REMOÇÃO DE HORMÔNIOS E NUTRIENTES DE ESGOTO DOMÉSTICO UTILIZANDO MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Letícia Beatriz de Lima[(1)]
Graduada em Engenharia Civil pela Unesp de Ilha Solteira. Mestranda em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Unesp de Ilha Solteira. Trabalha com tecnologias de tratamento de água e esgoto.
José Antônio Zanetoni Filho[(2)]
Graduado em Engenharia Civil pela Unesp de Ilha Solteira. Mestre em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Unesp de Ilha Solteira. Doutorando em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela USP de São Carlos. Trabalha com sistemas alternativos e sustentáveis de tratamento e polimento de esgoto.
Liliane Lazzari Albertin[(3)]
Graduada em Engenharia Química pela UFSCar. Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental pela USP de São Carlos. Doutora em Ciências da Engenharia Ambiental pela USP de São Carlos. Trabalha com planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, hidrometria, hidrologia, qualidade da água, controle de poluição e sedimentologia.

Endereço[(1)]**:** Rua Nazaré, 48, apartamento 11 - Zona Norte - Ilha Solteira - São Paulo - CEP: 15385-000 - Brasil - Tel: +55 (17) 99606-6015 - e-mail: leticiabeatrizlima@hotmail.com.

RESUMO

A falta de coleta de esgoto é um problema que o Brasil ainda enfrenta. Ademais, parte do esgoto coletado é lançado em corpos d'água sem receber tratamento. Devido à utilização de produtos como fármacos e pesticidas, o esgoto acaba apresentando resíduos dessas substâncias, os poluentes emergentes. Destacam-se aqueles que causam desregulação endócrina nos organismos aquáticos, como os hormônios 17α-etinilestradiol (EE2) e estriol (E3). O esgoto também apresenta grandes concentrações de matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, causadores de eutrofização em mananciais. O tratamento de efluentes é fundamental para evitar estes problemas, mas os sistemas convencionais não removem algumas dessas substâncias. Novos métodos vêm sendo estudados, como a fitorremediação. Nesta pesquisa, foram utilizadas macrófitas aquáticas da espécie *Landoltia punctata* em um sistema de polimento de efluentes provenientes de uma lagoa de estabilização. Foram analisadas as concentrações de EE2, E3, DBO, DQO, NT, NO_3^- e PT, na entrada e saída do sistema, para verificar a eficiência de remoção destes compostos, que foi de 83,50%, 76,24%, 29,88%, 20,90%, 17,57%, 14,63% e -9,99%, respectivamente. O sistema se mostrou muito eficiente para remoção hormonal, podendo ser utilizado como etapa complementar de estações de tratamento de esgoto.

PALAVRAS-CHAVE: desreguladores endócrinos, polimento de efluentes, lemnas.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição Federal de 1988 e pela Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, que o define como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: a) abastecimento de água potável; b) esgotamento sanitário; c) limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos; e d) drenagem e manejo das águas pluviais. Serviços estes que devem ser realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), obtidos pela Secretaria Nacional de Saneamento em 2018, 83,6% da população brasileira é abastecida por rede de distribuição de água, 92,1% tem coleta domiciliar de resíduos sólidos, mas apenas 53,2% dos brasileiros tem acesso aos serviços de esgotamento sanitário. Ou seja, quase metade da população ainda não tem coleta de esgoto. E da fração coletada, 25,5% do esgoto é lançado nos cursos d'água sem receber tratamento.

Além do déficit de coleta e tratamento, a eficiência das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) é outra questão do saneamento básico brasileiro que precisa ser discutida. As ETEs convencionais não são capazes de remover certos compostos, como os poluentes emergentes, devido a suas diversas propriedades físico-químicas (GARCIA-IVARS *et al.*, 2017). Consequentemente, os corpos hídricos são contaminados por essas substâncias, colocando em risco os organismos dos ecossistemas aquáticos e até mesmo a saúde humana (GEISSEN *et al.*, 2015).

