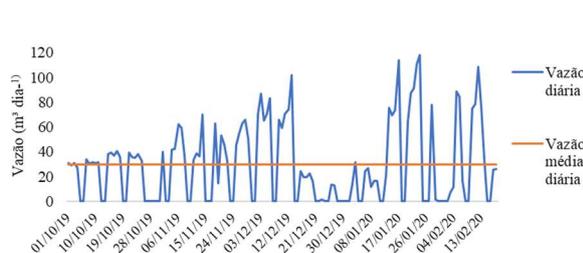


Figura 3: Vazão média diária da geração de efluentes sanitários na Mina de Águas Claras.

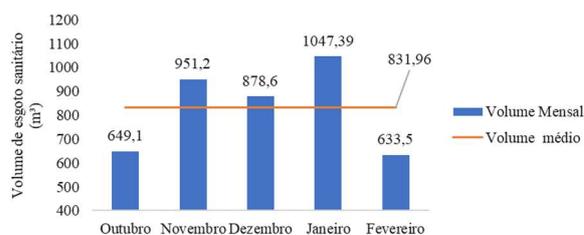


Figura 4: Volume mensal de efluente sanitário gerado na Mina de Águas Claras.

Com relação ao volume médio mensal, observa-se pela Figura 4 que o mês de fevereiro/2020 foi o mais baixo, com $633,5 \text{ m}^3$, bem próximo ao mês de outubro/2019 com $649,1 \text{ m}^3$, já o maior valor encontrado foi no mês de janeiro/2020 com $1.047,39 \text{ m}^3$, associado ao maior número de reuniões e visitas externas, conforme reportado pela mineradora. Observa-se que o volume médio mensal foi equivalente $831,9 \text{ m}^3$.

A Tabela 4 apresenta os valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão dos parâmetros DBO, DQO, SST, Turbidez, pH e temperatura, para o efluente bruto (EB), tanque séptico (TS), *wetland* aerado horizontal de escoamento subsuperficial (WAHESS) e *wetland* horizontal de escoamento subsuperficial (WHES).

Tabela 4: Resumo dos resultados obtidos para os parâmetros DBO, DQO, SST, pH e temperatura em cada unidade de tratamento.

Parâmetro		EB	TS	WAHES	WHES
DBO (mg L^{-1})	Média	161,2	121,5	7,1	3,3
	Mínimo	52,0	40,8	3,0	3,0
	Máximo	264	228	16,4	5,5
	Desvio padrão	81,8	55,9	5,1	0,7
DQO (mg L^{-1})	Média	550,4	453,1	56,1	26,1
	Mínimo	203	286	19,2	5

	Máximo	106	555	124	45
	Desvio padrão	264,4	83,5	31	15,1
SST (mg L ⁻¹)	Média	139,9	79,3	13,4	5,0
	Mínimo	48,	26	5,0	5,0
	Máximo	390	118	86	5,0
	Desvio padrão	98,2	32,4	25,5	0
Temperatura (°C)	Média	29,5	29,3	29,3	29,4
	Mínimo	23,0	23,0	23,0	23
	Máximo	32,0	32,0	32,0	32
	Desvio padrão	2,8	2,6	2,7	2,8
Turbidez (NTU)	Média	100,5	104,9	6,3	2,1
	Mínimo	59,6	57,5	1,1	0,9
	Máximo	142	129	12,8	5,7
	Desvio padrão	24,1	23,5	3,4	1,4
pH	Média	8,2	8,1	7,8	7,7
	Mínimo	8,0	8,0	7,5	7,5
	Máximo	9,0	8,2	7,9	7,9
	Desvio padrão	0,28	0,08	0,13	0,14

A Tabela 5 apresenta as eficiências de remoção parciais e globais de matéria orgânicas, sólidos e turbidez no sistema de tratamento.

Tabela 5: Eficiências médias de remoção (%) das variáveis de qualidade do esgoto sanitário nas diferentes unidades de tratamento no período avaliado, para as variáveis DBO, DQO, SST e Turbidez.

