

Andressa Herrmann

Biomédica. Analista de Laboratório.
Centro Universitário Católica de Santa Catarina, Corupá, SC.

Ayme de Braga da Costa

Biomédica. Instrutora de Laboratório de Ensaios Biológicos
Centro Universitário Católica de Santa Catarina, Joinville, SC.

Nathalia Gruber Martinhuk

Biomédica. Analista de Laboratório.
Centro Universitário Católica de Santa Catarina, Joinville, SC.

Rafael Dutra de Armas

Biólogo. Docente da Escola de Saúde
Centro Universitário Católica de Santa Catarina, Joinville, SC.

RESUMO

Os hormônios 17 β -estradiol e 17 α -etinilestradiol, grupo pertencente aos desreguladores endócrinos, tornaram-se um problema significativo no mundo por acarretarem uma série de alterações a saúde humana devido à grande liberação em efluentes, associado a sua difícil degradação. Sendo assim, realizou-se uma revisão de literatura integrativa buscando uma alternativa para promover a eliminação desses compostos nas estações de tratamento de esgoto através do uso da biodegradação, o qual tem evidências que é o mais eficaz na degradação dessas moléculas de alta complexidade. Constatou-se na literatura que a aplicação de um consórcio bacteriano com as bactérias *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodococcus equi* e *Rhodococcus zopfii* é a alternativa que apresenta os melhores resultados. Essas bactérias, previamente utilizadas em outras pesquisas, apresentam altas taxas de degradação de E2 e EE2, modo de vida e parâmetros físico-químicos semelhantes entre si, vias de degradação que mineralizam as moléculas e alta capacidade de se adaptarem a mudanças no meio.

Palavras-chave: Bactérias. Estrogênios. Estradiol. Etinilestradiol. Biodegradação.

INTRODUÇÃO

A água é essencial para a manutenção da vida e utilizada em diversas áreas, contudo, visto que é um recurso finito, é de extrema relevância reconhecer a importância de sua preservação (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005). Um dos maiores problemas atuais é a presença de

resíduos poluentes na água, entre estes, os desreguladores endócrinos (DE), pois são compostos capazes de alterar as funções do sistema endócrino. No grupo dos DE, sobressaem-se os estrogênios representados pelos hormônios naturais estrona (E1), 17β-estradiol (E2), estriol (E3) e pelo hormônio sintético 17α-etinilestradiol (EE2). Dentre estes, destacam-se o E2 e o EE2 por serem os mais estudados, já que estão entre as substâncias mais difundidas no ambiente, devido ao aumento populacional e pelo consumo exacerbado de medicamentos de reposição hormonal e contraceptivos. São moléculas que possuem caráter de persistência, são prejudiciais à saúde humana e conseqüentemente, que despertam maior preocupação (LIMA; BERGAMASCO, 2017).

Estes dois hormônios são excretados pelos seres humanos, lançados no esgoto e convertidos da forma conjugada (aos ácidos sulfúrico e glicurônico) e não nociva, para a forma livre e nociva, a partir do metabolismo microbiano (*Escherichia coli*, por exemplo) (SOUZA, 2019). Sendo assim, observa-se que os esgotos tratados são fundamentais na gestão sustentável dos recursos hídricos, como uma alternativa para o reuso de águas e preservação do ambiente (SCHULZ; AFONSO, 2013). Entretanto, estudos relatam que mesmo após o tratamento dos efluentes nas ETE, compostos como os DE não são completamente eliminados, indicando que as tecnologias empregadas não são efetivas na remoção deste grupo de poluentes. Além disso, apenas 38% do esgoto produzido no Brasil é tratado, e ainda, dos 5.570 municípios brasileiros, 2.659 não monitoram a qualidade da água, o que agrava ainda mais a situação (TRATA BRASIL, 2016).

Em geral, a degradação destes poluentes por processos convencionais (floculação, coagulação e precipitação) é dificultada em razão das suas baixas concentrações (reduz as taxas de oxirredução) e da sua resiliência, derivada da estrutura química (compostos aromáticos) (LIMA; BERGAMASCO, 2017). No entanto, existem trabalhos demonstrando a eficiência da biodegradação dos hormônios E2 e EE2, a partir do enriquecimento das ETE com bactérias. Dessa forma, alternativamente, uma possibilidade seria a incorporação de uma etapa adicional à ETE, tal como a utilização dessas bactérias imobilizadas em reatores biológicos.

