

Avaliação da atividade estrogênica em efluente da pecuária leiteira¹

Evaluation of estrogenic activity in wastewater from dairy farming

Lorena Gotelip Costalonga²

Nathacha Oliveira Pires³

Thamara Costa Resende²

Sue Ellen Costa Bottrel⁴

João Monteiro Neto²

Renata de Oliveira Pereira⁵

Vanessa Romário de Paula⁶

Marcelo Henrique Otênio⁷

DOI: <https://doi.org/10.34019/2179-3700.2019.v19.29921>

Resumo

A importância econômica da bovinocultura leiteira no Brasil tem atraído a comunidade científica no sentido de aprofundar os estudos sobre os sistemas de criação de gado em confinamento. Trata-se de um sistema amplamente difundido no meio rural e responsável pela geração de possíveis impactos, haja vista os elevados volumes de efluente com alta carga orgânica e de nutrientes, advindos da limpeza dos locais de confinamento. De matriz complexa, ainda é possível identificar no efluente a presença de micropoluentes orgânicos, como os desreguladores endócrinos (DE), advindos do manejo reprodutivo dos rebanhos. Nesse sentido, o presente trabalho busca caracterizar o afluente e o efluente da bovinocultura leiteira, tratado em biodigestor anaeróbio associado com um ciclo de recirculação. Também visa avaliar/quantificar a presença de atividade estrogênica através do ensaio *in vitro* Yeast Estrogen Screen (YES). O efluente em estudo é proveniente da fazenda da Embrapa Gado de Leite, localizada em Coronel Pacheco (MG), a qual trabalha com um sistema de produção de gado Girolando semiconfinado. Após análises de amostras foi possível observar expressiva eficiência na redução de carga orgânica (65% de remoção de DQO e 89% de DBO) e baixa remoção de nutrientes. Os resultados evidenciaram que o tratamento não foi capaz de promover a remoção da atividade estrogênica no efluente.

¹ Trabalho premiado no Seminário de Iniciação Científica da UFJF em 2018.

² Bolsista do Programa de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal de Juiz de Fora (BIC/UFJF)

³ Bolsista do Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROVOQUE/UFJF)

⁴ Professora orientadora da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Endereço profissional: Universidade Federal de Juiz de Fora/Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário, Plataforma 4, Centro de Tecnologia. Juiz de Fora – MG, Brasil. CEP: 36036-330. E-mail: sue.bottrel@ufjf.edu.br.

⁵ Professor orientador da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

⁶ Colaboradora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

⁷ Colaborador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).



Palavras-chave: Bovinocultura. Estrogenicidade. Poluição. Reuso. Tratamento de efluentes.

Abstract

The economic importance of dairy cattle livestock activity in Brazil has attracted the scientific community in order to deepen the studies about feedlot systems. These systems are widely diffused in the rural environment and it is responsible for the generation of possible environmental impacts due to the formation of large volumes of effluent with high organic load and nutrients in the confinement sites cleaning. This effluent has a complex matrix involving the presence of organic micropollutants, such as the Endocrine Disruptors (ED), that arises from the reproductive management of the herds. In this context, the present work aims characterize the effluent of dairy farms treated in anaerobic biodigestor system operated with a recirculation cycle, as well as to evaluate / quantify the presence of estrogenic activity through the Yeast Estrogen Screen (YES assay). The effluent under study is from Embrapa Gado de Leite farm, located in Coronel Pacheco-MG, which works with a semi-confined Girolando cattle production system. After sample analysis, it was possible to observe a significant an organic load removal (65% of COD removal and 89% of BOD) and low nutrient removal. The results showed that the treatment was not able to promote removal of estrogenic activity in the effluent.

Keywords: Bovine farming. Estrogenicity. Pollution. Reuse. Waste water treatment.