Geissen *et al.* (2015) definem os poluentes emergentes como substâncias químicas sintéticas ou naturais, que geralmente não são monitoradas no ambiente aquático, mas que podem causar efeitos ecológicos adversos. Devido ao grande consumo de produtos como fármacos, hormônios esteroides, protetores solares e pesticidas, o esgoto acaba apresentando resíduos dessas substâncias. Algumas delas podem afetar as funções do sistema endócrino dos organismos ou seus descendentes (DAMSTRA *et al.*, 2002), por isso são chamadas de desreguladores endócrinos.

De acordo com Lei *et al.* (2020), 17β-estradiol (E2), 17α-etinilestradiol (EE2) e estriol (E3) são os hormônios sexuais mais predominantes nos esgotos e rios, pois são comumente utilizados em métodos contraceptivos e terapias de reposição hormonal. Uma parte destes compostos é metabolizada pelo corpo e a outra é eliminada pela urina. Segundo estudo de Hu *et al.* (2017), as concentrações ambientais desses esteroides (entre 0,05 ng/L e 1 mg/L) não são letais para embriões de peixes, mas induzem teratogênese (malformações) e retardo de eclosão.

Testes realizados por Sun *et al.* (2020) indicaram que a exposição crônica de peixes-zebra (*Danio rerio*) ao E2 em concentrações ambientais (200 ng/L) causa feminização das gônadas em peixes machos, além de significativa redução dos espermatídeos. O estudo mostrou também que este hormônio altera o metabolismo lipídico dos machos para um padrão feminino, possibilitando um maior acúmulo de lipídios, principalmente no fígado.

Além dos poluentes emergentes, os efluentes apresentam grandes concentrações de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, devido a sua composição orgânica. A elevada carga de matéria orgânica presente no esgoto é a principal responsável pela eutrofização de vários ambientes aquáticos, fenômeno que vem chamando atenção para o grau de poluição dos rios e ambientes de água doce (TUNDISI *et al.*, 2006).

Segundo Thomann e Mueller (1987), eutrofização de um corpo hídrico é o crescimento de plantas aquáticas em níveis que causam interferências com seus usos desejáveis. A camada de plantas na superfície bloqueia a entrada de luz, impedindo a realização de fotossíntese pelos outros organismos. O consumo de oxigênio fica então maior que a sua produção, causando um déficit. O ambiente anaeróbico propicia o desenvolvimento de organismos indesejáveis, como as cianobactérias, que podem produzir toxinas e causar a morte dos seres aquáticos (KARJALAINEN *et al.*, 2007).

Outros organismos que podem se desenvolver em ambientes eutrofizados são as plantas macrófitas, que podem ser utilizadas na fitorremediação – técnica de tratamento de efluentes que utiliza plantas e seus microrganismos associados para remover poluentes. Reinhold *et al.* (2010) testaram as espécies *Landoltia punctata* e *Lemna minor* na fitorremediação de fármacos e pesticidas em pequenos reatores e concluíram que elas auxiliam na degradação dessas substâncias, além de aumentarem a remoção de poluentes orgânicos através de processos biológicos.

Chen *et al.* (2018) cultivaram *Landoltia punctata* em efluente de *wetlands* durante 16 dias e verificaram uma remoção de 95,6% de nitrogênio total e 89,5% de fósforo total. Observaram também que esta espécie apresenta uma das mais altas taxas de crescimento, chegando a um valor médio de 6,04 g/m²/d. Além disso, a *Landoltia punctata* pode ser aproveitada como matéria prima para biocombustíveis, devido à presença de amido em sua biomassa (LIU *et al.*, 2015). Por estes motivos, esta foi a espécie escolhida para a realização da presente pesquisa.

OBJETIVOS

Desenvolver um sistema de polimento de esgoto com lagoa de macrófitas da espécie *Landoltia punctata* e analisar sua eficiência de remoção de hormônios e nutrientes do efluente.

METODOLOGIA UTILIZADA

Foi construído no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS-UNESP) um tanque em aço-carbono, revestido com material anticorrosivo, com 5 metros de comprimento, 1 metro de largura e 0,8 metro de altura. Neste tanque, um efluente da lagoa de estabilização da cidade passaria por um processo de polimento através de fitorremediação com macrófitas aquáticas (lemnas). Como mostrado na Figura 1, ele foi dividido por chicanas em 4 seções iguais, nomeadas de A a D, para promover um cultivo periódico das lemnas.

