

III-246 - AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DO 17 β -ESTRADIOL NO TRATAMENTO COMBINADO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO COM ESGOTO DOMÉSTICO PELO PROCESSO BIOLÓGICO DE LODO ATIVADO

Daniele Maia Bila

Engenheira Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestre, Doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Prof. Associado do Depto. De Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da FEN/UERJ

Camila Pesci Pereira⁽¹⁾

Engenheira Química e Mestre em Engenharia Química com ênfase em Meio Ambiente pela Universidade Federal Fluminense. Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Tainá Pereira

Engenheira Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Especialista em Polímeros pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Mestre e Doutoranda em Engenharia Ambiental pela UERJ.

Juacyara Carbonelli Campos

D.Sc. em Engenharia Química – Tecnologia Ambiental – PEQ/COPPE/UFRJ. Engenheira Química/UFRJ. Professora Associada do Departamento de Processos Inorgânica da Escola de Química/UFRJ

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, E206, Rio de Janeiro. - Estado - CEP: 21941-909 – Brasil. e-mail: camila_pesci@hotmail.com.

RESUMO

O tratamento combinado de lixiviados de resíduos sólidos urbanos e esgotos domésticos surgiu como alternativa para minimizar as dificuldades de tratamento do lixiviado de aterros sanitários. Devido ao lixiviado de aterro ser uma matriz complexa e apresentar substâncias inorgânicas, material recalcitrante e compostos orgânicos xenobióticos, considerados altamente tóxicos, bem como compostos desreguladores endócrinos (DE). Dentre estes DEs, encontram-se os estrogênicos, a exemplo do 17 β -estradiol (E2) que contribuem para o aumento da atividade estrogênica. Os DEs Eles estão presentes não só no lixiviado, mas também no esgoto sanitário, lodo biológico, dentre outras matrizes ambientais. Embora o tratamento combinado seja viável para remoção de matéria orgânica, amônia e toxicidade, a eficiência da remoção da substância estrogênica é pouco investigada. Neste trabalho, foi investigada a remoção do estrogênio natural E2 no tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário em esgoto sanitário pelo processo de lodo ativado operado em regime contínuo. Os resultados mostraram que o incremento de lixiviado no tratamento combinado dificulta a remoção do estrogênio estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento combinado, 17 β -ESTRADIOL, lixiviado, Desreguladores endócrinos.

INTRODUÇÃO

Anualmente, milhares de toneladas de resíduos sólidos são geradas em todo o mundo, provenientes de diversas origens, como por exemplo, domésticos, públicos, de serviços de saúde, industriais, construções civis e etc. A disposição destes resíduos exige cuidados específicos, uma vez que no processo de decomposição dos resíduos sólidos ocorre a liberação de lixiviado e é necessário um controle deste para que não haja contaminação de águas superficiais e subterrâneas. Os aterros sanitários são sistemas de disposição final de resíduos bastante utilizados no país e no mundo.

O lixiviado é um líquido proveniente da decomposição dos resíduos sólidos dos aterros sanitários, que apresentam diversas substâncias tóxicas que podem ocasionar malefícios à saúde humana e ao ambiente. Em geral, o lixiviado apresenta altos valores de DQO, pH, nitrogênio amoniacal e metais pesados, bem como cor e odor forte (FUEYO et al., 2003). Devido a isso, seu tratamento pode ser complexo e caro.

O tratamento combinado surge como uma alternativa menos onerosa para o tratamento de lixiviados, pois este tipo de tratamento consiste em misturar uma porção de lixiviado no esgoto sanitário em Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) (MANNARINO et al., 2010). Por isso, muitos estudos discutem a proporção adequada de lixiviado que pode ser misturada ao esgoto para que o tratamento seja realizado eficientemente de modo a atender os parâmetros de concentração de matéria orgânica, amônia e toxicidade pré-estabelecidos.

Nascentes (2013) avaliou razões de mistura de 0,5, 2, 3 e 5% no tratamento biológico (processo de lodo ativado) e constatou diminuição na biodiversidade microbiana conforme a concentração de lixiviado na mistura aumentou. O autor relatou que o tratamento combinado se mostrou uma alternativa viável para o tratamento de lixiviado em misturas com o esgoto que não excedam a 3%, contudo foi observada uma redução significativa na eficácia de tratamento nas misturas até 5%. Foram alcançadas eficiências de remoção (médias) de DQO 81,3% (2% de lixiviado) e 78,5% (3% de lixiviado).