1 INTRODUÇÃO

Há quase duas décadas a produção leiteira no Brasil apresenta crescimento anual maior que o dobro do PIB nacional, com produção de 35,1 bilhões de litros de leite em 2017, geração que posiciona o Brasil em quarto lugar no ranking mundial de produção leiteira, segundo o *Anuário Leite*, apresentado pela Embrapa Gado de Leite, em 2018.

Um aspecto ambiental relevante do sistema de produção leiteira é o efluente gerado pela limpeza dos dejetos dos animais que durante o período de lactação são mantidos em confinamento, tornando-o assim potencial poluidor e veículo de contaminantes (BOND et al., 2014; DOWNEY; MOORE, 1977). O volume de efluente gerado é relativamente elevado, uma vez que representa 9–12% do peso do rebanho vivo, a depender das particularidades do sistema empregado, que varia quanto à quantidade de água utilizada na limpeza e na desinfecção de instalações e equipamentos na unidade de produção (CAMPOS et al., 2002). Dentre as especificidades dessa água residuária podem-se citar a alta carga orgânica e de nutrientes, o que torna sua caracterização complexa, uma vez que a constituição do dejetos animal é variável de acordo com a época do ano, o manejo dos animais, o estágio de desenvolvimento do animal e principalmente, a alimentação (MATOS, 2005).

Alguns estudos destacam ainda o risco potencial associado ao descarte indevido

do efluente devido à presença de micropoluentes, dentre os quais se destacam os desreguladores endócrinos (DE). No que se refere aos aspectos negativos da contaminação hídrica por DE, ressalta-se que, mesmo em baixas concentrações, esses compostos são capazes de interagir com o sistema endócrino de seres humanos e outros animais (SHORE et al., 1993). Adeel et al. (2017) relatam que a concentração de sem efeito para a vida aquática é entorno de 2,0–8,7 ng/L de 17β-Estradiol (estrogênio natural classificado como DE). Já para os humanos, a ingestão diária aceitável é em torno de 0,0016–5 ng/L de 17β-Estradiol.

Entretanto, vacas em ciclo reprodutivo excretam aproximadamente 299 µg/dia de estrogênios, cerca de 85 vezes a mais que os humanos (exceção para mulheres grávidas) (LANGE et al., 2002; RESENDE et al., 2017). Tais compostos se apresentam no efluente seja pela produção natural ou pela aplicação de hormônios nos animais, sendo esta última etapa fundamental nas técnicas de inseminação artificial para posterior lactação das vacas. Ademais, segundo dados do último censo agropecuário, em 2017, existiam no Brasil cerca de 172 milhões de bovinos (INSTITUTO..., 2017). Por esse motivo, a contribuição dos hormônios excretados por estes animais deve ser levada em consideração na quantificação desses compostos nas águas superficiais.

No que diz respeito ao tratamento desse tipo de efluente, o sistema que desponta como alternativa eficaz na redução de carga orgânica é a biodigestão anaeróbia, sendo esta amplamente utilizada na minimização dos impactos associados à bovinocultura leiteira. Ademais, isso possibilita o aproveitamento energético do biogás gerado no processo de decomposição da matéria orgânica (TIETZ, 2014; AL-MASRI, 2001).

Não obstante, mesmo que efluentes com alta carga orgânica sejam tratados biologicamente, em muitos casos é possível que não atinjam resultados satisfatórios no que diz respeito ao atendimento dos padrões estabelecidos na Resolução do Conama nº 430/2011, que trata dos padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores. Dessa maneira, se faz necessário o estudo de novas soluções para viabilizar disposição segura ou aproveitamento dos resíduos.

Uma solução para disposição de dejetos da bovinocultura que vem se mostrando vantajosa aos produtores rurais é o reaproveitamento da água residuária em áreas agricultáveis para a fertirrigação. Desde que o efluente seja aplicado de maneira controlada, é possível observar o aumento de produtividade nas lavouras e a qualidade

dos produtos colhidos; a redução da poluição ambiental e dos custos de produção; bem como os ganhos advindos da melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (QUEIROZ et al., 2004). Ainda assim, decorrente dessa prática, vale ressaltar o risco potencial associado com a presença de compostos estrogênicos no solo e nas águas subterrâneas. Arnon et al. (2008), ao avaliarem a percolação de efluente da bovinocultura proveniente de uma lagoa de estabilização no solo, identificaram contaminação de águas subterrâneas por DE.

