

XII - 01 ANÁLISE COMPARATIVA DE DOIS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS NA VILA DOIS RIOS, ILHA GRANDE/RJ, BRASIL

Maria Clara Vieira Pereira de Souza ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal Fluminense. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Grupo de pesquisa BIOTEMA (@gpbiotema).

Rayssa Vogeler Berquó Jacob ⁽²⁾

Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Grupo de pesquisa BIOTEMA (@gpbiotema)

Ilanna Pettezzoni Delman ⁽³⁾

Graduanda em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Grupo de pesquisa BIOTEMA (@gpbiotema).

Vinicius Pereira Fugimoto de Andrade ⁽⁴⁾

Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Grupo de pesquisa BIOTEMA (@gpbiotema)

André Luís de Sá Salomão ⁽⁵⁾

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Grupo de pesquisa BIOTEMA (@gpbiotema).

Endereço ⁽¹⁾: R. São Francisco Xavier, 524 – Maracanã – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20550-900 - Brasil - (21)97901-9133; e-mail: mariaclaravieira@gmail.com

RESUMO

A dificuldade de acesso aos locais em muitas comunidades isoladas e rurais trazem complexidade para a universalização do saneamento básico a esta parte da população. Uma das vantagens do tratamento descentralizado do esgoto é que este pode ser tratado próximo à fonte geradora, diminuindo a necessidade de grandes investimentos em instalações e implantação das extensas redes coletoras. O objetivo do trabalho foi comparar as eficiências de tratamento de dois sistemas descentralizados de tratamento de esgoto instalados no CEADS, campus da Universidade do Estado do Rio de Janeiro localizado na Vila de Dois Rios, Ilha Grande, RJ. Sendo um deles, o Ecossistema Engenheirado (EE), que combina sistema convencional de tratamento composto por tanque anaeróbio, aeróbio e anóxico, com sistema ecológico, composto por *wetlands* construídos, e outro, o Sistema Avançado Anaeróbio de Tratamento de Esgoto (SAATE), composto apenas por sistemas convencionais anaeróbios. A comparação se deu por meio da análise das médias dos efluentes tratados de cada sistema, a eficiência global dos parâmetros monitorados e da adequação à legislação vigente NOP INEA- RJ 45/21, que determina os limites de lançamento de efluente em corpos hídricos. Ambos os sistemas apresentaram resultados satisfatórios. Apesar do EE possuir um maior custo operacional devido ao gasto com energia elétrica, demandar uma maior frequência de manutenção para realização da poda das macrófitas, e necessitar de uma área maior para sua instalação, este apresentou melhor eficiência global na remoção de todos os parâmetros analisados ao longo dos meses de pesquisa, contribuindo assim, para uma melhor qualidade dos corpos hídricos após o lançamento do efluente tratado.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes domésticos, saneamento rural, áreas insulares, Ecossistema Engenheirado, *wetlands* construídos.

INTRODUÇÃO

O último levantamento realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023) confirmou que pouco mais da metade (56%) do total da população brasileira é atendida com os serviços de rede de esgoto. Tradicionalmente, o modelo aplicado no tratamento de efluentes envolve uma rede de coleta de esgotos



é centralizado, com o transporte dos efluentes até uma grande instalação para o seu tratamento, a estação de tratamento de esgoto (ETE) (USEPA, 2005).

Apesar da falta de acesso aos serviços de esgotamento sanitário também existir em grandes centros urbanos, ainda nos dias de hoje persiste uma enorme disparidade entre as áreas urbanas e rurais: a cada dez pessoas sem acesso às práticas adequadas de saneamento, sete vivem em áreas rurais (TONETTI, 2018; WHO/UNICEF, 2019). Estes dados sugerem que depender somente de sistemas centralizados para a gestão sustentável do tratamento de efluentes mostra-se insuficiente, pois muitas vezes esse modelo não contempla regiões isoladas, rurais ou periurbanas (CAPODAGLIO et al., 2017; JACOB, 2023).