Variáveis	TS	WAHSS	WHSS	Eficiência Global
DBO	24%	94%	53%	97%
DQO	17%	87%	53%	95%
SST	43%	83%	62%	96%
Turbidez	0%	93%	66%	97%

Os resultados evidenciam que para a comparação entre os valores de entrada (efluente bruto) e saída (efluente tratado parcialmente em cada unidade e final), para a concentração dos parâmetros relativos à matéria orgânica (DQO e DBO), sólidos (SST) e turbidez apresentaram valores expressivos de eficiência de remoção obtida pelo sistema (parcial e global), Tabela 5.

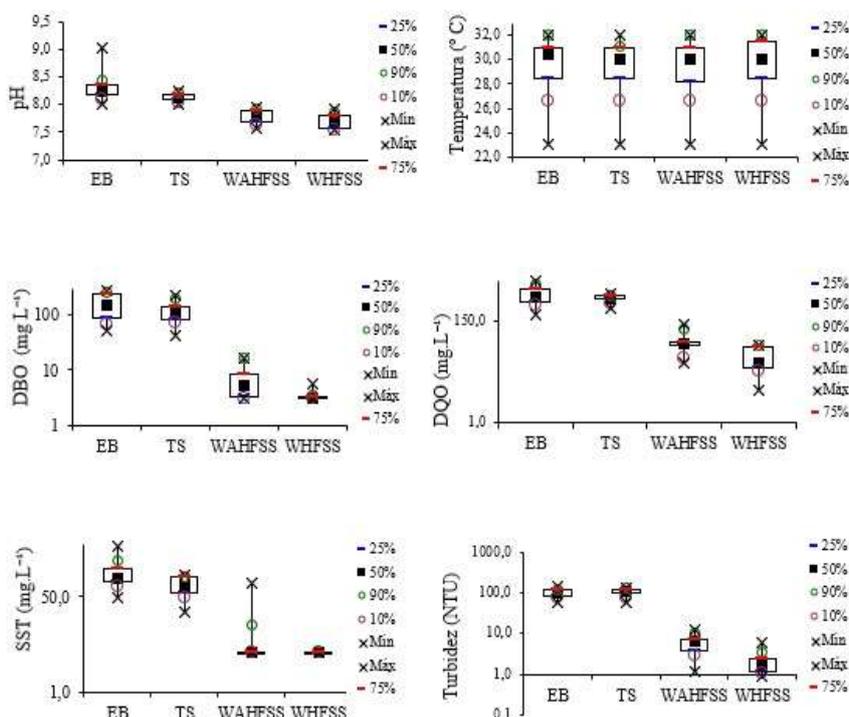


Figura 5: Gráficos box-plot das variáveis avaliadas no sistema de tratamento de efluentes.

Na etapa de tratamento no TS, observou-se que variáveis DBO, DQO e SST, houveram redução, porém corroborando com Jordão et al. (1995), de que os TS são concebidos para retenção de sólidos e degradação de parte da matéria orgânica, dessa forma, existe a necessidade de tratamento complementar ao TS.

A Figura 5 apresenta os gráficos box plot das variáveis avaliadas pelo sistema de tratamento (pH, temperatura, DBO, DQO, SST e turbidez) e a Figura 6 apresenta a evolução temporal das variáveis avaliadas no sistema de tratamento.

Em relação ao pH, nas figuras 5 e 6 são apresentados os resultados relativos a estas variáveis. O efluente final apresentou pH médio de 7,7, com redução do mesmo ao longo do processo (Figura 5), sendo que, o sistema como um todo, tendeu a neutralização do pH, de acordo com a atividade microbiana no processo de degradação. Observa-se que a temperatura (Figura 6), manteve-se constante ao longo do sistema, não sendo observado grandes variações de uma unidade para outra.

