

Tratamento de efluente da indústria de laticínios aplicando processo oxidativo avançado ($H_2O_2/TiO_2/UV$)

Treatment of effluents from the dairy industry by applying advanced oxidative process ($H_2O_2/TiO_2/UV$)

Fernando F. Dias¹; Cláudia V. A. Silva¹; André F. de M. S. Santos¹; José G. P. Andrade²; Izabelle L. T. Albuquerque³

¹ Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

² Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

³ Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Todos autores contribuíram de forma igualitária

Palavras-Chave

reator
fotocatálise
POA
indústria tratamento
custo

O soro do leite, um subproduto da fabricação de queijos, apresenta altas cargas de lipídios, carboidratos e proteínas, que são de difícil biodegradabilidade e apresentam riscos ao meio ambiente. São produzidos cerca de 145 milhões de toneladas por ano de soro no mundo. Por isso, devem ser tratados adequadamente antes de serem lançados nos corpos receptores. Os processos oxidativos avançados (POA's) podem ser uma alternativa não convencional, para o tratamento desse tipo de efluente, cuja eficiência do tratamento, tem-se mostrado como uma alternativa viável. Os POA's são processos físico-químicos que geram espécies transitórias com elevado poder oxidante, principalmente o radical hidroxila ($\bullet OH$), este radical oxida uma grande variedade de compostos orgânicos em CO_2 , H_2O e íons inorgânicos. Com base nisso, o objetivo do trabalho foi de estudar o tratamento de efluente da indústria de laticínios através de POA's em reator tubular com lâmpada de luz negra em processo de fotocatálise heterogênea ($H_2O_2/TiO_2/UV$). Para isso foi utilizado um planejamento experimental ². Obteve-se melhor resposta na concentração de TiO_2 de 1,5 g/L e 200 mM de H_2O_2 , reduzindo-se em cerca de 34% em DQO do efluente, em 20 minutos. Obteve-se um valor final de custo igual a US \$ 0,05/L ou US \$ 50/m³.

Key-word

reactor
photocatalysis
AOP
industry
treatment
cost.

ABSTRACTS

Whey cheese, a by-product of cheesemaking, has high levels of lipids, carbohydrates and proteins, which are difficult to biodegrade and pose risks to the environment and are around 145 million tonnes per year of whey worldwide. Therefore, they must be properly treated before being released into the environment. Advanced oxidative processes (AOP's) may be an unconventional alternative for the treatment of this type of effluent, whose treatment efficiency has been shown to be a viable alternative. POA's are physical-chemical processes that generate transient species with high oxidizing power, especially the hydroxyl radical ($\bullet OH$), this radical oxidizes a great variety of organic compounds in CO_2 , H_2O and inorganic ions. Based on this, the objective of the work was to study the effluent treatment of the dairy industry through POA's in a tubular reactor with a black light lamp in a heterogeneous photocatalysis process ($H_2O_2/TiO_2/UV$). For this, an experimental design was used ². A better response in the TiO_2 concentration of 1.5 g/L and 200 mM of H_2O_2 was obtained, reducing in about 34% in COD of the effluent in 20 minutes. A final cost value of US \$ 0.05/L or US \$ 50/m³ was obtained.

Informações do artigo

Recebido: 20 Agosto, 2018

Aceito: 17 Setembro, 2018

Publicado: 30 Setembro, 2018

Introdução

A degradação ambiental é um dos principais problemas que preocupam a população em geral e a industrialização possui uma grande parcela de contribuição para esta degradação. A geração de águas residuais é uma das principais questões de sustentabilidade ambiental nos setores de alimentos. Os constituintes dos efluentes do processo alimentar são frequentemente complexos e requerem alta energia e processamento para conformidade regulatória. As águas residuais podem ter um impacto eco-toxicológico significativo na vida aquática. Assim, abordagens inovadoras de tratamento são necessárias para mitigar o impacto ambiental de maneira eficiente em termos energéticos (QUEIROZ et al., 2012; FYFE et al., 2016; PATANGE et al., 2018).