Yuan et al. (2016) avaliaram o lixiviado de aterro enviado para 14 ETEs municipais em diferentes proporções de mistura e descobriram que mistura de 2,5% de lixiviado em esgoto melhorou o processo biológico de remoção de nutrientes do sistema sem comprometer a eficiência de remoção de DQO.

Brennan et al. (2017) verificaram que a adição de lixiviado “intermediário” (produzido em aterro sanitário de 2-10 anos) em proporções volumétricas de até 4% não inibiu significativamente os processos de nitrificação, porém o tratamento combinado do lixiviado “velho” (produzido em aterro sanitário > 10 anos de idade) em ETEs municipais pode representar a solução mais sustentável para o tratamento contínuo de lixiviados dos casos examinados em seus estudos.

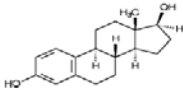
Diante desses estudos apresentados anteriormente, pode-se observar que, quanto maior a proporção de lixiviado no esgoto, mais difícil é o tratamento. O lixiviado, de maneira geral, apresenta substâncias tóxicas e recalcitrantes, em maiores concentrações do que o esgoto sanitário e o seu incremento na mistura torna-se prejudicial ao processo. Dentre as substâncias tóxicas presentes em matrizes ambientais estão os desreguladores endócrinos (DEs).

Os DEs são substâncias que possuem capacidade de modificar as funções do sistema endócrino de humanos e animais, de forma a afetarem o crescimento, reprodução e a evolução de doenças como câncer, distúrbios de fertilidade e desenvolvimento sexual anormal (JOHNSON e SUMPTER, 2001; COORS et al., 2003). Exemplos de DEs são os xenoestrogênicos, e os agentes farmacêuticos, como o 17 α -etinilestradiol (EE2); estrogênicos naturais, estrona (E1), estriol (E3) e 17 β -estradiol (E2) (AQUINO et al., 2013).

Muitas dessas substâncias são frequentemente encontradas no meio ambiente em concentrações na ordem de $\mu\text{g/L}$ e até mesmo ng/L e, mesmo assim, são capazes de prejudicar a saúde humana e de animais (BILA e DEZOTTI, 2003). Estão presentes em diferentes matrizes ambientais, tais como esgoto sanitário, lixiviado de aterros sanitários, lodo biológico, sedimentos (BEHNISCH et al., 2001; BILA e DEZOTTI, 2003).

Os hormônios naturais são responsáveis pelo desenvolvimento do sistema reprodutivo feminino nas mulheres, sendo produzidos principalmente pelos ovários e em pequenas quantidades pelas glândulas adrenais (U.S.EPA, 2011). O E2, assim como o E1 (estrona) e o E3 (estriol), é um estrogênio natural produzido pelos vertebrados, incluindo os seres humanos. É o principal metabólito em mulheres reprodutivas (HAMID e ESKICIOGLU, 2012). As propriedades físico-químicas deste composto são importantes para predizer seu destino nas matrizes ambientais, bem como nos processos de tratamento biológico (HAMID e ESKICIOGLU, 2012). A Tabela 1 apresenta algumas propriedades do E2.

Tabela 1: Propriedades físico-químicas do 17 β -estradiol (E2) (VEGA-MORALES et al., 2013).

Estrogênio	Fórmula Molecular	Estrutura Molecular	Massa Molecular (g/mol)	Solubilidade em água (mg/L a 20°C)
17 β -Estradiol (E2)	C ₁₈ H ₂₄ O ₂		272,4	13

Estudos em outros países mostram que ETEs que empregam o tratamento de lodo ativado podem remover DEs em diferentes percentuais de remoção. O processo biológico é o mais investigado no que diz respeito à remoção dessas substâncias (COORS et al., 2003). Remoção dos estrogênios pode ser superior a 85% (JOHNSON e SUMPTER, 2001), podendo ultrapassar 98% (ANDERSEN et al., 2003).