Assim, este trabalho busca fazer a caracterização físico-química tanto do afluente quanto do efluente advindo de um sistema de semiconfinamento de gado leiteiro tratado em biodigestor, bem como quantificar e avaliar a atividade estrogênica nas referidas matrizes.

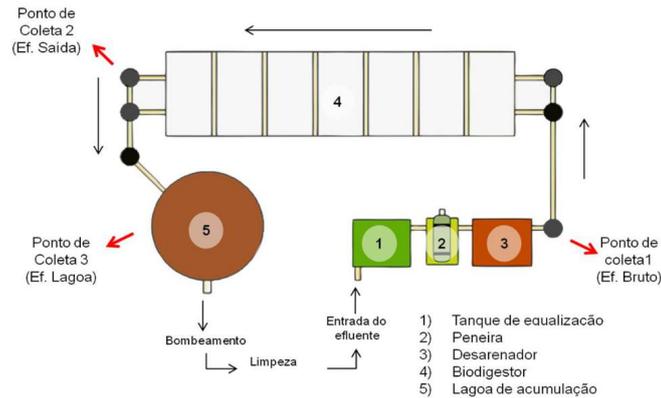
2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na fazenda experimental localizada em Coronel Pacheco (MG), na área denominada “Genizinha”. Nessa fazenda é criado gado Girolando em sistema de semiconfinamento, operando como uma fazenda tradicional, porém em menor escala. A fazenda conta com sistema de tratamento de efluente, via biodigestor anaeróbio, que posteriormente é encaminhado para fertirrigação de culturas para alimentação animal. As amostras de efluente bruto coletadas se originam da limpeza diária da instalação de confinamento do rebanho, do tipo *freestall*. Após a limpeza, o efluente é submetido a um tratamento composto por tanque de equalização, peneira centrífuga, desarenador, biodigestor anaeróbio modelo canadense com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 70 dias e lagoa de estabilização com TDH de 7 dias (Figura 1). O efluente, após o tratamento, é reutilizado na limpeza do *freestall*. O ciclo de recirculação do efluente tratado dura aproximadamente 30 dias. Após o término do ciclo, a lagoa é esvaziada e preenchida com água limpa. As coletas do efluente bruto e tratado e do efluente armazenado na lagoa foram realizadas nos pontos de coleta 1, 2 e 3, destacados na Figura 1, no 13^o dia do ciclo de recirculação, com 71 animais em confinamento.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da UFJF. Os parâmetros físico-químicos analisados foram: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total Kjeldahl (NTK),

nitrogênio orgânico (Norg), nitrogênio amoniacal (N-amoniacal), ferro (Fe), fósforo total (P total), sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST), sendo todos os ensaios realizados de acordo com as metodologias do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION et al., 2005).

Figura 1 - Sistema de tratamento e recirculação do efluente de limpeza do freestall



Fonte: autoria própria.

O ensaio YES foi realizado tanto na fração líquida quanto na fração sólida das amostras, de acordo com a metodologia adaptada de Routledge e Sumpter (1996), a qual quantifica a atividade estrogênica do efluente em estudo, com resultado reportado em equivalentes de estradiol (EEQ). O ensaio tem como princípio a exposição da amostra a uma solução contendo clorofenol vermelho- β -D-galactopiranosida (CPRG) e a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, que metaboliza compostos estrogênicos, resultando em reações químicas que causam alteração na cor do substrato, possibilitando sua quantificação através de técnicas de espectrofotometria. Para a detecção da atividade estrogênica nas fases líquida e sólida do efluente, foi utilizado o método proposto por Silva (2015), no qual é realizada a separação das fases e manipulações distintas para extração dos estrógenos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nas análises físico-químicas do efluente bruto (Am. 1), do efluente tratado (Am. 2) e do efluente da lagoa (Am. 3) e as respectivas eficiências de remoção do sistema biodigestor-lagoa.