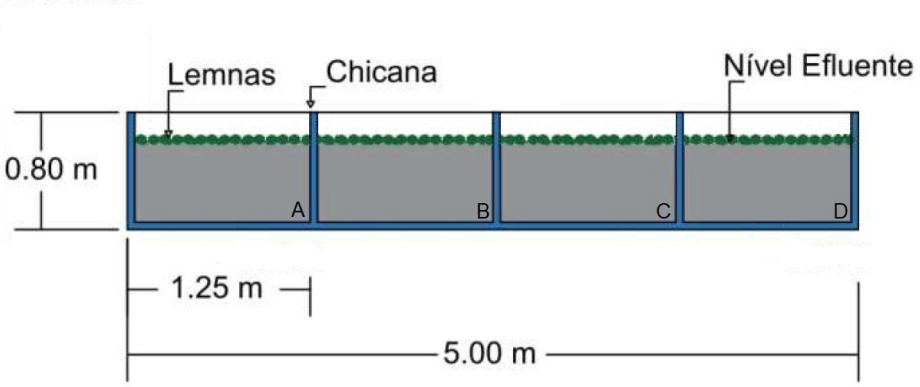


Figura 1: Seção longitudinal do tanque.

O tanque foi apoiado no chão com suportes que possibilitaram uma inclinação longitudinal de 0,1%. Adotou-se uma lâmina d'água de 0,6 metro, resultando em um volume (V) de 3000 litros de efluentes. O tempo de detenção hidráulica (t) escolhido foi de 7 dias. Então, semanalmente, um caminhão-tanque coletava o efluente do emissário da ETE de Ilha Solteira e o transportava até o laboratório. Lá, ele era armazenado em uma caixa para então ser bombeado para o tanque, como mostrado na Figura 2.



Figura 2: Sistema de polimento de esgoto.

Utilizando a equação 1, calculou-se uma vazão (Q) de aproximadamente 428,6 L/dia para a bomba.

$$Q = V/t \qquad \text{equação (1)}$$

Lemnas da espécie *Landoltia punctata* foram inseridas no tanque. Adotou-se uma densidade superficial de 350 g/m², quantidade suficiente para cobrir a superfície e evitar o surgimento de algas (ZHAO *et al.*, 2014). Sendo assim, cada seção recebeu uma massa de 440 g. Essa inserção foi feita em intervalos de 6 dias. Ou seja, no 1º dia a massa de lemnas foi inserida na seção A, no 7º dia foi inserida na seção B, no 13º dia foi inserida na seção C e no 19º dia na seção D. Ao final de 24 dias, tinham-se cultivos de 6, 12, 18 e 24 dias para análise da biomassa. A Figura 3 mostra uma seção do tanque no fim do período.



Figura 3: Seção do tanque de lemnas.

Depois de inserir as lemnas em todas as seções, as amostras do efluente foram coletadas uma vez por semana na entrada e saída do tanque, pontos indicados na Figura 4, a fim de avaliar a eficiência do polimento. Ao longo de 4 semanas, foram analisados os seguintes parâmetros: 17α-etinilestradiol (EE2), estriol (E3), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NT), nitrato (NO_3^-) e fósforo total (PT).



Figura 4: Pontos de coleta do efluente.

Para a obtenção das amostras de EE2 e E3 no efluente, foi utilizado o método da Microextração Líquido-Líquido Dispersiva – DLLM (MARTINS *et al*., 2012), no qual o metanol foi usado como solvente dispersor e o tetracloreto de carbono como solvente extrator. Em seguida, a amostra foi centrifugada e a parte sedimentada foi extraída com uma seringa e analisada no cromatógrafo em um comprimento de onda de 280 nm. Segundo o tempo de retenção de cada composto, os picos de E3 (1) e EE2 (2) foram identificados, como mostrado na Figura 5.