Entre essas indústrias alimentícias, encontra-se o setor de laticínios, que gera grande volumes de efluentes, necessitando-se de tratamento adequado, evitando-se assim a poluição direta dos corpos receptores. Os efluentes são gerados durante o processo de produção, lavagem e limpeza, os quais se caracterizam pela presença de moléculas orgânicas, sólidos do leite, gorduras elevadas, detergentes e desinfetantes (ABREU et al., 2013; REIS & KEMPKA, 2015).

Esses efluentes apresentam elevadas demandas bioquímicas e químicas de oxigênio (DBO) e (DQO), respectivamente, possuindo alta carga orgânica, pois há grandes quantidades de lipídios, carboidratos e proteínas. Representando grandes riscos à vida aquática, pois há redução de oxigênio dissolvido na água, se forem lançados nos corpos receptores sem tratamento adequado (BEGNINI & RIBEIRO, 2014).

A quantidade de água necessária para beneficiar o leite é elevada, estima-se que para cada litro de leite beneficiado sejam gerados 2,5 litros de efluentes. Tendo em vista que o Brasil é um grande produtor mundial de leite, significa que também é um grande gerador de efluentes dessa natureza, necessitando-se de alternativas viáveis para o seu tratamento (DALLA VILLA et al., 2007).

Uma proporção significativa dos efluentes gerados pela indústria de laticínios está na forma de soro, o que gera muitas preocupações ambientais, especialmente nos países em desenvolvimento. O problema mais significativo é seu conteúdo significativo de DBO variando de 35.000 a 55.000 mg/L.

Considerando a grande quantidade de soro gerado globalmente (cerca de 145 milhões de toneladas por ano), é imperativo propor abordagens adequadas que possam ser usadas para recuperar produtos valiosos, como lactose ou proteínas, e também ajudar a reduzir as preocupações ambientais (GANJU et al., 2017).

Algumas alternativas para o tratamento desses efluentes consistem em aplicação de membranas de ultrafiltração e osmose reversa, para reaproveitamento da água; também se utilizam reatores biológicos anaeróbios ou aeróbios; além de existirem outras tecnologias mais inovadoras como os Processos Oxidativos Avançados (POAs).

Os POA's apresentam vantagens no tratamento de efluentes mais complexos, como é o caso dos laticínios. São técnicas inovadoras e eficientes. Entre os POA's, encontra-se o processo de fotocatalise heterogênea, uma tecnologia promissora, que apresenta algumas vantagens como a de não utilizar reagentes químicos (SALAZAR & FILHO, 2009; BRANCHER, 2012).

A fotocatalise heterogênea é um processo obtido a partir da irradiação de um catalisador, que em geral é o dióxido de titânio (TiO_2), o qual gera um radical livre hidroxila ($\bullet\text{OH}$), que tem poder de oxidar as moléculas orgânicas, transformando-as em compostos menores e oxidando-as à CO_2 e H_2O . O TiO_2 apresenta muitas vantagens como insolubilidade em água, boa estabilidade em ampla faixa de pH, baixo custo e o fato de ser atóxico (SILVA, 2007; MIKLOS et al., 2018). A fotocatalise baseada em TiO_2 também demonstra ser altamente eficaz na degradação de contaminantes orgânicos e na eliminação microbiana sem a geração de lodo residual (MURCIA et al., 2018).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o pré-tratamento de efluente bruto da indústria de laticínios através da fotocatalise heterogênea ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$), utilizando um reator tubular dotado de lâmpada de luz negra avaliando também os custos desse pré-tratamento.

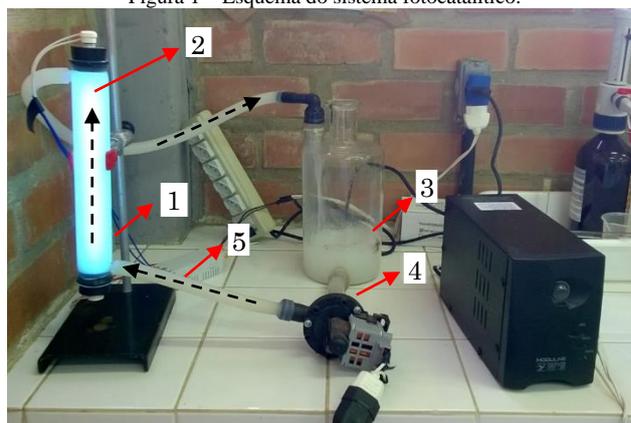
Material e Métodos

Efluente industrial: O efluente bruto utilizado foi obtido de cedido por uma indústria de laticínios de médio porte de uma cidade vizinha a Garanhuns – PE.