Embora 100% do efluente tratado da Fazenda Experimental “Genizinha” seja destinado à fertirrigação, para fins de discussão quanto à qualidade do efluente final, os resultados obtidos serão confrontados com os valores máximos permitidos (VMP) constantes na Resolução do Conama nº 430/2011.

Com relação ao parâmetro pH, observa-se na Tabela 1 que o valor reportado para o efluente tratado (Am. 2) encontra-se dentro do limite estabelecido pela Resolução do Conama nº 430/2011 (entre 5 e 9). O mesmo ocorre para a DBO, com remoção de 89%, valor superior ao indicado na legislação, de 60%. O parâmetro ferro, com VMP de 15 mgFe.L⁻¹, também se apresenta em conformidade. A concentração de nitrogênio amoniacal total – VMP de 20 mgN.L⁻¹ apresentou-se muito acima dos valores normativos, 302 mgN.L⁻¹.

Tabela 1 -Caracterização físico-química do efluente coletado nos pontos 1, 2 e 3.

Parâmetro	Am. 1	Am. 2	Eficiência Biod. (%)	Am. 3	Eficiência Global (%)
<i>Turbidez (NTU)</i>	2000	792	60	779	61
<i>pH</i>	8	8	-	8	-
<i>Ferro (mg Fe. L⁻¹)</i>	18	10	44	8	54
<i>N. amoniacal (mg N-NH₃. L⁻¹)</i>	267	211	21	303	-13
<i>Norg (mg. L⁻¹)</i>	49	134	-171	98	-100
<i>NTK (mg. L⁻¹)</i>	317	345	-9	324	-2
<i>Fósforo total (mgP. L⁻¹)</i>	65	58	11	52	21
<i>DQO (mg.L⁻¹)</i>	6985	2070	70	2454	65
<i>DBO (mg.L⁻¹)</i>	539	104	81	58	89
<i>ST (mg. L⁻¹)</i>	5202	3977	24	3924	25
<i>SST (mg. L⁻¹)</i>	2020	585	71	617	69

Fonte: autoria própria

Os resultados das amostras Am. 2 e Am. 3 evidenciam que nas duas etapas de tratamento a remoção de fósforo total é relativamente baixa, com redução de 21% ao final do processo de tratamento completo (pós-lagoa). Como esperado em sistemas de

tratamento anaeróbios, nos quais não ocorre a nitrificação, observou-se aumento de NTK – isto é, 9% de acréscimo observados de Am. 1 para Am. 2. Tal aumento pode ter ocorrido pela assimilação de nitrogênio para crescimento da biomassa no biodigestor que pode, ainda, constituir parte dos sólidos encontrados na Am. 2. Por isso, apesar da remoção de 71% de sólidos suspensos, observa-se um aumento de 171% do nitrogênio orgânico nesta etapa. Já na amostra coletada na lagoa (Am. 3), foram observadas maiores concentrações de NTK, com elevação global de 2%, acompanhada da redução do Norg, indicando a ocorrência da amonificação na lagoa.

Baixas remoções de fósforo e nitrogênio são esperadas em processos anaeróbios e, por isso, tais efluentes têm grande potencial de uso na fertirrigação. Assim, diante dos resultados obtidos para os nutrientes (N e P) no efluente, ficam evidentes as vantagens econômicas do seu uso para os produtores rurais, que podem substituir fertilizantes comerciais pelo efluente.