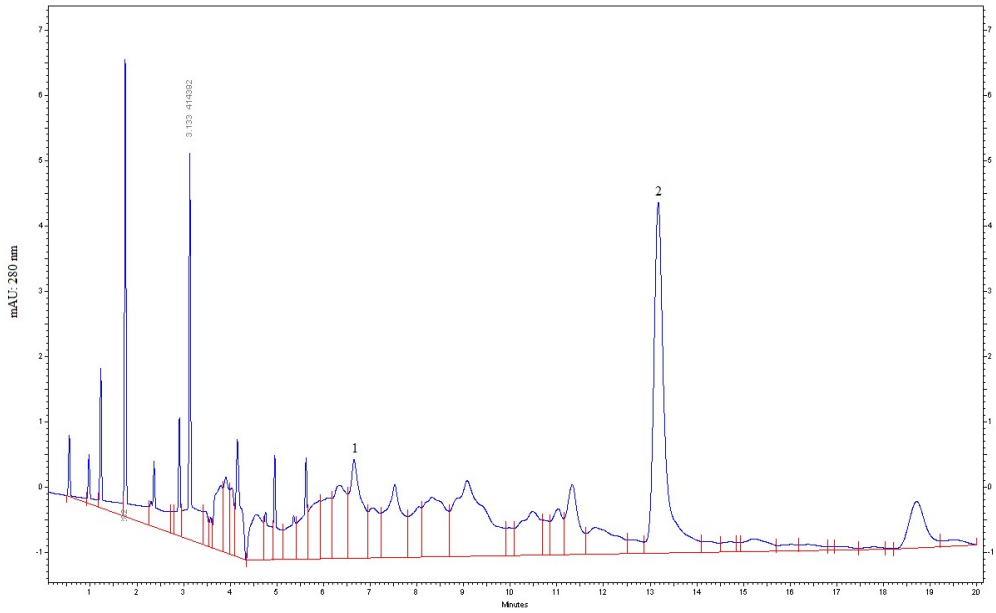


Figura 5: Perfil cromatográfico dos hormônios.

A Tabela 1 mostra os métodos de análise utilizados para cada um dos parâmetros.

Tabela 1: Parâmetros e métodos analíticos utilizados.

PARÂMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	UNIDADE
EE2	Cromatografia líquida – HPLC (ROBINSON e HELLOU, 2009; GENG *et al.,* 2018)	µg/L
E3	Cromatografia líquida – HPLC (ROBINSON e HELLOU, 2009; GENG *et al.,* 2018)	µg/L
DBO	Modificação azida – 4500-O (*Standard Methods*)	mg/L
DQO	Análise colorimétrica – 5220-D (*Standard Methods*)	mg/L
NT	Digestão do persulfato – 10071 (*Hach Company*)	mg/L
NO_3^-	Redução de cádmio – 8192 (*Hach Company*)	mg/L
PT	Digestão ácida do persulfato – 8190 (*Hach Company*)	mg/L

RESULTADOS OBTIDOS

Foram calculadas as médias das concentrações de cada parâmetro, tanto na entrada quanto na saída do sistema de polimento de efluentes, mostradas na Tabela 2.

Tabela 2: Médias das concentrações de cada parâmetro.

PARÂMETRO	ENTRADA	SAÍDA
EE2	52,23 ± 8,18 µg/L	8,46 ± 2,80 µg/L
E3	152,00 ± 12,41 µg/L	35,28 ± 3,04 µg/L
DBO	95,78 ± 48,12 mg/L	73,65 ± 37,39 mg/L
DQO	241,79 ± 48,91 mg/L	210,62 ± 91,81 mg/L
NT	19,00 ± 4,16 mg/L	14,33 ± 7,09 mg/L
NO_3^-	1,05 ± 0,13 mg/L	0,87 ± 0,15 mg/L
PT	3,11 ± 0,54 mg/L	3,24 ± 0,24 mg/L

Foi calculada então a eficiência de remoção de cada parâmetro pelo sistema de polimento. A Figura 6 mostra a eficiência de remoção dos hormônios e a Figura 7, dos outros compostos.