Visto que estas populações ainda se encontram às margens dos serviços públicos que garantem os direitos humanos essenciais para a qualidade de vida da população, como os serviços de coleta e tratamento dos efluentes domésticos, adotar novas estratégias para aumentar a cobertura dos serviços de esgotamento sanitário é necessário (BRASIL, 2019; CAPODAGLIO et al., 2017). Para tal, têm-se as soluções descentralizadas de tratamento de efluentes domésticos, uni ou multifamiliar, como um dos caminhos para a universalização do serviço de esgotamento sanitário (TONETTI, 2018). Nestes sistemas, o efluente é coletado, tratado e descartado (ou utilizado) próximo ao local de sua geração (SUBTIL et al., 2016).

Diversos sistemas não convencionais e descentralizados de tratamento de esgotos têm sido amplamente descritos na literatura e propostos para atender às populações rurais e/ou comunidades isoladas (SALOMÃO et al., 2012; CAPODAGLIO et al., 2017). Ao longo da evolução tecnológica, sistemas baseados em processos aeróbios e anaeróbios de transformação de matéria e nutrientes foram introduzidos, melhorando a qualidade do efluente produzido a custos operacionais significativamente baixos (SEZERINO et al., 2015).

Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi analisar e comparar as eficiências globais de remoção dos poluentes de dois sistemas descentralizados de tratamento de esgoto doméstico, o Ecossistema Engenheirado e o Sistema Avançado Anaeróbio de Tratamento de Esgoto, a fim de verificar o enquadramento do efluente final perante a legislação ambiental vigente no estado do Rio de Janeiro - NOP INEA- RJ 45/21 (RIO DE JANEIRO, 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dois sistemas de tratamento biológico de esgotos domésticos apresentados neste trabalho estão em operação no Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável (CEADS), *campus* da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), localizado na Vila Dois Rios, Angra dos Reis/RJ, Brasil. O CEADS (Figura 1) é frequentado de forma temporária (regime de alojamento) por estudantes, professores, pesquisadores e visitantes de diversos departamentos da UERJ e de outras instituições de ensino e pesquisa, e de forma permanente pelos seus colaboradores (administração, segurança e limpeza). Dessa forma, as características do esgoto doméstico e o volume diário gerado sofrem flutuações em função de seu regime de alojamento.

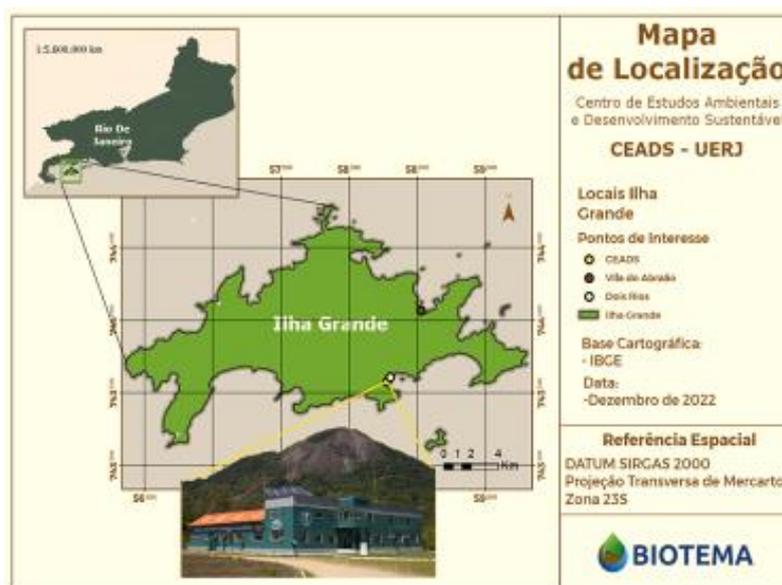


Figura 1: Localização do CEADS na Vila Dois Rios – Ilha Grande, sul do estado do Rio de Janeiro/Brasil.