Reagentes e metodologias analíticas: Para o processo de fotocatalise heterogênea, foram utilizados o peróxido de Hidrogênio (H_2O_2), o dióxido de Titânio (TiO_2) e solução inibidora (sulfito de sódio (Na_2SO_3) e Iodeto de Potássio (KI). A determinação da DQO foi realizada utilizando a metodologia do *Standard Methods 5220 D*. Os resultados foram calculados através de curva padrão obtida sob as mesmas condições utilizando solução de bftalato ácido de potássio com concentrações conhecidas (150 a 1500 mg/L O_2). As análises de DQO foram realizadas no laboratório de química da UFRPE/UAG.

Aparato Experimental: O Sistema de fotocatalise heterogênea (Figura 1) foi montado no laboratório de física da UFRPE/UAG. O sistema é constituído de um reator fotocatalítico com lâmpada de luz negra (radiação UVA) de 8W de potência, um tanque de recirculação, bomba centrífuga de 20W e fonte de alimentação.

Figura 1 – Esquema do sistema fotocatalítico.



Legenda: (1) – Reator fotocatalítico; (2) – Lâmpada de luz negra; (3) – Tanque de recirculação de efluente; (4) – Bomba centrífuga; (5) – Sentido de circulação de efluente.

Fonte: O Autor (2018)

Planejamento Fatorial: Para a realização de cada ensaio foi utilizado 800 mL do efluente real do laticínio indústria alimentícia e dos reagentes TiO_2 e H_2O_2 de acordo com o planejamento fatorial 2^2 , sendo as concentrações iniciais de H_2O_2 e TiO_2 , as variáveis independentes (Tabela 1).

As amostras foram coletadas nos tempos 0, 10, 20 e 30 minutos, filtradas em membrana quantitativa de 0,45µm e posteriormente levadas para análise de DQO.

Tabela 1 – Planejamento fatorial (2²).

Ensaio	H ₂ O ₂ , mM	TiO ₂ , g/L
1	100	0,5
2	200	0,5
3	100	1,5
4	200	1,5
5	150	1,0
6	150	1,0
7	150	1,0

Fonte: O Autor (2018)

Avaliação preliminar de custo: foi realizada a partir da proposta de Thiruvengkatahari (2007) em dólar americano (US\$). O cálculo da energia (kWh) requerida para tratar 1000 L do efluente bruto, fixando 90% de degradação utilizou a Equação 1. Considerando ainda o preço da eletricidade igual a US\$ 0,07.kW⁻¹ e do TiO₂ US\$ 75.kg⁻¹ pode ser calculado os custos do processo.

$$K(KWh) = \frac{P(KW) \times 1000}{Vo (L)} \times \frac{\ln(10)}{60k(1/min)} \quad (1)$$

Onde:

E – Energia requerida para degradação de 90% do poluente no tratamento de 1000 L de efluente em kWh.

P – Potência da lâmpada utilizada no teste em kW.

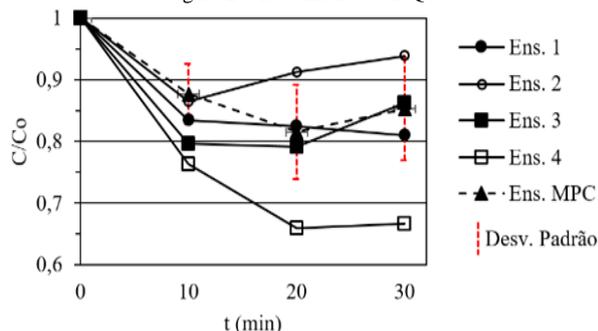
V_o – Volume tratado em L.

k – Constante cinética de pseudo-primeira ordem em 1/min.