Portanto, o objetivo deste trabalho de revisão concentra-se em descrever a biodegradação como alternativa para a eliminação dos hormônios E2 e EE2 em ETE.

METODOLOGIA

Neste trabalho realizou-se uma revisão de literatura integrativa, com o objetivo de sumarizar os microrganismos capazes de degradarem os hormônios E2 e EE2, em ETE. As pesquisas foram realizadas em três bases de dados bibliográficas diferentes — PubMed, Scientific Electronic Library

Online (SciElo) e Google Acadêmico. Selecionou-se artigos publicados entre os anos de 2000 e 2020, nos idiomas inglês, português e espanhol.

Os termos utilizados para abordar o assunto de interesse das pesquisas foram: biodegradação, hormônios sintéticos, hormônios naturais, desreguladores endócrinos, estradiol (E2), etinilestradiol (EE2), 17 β -Estradiol e 17 α -Etinilestradiol, características físico-químicas do E2 e EE2, estações de tratamento de esgoto (ETE), descontaminações nas ETE, reatores biológicos, métodos de degradação, microrganismos com potencial de degradação, potencializadores da degradação.

Os artigos foram lidos pelos autores, realizado um fichamento com as informações de interesse, e daqueles que continham informações semelhantes foram selecionados os mais atuais, excluindo os antigos. Os termos acima foram utilizados individualmente ou em conjunto com terminações de interesse, para potencializar as pesquisas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PRESENÇA DOS HORMÔNIOS ESTROGÊNIOS NAS ETE

O uso exacerbado de medicamentos de reposição hormonal, e principalmente contraceptivos, evidencia a excreção massiva pela população. Existe uma ampla gama de compostos poluentes presentes nas ETE e, entre estes, estão os hormônios estrogênicos (TRATA BRASIL, 2016). Os hormônios E2 e EE2 recebem destaque, pois são os mais disseminados no meio ambiente, devido a excreção através da urina e fezes (NETO, 2020). Fatores como sexo, idade, estado de saúde e gravidez interferem diretamente na quantidade diária excretada (Quadro 1), assim como a quantidade variante das concentrações (15 a 50 μg por comprimido) de EE2 presente nos comprimidos dos anticoncepcionais (PETERSON et al., 2000).

Quadro 1 - Excreção diária (μg) de 17 β -estradiol e 17 α -Etinilestradiol pelos seres humanos

População	Excreção diária (μg)	
	17 β -estradiol	17 α -etinilestradiol
Homens	1,6	-
Mulheres em uso de contraceptivos	-	35,0
Mulheres em menstruação	3,5	-
Mulheres em menopausa	2,3	-
Mulheres em gestação	259,0	-

Fonte: Adaptado de Peterson et al., 2000.

Os hormônios E2 e EE2 quando excretados, são encontrados em sua forma menos ativa (conjugados a glicuronidas e sulfatos). Entretanto, quando são submetidos aos tratamentos nas ETE, eles são convertidos a sua forma ativa (livre), a partir da enzima β -glicuronidase sintetizada por alguns

microrganismos, com destaque a bactéria *Escherichia coli*, presente em altas populações em ETE, pois é eliminada através das fezes (SOUZA, 2019).

As técnicas convencionais (floculação, coagulação e precipitação) aplicadas durante o tratamento de esgoto possuem como objetivo a extração dos poluentes dos efluentes (PETERSON et al., 2000). Nestas etapas a matéria orgânica é retirada através da separação do esgoto nos decantadores primários, onde a fase sólida se deposita no fundo e forma o lodo primário bruto. Então, os coagulantes e floculantes são adicionados para auxiliar o processo de sedimentação, tornando a matéria poluente com maiores dimensões e mais densa. Contudo, estas técnicas não estão em conformidade com o nível desejado de remoção para os compostos de baixa massa molar (100 a 500 g.mol⁻¹), como os estrogênios (MOURA, 2011).

No Brasil, os processos mais utilizados nos sistemas de tratamento das ETE são os biológicos, pois são mais efetivos na eliminação de moléculas complexas, possibilitam o tratamento de um volume maior de efluente, mantendo a eficiência na remoção da matéria orgânica. Além disso, possui o menor custo para desenvolvimento e a possibilidade de aplicação da técnica *in situ*, uma vez que não é necessário o transporte do resíduo para realizar o tratamento (VIEIRA, 2007).