Sim et al. (2011) obtiveram eficiência média de remoção de aproximadamente 85% do total de estrogênios em ETEs municipais, pelo processo de lodo ativado. Já no estudo de Servos et al. (2005), em 18 estações de tratamento de esgoto municipais, 17 β -estradiol (E2) foi removido de forma eficiente, sendo superior a 75% e, na maioria dos sistemas convencionais de tratamento secundário, até 98%. Contudo, para algumas modalidades de tratamento secundário, os autores obtiveram resultados de concentrações de E1 e E2, bem como atividade estrogênica, maiores no efluente do que no afluente.

De modo geral, nota-se que os estrogênios naturais são amplamente degradados biologicamente em detrimento dos sintéticos. A biodegradação do E2 pode ocorrer rapidamente no lodo ativado, mas a estrona (E1), intermediário do E2, pode ocorrer após 30 minutos de degradação (REN et al., 2007). Contudo, os parâmetros operacionais podem ser determinantes para a eficiência do processo, tais como tempo de retenção de sólidos ou idade do lodo (TRS), tempo de retenção hidráulica (TRH), nitrificação e desnitrificação. De fato, é mais provável que ambos os processos de biodegradação e a bioassorção, interajam no reator, embora o papel predominante na eliminação dos estrogênios da fase aquosa permaneça obscuro (REN et al., 2007a).

Apesar dos diversos estudos sobre remoção de estrogênios em esgoto sanitário por tratamento biológico, não é recorrente na literatura estudos sobre o tratamento combinado de lixiviado em esgoto em ETE. Uma pesquisa mais ampla nesta área deve ser desenvolvida, uma vez que os estrogênios são grandes contribuintes para atividade estrogênica nas matrizes ambientais. Seus efeitos sobre o ecossistema e a saúde humana como desreguladores endócrinos podem ser bastante prejudiciais.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a remoção do estrogênio natural E2 no tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário em esgoto de estação de tratamento de esgoto. O processo de tratamento utilizado foi o lodo ativado operado em regime contínuo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O preparo dos efluentes do tratamento combinado foi realizado com lixiviado proveniente do Aterro Sanitário de Seropédica, Rio de Janeiro, coletado em frascos de vidro âmbar preparados adequadamente para evitar interferências nos resultados, e acidificados a pH 2 para impedir a biodegradação dos analitos e conservação das amostras. As amostras foram armazenadas a 4°C até a sua utilização.

O esgoto doméstico sintético foi preparado segundo metodologia descrita em Nascentes (2013), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Composição do esgoto sintético (Faixa de DQO = 600 - 800 mg/L).

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
Peptona de caseína	360
Extrato de carne	250
Ureia	100
Fosfato monobásico de potássio	26
Cloreto de sódio	14
Cloreto de cálcio di-hidratado	8
Sulfato de magnésio hepta-hidratado	4

Foi adicionada ao esgoto sintético uma solução de E2, de modo que a concentração inicial de estrogênio no esgoto fosse de 100 ng/L.

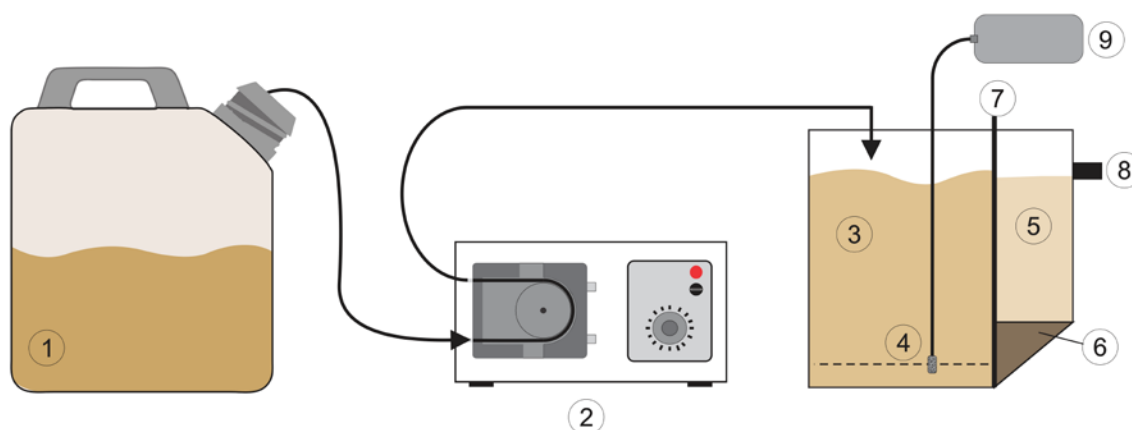
A determinação dos percentuais de mistura de lixiviado em esgoto foi baseada em estudos anteriores sobre a eficiência de tratamento combinado em estações de tratamento localizadas no Brasil. Foram montados dois