Resultados e discussões

A curva de decaimento de DQO está representada no Figura 2, sendo MPC, a média dos pontos centrais dos ensaios. Foi observado que houve resultado significativo apenas no ensaio 4, sendo os demais não significativos. A sequência dos ensaios realizados está demonstrado na Tabela 1. Os valores de redução em material orgânico diferem de Abreu et al. (2013), o qual utilizou um processo de fotocatalise heterogênea para tratar efluentes da indústria de laticínios, conseguindo reduzir uma carga orgânica de cerca de 80%, utilizando o ZnO como catalisador e maiores concentrações de H₂O₂ (variando de 30 a 100 mL em 1,3 litros de efluente) durante um período de tempo de 1 hora, a qual foi superior ao do estudo (30 min).

Figura 2 – Decaimento de DQO.

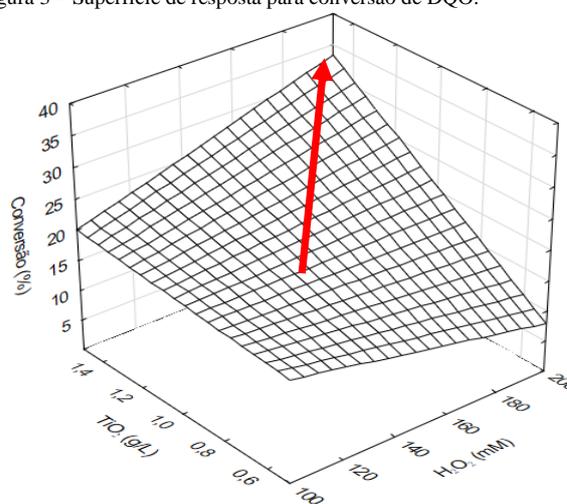


Fonte: O Autor (2018)

A superfície de resposta está representada na Figura 3, na qual foi possível analisar que o ponto de melhor resposta foi o de maior concentração de dióxido de titânio e maior volume de peróxido de hidrogênio, resultando-se em uma maior remoção de DQO. Foi possível analisar que o ponto de melhor resposta foi o de maior concentração de dióxido de titânio e maior volume de peróxido de hidrogênio, resultando em uma maior remoção de DQO.

Corroborando com Mendes et al. (2014), que estudou a utilização dos processos oxidativos avançados do tipo foto-Fenton em efluentes de laticínios, onde se observou que concentrações maiores de H₂O₂ (353-707 mM), resultavam em uma maior redução de DQO. A condição ótima determinada, considerando um tempo reacional de 2 horas, indicou o uso de 524 mM de H₂O₂, razão molar H₂O₂/Fe²⁺ de 60,4 e fonte de radiação UV de 250 W, e possibilitando-se em reduções de 89,9% em COT e 50,8% em DQO.

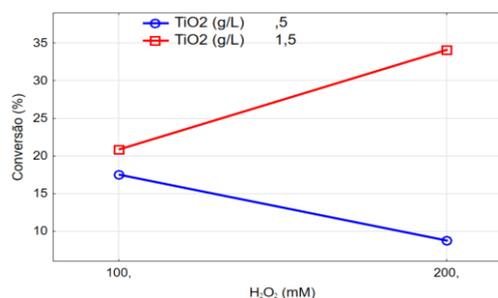
Figura 3 – Superfície de resposta para conversão de DQO.



Fonte: O Autor (2018)

Na Figura 4 pode ser observada a melhor combinação de fatores para uma maior remoção em DQO do efluente. Encontrou-se num ponto de maior concentração de TiO₂ e H₂O₂, confirmando a o resultado da Figura 3. Não havendo interação entre os fatores.

Figura 4 – Médias marginais de conversão de DQO.