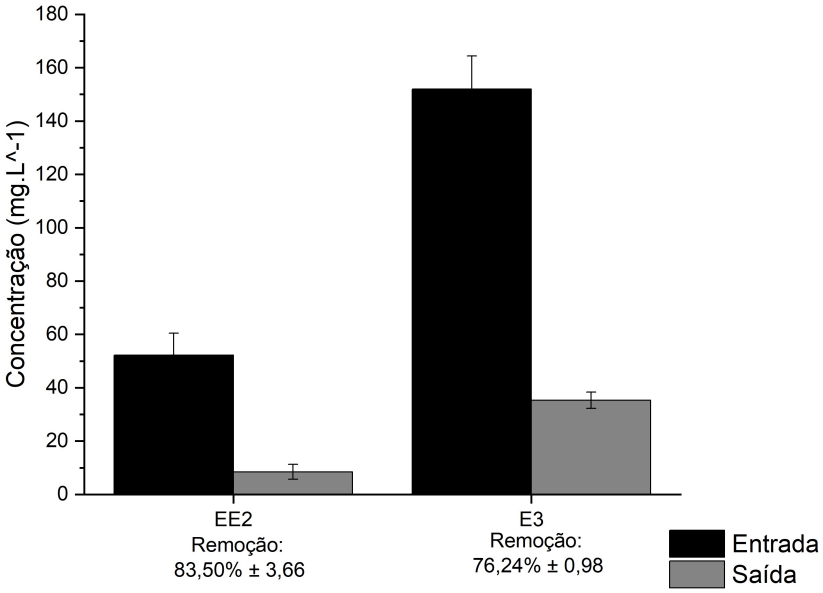


Figura 6: Eficiência de remoção de EE2 e E3.