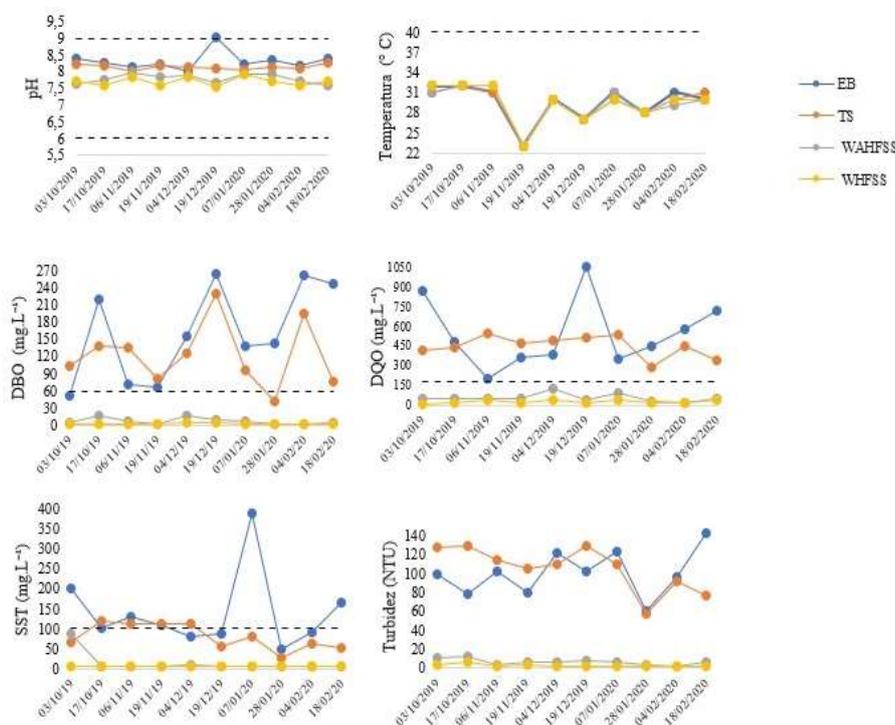


Figura 6: Evolução temporal das variáveis avaliadas no sistema de tratamento de efluentes.

Na Figura 6 apresenta-se a evolução temporal do pH ao longo do sistema de tratamento de efluentes. Observou-se pH 9,0 no dia 19/12 corroborando com os valores mais elevados de matéria orgânica (DBO e DQO), podendo ser associado aos produtos de limpeza utilizados na higienização das instalações (banheiros e cozinha). Observa-se que apesar de haver uma redução durante o processo, o efluente final encontra-se dentro do intervalo permitido pelos padrões de lançamento de efluentes domésticos que varia de 6,0 a 9,0 no Estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2008). Dornelas (2008) também atendeu aos limites estabelecidos pela DN COPAM CERH nº 01/2008, com valores da ordem de 8,2, porém utilizando como meio suporte escória de alto forno, já Souza et al. (2015) reportou valores de pH de 7,3 e Colares et al. (2013) com valores de 7,4 utilizando brita número 2. No TS, por ser um sistema de degradação anaeróbia, as atividades

microbianas podem gerar ácidos orgânicos que podem reduzir o pH do meio, caso a alcalinidade não seja suficiente. Grandes variações nas variáveis de pH e temperatura podem alterar a eficiência dos *wetlands*, pois afetam a ação dos microrganismos e solubilidade do oxigênio no sistema (KADLEC et al., 1996).

Com relação a temperatura, a Figura 6, demonstra que durante o período de análise os valores encontrados sempre foram abaixo do exigido pela legislação (<40° C), conforme estabelecido pela DN COPAM CERH nº 01/2008. O valor médio de temperatura para o efluente tratado foi equivalente a 29,4 ° C, semelhante nas etapas anteriores de tratamento, na qual apresentou 29,5 °C (TS), 29,3 °C (WAHESS) e 29,3 °C (WHESS), sendo que, se apresenta de maneira satisfatória para o crescimento de microrganismos e as macrófitas. Observou-se que o efluente final, tanto para temperatura quanto para pH, atendeu a legislação estadual vigente.

Com base na matéria orgânica (Figuras 5 e 6), a eficiência de remoção foi satisfatória no efluente final em termos de matéria orgânica (MO). O sistema como um todo apresentou boas eficiências de remoção de MO, sendo o WAHESS que apresentou os maiores valores de remoção parcial, sendo 94% e 88% para DBO e DQO, respectivamente (Tabela 5), corroborando com o estudo apresentado por Costa et al. (2019), onde os *wetlands* foram aerados foram mais eficientes na remoção de poluentes. Para o efluente final foram obtidas eficiências médias de remoção de 98% para DBO e 95% para DQO, atendendo a legislação estadual vigente que determina valores menores ou iguais a 60 mg L⁻¹ ou 60 % de eficiência para DBO, e valores de DQO inferiores ou iguais a 180 mg L⁻¹ ou 70% de eficiência de remoção para o lançamento de efluentes no estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2008), sendo atendido em todo o período de monitoramento conforme demonstrado na Figura 6.