CARACTERIZAÇÃO DAS MOLÉCULAS DOS HORMÔNIOS E2 E EE2

Os hormônios E2 e EE2 são classificados como esteroides, devido à presença de um núcleo esteroide, caracterizado por sua composição de quatro anéis carbônicos fundidos entre si, sendo que 1 deles é anel benzênico. Esse fato colabora com a rigidez e estabilidade energética do estrogênio, dificultando a quebra dessas moléculas (CARAMORI; OLIVEIRA, 2009). A presença do grupo etinil no carbono 16 na estrutura do EE2 o torna extremamente estável contra a oxidação no meio ambiente, promovendo maior resistência ao metabolismo e a degradação (LI et al., 2013).

As características físico-químicas desses estrogênios também contribuem na dificuldade de degradação dos mesmos. Tanto o E2 como o EE2 são compostos hidrofóbicos, o que acarreta na redução da sua solubilidade em água. Além disso, a baixa massa molar, combinada com sua baixa volatilidade, colaboram para que os hormônios sejam insolúveis em meio aquoso. Desse modo, o EE2 com sua menor solubilidade e baixa volatilidade, possui maior dificuldade de degradação (PERONDI, 2019).

Outra dificuldade evidenciada é a acumulação do E2 e EE2 na água, no solo e em sedimentos. Isso se deve, parcialmente, pelo valor de log Kow (potencial de bioacumulação e de solubilidade de moléculas orgânicas), uma vez que todos os compostos que apresentam log Kow > 1,0 tendem a ser menos solúveis em água (ARSEGO, 2009). Esse parâmetro também demonstra a tendência para associar-se à fase sólida, ou seja, na matéria orgânica presente na água e nos sedimentos, devido ao comportamento hidrofóbico das moléculas (CARAMORI; OLIVEIRA, 2009).

Todos esses fatores intrínsecos também auxiliam na estimativa do tempo e destino de cada substância, além de quantificar a porcentagem da substância que será adsorvida pela fase sólida e a que é dissolvida em fase líquida. Além disso, a meia-vida destes hormônios, mesmo sendo considerada curta, juntamente com a taxa de degradação que eles apresentam, também podem ser afetadas por outros fatores, como a presença de ligações covalentes, troca de ligante, migração para micro sítios nas partículas do solo e as concentrações dos poluentes que foram adsorvidos (ADEEL et al., 2017).

BIODEGRADAÇÃO DOS HORMÔNIOS E2 E EE2

De maneira geral, a biodegradação consiste em um processo de tratamento em que se faz uso de organismos vivos (bactérias, fungos ou plantas) para reduzir, modificar e/ou eliminar compostos orgânicos (LIZ, 2013). Dentre esses, as bactérias apresentam melhores resultados quanto as taxas de degradação, pois são amplamente difundidas no ambiente e possuem a capacidade de degradar compostos orgânicos complexos. Além de apresentarem rápido tempo de geração, também possuem maior versatilidade metabólica e alta capacidade de adaptação aos meios que são implantadas (UPADHYAY; SRIVASTAVA, 2010).

Nesse processo de biodegradação, considerando que os estrogênios são moléculas orgânicas e, portanto, passíveis de serem degradadas pela microbiota, a ação bacteriana pode atuar degradando as formas ativas (sem conjugação) de E2 e EE2 de três maneiras distintas:

1) Cometabolismo de bactérias oxidadoras de amônia, onde utiliza-se as enzimas existentes das próprias bactérias para degradar hormônios e dessa forma, o composto orgânico é modificado, mas não é utilizado para crescimento. [As bactérias nitrificantes agem não somente em compostos orgânicos de baixo peso molecular, mas também em compostos sintéticos como EE2 (VADER, 2000).

2) Cometabolismo de bactérias heterotróficas, onde ocorre a degradação a partir de diferentes fontes de carbono. Como exemplo pode-se citar o estrogênio EE2 sendo degradado a partir da utilização do E2, presente no mesmo meio, como fonte de carbono. Nessa via ocorre a mineralização completa do hormônio (LIU; KANJO; MIZUTANI, 2009).