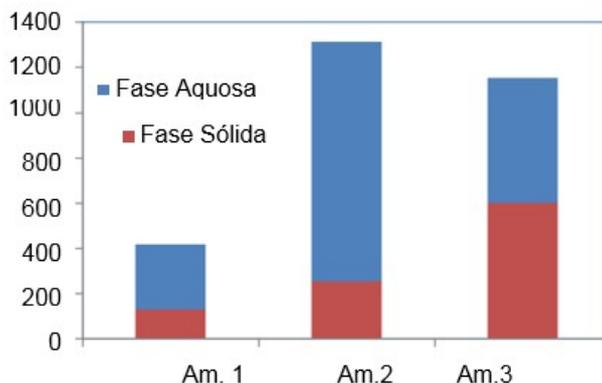
O pH manteve-se constante, como indicado em estudos feitos por Daniel (2015), os quais indicam que biodigestores abastecidos somente com dejetos bovinos não sofrem efeito de acidificação, permanecendo seu pH praticamente estável e a níveis considerados ótimos para estabilização e biodigestão anaeróbia, devido à produção de substâncias capazes de consumir acidez. Segundo Campos (2006), para a grande maioria das bactérias, o pH ótimo localiza-se com variações máximas e mínimas entre 6 e 8.

Como esperado, observa-se elevada carga orgânica no afluente do biodigestor (Am. 1). Porém, é indiscutível a capacidade do biodigestor anaeróbio de reduzi-la, sendo verificada a redução de 89% e 65% de DBO e DQO, respectivamente. É importante ressaltar que, ainda que haja elevada remoção de matéria orgânica, a relação DQO/DBO eleva-se após a etapa de biodigestão e no efluente da lagoa, o que é indicativo da redução da biodegradabilidade do efluente ao final do processo.

Por fim, o Gráfico 1, mostra os resultados da atividade estrogênica nas amostras coletadas. Soto et al. (2004) realizaram um monitoramento de três anos da atividade estrogênica em efluente de bovinocultura em Nebraska (EUA), utilizando o ensaio E-SCREEN. Foram reportadas as concentrações médias de 0,4 ng E2EQ.L⁻¹ em uma lagoa de retenção de efluente de bovinocultura e de 0,6 ng.L⁻¹ no efluente final. A diferença

entre as médias encontradas pode ter relação com o ensaio realizado e as práticas no manejo bovino não expostas no trabalho.

Gráfico 1 -Valores de estrogenicidade obtidos na fase sólida aquosa do efluentes coletado nos pontos de amostragem 1, 2 e 3



Fonte: autoria própria

Observa-se que houve uma elevação da atividade estrogênica pós-tratamento no biodigestor tanto na fração aquosa quanto na fração sólida. Zheng et al. (2012) também observaram uma tendência a acumulação de compostos estrogênicos em tratamentos anaeróbios e anóxicos e, segundo os autores, isso se deve à estabilidade de tais compostos durante o tratamento. Já na amostra coletada na lagoa, foi possível observar a elevação da estrogenicidade na fração sólida e redução na fração aquosa. Isso pode indicar que há uma tendência desses compostos a transferirem para a fase sólida. De acordo com Gomes et al. (2009), pode haver desconjugação dos hormônios durante o tratamento biológico, podendo resultar no aumento da atividade estrogênica do efluente. No entanto, são necessários novos estudos, principalmente no que diz respeito ao seu comportamento com o avanço do ciclo de recirculação.

4 CONCLUSÃO

Com os resultados apresentados pode-se concluir que o biodigestor utilizado no tratamento de resíduos da bovinocultura leiteira demanda processos complementares no caso de lançamento em corpos hídricos. No entanto, a redução da carga orgânica e a manutenção dos nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, tornam o efluente final

uma matriz valiosa para ser reaproveitada como biofertilizante. No que se refere à remoção de compostos estrogênicos, o sistema se mostra insuficiente e, apesar de não haver padrões de lançamentos indicados para esses compostos, muitos estudos indicam seus efeitos negativos quando em contato com as águas. Assim, ressalta-se a necessidade da realização de estudos sobre o comportamento dos DE, principalmente na perspectiva do reuso do efluente.