A remoção de matéria orgânica em sistemas de WC ocorre, em geral, por meio de processos físicos, químicos e biológicos, como a sedimentação seguida de processos de decomposição, associada a baixa velocidade de escoamento (FERREIRA, 2013). Segundo USEPA (2000), a utilização de macrófitas auxilia pela presença de raízes e rizomas que servem de meio suporte para o crescimento das bactérias que se desenvolvem no meio, promovendo a decomposição dos poluentes.

É possível observar que houve um acréscimo tanto em DBO quanto em DQO no dia 06/11 no efluente do TS, o que pode ter sido causado pelo arraste de sólidos, visto que nesse período foi a segunda maior vazão média. Além disso, as eficiências de remoção no TS de matéria orgânica, foram abaixo do preconizado pela literatura. Em geral os TS apresentam eficiências de remoção para DBO entre 30 a 60%, DQO 30 a 60% e sólidos suspensos totais de 50 a 70% (JORDÃO et al., 1995). O WAHESS apresentou maiores eficiências de remoção de matéria orgânica, relacionadas ao aporte de oxigênio pelos difusores de ar, distribuídos no fundo do leito filtrante e ao meio suporte que favorece a fixação de microrganismos para decomposição da MO. O WHESS apresentou eficiência de remoção de 54% para DBO e 53% para DQO, relacionado a uma baixa concentração afluente (7,2 mg L⁻¹ para DBO e 56 mg L⁻¹ para DQO), já que o WAHESS promoveu a maior remoção da MO proveniente do TS. Assim, Silva et al. (2020) afirmam, que o uso de aeração intermitente melhora o desempenho de remoção de DQO de áreas úmidas construídas com fluxo subsuperficial horizontal.

Os resultados do presente trabalho são semelhantes aos dados relatados por Wu et al. (2016), no qual os autores avaliaram *wetlands* construídos com fluxo subsuperficial vertical e com um tempo de detenção hidráulica de 12 horas obtido em sistemas aerados intermitentes e em sistemas não aerados, obtiveram eficiências de remoção de DQO maiores que 88% e 76-82%, respectivamente, assim como nos trabalhos de Silva et al. (2020) e Wu et al. (2015). Os resultados também estão de acordo aos encontrados por Dornelas (2008), com valores obtidos para eficiência de remoção de DBO e DQO de 62% e 71% em *wetlands* plantados com taboa (*Typha latifolia*) e utilizando como meio suporte escória de alto forno, tratando efluente de reator UASB, com concentrações médias de DBO e DQO equivalentes a 154 mg L⁻¹ e 528 mg L⁻¹. Phillippi et al. (2006) e Almeida et al. (2010) encontraram valores semelhantes de eficiência no efluente final para DQO equivalentes a 98% e 81,1% de remoção em sistemas de *wetlands*, já Solano et al. (2004) e Almeida et al. (2010) observaram valores equivalentes a 88% e 90,7% para remoção de DBO no efluente final, após tratamento em sistema de *wetland* de escoamento horizontal. Forgiarini et al. (2016), avaliando remoção de matéria orgânica biodegradável no tratamento de esgoto doméstico, com *wetlands* verticais obteve eficiências de remoção de 53%, valores abaixo da presente pesquisa. Silva et al. (2019) ao avaliar a eficiência de sistemas alagados construídos, em escala piloto, preenchidos com brita nº 1, e cultivadas com capim-elefante, capim Mombaça, e capim Tifton 85, obtiveram eficiência média de remoção de DBO entre 59 a 76%. Costa et al. (2018), ao avaliar uma unidade plantada com *Typha Latifolia*, tratando efluente de reator UASB, obtiveram para DBO 70% e DQO 72% de remoção, com concentrações efluentes que variaram entre 25 a 23 mg L⁻¹ e 50 a 55 mg L⁻¹ para DBO e DQO, respectivamente.