reatores de lodo ativado em regime contínuo, um que serviu de parâmetro com tratamento apenas de esgoto sintético sem acréscimo de lixiviado (R-Controle) e, no outro reator, foram tratadas as misturas de lixiviado em esgoto sintético em proporções de 2 e 5% (R-Mix), em períodos distintos. Os reatores operaram por 111 dias que foram divididos em três fases, detalhadas na Tabela 3.

Tabela 3: Fases da operação dos reatores contínuos.

Fases	Período	Descrição da etapa
1	40 dias	Aclimação do lodo. Os dois reatores operaram somente com esgoto sintético
2	45 dias	R-Mix operando com mistura esgoto/lixiviado de 2%
3	26 dias	R-Mix operando com mistura esgoto/lixiviado de 5%

O sistema de lodo ativado em regime contínuo consistiu em: tanques de alimentação, reatores (R-Controle e R-Mix), bomba peristáltica de alimentação e tanques de saída. Os reatores foram montados em escala de bancada, com volume de tanque de aeração de 2,8 L, e decantador de 1 L, baseados no modelo de Eckenfelder (1989). A Figura 1 apresenta o esquema usado para os reatores contínuos.



- (1) Alimentação; (2) Bomba peristáltica; (3) Tanque de aeração;
 (4) Sistema de difusão de ar; (5) Decantador; (6) Lodo decantado; (7) Placa móvel;
 (8) Saída de efluente (9) Compressor de ar

Figura 1. Esquema dos reatores contínuos

As condições operacionais para o tratamento biológico foram definidas com base na classificação de lodo ativado apresentada por Von Sperling (2016), no qual se optou pelo sistema convencional. Os reatores foram mantidos com o tempo de retenção hidráulica (TRH) de 6h e idade do lodo de 10 dias. pH, temperatura e oxigênio dissolvido, assim como o TRH, também foram aferidos diariamente. O pH foi mantido entre 6 e 8.

Foram realizadas análises de demanda química de oxigênio (DQO), absorvância a 254 nm, carbono orgânico dissolvido (COD), nitrogênio amoniacal (N-NH₃) na entrada e saída do reator. Os sólidos suspensos totais e voláteis (SST e SSV) foram analisados de amostras coletadas no tanque de aeração (APHA, 2012).

Análises de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE/FLU) foram realizadas para quantificar as concentrações de E2 no afluente e efluente nos dois reatores biológicos. A metodologia adotada para detecção e quantificação da concentração do estrogênio E2 foi baseada no trabalho de Oliveira (2015) e adaptações conforme apresentado por Silva (2016). As amostras analisadas em cromatografia passaram previamente pelo processo de extração em fase sólida (EFS) para eliminar possíveis interferentes e concentrar o analito de interesse.

RESULTADOS

Caracterização das amostras de lixiviado e esgoto sintético e operação dos reatores de lodo ativado em regime contínuo

Para avaliar a eficiência do tratamento biológico, foi necessário caracterizar as amostras de lixiviado e esgoto sintético antes do tratamento. Esses resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização dos lixiviados de aterro sanitário e esgoto sintético usados nos reatores contínuos (n=3)

Parâmetros	Unidades	Esgoto Sintético	Lixiviado de aterro
pH	-	7,1 ± 0,2	8,1 ± 0,28
Absorbância a 254 nm	-	1,2 ± 0,25	26,88 ± 0,15
Cloreto	mg de Cl ⁻ /L	34 ± 4,9	4020 ± 0,01
Cor verdadeira	mgPtCo/L	57 ± 5,7	636 ± 6,0
Cor aparente	mgPtCo/L	86 ± 2,8	937 ± 7,5
Condutividade	µS/cm	449,2 ± 40,2	22510 ± 1032
DQO total	mg/L	641 ± 122,3	NR
DQO solúvel	mg/L	626 ± 61,7	4483 ± 15,0
COD	mg/L	242,7 ± 22,8	2769 ± 0,1
Nitrogênio amoniacal	mg N-NH ₃ /L	63,2 ± 3,4	1725,4 ± 64,1

NR- Não realizado

A Figura 2 apresenta a eficiência de remoção de DQO na operação dos reatores contínuos durante os 111 dias.