Os arranjos tecnológicos de tratamento descentralizado de esgotos domésticos, denominados Ecosistema Engenheirado (EE) e Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE), foram instalados e vêm sendo operados desde 2009. O EE combina tecnologias de tratamento convencional como fossa séptica e filtro aerado submerso, com tratamento ecológico por meio de 3 tanques vegetados (*wetlands* construídos - WC) e um tanque de algas. Já o SAATE possui um tratamento convencional, com reatores anaeróbios de fluxo ascendente e um filtro anaeróbio. As características de cada sistema de tratamento, tais como área ocupada, população atendida, geração *per capita*, vazão média e o arranjo tecnológico foram apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Principais características dos sistemas descentralizados de tratamento de efluentes domésticos Ecosistema Engenheirado (EE) e Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE).

Características	EE (SALOMÃO, 2010)	SAATE (AMBIENTE E BRASIL, 2009)
Área (m ²)	25	7
População atendida (habitantes)	14	120
Geração per capita (L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	87	100
Vazão média (L.dia ⁻¹)	1250	14688
Arranjo tecnológico	<p>Tratamento convencional: Caixa de gordura + tanque séptico de fluxo ascendente + filtro aerado submerso + biofiltro misto</p> <p>Tratamento ecológico: WCs de fluxo superficial com a macrófita <i>Eichhornia crassipes</i> (Pontederiaceae) – Aguapé (WCI) + tanque de algas + WC2 de fluxo subsuperficial com <i>Typha</i></p>	<p>Tratamento convencional: Reator anaeróbio de fluxo ascendente de duplo estágio + filtro anaeróbio</p>

	domingensis (Typhaceae) – Taboa + WC3 de fluxo subsuperficial com gramíneas	
--	---	--

Para avaliação comparativa do desempenho dos sistemas, foram monitorados 3 pontos, sendo eles: esgoto bruto, efluente final (após todas as etapas de tratamento) do EE e do SAATE (Figura 2). Foram realizadas 11 campanhas de amostragem, de julho/2022 a março/2023. Os parâmetros físico-químicos medidos foram: pH, Turbidez, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (pela relação 1:2 de DQO), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Sólidos Suspensos Totais (SST), segundo metodologias disponíveis em APHA (2017).

As eficiências de tratamento foram analisadas visando atender os padrões de lançamento de efluentes líquidos estipulados pela legislação vigente no estado do Rio de Janeiro, a Normativa Operacional - NOP/INEA nº45/2021, com limites de: pH (5 – 9), DBO (< 120 mg.L⁻¹) e SST (< 120 mg.L⁻¹) (RIO DE JANEIRO, 2021).



Figura 2: Fotografias do Ecossistema Engenheirado à esquerda e do Sistema Anaeróbico Avançado de Tratamento de Esgoto à direita.

RESULTADOS OBTIDOS

Durante o período em que foi realizado o monitoramento pelo grupo de pesquisa BIOTEMA, foi possível observar que ambos os sistemas apresentaram facilidade de operação, pouca necessidade de manutenção, elevada vida útil, não emitiram odor, e não causaram grandes impactos ambientais em sua operação.

Por outro lado, a nível de tratamento, os sistemas diferem à medida que o EE possui o tratamento terciário, com sistema aeróbico, anóxico e anaeróbico; enquanto o SAATE possui tratamento primário avançado, apenas com tratamento anaeróbico. Além disso, o EE necessita de uma área maior e exige consumo energético, porém apresenta potencial de reúso de água e paisagístico.