3) Via oxidativa (direta), onde os próprios hormônios são a fonte de carbono para o metabolismo energético das bactérias. Por exemplo, o E2 é primariamente degradado à E1 e subsequentemente, à um metabólito com uma estrutura de lactona (X1), em seguida, ocorre o processo de clivagem dos anéis da molécula e finalmente, sua inserção no ciclo do ácido cítrico, onde há a conversão a dióxido de carbono. Nesse processo também ocorre a mineralização completa dos compostos (LIU; KANJO; MIZUTANI; 2009).

Além disso, a biodegradação dos estrogênios E2 e EE2 é influenciada diretamente por fatores ambientais, principalmente pelo pH, temperatura e oxigênio. Dessa maneira, é indispensável que todas essas

variáveis sejam previamente estudadas, favorecendo o crescimento bacteriano e as taxas de degradação dos hormônios (JOSS et al., 2004).

Ph: Dentre os valores mais favoráveis para o desenvolvimento bacteriano, estão aqueles aproximados da neutralidade (6,5 a 7,5) (TELLES, 2020). Além disso, as moléculas de E2 e EE2 apresentam maior solubilidade em pH básico (7,0 a 10,0) (ADEEL et al., 2017). Estudos realizados demonstram que a degradação do E2 através da co-cultura entre cepas de *Acinetobacter* e *Pseudomonas* ocorreu entre uma variação de pH de 7 a 9, sem comprometimento da eficiência de degradação (LI et al., 2013).

Temperatura: Estudos de Gabet-Giraud et al. (2010) comprovam que temperaturas mais altas favorecem a eliminação dos estrogênios, uma vez que análises em 20°C resultaram em melhor remoção, quando comparadas à 10°C. Além disso, a influência da temperatura na biodegradação do E2 e o resultado mostrou que a taxa de biodegradação aumentou linearmente com a elevação da temperatura de 20 a 35°C (LI et al., 2013), resultado que se assemelhou com os estudos de Layton et al. (2000). Fatos parcialmente explicados pela maioria dos microrganismos no sistema de esgoto se originarem de excreção, portanto, estão adaptados a temperatura corporal, que é de 36 °C.

Oxigênio: A degradação de compostos orgânicos por bactérias em meio aeróbico é mais eficiente, quando comparado a processos anaeróbicos, devido à presença de monooxigenases e dioxigenases (DIREITO, 2005). Estas enzimas clivam o anel aromático fenólico do estrogênio, fazendo com que seja mais facilmente biodegradado (ADEEL et al., 2017). Os valores de degradação de E2 foram maiores em condições aeróbicas do que anaeróbicas (ANDERSEN, 2004). Ainda, as taxas de remoção com sistema aeróbico são de 99,9% para o E2 e 78% para o EE2 (JOSS et al., 2004).

Várias bactérias possuem capacidade comprovada em degradar os hormônios estrogênios, contudo, analisando fatores físicos, químicos e biológicos, além da influência que estes possuem sobre o processo de biodegradação, selecionou-se as bactérias *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodococcus equi* e *Rhodococcus zopfii* como microrganismos a serem empregados no sistema de biodegradação. Tanto pela efetividade na degradação dos estrogênios, como pelas características individuais que apresentam (modo de vida e vias de degradação) (COMBALBERT, 2010).

***Acinetobacter* sp.:** No trabalho proposto por Pauwels et al. (2008), avaliou-se a capacidade de degradação do hormônio EE2, pelas cepas de *Acinetobacter* sp. selecionadas a partir de amostras de lodo ativado cultivadas na presença de 50 mg.L⁻¹ de EE2. A degradação de 5 mg.L⁻¹ de EE2 foi avaliada durante 38 dias, juntamente com o fornecimento de E2 (2,5 e 5 mg.L⁻¹). Todas as bactérias cultivadas foram capazes de degradar aproximadamente 97% de EE2 após 38 dias, contudo, o composto EE2 não foi removido na ausência de E2, portanto, através do processo de cometabolismo, a presença de E2 contribuiu para a remoção de EE2. Também foram conduzidos testes onde a razão de E2/EE2 foi aumentada de

zero a cinco e o melhor resultado, 95% de remoção de EE2 em 5 dias, foi obtido com a maior concentração de E2 adotada.