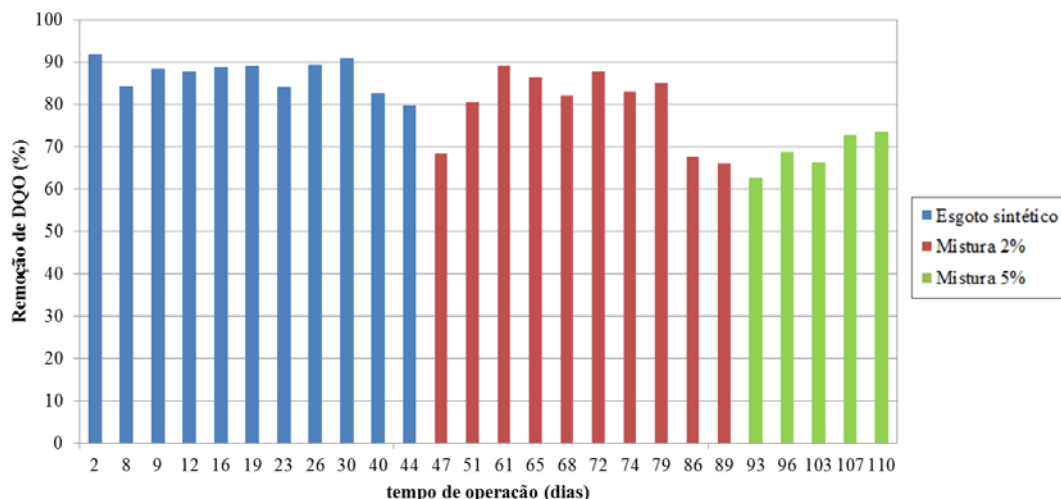


Figura 2. Remoção de DQO no regime contínuo (TRH = 6 horas e Idade do Lodo = 10 dias).

A matéria orgânica teve remoção média de 89% no R-Controle. A remoção média de DQO no R-Mix operando com mistura de 2% de lixiviado foi de 84% e operando com 5% de mistura, obteve-se remoção de DQO de 68%. Esses resultados indicam diferenças significativas entre R-Mix (2 e 5%) e R-Controle, mostrando que a introdução do lixiviado ao processo tem efeito negativo na degradação biológica.

O aumento de lixiviado na alimentação, inicialmente, provoca um choque de carga de matéria orgânica no reator (BRENNAN et al., 2017), o que faz com que a eficiência de remoção de DQO diminua.

Quantificação dos estrogênios no regime contínuo

Os resultados mostraram que o incremento de lixiviado no esgoto em 2% contribuiu significativamente para o aumento da concentração de E2 na mistura. O valor médio desta concentração aumentou de 0,4 µg/L do

esgoto sintético para 19,0 µg/L na mistura de 2%. Com o incremento de 5% de lixiviado, houve o mesmo comportamento, porém mais moderado. O valor médio desta concentração aumentou de 19,04 µg/L para 20,6 µg/L da mistura de 2% para a mistura de 5%, respectivamente.

Quanto à eficiência de remoção de E2, observou-se que, assim como ocorreu na remoção de DQO, a maior proporção de lixiviado na mistura também foi prejudicial para o tratamento do E2. Observa-se queda significativa da eficiência do tratamento quando 2% de lixiviado são adicionados na mistura (de 85% para 56%). Com o aumento para 5% de lixiviado na mistura, a eficiência de remoção de E2 é modestamente menor (55%) em relação à mistura de 2%. Este resultado segue o mesmo comportamento que o incremento do lixiviado nas misturas 2 e 5% com relação à concentração de E2. As Figuras 3a e 3b apresentam os gráficos de concentrações médias do estrogênio E2 para cada mistura de lixiviado em esgoto e de remoção deste estrogênio após o tratamento, respectivamente.