Para validação dos dados, foi necessário levar em consideração algumas adversidades frequentes em ambientes insulares ou de comunidades isoladas, tais como as inúmeras interrupções na alimentação e operação do EE devido às constantes intermitências de energia elétrica na Vila, afetando diretamente o funcionamento do sistema, onde além do período inativo, foi necessário um tempo até que o sistema atingisse novamente a aclimatação ideal. Ademais, outro fator que influenciou na variação dos dados foi o fluxo heterogêneo de pessoas alojadas nas instalações do CEADS. Como o cronograma acompanhou o calendário da UERJ, ocorreu uma grande flutuação na frequência de visitantes, o que dificultou manter uma densidade ideal de microrganismos ativos no sistema para a realização dos processos de biodegradação da matéria orgânica presente.

As análises das amostras dos efluentes bruto e final de ambos os sistemas foram obtidas por meio da média aritmética de todos os parâmetros monitorados, durante o período das campanhas. Após isto, os valores foram avaliados quanto ao enquadramento da legislação NOP INEA- RJ 45/21 (RIO DE JANEIRO, 2021) (Tabela 2).

Tabela 2: Concentrações dos efluentes finais de cada sistema, Ecosistema Engenheirado (EE) e Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Esgoto (SAATE), representados pela média aritmética das campanhas realizadas.

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente Final EE	Efluente Final SAATE	NOP/INEA 45/2021
pH	6,26	6,6	6,8	5 – 9
SDT (mg/L)	529	406	520	-
Turbidez (NTU)	272	23	49,9	-
SST (mg/L)	130	37,3	27,5	< 120 mg.L ⁻¹
DQO (mg/L)	420	104,2	140,4	-
DBO (mg/L)	110	52,1	70,2	< 120 mg.L ⁻¹

Legenda: Os valores em verde estão enquadrados dentro dos limites estabelecidos nas legislações vigentes.

A análise dos resultados foi satisfatória para a maioria dos parâmetros analisados, porém, quanto à remoção de sólidos dissolvidos totais, foi relativamente baixa para ambos os sistemas, onde o EE removeu 23% dos sólidos, enquanto o SAATE removeu apenas 1,7%. Já para o parâmetro de DQO, as eficiências de redução no EE e no SAATE, foram de 75% e 67%, respectivamente. Outros parâmetros que tiveram suas eficiências satisfatoriamente verificadas foram: turbidez, e sólidos suspensos totais, com 92 e 81%; 71 e 79%, no EE e no SAATE, respectivamente.

Quanto ao enquadramento da NOP INEA- RJ 45/21, ambos os sistemas obtiveram todos os parâmetros analisados (pH, sólidos suspensos totais e DBO) enquadrados na legislação.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apesar do Ecosistema Engenheirado ter apresentado uma remoção de matéria orgânica satisfatória, por se tratar de uma região insular, ocorreram intermitências no fornecimento de energia com uma frequência relativamente alta, desfavorecendo o estabelecimento das bactérias aeróbias e o processo total de aclimação do tanque aeróbio, o que certamente comprometeu o seu desempenho do tratamento secundário (principalmente de SDT), visto que em anos anteriores as eficiências se mostraram superiores aos valores encontrados durante este período de avaliação.



O SAATE, por sua vez, teve desempenho enquadrado nos parâmetros estabelecidos na legislação vigente, no entanto, mesmo não necessitando de energia elétrica, apresentou eficiência inferior ao EE e uma defasagem no tratamento do esgoto, devido à sua limitação com apenas tecnologias primárias e anaeróbias de tratamento.

Ao avaliar a eficiência do EE em trabalhos anteriores, como Salomão (2009) e Freitas (2011), pôde-se perceber que o desempenho do tratamento poderia ter sido superior às encontradas no presente estudo, tendo alcançado eficiências tais como: DBO= 10,9 mg. L⁻¹ (92,8% de eficiência de redução), SDT= 317 mg. L⁻¹.