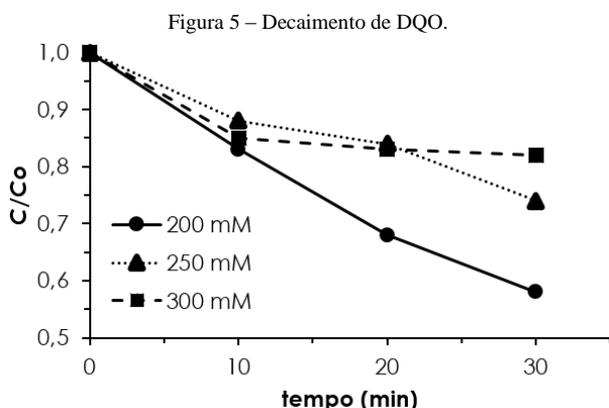


Fonte: O Autor (2018)

Foram realizados novos ensaios, como demonstrado na Figura 5, para confirmação dos primeiros ensaios, com a concentração de TiO₂ igual a 1,5 g/L. Observou-se nos primeiros ensaios, que apenas o ensaio 4 teve uma resposta significativa. Realizou-se novos ensaios, como demonstrado na Figura 5, para confirmação dos primeiros ensaios, obteve-se melhor resposta em decaimento de DQO na concentração de 200 mM de H₂O₂, fixando-se a quantidade de TiO₂.

Os estudos diferem de Lira (2013), o qual avaliou o tratamento de efluente contendo ácido tereftálico com processo fotocatalítico com TiO₂ (TiO₂/O₂/UV), onde injetou-se ar na solução por meio de aeração via borbulhamento com compressor de ar e uma lâmpada Ultra-Vitalux (Osram) 300W, com potência muito superior a do presente estudo, conseguindo-se reduzir em cerca de 93% de carga orgânica, utilizando-se 90 minutos de reação.

Favaretto et al. (2015), avaliou a importância da combinação de tratamentos para degradar a matéria orgânica do efluente em uma indústria de laticínios, combinando-se processos físicos, químicos e biológicos, obtendo-se uma redução em cerca de 95% de DBO e DQO. Passando por um processo físico-químico de floculação com o policloreto de alumínio e posterior tratamento biológico por meio de lodo ativado. O pré-tratamento proposto no presente estudo, mostrou-se eficiente na remoção em DQO, porém há necessidade de mais estudos para que se determine um ponto de maior remoção da matéria orgânica. Havendo necessidade de se combinar com outro tratamento, como o biológico, que se mostra mais eficiente para remoção de matéria orgânica.



Fonte: O Autor (2018)

Para a análise de custo foi considerado um volume de 1000 L e o tempo suficiente para 90% de conversão de DQO. Para isso foi utilizado a cinética apresentada na Figura 6. A equação cinética pode ser observada na Equação 2.

$$-\ln(DQO/DQO_0) = k.t \tag{2}$$

Sendo:

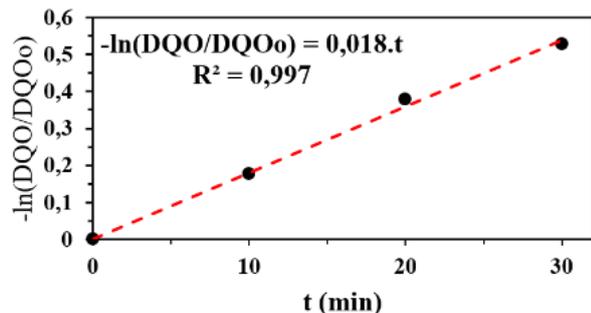
DQO – demanda química de oxigênio ao decorrer do tempo (mg/L).

DQO₀ – demanda química de oxigênio inicial (mg/L).

k – constante cinética (min⁻¹).

t – tempo reacional (min)

Figura 6 – Cinética de primeira ordem para 1,5 g/L de TiO₂ e 200 mM de H₂O₂.



Aplicando na Equação 1, tempos para que ocorra 90% de conversão de DQO, temos que DQO/DQO₀ = 0,1. Substituindo na Equação 2 obtemos o tempo reacional igual

a 127,9 minutos. Utilizando a metodologias proposta por Thiruvenkatachari (2007) e os resultados obtidos pelas equações 1 e 2, considerando o valor do kWh, obteve (Tabela 4) os custos do tratamento por litro do efluente bruto.