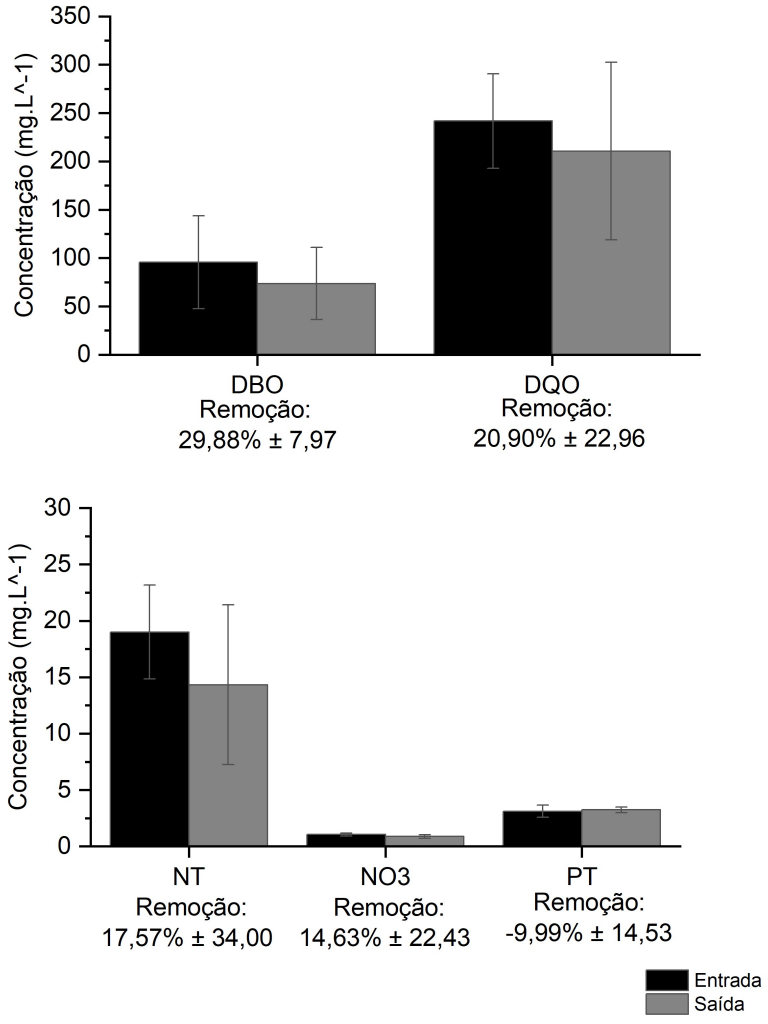


Figura 7: Eficiência de remoção de DBO, DQO, NT, NO_3^- e PT.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As concentrações de E2 encontradas no efluente estão muito acima do previsto. Um estudo realizado por Fang *et al*. (2019), analisou a presença de E2 nas ETEs de Klang Valley, na Malásia, e encontrou valores que variaram de 0,20 a 4,90 ng/L. As concentrações de E3 encontradas também estão acima do previsto. Um estudo realizado por Dotan *et al*. (2017) identificou concentrações de E3 em esgoto bruto com valores de 22 a 388 ng/L. Uma possível explicação para as elevadas concentrações hormonais é a utilização de estrógenos em métodos contraceptivos e tratamentos de reposição hormonal pela população de Ilha Solteira.

A remoção dos hormônios do efluente pelo sistema de polimento se mostrou com grande eficiência, ficando acima de 75% nos dois compostos. Um estudo de Damkjaer *et al.* (2018) observou uma eficiência de remoção média de 52% para hormônios esteróides em uma lagoa de estabilização de Morogoro, Tanzânia. Segundo Aquino *et al.* (2013), a remoção destes compostos pode ocorrer devido à assimilação pela biomassa das lemnas, degradação biológica ou processos químicos como hidrólise, fotodegradação e volatilização.

A eficiência de remoção de DBO e DQO foi abaixo da esperada. Teles *et al*. (2017) cultivaram *Landoltia punctata* em esgoto doméstico em um sistema com duas lagoas em série. Adotando um tempo de detenção de 17 dias, observaram uma eficiência de remoção de DBO de 64,90%. Shah *et al*. (2014) utilizaram esgoto doméstico de uma universidade como meio de cultivo em uma lagoa de lemnas com 0,91 metro de profundidade e encontraram uma eficiência de remoção de DQO de 33,43%.

A remoção do nitrogênio pode ser atribuída à assimilação deste nutriente pelas lemnas, além de processos de desnitrificação realizados pelas bactérias anaeróbias nas zonas anóxicas do tanque. Um estudo realizado por Mohedano *et al.* (2012), que utilizou um sistema de lagoas em série, concluiu que o mecanismo de remoção de nitrogênio que predominou foi a assimilação pelas plantas em comparação com os processos de desnitrificação.

O aumento na concentração de fósforo pode estar relacionado com o fato do efluente utilizado ser proveniente de uma lagoa de estabilização, onde há presença de algas. As algas e as lemnas são competidoras do mesmo nicho ecológico. Estas algas acabam morrendo e, segundo Mackenthun (1962), liberando fósforo. Além disso, sedimentos presentes no esgoto tratado também podem liberar fósforo para o meio (PERSSON e JANSSON, 1988).

CONCLUSÕES

Devido à falta de coleta de esgoto, falta de tratamento ou tratamento incompleto realizado pelas ETEs, somado com a mudança nos hábitos de consumo da sociedade moderna, os poluentes emergentes vêm sendo encontrados em concentrações cada vez maiores nos efluentes e corpos d'água.

É necessário adequar os processos regulatórios referentes à qualidade dos corpos d'água, visto que na legislação brasileira ainda não existe regulamentação para controle destes contaminantes. Além disso, é fundamental haver um incentivo para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento de esgoto que removam essas substâncias, garantindo assim a qualidade de vida dos organismos.

O sistema de polimento de efluentes através da fitorremediação com macrófitas aquáticas demonstrou ter uma grande eficiência de remoção de hormônios. Os valores de remoção observados (83,50% para EE2 e 76,24% para E3) são superiores aos encontrados em ETEs convencionais, o que mostra que este sistema tem potencial para contribuir significativamente na área de saneamento.

No caso da remoção de matéria orgânica e nutrientes presentes no efluente, os resultados foram positivos (excetuando-se o fósforo), mas a eficiência ficou abaixo da esperada.