5 AGRADECIMENTOS

Pró-reitora de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROPP/UFJF), ao Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA/UFJF) e à Embrapa Gado de Leite, pelo financiamento.

REFERÊNCIAS

ADEEL, M. et al. Environmental impact of estrogens on human animal and plant life: A critical review. **Environment International**, v. 99, p. 107–119, 2017.

AL-MASRI, M. R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 1, p. 97-100, 2001.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington D.C., 2005.

ARNON, S. et al. Transport of testosterone and estrogen from dairy-farm waste lagoons to groundwater. **Environmental Science Technology**, v. 42, n. 15, p. 5521-5526, 2008.

BOND, T.; SEAR, D.; SYKES, T. Estimating the contribution of in-stream cattle faeces deposits to nutrient loading in an English Chalkstream. **Agricultural Water Management**, v. 131, p. 156-162, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do

Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

CAMPOS, A. T. et al. Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p. 426-438, mar./abr. 2002.

CAMPOS, C. M. M. et al. Development and operation of the up flow anaerobic sludge blanked reactor treating liquid effluent from swine manure in laboratory scale. **Revista Ciências e Agroecologia**, v. 30, p. 140-147, 2006.

DANIEL, R. T. **Avaliação dos afluentes e efluentes em sistemas de biodigestores em escala real para a produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da pecuária leiteira**. 2015. Tese (Mestrado em Ciências e Tecnologia do Leite)–Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015.

DOWNEY, N. E.; MOORE, J. F. Trichostrongylid contamination of pasture fertilized with cattle slurry. **Veterinary Record**, v. 101, n. 24, p. 487-488, 1977.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Anuário leite: indicadores, tendências e oportunidades para quem vive no setor leiteiro**. Brasília: Embrapa Gado de Leite, 2018.

GOMES, R. L. et al. Fate of Conjugated Natural and Synthetic Steroid Estrogens in Crude Sewage and Activated Sludge Batch Studies. **Environmental Science and Technology**, v. 43, p. 3612-3618, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html>.

Acessoem: 20 jan. 2018.

LANGE, I.G. et al. Sex hormones originating from different livestock production systems: fate and potential disrupting activity in the environment. **AnalyticaChimica Acta**, v. 473, p. 27–37, 2002.

MATOS, A. T. Tratamento de Resíduos agroindustriais. Apostila do curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais. **Fundação Estadual do Meio Ambiente, Universidade Federal de Viçosa**, 2005.

QUEIROZ, F. M. et al. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. **RevistaEngenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 12, n. 2, p. 77-90, 2004.

RESENDE, T. C. et al. Estudo comparativo entre as concentrações de hormônios reportados em matrizes ambientais aquosas no Brasil e no exterior. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais 2017** São Paulo, 2017.

ROUTLEDGE, E. J.; SUMPTER, J. P. Estrogenic activity of surfactants and some of their degradation products assessed using a recombinant yeast screen. **EnvironmentalToxicology and Chemistry**, v. 15, n. 3, p. 241-248, 1996.

SHORE, L. S.; GUREVITZ, M.; SHEMESH, M. Estrogen as an environmental pollutant. **Bulletinof Environmental ContaminationandToxicology**, v. 51, n. 3, p. 361-366, 1993.

SILVA, G. G. M. Avaliação da qualidade de águas superficiais e de sedimentos quanto à toxicidade e atividade estrogênica. 2015. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SOTO, A.M. et al. Androgenic and estrogenic activity in water bodies receiving cattle

feedlot effluent in eastern Nebraska, USA. **Environmental Health Perspectives**, v. 112, n. 3, p. 346, 2004.

TIETZ, C. M. et al. Influência da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 2, 2014.

ZHENG, W. et al. Anaerobic transformation kinetics and mechanism of steroid estrogenic hormones in dairy lagoon water. **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 10, p. 5471-5478, 2012.