

II-010 – ANÁLISE DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO APÓS POA HOMOGÊNEO E FILTRAÇÃO

Rogério Ferreira da Silva⁽¹⁾

Bacharel em Química pela Universidade Federal de Pernambuco. Doutor em Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Kayque Santos Silva⁽²⁾

Estudante do curso técnico em agroindústria – IFPE Campus Belo Jardim

Kayky dos Santos Silva⁽³⁾

Estudante do curso técnico em agroindústria – IFPE Campus Belo Jardim

Marcelo Fabrício Araújo⁽⁴⁾

Licenciado em química pela Universidade Federal de Pernambuco campus Agreste (UFPE/CA)

Gilson Lima da Silva⁽⁵⁾

Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco. Doutorado em Engenharia Química na área de Engenharia Ambiental, pela Universidade Estadual de Campinas

Endereço⁽¹⁾: Av. Sebastião Rodrigues da Costa, s/n - São Pedro, Belo Jardim - PE, 55145-065- Tel: (81) 98650-8863 - e-mail: rogerio.silva@belojardim.ifpe.edu.br

Endereço⁽²⁾: Av. Sebastião Rodrigues da Costa, s/n - São Pedro, Belo Jardim - PE, 55145-065- Tel: (81) 98124-2140 - e-mail: kss13@discente.ifpe.edu.br

Endereço⁽³⁾: Av. Sebastião Rodrigues da Costa, s/n - São Pedro, Belo Jardim - PE, 55145-065- Tel: (81) 99414-0755 - e-mail: kss14@discente.ifpe.edu.br

Endereço⁽⁴⁾: Av. Sebastião Rodrigues da Costa, s/n - São Pedro, Belo Jardim - PE, 55145-065- Tel: (81) 99284-7581 - e-mail: marcelo.fabricio@ufpe.br

Endereço⁽⁵⁾: Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 - Nova, PE, 55014-900 - Tel: (81) 99996-8941 - e-mail: glimasilva21@yahoo.com.br

RESUMO

As indústrias alimentícias são uma das grandes consumidoras de água, em especial a de laticínios, responsável pelo beneficiamento do leite. Esse alto consumo acarreta na geração de elevados volumes de efluentes, os quais apresentam altas concentrações de matéria orgânica, elevada demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais. O descarte direto desses efluentes diretamente nos corpos hídricos pode representar riscos para o meio ambiente. Este estudo apresenta a análise da aplicação do processo oxidativo avançado foto-Fenton em uma amostra de leite em diferentes concentrações (v/v) 30%, 50% e 70% e análise das alterações dos parâmetros físico-químicos DQO, cor e turbidez. Para o monitoramento das alterações desses parâmetros, o processo foto-Fenton foi empregado nas amostras com diferentes concentrações de leite, com exposição solar de 3h30min, 3 mg de FeSO₄.7H₂O e 300 microlitros de H₂O₂. Apenas na amostra com concentração de 50% foi aplicada o processo de filtração. Diante disso, houve uma eficiência de 73% da mineralização da matéria orgânica, diminuição da turbidez para a amostra filtrada, indicando que filtração pode ser uma etapa incorporada no tratamento de efluentes de laticínios.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente de laticínios; Processos Oxidativos Avançados; foto-Fenton; Filtração; Tratamento de Efluentes.

INTRODUÇÃO

A industrialização possui um papel fundamental no desenvolvimento econômico de um país, a água está entre um dos principais insumos utilizados, segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em 2020 o setor industrial foi responsável por uma captação de 7.271.557.361 m³ de água e o lançamento por volta de 4.431.880.599 m³, por ano. As indústrias alimentícias estão entre as maiores consumidoras de água,



atrás apenas dos setores químico e de refinaria, consequentemente gerando elevados volumes de efluentes (Ahmad et al., 2019) Bhuvaneshwari et al., 2022).

Dentre os setores da indústria alimentícia um de grande destaque é o de laticínios. No ano de 2021, segundo o anuário do leite desenvolvido pela EMBRAPA, o Brasil teve uma produção de leite estimada em 35,30 bilhões de litros de leite, esta indústria é responsável pelo beneficiamento do leite.