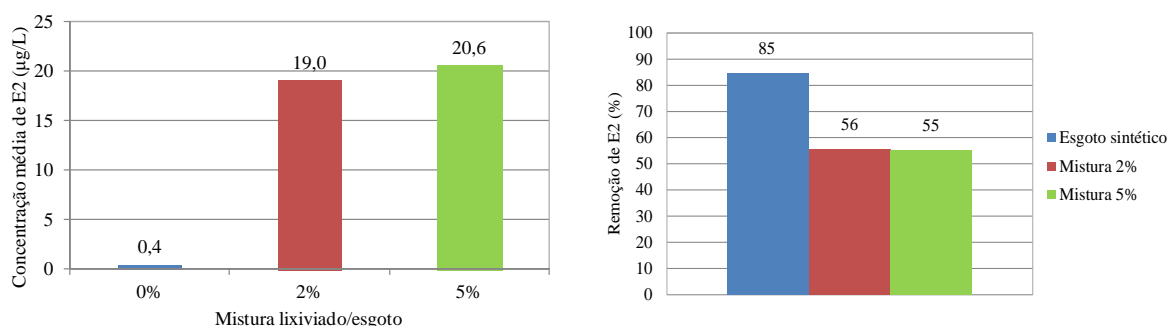


Figura 3. (a) Concentrações médias do estrogênio E2 para esgoto sintético, 2 e 5% de lixiviado em esgoto; (b) Remoção de E2 no tratamento de esgoto sintético, 2 e 5% de lixiviado em esgoto com TRH= 6h e Idade do lodo=10 dias.

Os resultados mostraram que o tratamento biológico de lodo ativado é adequado para a remoção do 17β-estradiol em esgoto, seja esta por biodegradação ou adsorção do estrogênio no lodo biológico. Para uma avaliação mais profunda a este respeito, o lodo biológico deve ser analisado. Além disso, percebe-se que o lixiviado foi significativamente prejudicial ao tratamento em concentrações iguais ou maiores que 2% no esgoto. Esta matriz, normalmente, apresenta alta toxicidade, o que pode ter prejudicado o processo biológico. Sua composição tem diversas substâncias provenientes de fármacos que são descartadas nos resíduos sólidos (FUEYO, et al., 2003; GONG et al., 2014).

CONCLUSÃO

O tratamento combinado de lixiviado em esgoto sintético em lodo ativado no regime contínuo se apresentou eficiente para remoção de matéria orgânica. No entanto, observou-se que, com o aumento de lixiviado no esgoto, a eficiência diminuiu, mas consegue ser restaurada com o tempo de operação. Contudo, os percentuais de remoção tornam-se mais baixos conforme o incremento de lixiviado.

Quanto à remoção do estrogênio 17β-estradiol (E2), a eficiência também apresenta um comportamento inversamente proporcional ao aumento de lixiviado na mistura, assim como para remoção da matéria orgânica.

A avaliação de remoção de E2, bem como outros desreguladores endócrinos em matrizes ambientais é extremamente importante, uma vez que estas substâncias são prejudiciais à saúde humana e de outros animais.