Pseudomonas aeruginosa: Além de possuir capacidade significativa de crescer e se desenvolver na presença de E2, ela faz uso de diferentes fontes de carbono e nitrogênio (geralmente nitrato em substituição ao oxigênio comoceptor final de elétrons) (SILVA, OTERO, ESTEVES, 2012). De acordo com os estudos de Zeng et al. (2009), uma cepa isolada do lodo aeróbico ativado foi inoculada em meio contendo E2 como a única fonte de carbono. Após 4 dias, observou-se que 99% do E2, em concentração inicial de 20 mg.L⁻¹, havia sido degradado.

Uma co-cultura entre as cepas de *Acinetobacter* sp. e *Pseudomonas* sp. tiveram a capacidade de remover aproximadamente 98% de E2, quando se utilizou 5 mg.L⁻¹ de E2 como única fonte de carbono, em 7 dias de incubação (LI, et al., 2018). Ainda, ressaltou-se que quando essas bactérias são incubadas isoladamente, ambas reduzem a porcentagem de degradação desses compostos (*Acinetobacter* sp. 77% e *Pseudomonas* sp. 68%).

Rhodococcus equi* e *Rhodococcus zopfii: As cepas das espécies de *Rhodococcus equi* e *R. zopfii* isoladas de lodo ativado em ETE, quando expostas a 100 mg.L⁻¹ de E2 e EE2, degradaram 80% do EE2 e mineralizaram o E2 em apenas 24 horas após o início da cultura. Além disso, observou-se que *R. zopfii* possui atividades degradadoras particularmente fortes, assimilando o E2 seletivamente. Em contrapartida, *R. equi* apresenta elevada resistência no ambiente e capacidade de adaptação, podendo persistir viável por até 12 meses, mesmo quando exposto a condições extremas de temperatura e pH, o que demonstra que essas duas bactérias são extremamente viáveis em aplicações práticas (YOSHIMOTO, et al. 2004).

Portanto, considerando as taxas de degradação apresentadas pelas quatro bactérias, além das suas características metabólicas, sugere-se o emprego de um consórcio bacteriano. As vantagens de empregar culturas mistas baseiam-se nos resultados positivos apresentados, quando as bactérias interagem entre si e potencializam a biodegradação, uma vez que todas essas bactérias demonstram altas taxas de degradação de E2 e EE2 (LI, et al., 2018). Ainda, o consórcio bacteriano auxilia no desenvolvimento das bactérias e permite que as mesmas se adaptem com maior facilidade a alterações no ambiente, como mudanças de temperatura, pH, oxigênio, disponibilidade de nutrientes e até mesmo, a quantidade de efluente contendo os estrogênios (GHAZALI, 2004).

PROPOSTA DE MODELO BIOLÓGICO PARA DEGRADAÇÃO DE E2 E EE2 EM ETE

Diversos estudos recomendam a utilização de diferentes cepas bacterianas, formando um consórcio, para potencializar a degradação de poluentes orgânicos, tais como os estrogênios E2 e EE2 (LIM, et al., 2016).

Sendo assim, selecionou-se as bactérias *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodococcus equi* e *Rhodococcus zopfii*, pois além de apresentarem altas taxas de degradação confirmadas, elas também possuem maior potencial de assimilação de E2 e EE2 quando estão associadas (VARJANI, UPASANI, 2017). Essas bactérias também são muito similares entre si, tanto em relação as suas características individuais (modo de vida), como seus parâmetros físico-químicos (principalmente temperatura, pH e oxigênio). Além disso, elas possuem alta capacidade de adaptar-se ao ambiente em que são inseridas, fato que também é fortalecido quando elas atuam em consórcio.

A escolha desses microrganismos também é justificada devido a rota de degradação ser pela via oxidativa ou o cometabolismo a partir da oxidação de outras fontes de carbono, onde ocorre a mineralização do E2 e EE2, sem gerar subprodutos nocivos à saúde humana (TRAN, et al., 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que os DE E2 e EE2 são considerados contaminantes de águas superficiais e apresentam riscos à saúde humana mesmo em concentrações extremamente baixas, o presente estudo é justificado. De acordo com pesquisas preliminares, sabe-se que é durante o processo de degradação biológica das ETE que se obtêm os melhores resultados acerca da eliminação de estrogênios, portanto, utiliza-se bactérias na metodologia proposta.