Outro estudo realizado no mesmo sistema, em Salomão et al. (2012), apresentou ajustes no tanque aerado submerso durante o período de monitoramento, alterando o modelo de aeração e tornando-o mais eficiente na redução dos parâmetros analisados em relação a estudos anteriores, alcançando reduções de DQO em 93,2%, com concentrações finais entre 36,3 ± 12,7 mg. L⁻¹; e turbidez em 98%.

Em um sistema semelhante ao EE implantado na Austrália, Kavanagh et al. (2007) obteve resultados de redução de DQO de 90%, e uma DBO final de 10 mg. L⁻¹. A similaridade da eficiência alcançada pode ser explicada pela semelhança do clima de ambas as regiões.

Ainda de acordo com a literatura, sistemas de tratamento de esgoto sanitário semelhantes - *wetlands* construídos empregado pós reator UASB - apresentaram eficiências médias de redução de 70% para DBO e 72% para DQO (COSTA et al., 2013; SEZERINO et al., 2015). Já em IWA (2000), o efluente final após o tratamento com WCs alcançou uma média de 70% de eficiência na redução de DBO e 40% de remoção de sólidos totais. Ao comparar com os dados obtidos no presente estudo, é possível observar que a eficiência global para o parâmetro de DBO e DQO foram semelhantes com alguns outros estudos analisados, porém, há uma grande defasagem quanto à remoção de sólidos totais.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que ambos os sistemas - SAATE e EE - apresentaram uma eficiência global satisfatória na remoção da maioria dos parâmetros analisados ao longo dos meses de monitoramento, gerando como produto um efluente final enquadrado dentro dos limites estabelecidos pela legislação do estado do Rio de Janeiro, a NOP-45 do INEA. No entanto, o Ecossistema Engenheirado apresentou uma maior eficiência na remoção de todos os parâmetros analisados. Quanto aos níveis de SST observados em ambos os sistemas, estes possivelmente poderiam ser controlados por ajustes na manutenção, como a retirada periódica de lodo do SAATE e limpeza do filtro de areia do EE.

A principal diferença entre os dois sistemas está associada ao nível de tratamento desempenhado: enquanto o EE apresenta tratamento biológico aeróbio, o SAATE dispõe apenas de tecnologias de digestão anaeróbia. Esta diferença fundamental influencia nos processos de degradação do SDT e da DBO dissolvida, já que ambientes aeróbios ou com maior disponibilidade de oxigênio dissolvido estão associados a maiores taxas de metabolização. Além disso, os requisitos de área também foram distintos, sendo maior no caso do EE.

A escolha do sistema mais adequado deve considerar fatores como: disponibilidade de espaço, recursos financeiros, número de pessoas a serem beneficiadas, temperatura da região e disponibilidade hídrica. No que se refere ao CEADS, torna-se fundamental considerar o contexto de oscilações no sistema, como a instabilidade no fornecimento de energia na ilha, com conseqüente interrupção na alimentação do sistema; e flutuação populacional no edifício.

Finalmente, os tratamentos descentralizados podem ser uma opção viável para cumprir a meta de saneamento preconizada no 6º objetivo dos ODS (Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável), que até 2030 visa alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos e acabar com a defecação a céu aberto. Através da combinação de tecnologias disponíveis, o esgoto bruto pode ser tratado próximo à fonte geradora, não havendo necessidade de grandes investimentos para a instalação das extensas redes coletoras que levam o esgoto produzido até a estação de tratamento. Portanto, a implementação de sistema de tratamento descentralizado de esgotos domésticos, quando instalados e monitorados adequadamente, apresenta-se como