Este sistema pode ser utilizado pelas Estações de Tratamento de Esgoto como uma etapa complementar do tratamento, visando a remoção de hormônios. Tem baixo custo para implementação, montagem simples e gera um grande impacto positivo do ponto de vista ecológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. *American Water Works Association*, 20 ed., Washington, 2005.
2. AQUINO, S.F., BRANDT, E.M.F., CHERNICHARO, C.A.L. Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.18, n.3, p.187-204, set. 2013.
3. BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p.3-7, jan. 2007.
4. BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2018. Ministério do Desenvolvimento Regional: Secretaria Nacional de Saneamento, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 20 jan. 2020.
5. CHEN, G., HUANG, J., FANG, Y., ZHAO, Y. *Duckweed systems for eutrophic water purification through converting wastewater nutrients to high-starch biomass: comparative evaluation of three different genera (Spirodela polyrhiza, Lemna minor and Landoltia punctata) in monoculture or polyculture. RSC Advances*, v.8, n.32, p.17927-17937, mai. 2018.
6. DAMKJAER, K., WEISSER, J.J., MSIGALA, S.C., MDEGELA, R., STYRISHAVE, B. *Occurrence, removal and risk assessment of steroid hormones in two wastewater stabilization pond systems in Morogoro, Tanzania*. *Chemosphere*, v.212, p.1142-1154, dez. 2018.
7. DAMSTRA, T., BARLOW, S., KAVLOCK, R., VAN DER KRAAK, G. (ed.). *Global assessment of the state-of-the-science of endocrine disruptors. International Programme on Chemical Safety*: WHO/PCS/EDC/02.2, 2002. Disponível em: <https://www.who.int/ipcs/publications/new_issues/endocrine_disruptors/en/>. Acesso em: 20 jan. 2020.
8. DOTAN, P., TAL, A., ARNON, S. *A simple model for estimating the concentrations of natural estrogens in raw wastewater. Science of the Total Environment*, v.575, p.588-594, jan. 2017.
9. FANG, T.Y., PRAVEENA, S.M., ARIS, A.Z., ISMAIL, S.N.S., RASDI, I. *Quantification of selected steroid hormones (17β-Estradiol and 17α-Ethynylestradiol) in wastewater treatment plants in Klang Valley (Malaysia). Chemosphere*, v.215, p153-162, jan. 2019.
10. GARCIA-IVARS, J., DURÁ-MARÍA, J., MOSCARDÓ-CARREÑO, C., CARBONELL-ALCAINA, C., ALCAINA-MIRANDA, M.I., IBORRA-CLAR, M.I. *Rejection of trace pharmaceutically active compounds present in municipal wastewaters using ceramic fine ultrafiltration membranes: effect of feed solution ph and fouling phenomena*. *Separation And Purification Technology*, v.175, p.58-71, mar. 2017.
11. GEISSEN V., MOL, H., KLUMPP, E., UMLAUF, G., NADAL, M., VAN DER PLOEG, M., VAN DER ZEE, S.E.A.T.M., RITSEMA, C.J. *Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. International Soil and Water Conservation Research*, v.3, n.1, p.57-65, mar. 2015.
12. GENG, Q., LI, T., LI, P., WANG, X., CHU, W., MA, Y., MA, H., NI, H. *The accumulation, transformation, and effects of quinestrol in duckweed (Spirodela polyrhiza L.). Science Of The Total Environment*, v.634, p.1034-1041, set. 2018.
13. HACH COMPANY. *Water Analysis Handbook*, 1 ed., Colorado, 2013.
14. HU, S., ZHANG, H., SHEN, G., YUAN, Z., XU, T. JI, R. *Effects of 17beta-estradiol and 17alpha-ethinylestradiol on the embryonic development of the clearhead icefish (Protosalanx hyalocranius). Chemosphere*, v.176, p.18-24, jun. 2017.
15. KARJALAINEN, M., ENGSTROM-ÖST, J., KORPINEN, S., PELTONEN, H., PAAKKONEN, J.P., RONKKONEN, S., SUIKKANEN, S., VIITASALO, M. *Ecosystem consequences of cyanobacteria in the northern baltic sea. AMBIO: A Journal of the Human Environment*, v.36, p.195-202, abr. 2007.
16. LEI, K., LIN, C.Y., ZHU, Y., CHEN, W., PAN, H.Y., SUN, Z., SWEETMAN, A., ZHANG, Q., HE, M.C. *Estrogens in municipal wastewater and receiving waters in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China: Occurrence and risk assessment of mixtures. Journal of hazardous materials*. v.389, p.121891, mai. 2020.
17. LIU, Y., FANG, Y., HUANG, M., JIN, Y., SUN, J., TAO, X., ZHANG, G., HE, K., ZHAO, Y., ZHAO, H. *Uniconazole-induced starch accumulation in the bioenergy crop duckweed (Landoltia punctata) II: transcriptome alterations of pathways involved in carbohydrate metabolism and endogenous hormone crosstalk*. *Biotechnology For Biofuels*, v.8, n.1, p.1-12, abr. 2015.
18. MACKENTHUN, K.M. *A Review of Algae, Lake Weeds, and Nutrients. Journal Water Pollution Control Federation*, v.34, n.10, p.1078-1085, out. 1962.