A *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodococcus equi* e *Rhodococcus zopfii* são as selecionadas para compôr o consórcio bacteriano, pois além de apresentarem características e modo de vida similares, também tem alta capacidade de adaptar-se a mudanças do meio, isto é, dentro da ETE. Além disso, elas utilizam a mesma via metabólica, o cometabolismo heterotrófico, a partir da degradação de fontes de carbono e oxidação direta, ocorre a mineralização das moléculas de E2 e EE2, tornando-a inócua, o que resolve a problemática de contaminação das águas e a exposição do ser humano a essas, diminuindo o risco de danos à saúde humana, provocados pelo E2 e EE2 nos corpos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEEL, Muhammad; SONG, Xiaoming; WANG, Yuanyuan, et al. **Environmental impact of estrogens on human, animal and plant life: A critical review.** *Environment International*. Volume 99, February 2017, Pages 107-119.

ANDERSEN, H. et al. **Halling-Sqrensen, B. Degradation of Estrgoens in Sewage Treatment Processes.** Environmental Project, No 899, 2004.

ARSEGO, Itacir. **Sorção do herbicida diuron e hexazinone em solos de texturas contrastantes**. 2009. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidad de São Paulo, Piracicaba, 2009. doi:10.11606/D.11.2009.tde-09092009-110016. Acesso em: 11 nov. 2020.

CARAMORI, Giovanni Finoto; OLIVEIRA, Kleber Thiago de. **Aromaticidade: evolução histórica do conceito e critérios quantitativos**. Quím. Nova, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1871-1884, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422009000700034&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 11 Nov. 2020.

COMBALBERT, Sarah; HERNANDEZ-RAQUET, Guillermina. **Occurrence, fate, and biodegradation of estrogens in sewage and manure**. Microbiology And Biotechnology, v. 86, n. 6, p.1671-1692, 31 mar. 2010. Springer Nature.

DIREITO, I. C. N. **Deteção de gene degradadores de compostos aromáticos em solos de rizosfera sob manejo convencional e orgânico**. 2005. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal). Universidade do Rio de Janeiro, 2005.

GABET-GIRAUD, V. et al. **Occurrence and removal of estrogens and beta-blockers by various processes in wastewater treatment plants**. Science of the Total Environment, v. 408, pp. 4257 – 4269. 2010.

GHAZALI, Farinazleen M. et al. **Biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial consortium**. International Biodeterioration & Biodegradation, 2004.

JOSS, A. et al. **Removal of estrogens in municipal wastewater treatment under aerobic and anaerobic conditions: Consequences for plant optimization**. Environmental Science & Technology, v. 38, n. 11, p. 3047-3055, 2004.

Layton, A. C. et al. **Mineralization of steroidal hormones by biosolids in wastewater treatment systems in Tennessee U.S.A**. Environ. Sci. Technol. 2000, 34, 3925–3931

LI, J., JIANG, L., LIU, X., LV, J. **Adsorption and aerobic biodegradation of four selected endocrine disrupting chemicals in soil–watersystem**. IntBiodeteriorBiodegrad. 2013.

LI, Mingtang et al. **Biodegradation of 17 β -estradiol by Bacterial Co-culture Isolated from Manure**. *Scientific reports* vol. 8,1 3787. 28 Feb. 2018.

LIM, M. W. et al. **A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil — Present works and future directions**. Marine Pollution Bulletin, Oxford, v. 109, n. 1, p. 14-45, 2016. Acesso em: 08 nov. 2020.

LIMA, Paulo Renato; BERGAMASCO, Rosângela. **Efeitos da contaminação da água pelo fármaco 17 α -etinilestradiol, detecção e tipos de tratamento**. Vol. 17, Nº. 2, págs. 119-134, Maringá - PR, 2017. Disponível em:

<<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6911004>>. Acesso em: 11 mai. 2020.

LIU, Ze-hua; KANJO, Yoshinori; MIZUTANI, Satoshi. **Mecanismos de remoção de compostos desreguladores endócrinos (EDCs) no tratamento de águas residuais - meios físicos, biodegradação e oxidação avançada química: uma revisão**. Ciência do ambiente total, v. 407, n. 2, p. 731-748, 2009.

LIZ, M. V. **Estudo da potencialidade da fotocatalise heterogênea (TiO₂ e ZnO) e dos processos fenton para remediação de águas contaminadas pelos estrogênios estrona, 17 β -estradiol e 17 α -etinilestradiol**. 2013. 197 p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Educação para o Consumo Sustentável**. Brasília, 2005. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/consumo_sustentavel.pdf. Acesso em: 01 jun. 2020

MOURA, Fernanda N. et al. **Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 270-283, jul/set. 2011.