O custo obtido apresentou-se mais oneroso do que o obtido por Dias (2013), o qual estudou o custo de diferentes reatores utilizando a aplicação de POAs para degradação de efluente contaminado com corantes remazol preto B, obtendo-se degradação superior a 60% de COT (carbono orgânico total).

Tabela 4 – Custos para tratamento de 1000 L de efluentes com o tratamento H₂O₂/TiO₂/UV.

Custo	Valores	Custo (US\$)
V (L)	1000	---
Potência (kW)	10	---
t (min)	127,9	---
Energia (kWh)	21,3	1,49
TiO ₂ (kg)	1,5	7,50
V _{H2O2} (L)	16,3	39,53
Total (US\$/L)	---	0,05

Fonte: O Autor (2018)

Dias (2013) obteve um custo em dólar americano (US \$) de tratamento por volume de efluente, para o reator PTC, de calha parabólica, com lâmpada de luz negra estimado em US\$ 6,41/m³, para o reator PTC, de calha parabólica, solar de US\$ 3,21/m³, para o reator anular de US\$ 9,44/m³, para o reator cilíndrico de US\$ 17,85/m³ para um reator tubular de US\$ 47,50/m³.

Araújo et al. (2016), ressalta que a fotocatalise heterogênea apresenta algumas limitações para sua aplicação a nível industrial, sendo a principal delas o custo com reagentes e energia. Nessas condições experimentais, uma aplicação em escala maior se tornaria muito onerosa para pré-tratar efluentes, necessitando-se de mais estudos para o aperfeiçoamento do método.

Conclusão

Através do estudo, o tratamento de efluente da indústria de laticínios, utilizando os POA's em reator tubular com lâmpada de luz negra em processo de fotocatalise heterogênea (H₂O₂/TiO₂/UV), foi possível reduzir em cerca de 34% na matéria orgânica presente no efluente bruto do efluente, na concentração de TiO₂ de 1,5 g/L e 200 mM de H₂O₂, em 20 minutos. Necessitando-se ainda de estudos posteriores para se conseguir uma maior redução em demanda química de oxigênio. Obteve-se um valor final de custo igual a US\$ 0,05/L ou US\$ 50/m³.