O resultado apresentado para a remoção de matéria orgânica, tendo em vista que os sistemas de *wetlands* construídos como tratamento secundário de efluente de tanque séptico, aliados aos processos físicos, químicos e biológicos, apresentaram boa eficiência. Os resultados indicaram que os *wetlands* foram eficientes na remoção de matéria orgânica e o efluente final atendeu a legislação estadual vigente, demonstrando que o sistema de tratamento de efluentes operou, no período avaliado, de forma satisfatória para estas variáveis.

Os dados relativos à estatística descritiva do comportamento dos SST para o efluente em cada etapa de tratamento, representado por gráfico do tipo Box-plot, é apresentada na Figura 5.

Os resultados indicam faixas de remoção de 43% (TS), 83% (WAHESS), 62% (WHESS) e 96% (ET). Observa-se que o tanque séptico forneceu efluente aos *wetlands* com concentrações mais reduzidas de SST que as concentrações de matéria orgânica, sendo mais eficiente para este parâmetro. Entretanto, as eficiências de remoção de SST nos *wetlands* apresentaram-se próximos ao parâmetro MO, sendo que, o meio filtrante composto de brita nº 1 aliado às raízes das plantas nos *wetlands* contribui de forma significativa na redução deste ao longo do processo, corroborando com Paoli (2010) que refere que os meios mais eficientes na remoção de SST, são através de processos de sedimentação e filtração pelos elementos filtrantes presentes nos *wetlands*.

Os dados obtidos são próximos aos resultados reportados por Fia (2009), que obteve remoção de 84 e 90% de SST em um *wetland* plantado com taboa e um *wetland* não plantado, tratando efluente pré-tratado

de água residuária da suinocultura com alta concentração de sólidos. Paoli (2010) utilizando *wetland* plantado com taboa e não plantado e escória de alto forno como elemento filtrante, para tratar efluente de reator UASB, obteve eficiência média de remoção de 87% e 90%, respectivamente. Já Costa et al. (2018) encontraram 87% de remoção de SST, com concentrações efluentes finais equivalentes a 8 mg L⁻¹, semelhante aos resultados reportados por Matos et al. (2018), equivalentes a 83%, recebendo efluente de reator UASB.

A Figura 6 relaciona cada etapa de tratamento e a variação temporal dos valores encontrados para SST. m relação ao afluente observa-se um pico na coleta de 07/01, equivalente a 390 mg L⁻¹, muito possivelmente relacionado a um erro de leitura/análise no laboratório, quando comparado com outros parâmetros no mesmo dia (DBO, DQO).

Observa-se que os valores de SST aumentaram após o TS em algumas análises, que pode estar associado ao fato do efluente ser bombeado ao sistema de *wetland*, ocasionando turbilhonamento, revolvimento do material de fundo no TS e aumento na concentração de sólidos, considerando que o bombeamento, conduz o efluente do TS ao WAHES.

As concentrações médias de SST no efluente bruto e efluente tratado foram 140 mg L⁻¹ e 5 mg L⁻¹, respectivamente, com uma eficiência global de 96%, valor próximo ao descrito por Cano (2009), que ao pesquisar em escala experimental, observou a taxa de remoção de SST próxima a 90%, resultando em efluentes com concentrações inferiores a 34 mg L⁻¹. Sezerino et al. (2006) obtiveram remoção de 70% em sistema de tratamento com tanque séptico seguido de filtro plantado, com uma concentração média afluente equivalente de 73 mg L⁻¹. Silva et al. (2019), obtiveram eficiências médias de remoção que variaram entre 25 a 48%, porém com concentrações médias afluentes equivalentes a 684 mg L⁻¹. Lourenço et al. (2018), ao avaliarem uma *wetland* de fluxo horizontal subsuperficial, operando como pós-tratamento de esgoto doméstico provindo de filtro anaeróbio, utilizando *Typha sp.*(Taboa), obtiveram eficiências médias de remoção de 50%, sendo aplicadas concentrações médias afluentes equivalentes a 578 mg L⁻¹.