NETO, Oscar Pacheco Passos. **Avaliação do efeito dos desreguladores endócrinos 17 β estradiol e 17 α -etinilestradiol no desenvolvimento da tilápia do Nilo (piscis)**. 2020. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: < <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/50017>>. Acesso em: 09 mai. 2020.

PAUWELS, Bram et al. **17 α -ethinylestradiol cometabolism by bacteria degrading estrone, 17 β -estradiol and estriol**. Biodegradation 19:683–693. 2008.

PERONDI, Taise. **PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO DE HORMÔNIOS SEXUAIS FEMININOS: CINÉTICA, PRODUTOS E TOXICIDADE**. 2019. 129 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4139>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

PETERSON, E. W.; DAVIS, R. K.; ORNDORFF, H. A. **17 beta estradiol as an indicator of animal waste contamination in Mantled Karst Aquifers.** Journal of Environmental Quality, Madison, v. 29 p. 826-834, 2000.

SCHULZ, Clair; AFONSO, Jairo. **Reaproveitamento d'água da estação de tratamento de efluentes:** empresa intelbras – São José (sc). 2013. Rev. gest. sust. ambient., Florianópolis, Vol. 2, No. 02, pg. 338-384. 2014. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/1686>. Acesso em: 01 jun. 2020.

SILVA, Carla P.; OTERO, Marta; ESTEVES, Valdemar. **Processes for the elimination of estrogenic steroid hormones from water: A review.** Environmental Pollution, v. 165, p. 38-58, 2012.

SOUZA, Taiane. **Eficiência de um reator batelada sequencial combinado com UV/H₂O₂ para remoção de 17 α etinilestradiol (EE2) e 17 β estradiol (E2) em esgoto.** 2019. 127 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/40196>>. Acesso em: 15 mai. 2020

TELLES, Evelise Oliveira. **Microrganismos deteriorantes, patogênicos e tecnológicos: Fatores intrínsecos e extrínsecos.** VPS 2201 2. Higiene e Segurança alimentar. 2020. Disponível em: <[TRAN, N.H. et al., **Insight into metabolic and cometabolic activities of autotrophic and heterotrophic microorganisms in the biodegradation of emerging trace organic contaminants.** Bioresource Technology, v.146, p.721-731, 2013.](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4407507/mod_resource/content/1/TEMA%20_EVELISE_RESUMO_VPS2201_2.pdf#:~:text=FATORES%20QUE%20AFETAM%20O%20CRESCIMENTO%20MICROBIANO&text=Muitos%20fatores%20podem%20propiciar%2C%20prevenir,Aw)%2C%20pH%20e%20temperatura.>. Acesso em 02 jun. 2020.</p></div><div data-bbox=)

TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento.** 2016. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/>. Acesso em: 27 abr. 2020

VADER, J. S. et al. **Degradation of ethinyl estradiol by nitrifying activated sludge.** Chemosphere, v. 41, n. 8, p. 1239-1243, 2000.

VARJANI, S. J.; UPASANI, V. N. **A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants.** International Biodeterioration e Biodegradation, Essex, v. 120, n. 10, p. 71-83, 2017. Acesso em: 08 nov. 2020.

VIEIRA, E. **M. Poluentes emergentes como desreguladores endócrinos.** Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology, v. 2, n. 3, p. 283-288, 2007

UPADHYAY, A.; SRIVASTAVA, S. **Evaluation of multiple plant growth promoting traits of an isolate of Pseudomonas fluorescens strain.** Indian Journal of Experimental Biology, Vol. 48, No. 06, pg. 601-609, 2010. Disponível em: [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/9077/1/IJEB%2048\(6\)%20601609.pdf?origin=publication_detail](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/9077/1/IJEB%2048(6)%20601609.pdf?origin=publication_detail)>. Acesso em: 20 mai 2020.

YOSHIMOTO, Takeshi et al. **Degradation of estrogens by Rhodococcus zopfii and Rhodococcus equi isolates from activated sludge in wastewater treatment plants.** Appl Environ Microbio. 2004.

ZENG, Q. L. et al. **Sorption and Biodegradation of 17 beta-Estradiol by Acclimated Aerobic Activated Sludge and Isolation of the Bacterial Strain.** Environmental Engineering Science, v. 26, n. 4, p. 783-790, 2009.