Agradecimentos



Referências

- ABREU, P. *et al.* **Photocatalytic Oxidation Process (UV/H₂O₂/ZnO) in the treatment and sterilization of dairy wastewater.** *Acta Scientiarum. Technology*, v. 35, n. 1, p. 75-81, 2013.
- ALBORNOZ, L. L. **Estudo de caso: avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes de um campus universitário.** Porto Alegre, 2015.
- ARAÚJO, K. S. *et al.* **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais/Advanced oxidation processes: a review of fundamentals and applications in the treatment of urban and industrial wastewaters.** *Revista Ambiente & Água*, v. 11, n. 2, p. 387, 2016.
- BARROS NETO, B. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Benício de Barros Neto. Ieda Spacino Scarminio, Roy Edward Bruns. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2001.
- BEGNINI, B. C.; RIBEIRO, H. B. Plano para redução de carga poluidora em indústria de laticínios. **Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar**, v. 3, n. 1, p. 19-30, 2014.
- BRANCHER, M. **Avaliação da degradação fotocatalítica de H₂S em um reator anular.** Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
- BUTTON, Sérgio T. **Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados.** São Paulo, 2005.
- CORDEIRO, A. R.; SANTOS, M. H. R.; CARLETTO, M. R. **Levantamento do perfil de tratamento de efluentes de uma indústria de alimento.** In: VIII Encontro Paranaense de Empreendedorismo e Gestão Empresarial, 2010, PONTA GROSSA. VIII EPEGE, 2010.
- DALLA VILLA, R.; SILVA, M. R. A. da; NOGUEIRA, R. F. P. **Potencial de aplicação do processo foto-fenton/solar como pré-tratamento de efluente da indústria de laticínios.** *Química Nova*, v. 30, n. 8, p. 1799-1803, 2007.
- DIAS, Fernando Ferreira da Silva. **Aplicação de processo oxidativos avançados em diferentes reatores no tratamento de efluente contaminado com corante Remazol Preto B com otimização e análise de custos.** Tese de doutorado, UFPE, 2013.
- FAVARETTO, D. P. C. *et al.* **Análise técnica do processo de tratamento de efluentes de empresa de laticínios da região de Passo Fundo/RS.** *Revista CIATEC-UPF*, v. 7, n. 2, p. 18-30, 2015.
- FRAGA, F. A., GARCÍA, H. A., HOOIJMANS, C. M., MÍGUEZ, D., BRDJANOVIC, D. **Evaluation of a membrane bioreactor on dairy wastewater treatment and reuse in Uruguay.** *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.119 p.552-564, 2017.
- FYFE J., HAGARE, D., SIVAKUMAR, M. **Dairy shed effluent treatment and recycling: Effluent characteristics and performance.** *Journal of Environmental Management*, v.180, p. 133e146, 2106.
- GANJU, S., GOGATE, P. R. **A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents.** *Journal of Food Engineering*, v. 215, p. 84-96, 2017.
- LIRA, E. S. **Tratamento de efluente modelo contendo ácidotereftálico sintéticos com processo fotocatalítico com TiO₂.** 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- LOURES, C. A. *et al.* **Advanced Oxidative Degradation Processes: Fundamentals and Applications.** *International Review of Chemical Engineering*, v. 5, n. 2, p. 2035-1755, 2013.
- MENDES, P. R. A.; ZIZAS, L. N.; FARIA, L. F. F. **Utilização de processo oxidativo avançado do tipo foto-fenton na degradação de efluente da produção de queijos.** *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 2, p. 7417-7424, 2015.
- MIKLOS, D. B., REMY, C., JEKEL, M., LINDEN, K. G., DREWES, J. E., HÜBNER, U. **Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment: A critical review.** *Water Research*, v. 139, p. 118 -131, 2018.
- MONTGOMERY, D. C., 1993 - **Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros.** Montgomery, D. C., RUNGER, G. C.; tradução e revisão técnica Verônica Calado. – Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- MURCIA, J. J., HERNÁNDEZ-LAVERDE, M., ROJAS, H., MUÑOZ, E., NAVÍOC, J. A., HIDALGO, M. C. **Study of the effectiveness of the flocculation-photocatalysis in the treatment of wastewater coming from dairy industries.** *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 358, p. 256-264, 2018.
- OLLER, I.; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, . **Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for wastewater decontamination—a review.** *Science of the total environment*, v. 409, n. 20, p. 4141-4166, 2011.
- PATANGE, A., BOEHM, D., GILTRAP, M., LU, P., CULLEN, P. J., BOURKE, P. **Assessment of the disinfection capacity and eco-toxicological impact of atmospheric cold plasma for treatment of food industry effluents.** *Science of the Total Environment*, v. 631–632, p. 298–307, 2018.
- QUEIROZ, S. F.; MATA, J. F.; EMERENCIANO, O. F. **Produção de leite e queijo bovino da indústria laticinista miraleite no triângulo mineiro.** *Cadernos de Pós-Graduação da FAZU*, v. 2, 2012.
- REIS, F. S.; KEMPKA, A. P. **Avaliação de parâmetros operacionais de um sistema de lodos ativados utilizado no tratamento de efluente lácteo.** *Revista de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 1, p. p. 19-30, 2015.

SALAZAR, R. F. S.; FILHO, H. J. I. **Aplicação de processo oxidativo avançado baseado em fotocatalise heterogênea (TiO₂/UV solar) para o pré-tratamento de afluente lácteo.** AUGMDOMUS, v. 1, 2009.

SILVA, D. J. P. **Resíduos na indústria de laticínios.** Série Sistema de Gestão Ambiental. Viçosa-MG, 2011.

SILVA, F. V. **Aplicação da fotocatalise heterogênea para degradação de benzeno e fenol em um reator contínuo do tipo labirinto.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

THIRUVENKATACHARI, R. *et. al.* **Application of several advanced oxidation processes for the destruction of terephthalic acid (TPA).** Journal of hazardous materials, v. 142, n. 1, p. 308-314, 2007.