A concentração de SST após todo processo de tratamento foi inferior a 100 mg L⁻¹ estabelecidos pela legislação para disposição em curso d'água (MINAS GERAIS, 2008). A remoção de sólidos e o desempenho apresentado pelo sistema podem ser confirmados pelos baixos valores de turbidez, apresentando o efluente tratado 2,1 NTU e eficiência de 97%, sendo o WAHES a unidade em que houve maior efetividade no decaimento da turbidez com 94% (Tabela 5).

As Figuras 5 e 6, apresentam cada etapa de tratamento e a variação temporal dos valores encontrados para turbidez. Assim como os SST, os valores de turbidez também aumentaram após o TS, corroborando com as afirmações sobre o bombeamento do efluente para os *wetlands*, que ocasiona turbilhonamento e elevação da turbidez.

A turbidez, caracterizada pela presença de partículas suspensas na massa líquida (KADLEC et al., 1996), foi bastante reduzida nos sistemas de *wetlands*, apresentando valores baixos e um efluente final clarificado. Paoli (2010) no *wetland* plantado com taboa e utilizando escória de alto forno como elemento filtrante encontrou o valor de 9 NTU e para o *wetland* não plantado 8 NTU. Silva et al. (2019), obtiveram

eficiências médias de remoção que variaram 75 a 96%, com valores afluentes médios equivalentes a 345 NTU.

CONCLUSÕES

A operação do sistema de tratamento de efluentes composto por tanque séptico seguido de WAHES e WHES, permitiu concluir que, tal sistema demonstrou adequação do efluente sanitário gerado por funcionários de um escritório de uma mineradora aos padrões preconizados pela legislação ambiental vigente, quanto à remoção de matéria orgânica (DBO e DQO) e sólidos suspensos totais, sendo que a eficiência global para estas variáveis permaneceu acima dos 95%.

O efluente final apresentou-se clarificado com valores médios equivalentes a 2,1 NTU e eficiência global equivalente a 97%. O pH tendeu à neutralidade dentro do sistema de tratamento atingindo o valor de 7,7 e a temperatura não sofreu grandes oscilações durante o período, seguindo a temperatura ambiente.

Observou-se nesta pesquisa que os *wetlands* construídos foram essenciais para o tratamento de efluentes, sendo o WAHES o que apresentou maiores taxas de remoção dos poluentes, seguido do WHES. Assim o sistema mostrou-se viável para tratamento de efluentes sanitários de mesmas características com baixo tempo de detenção hidráulica e redução de área dos *wetlands*.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgotos: Despoluição das Bacias Hidrográficas**. ANA, 2017.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.969: Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7.229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ALMEIDA, J. M. A. B.; ALMEIDA, R. S.; SILVA, G. O. C.. Diagnóstico dos impactos ambientais provocados pelo lançamento de esgotos no Rio Piancó em Pombal-PB. **Revista GeoSertões**, v.2, n.3, p.75-93, 2017.

ALMEIDA, R. A.; PITALUGA, D. P. S.; REIS, R. P. A.. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. **Revista Biociências**, v.16, n.1, p.73-81, 2010.

APHA. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22 Ed. Washington: APHA, 2012.

BRASIL. **Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília: DOU, 2011.

CANO, V.. **Contribuições ao saneamento ambiental descentralizado visando o uso e a conservação da água no ambiente urbano e periurbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D.. Eficiência de tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios suportes. **Revista Ambiente e água**, v.8, n.1, p.172-185, 2013.

COSTA, G. B.; SILVA, I. P.; QUELUZ, J. G. T.; GARCIA, M. L.. Efeito de diferentes taxas de aeração na remoção de nitrogênio total e DQO em alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal aerados intermitentemente. **Holos Environment.**, v.19, n.4, p.672-687, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i4.12358>

COSTA, J. F.; PAOLI, A. O.; SPERLING, M. V.; SEIDL, M.. Avaliação do desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluente de reator UASB, com base em quatro anos de monitoramento. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.23, n.1, p.191-200, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1047>

DECEZARO, S. T.. **Sistema de tanque séptico e wetland construído vertical com recirculação para remoção de matérias orgânica e nitrogênio de esgoto doméstico**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