19. MARTINS, M.L., PRIMEL, E.G., CALDAS, S.S., PRESTES, O.D., ADAIME, M.B., ZANELLA, R. Microextração Líquido-Líquido Dispersiva (DLLME): fundamentos e aplicações. *Scientia Chromatographica*, v.4, p.35-51, mar. 2012.
20. MOHEDANO, R.A., COSTA, H.R.R., TAVARES, A., BELLI FILHO, P. *High nutrient removal rate from swine wastes and protein biomass production by full-scale duckweed ponds. Bioresource Technology*, v.112, p.98-104, mai. 2012.
21. PERSSON, G., JANSSON, M. *Phosphorus in Freshwater Ecosystems. Kluwer Academic Publishers*, 1988. 337 p.
22. REINHOLD, D., VISHWANATHAN, S., PARK, J.J., OH, D., SAUNDERS, F.M. *Assessment of plant-driven removal of emerging organic pollutants by duckweed. Chemosphere*, v.80, n.7, p.687-692, ago. 2010.
23. ROBINSON, B.J., HELLOU, J. *Biodegradation of endocrine disrupting compounds in harbour seawater and sediments. Science of The Total Environment*, v.407, n.21, p.5713-5718, out. 2009.
24. SHAH, M., HASHMI, H.N., ALI, A., GHUMMAN, A.R. *Performance assessment of aquatic macrophytes for treatment of municipal wastewater. Journal of Environmental Health Science and Engineering*, v.12, n.1, p.106-118, jul. 2014.
25. SUN, S.X., WU, J.L., LV, H.B., ZHANG, H.Y., ZHANG, J., LIMBU, S.M., QIAO, F., CHEN, L.Q., YANG, Y., ZHANG, M.L., DU, Z.Y. *Environmental estrogen exposure converts lipid metabolism in male fish to a female pattern mediated by AMPK and mTOR signaling pathways. Journal of Hazardous Materials*, v.394, p.122537, jul. 2020.
26. TELES, C.C., MOHEDANO, R.A., TONON, G., BELLI FILHO, P., COSTA, R.H.R. *Ecology of duckweed ponds used for nutrient recovery from wastewater. Water Science and Technology*, v.75, n.12, p.2926-2934, mar. 2017.
27. THOMANN, R.V., MUELLER, J.A. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control. New York*: Harper & Row, 1987. 644 p.
28. TUNDISI, J.G., MATSUMURA-TUNDISI, T., SIDAGIS-GALLI, C. (ed.). Eutrofização na América do Sul: causas, tecnologias de gerenciamento e controle. IIE, Iiega, IAP, Ianas, ABC, 2006. p.337-352.
29. ZHAO, Y., FANG, Y., JIN, Y., HUANG, J., BAO, S., FU, T., HE, Z., WANG, F., WANG, M., ZHAO, H. *Pilot-scale comparison of four duckweed strains from different genera for potential application in nutrient recovery from wastewater and valuable biomass production. Plant Biology*, v.17, p.82-90, jun. 2014.