A remoção de estrogênios no tratamento combinado de lixiviado em esgoto é pouco investigada. Contudo, segundo os resultados apresentados neste estudo, observa-se que o comportamento da eficiência de remoção do estrogênio E2 é semelhante aos demais parâmetros avaliados no tratamento combinado, ou seja, o incremento de lixiviado ao esgoto dificulta o tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSEN, H., SIEGRIST, H., HALLING-SORENSEN, B., TERNES, T. A.. Fate of estrogens in a Municipal Sewage Treatment Plant. *Environ Sci Technol.*, v. 37, p. 4021-4026, 2003.
- APHA/AWWA/WEF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th. Ed. USA, APHA, 2012.
- 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. *Eng Sanit Ambient*, v.18, p.187 – 204, 2013.
- BERHNISCH, P. A., FUJII, K., SHIOZAKI, K., KAWAKAMI, I., SAKAI, S.. Estrogenic and dioxina-like potency in each step of a controlled landfill leachate treatment plant in Japan. *Chemosphere*, v. 43, p. 977-984, 2001.
- BILA, D. M. E DEZOTTI, M.. Fármacos no meio ambiente. *Quim. Nova*, v. 26, p. 523-530, 2003.
- BRENNAN, R. B., CLIFFORD, E., DEVROEDT, C., MORRISON, L., HEALY, M. G.. Treatment of landfill leachate in municipal wastewater treatment plants and impacts on effluent ammonium concentrations. *J Environ Manage*, v. 188, p. 64-72, 2017.
- COORS, A., JONES, P. D., GIESY, J. P., RATTE, H. T.. Removal of Estrogenic Activity from Municipal Waste Landfill Leachate Assessed with a Bioassay Based on Reporter Gene Expression. *Environment Science*, v. 37, p. 3430-3434, 2003.
- ECKENFELDER, W. W.. *Industrial Water Pollution Control*. Singapore: McGraw Hill, 1989.
- FUEYO, G., GUTIERRES, A., BERRUETA, J.. Kinetics of Anaerobic Treatment of Landfill Leachates Combined With Urban Wastewaters. *Waste Management & Research*, v. 21, p. 145-154, 2003.
- GONG, Y., TIAN, H., WANG, L., YU, S., RU, S., “An Integrated Approach Combining Chemical Analysis and an In Vivo Bioassay to Assess the Estrogenic Potency of a Municipal Solid Waste Landfill Leachate in Qingdao”, *Plos One*, v. 9, p. 1-10, 2014.
- HAMID, H., ESKICIOGLU, C.. Fate of estrogenic hormones in wastewater and sludge treatment: A review of properties and analytical detection techniques in sludge matrix. *Water Research*, v. 46, p. 5813-5833, 2012.
- JOHNSON, A. C., SUMPTER, J. P.. Removal of Endocrine-Disrupting Chemicals in Activated Sludge Treatment Works. *Environ. Sci. Technol.*, v. 35, p. 4697 – 4703, 2001.
- MANNARINO, C. F.. Avaliação do Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos e Esgoto Doméstico Utilizando Indicadores Físico-Químicos e Biológicos, 2010. 125 f. Tese (Doutorado na área de Saúde Pública e Meio Ambiente) – FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz, 2010.
- NASCENTES, A. L. Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico, 2013. Tese de doutorado-Escola de Química-Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- OLIVEIRA, M. M. Monitoramento de desreguladores endócrinos no rio Arroio Fundo na Bacia de Jacarepaguá, RJ, 2015. Dissertação de mestrado-Programa de Engenharia Ambiental-Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2015.
- REN, Y., NAKANO, K., NOMURA, M., CHIBA, N., NISHIMURA, O.. A thermodynamic analysis on adsorption of estrogens in activated sludge process. *Water Res.*, v. 41, p. 2341-2348, 2007.
- SERVOS, M. R., BENNIE, D. T., BURNISON, B. K., JURKOVIC, A., MCINNIS, R., NEHELI, T., SCHNELL, A., SETO, P., SMYTH, S. A., TERNES, T. A.. Distribution of estrogens, 17 β -estradiol and estrone, in Canadian municipal wastewater treatment plants. *Sci. Total. Environ.*, v. 336, p. 155 – 170, 2005.
- SILVA, L. L. S. Utilização de UV/H₂O₂ e osmose inversa para remoção de estrogênios presentes em esgoto sanitário biotratado, 2016. Dissertação de mestrado- Escola de Química-Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- SIM, W. J., LEE, J. W., SHIN, S. K., SONG, K. B., OH, J. E.. Assessment of fates of estrogens in wastewater and sludge from various types of wastewater treatment plants. *Chemosphere*, v. 82, p. 1448–1453, 2011.
- U.S.EPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), 2011, Endocrine Disruptor Screening Program (EDSP), disponível em: <http://www.epa.gov/endo/pubs/edspoverview/whatare.htm>, acesso em 17 de outubro de 2018.
- VEGA-MORALES, T., SOSA-FERRERA, Z., SANTANA-RODRÍGUEZ, J. J.. Evaluation of the Presence of Endocrine-Disrupting Compounds in Dissolved and Solid Wastewater Treatment Plant Samples of Gran Canaria Island (Spain). *BioMed Research International*, v. 2013, p. 1-16, 2013.

22. VON SPERLING, M.. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.4. Lodos Ativados, DESA-UFMG, 4ª Ed, 461 f., 2016.
23. YUAN, Q., JIA, H., POVEDA, M.. Study on the effect of landfill leachate on nutrient removal from municipal wastewater. J. Environ. Sci., 43, 153-158, 2016.