DORNELAS, F. L.. **Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FERREIRA, L. S.. **Avaliação do desempenho de wetlands construídos para o tratamento de efluente de reator UASB**:

Estudo de caso da ETE Vog Ville. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

FIA, F. R. L.. **Modelos de remoção de matéria orgânica e nutrientes de águas residuárias da suinocultura em sistemas alagados construídos**. Tese. (Doutorado em engenharia agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

FORGIARINI, F. R.; RIZZI, E. S.. Eficiência de diferentes macrófitas na remoção da matéria Orgânica biodegradável em 'wetland' construído de fluxo Vertical em clima subtropical. **Ciência & Engenharia**, v.25, n.2, p.79-86, 2016.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A.. **Tratamento de Esgotos Domésticos**, Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KADLEC, R. H.; WALLACE, D.. **Treatment wetlands**. 2 ed. Boca Raton: Press CRC, 2009.

KADLEC, R. H; KNIGHT, R. L.. **Treatment wetlands**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996.

KLETECK, R. M.. **Remoção/exporação de nutrientes de esgoto doméstico utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus ternifolius* e *Colocasia esculenta***. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

KÖPPEN, W.. **Climatologia**: Con un estudio de los climas de la tierra. Ciudad el México: FCE, 1948.

LOURENÇO, L. S.; RODRIGUES, E. B.; MOREIRA, M. A.; SKORONSKI, E.. Remoção de matéria orgânica e nutrientes de esgoto doméstico por *wetland* horizontal de fluxo subsuperficial MA estação de tratamento de aparecida – Cmpos Novos – SC. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.8, n.1, p.85-94, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i1.483>

MACHADO, A. I.; BERETTA, M.; FRAGOSO, R.; DUARTE, E.. Overview of the state of the art of constructed *wetlands* for decentralized wastewater management in Brazil – Review. **Journal of Environmental Management**, v.187, p.560–570, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.015>

MATOS, A. T.; MATOS, M. P.. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. Viçosa: UFV, 2017.

MATOS, M. P.; SPERLING, M. V.; MATOS, A. T.; DIAS, D. F. C.; SANTOS, C. R. S.. Colmatção e desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial ao longo de oito anos de operação. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.23, n.6, p.1227-1237, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018175770>

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, 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: DOE, 2008.

MONTEIRO, R. C. M.. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo "wetlands" para tratamento de água cinza**

visando reuso não potável. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MOURÃO, J. R.; SILVA, M. A. V.; ARRUDA, D. S.; RIBEIRO, L. C. L. J.; PIRES, M. S. G.. Avaliação da eficiência de wetlands construídas, em escala de laboratório, no pós-tratamento de efluentes domésticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUÍDOS, 2. **Anais**. Curitiba, 2015.

NORTE, A. C. C.. **Uso de Wetlands construídos como parte integrante de projetos paisagísticos**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2013.

PAOLI, A. C.. **Análise de desempenho e comportamento de wetlands horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos**. Dissertação (Mestrado em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

PAULINO, W. D.; TEIXEIRA, F. J. C.. **A questão ambiental e a qualidade da água nas bacias hidrográficas do Nordeste**. Brasília: CGEE, 2012.

PELLISSARI, C.. **Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura de leite empregando wetlands construídos de escoamento superficial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PHILLIPPI, L. S.; COSTA, R. H. R.; SEZERINO, P. H.. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. **Water Science and Technology**, v.40, n.3, p.125-131, 1999.

PHILLIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H.. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias**: utilização de filtros plantados com macrófitas. Autor, 2004.

PHILLIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; MAGRI, M. E.. Vertical flow constructed wetlands for nitrification of anaerobic pond effluent in southern Brazil under different loading rates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEM FOR WATER POLLUTION CONTROL, 10. **Anais**. Lisboa: IWA, 2006. p.631-639.

ROTÁRIA. **Estação de tratamento de esgotos – VALE MAC**. Projeto AS-BUILT – Memorial descritivo e de cálculo – MDAB-ARQ-17083-00. Nova Lima, 2017.