caminho para a preservação dos corpos hídricos, da saúde da população e da universalização do acesso aos serviços de saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMBIENTE E BRASIL. Sistema Anaeróbio Avançado de Tratamento de Efluentes (Memorial Técnico, Memória de Cálculo e Manual de Operação e Manutenção). Documento técnico. Rio de Janeiro, 2009.
2. APHA; AWWA & WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23th. ed., 2017. 1
3. BRASIL. Programa Nacional de Saneamento Rural. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. P. 260. Brasília, 2019.
4. CAPODAGLIO, A. G., CALLEGARI, A., CECCONET, D. & MOLOGNONI, D. Sustainability of decentralized wastewater treatment technologies. *Water Practice and Technology* 12 (2), 2017.
5. FREITAS, T.R. Desempenho de tanques vegetados em um ecossistema engenheirado para tratamento descentralizado de esgotos domiciliares na Ilha Grande, RJ. Dissertação de Mestrado. UERJ. p. 129. 2011.
6. IWA. Constructed Wetlands for Pollution Control: Process, Performance, Design and Operation. In: Scientific and Technical Report, vol. 8. IWA Publishing, England, p. 123. 2000
7. JACOB, R. V. B. Avaliação técnica-operacional e monitoramento de um sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos como proposta de reúso de água em áreas isoladas. 2023, 97 f.
8. KAVANAGH, L. J. E KELLER, J. Engineered ecosystem for sustainable on-site wastewater treatment. *Water research* 41, p. 1823–1831. Australia, 2007.
9. METCALF E EDDY. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos; tradução Ivanildo Hespagnol, José Carlos Mierzwa. 5a ed. Porto Alegre: AMGH. 2016.
10. MOREIRA, F. D.; DIAS, H. O. Constructed wetlands applied in rural sanitation: a review. *Environmental Research*. v. 190 n. 110016, 2020
11. RIO DE JANEIRO. NOP-INEA-45 - Estabelece critérios e padrões de lançamento de esgoto sanitário. RJ, 2021.
12. SALOMÃO, A.L.S. Ecossistema engenheirado no tratamento descentralizado de águas residuárias de pequenos geradores: a engenharia ecológica na Ilha Grande, RJ. Dissertação de Mestrado. UERJ. 166p. 2010.
13. SALOMÃO, A.L.S; MARQUES, M.; SEVERO, R. G; ROQUE, O. C. C. Engineered ecosystem for on-site wastewater treatment in tropical areas. *Water Science and Technology*, v.66, n.10, 2012.
14. SALOMÃO, A.L.S; ROQUE, O. C. C; SILVA, A. S. A; SANTOS, G. E. de S. Ecossistema Engenheirado aplicado ao tratamento dos efluentes gerados pelo Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável da UERJ. *Revista inea ESPECIAL*, p58-71, 2022.
15. SEZERINO, P. H, BENTO, A. P., DECEZARO, S. T., MAGRI, M., EPHILIPP, L. S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Eng Sanit Ambient*. v.20 n.1, p. 151-158. 2015.
16. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral ano de referência 2022. Brasília, 2023.
17. SOUZA, MARIA CLARA VIEIRA PEREIRA DE. Estudo comparativo entre dois sistemas descentralizados de tratamento de esgoto doméstico instalados no Centro de Estudos Ambientais e de Desenvolvimento Sustentável da UERJ. Dissertação de Mestrado. UERJ. 96 f. 2023
18. SUBTIL, E. L., SANCHEZ, A. A. & CAVALHERO, A. Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reúso de água. *Ciência e Tecnologia Ambiental: Conceitos e Perspectivas*, 201-220. Editora UFABC, Santo André, Brasil, 2016.
19. TONETTI, A. L. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. Campinas, SP: Biblioteca/Unicamp, 2018.
20. USEPA - United States Environmental Protection Agency. Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems, EPA/832-B-05-001. Washington, DC, 66 pp, 2005.
21. VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Sci. Total Environ*. 380, 48–65, 2007.
22. WHO/UNICEF. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization, p. 140. USA, 2019.



23. ZIMMELS, Y.; KIRZHNER, F.; MALKOVSKAJA, A. Application of elchhornia crassipes and pistia stratiotes for treatment of urban sewage in Israel. Journal of environmental management. v. 81 n.4, p. 420-428, 2006.