ROUSSO, B. Z.. **Avaliação de um sistema híbrido de wetlands construídos empregados no tratamento de esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

SALATI JUNIOR, E.; SALATI, E.; SALATI, E.. Wetlands projects developed in Brazil. **Water Science and Technology**, v.40, n.3, p.19-25. 1999.

SEZERINO, P. H.. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (Constructed Wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M.

E.; PHILLIPPI, L. S.. Experiências brasileiras com *wetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.

Engenharia Sanitária e Ambiental, v.20, n.1, p.151-158, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152201502000096615>

SEZERINO, P. H.; OLIJNYK, D. P.; BENTO, A. P.; PANCERI, B.; PHILLIPPI, L. S.. Tratamento de efluente doméstico combinado com efluente agroindustrial utilizando filtro plantado com macrófitas - constructed wetlands. **Periódico: Evidência (Videira)**, v.6, p.229-235, 2006.

SEZERINO, P. H.; SANTOS, M. O.; PELISSARI, C.; CELIS, G. S.; PHILLIPPI, L. S.. *Wetlands* construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE WETLANDS CONSTRUÍDOS, 2. **Anais**. Curitiba, 2015.

SILVA, É. L.; SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A.; MENDES, M. R.; REZENDE, D. C. V.; OLIVEIRA, W. M.; RIBEIRO, W. A. S.; TEIXEIRA, P. T. R.. Desempenho de SACs cultivados com forrageiras, quanto à remoção de matéria orgânica de esgoto doméstico. **Revista Ibero - Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.4, p.36-44, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0004>

SILVA, I. P.; COSTA, G. B.; QUELUZ, J. G. T.; GARCIA, M. L.. Effect of hydraulic retention time on chemical oxygen demand and total nitrogen removal in intermittently aerated constructed wetlands. **Ambiente & Água** v.15, n.3, p.1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2504>

SILVA, M. V.; BUENO, R. F.. Avaliação de um wetland construído híbrido no tratamento de esgoto sanitário. **Holos Environment**, v.15, n.2, p.212-222, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v15i2.9580>

SOLANO, M. L.; SORIANO, P.; CIRIA, M. P.. Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages. **Biosystem Engineering**, v.87, n.1, p.109-188, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.10.005>

SOUZA, F. F.; BASTOS, R. G.; GOMES, M. P. M.; PULSCHEN, A. A.. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. **Ambiente e Água – NA Interdisciplinar Journal of Applied Science**, v.10 n.3, p.587 - 597, 2015.

TONIATO, J. V.. **Avaliação de um wetland construído no tratamento de efluentes sépticos—estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2005.

TREIN, C. M.; PELISSARI, C.; HOFFMAN, H.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H.. Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimento comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos *wetlands* construídos. **Ambiente Construído**, v.15, n.4, p.351-367, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000400055>

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Constructed wetlands treatment of municipal wastewater**. Environmental Agency Protection, 2000.

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgoto**: Princípio do tratamento biológico de águas residuárias. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, .2014.

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Universidade federal de Minas Gerais, 2005.

VYMAZAL, J.; ŠVEHLA, J.. Iron and manganese in sediments of constructed *wetlands* with horizontal subsurface flow treating municipal sewage. **Ecological Engineering**, v.50, p.69-75, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.027>

WHITE, D.; BRIAN, M.; GEORGE, G.. The influence of water level fluctuations on the potential for convective flow in the emergent macrophytes *Typha domingensis* and *Phragmites australis*. **Aquatic Botany**, v.86, p.369-376, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.01.006>

WU, H.; FAN, J.; ZHANG, J.; ONG, H. H.; GUO, W.; HU, Z.; LIANG, S.. Decentralized domestic wastewater treatment using intermittently aerated vertical flow constructed wetlands: impact of influent strengths. **Bioresource Technology**, v.176, p.163-168, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.041>

WU, H.; FAN, J.; ZHANG, J.; ONG, H. H.; GUO, W.; LIANG, S.; LV, J.; LU, S.; WU, W.; WU, S.. Intensified organics and nitrogen removal in the intermittent-aerated constructed wetland using a novel sludge-ceramsite as substrate. **Bioresource Technology**, v.210, p.101-107, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.051>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.