O beneficiamento do leite pode gerar de 0,2 a 10 L de efluentes por litro de leite processado. Esses efluentes são caracterizados por conterem elevados teores de matéria orgânica, como carboidratos, proteínas, graxas e óleos, sanitizantes, detergentes, soro do leite, além de elevados valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e sólidos totais suspensos (Ahmad et al., 2019; Akansha et al., 2020; Bhuvaneshwari et al., 2022). O descarte desses efluentes com alta concentração de matéria orgânica, diretamente nos corpos hídricos sem qualquer tratamento pode levar à vários problemas ambientais, como à eutrofização da água, promovendo um crescimento acelerado de algas e bactérias, acarretando no esgotamento do oxigênio dissolvido (OD), além de contaminar águas subterrâneas e o solo, causando desequilíbrios ecológicos (Ahmad et al., 2019; Kaur, 2021).

Desta maneira, visando a diminuição dos impactos ambientais causados pelos lançamentos inadequados dos efluentes, por parte das indústrias, torna-se necessário a aplicação de métodos de tratamento eficientes. De acordo com Hosseinlou (2021) há vários métodos disponíveis, porém, os mais comuns são os físico-químicos e os biológicos.

Porém, para a aplicação de um determinado método de tratamento é necessário levar em consideração as características do efluente. Quanto ao tratamento biológico é realizado através da utilização de microrganismos por via aeróbia ou anaeróbia, são empregados devido a maior parte da matéria orgânica ser biodegradável, porém nem todos os compostos presentes no efluente são biodegradáveis. Já para o tratamento físico-químico é utilizado processos de coagulação e floculação, através do uso de um floculante capaz de agregar as partículas, apesar de ser um processo simples e econômico apresenta desvantagens como o alto custo dos floculantes e a possibilidade de uma contaminação secundária ao efluente pela adição de compostos químicos (Domingues et al., 2022; Fonseca, 2023).

A utilização dos Processos Oxidativos Avançados (POA) estão sendo utilizados como alternativa para o tratamento de efluentes mais complexos e recalcitrantes, características do efluente da indústria de laticínios, através de um pré-tratamento ou pós-tratamento. Os POA's são empregados devido à sua capacidade de gerar fortes espécies reativas por reações de oxidação com o radical hidroxila não seletivo ($\text{OH}\cdot$), os quais são formados pelo emprego de um agente oxidante, geralmente o Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) e o Ozônio (O_3), na presença ou não de radiação artificial ou natural. Levando assim a uma conversão completa dos contaminantes em intermediários mais biodegradáveis ou a mineralização dos poluentes em CO_2 , H_2O e íons orgânicos, tornando-os menos tóxicos (Khare et al., 2021; Rekhate; Srivastana, 2020; Nidheesh et al., 2022; Oliveira, 2022; Silva et al., 2024). Os radicais hidroxilas podem ser formados por meio dos POA's homogêneos ou heterogêneos. Os homogêneos correspondem a sistemas com reações do tipo Fenton, fotoperoxidação e foto-Fenton. Já os heterogêneos englobam reações do tipo Fenton, foto-Fenton heterogênea e fotocatalise. A diferença entre esses sistemas se dá devido à forma como os catalisadores (Ferro (Fe), Manganês (Mn), dióxido de titânio (TiO_2)) são os mais utilizados se apresentam no meio seja em suspensão ou suportados (Oliveira, 2022; Santana, 2022). Por conseguinte, os POA's vêm se consolidando como alternativas eficientes para o tratamento de efluentes frente às limitações dos tratamentos biológicos e os convencionais de água, devido a possibilidade de associação com os processos físicos, químicos e biológicos promovendo uma maior eficiência na degradação dos compostos presentes nos efluentes.

O objetivo deste trabalho foi tratar efluente modelo de laticínios por processo oxidativo foto-Fenton e analisar a alteração de parâmetros como cor, turbidez e demanda química de oxigênio.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento está atrelado a basicamente três etapas: preparo de amostra, determinação de parâmetros físico-químicos e aplicação de tratamento por processo oxidativo avançado, a saber: o foto-Fenton.

Quanto ao preparo das amostras, adquiriu-se 1 L de leite integral comercial e antes de submetê-lo ao tratamento, realizaram-se diluições de 30%, 50% e 70%, bem como, o ajuste do pH com soluções de H₂SO₄ 1M e KOH 1M (phmetro sympla pH 140), medição da cor (colorímetro DLA - COR), neste caso, as amostras precisaram ser diluídas 100 vezes, e turbidez (Turbidímetro DLT - WV).

Para o experimento de degradação pelo processo foto-Fenton, as amostras foram submetidas a exposição solar por 3h30min, com monitoramento da irradiação de 15 em 15 minutos com um luxímetro, modelo Metrins INS-1381, as coordenadas da localização de realização do experimento foram (-8.320274, -36.419653), medidas com auxílio do Google Maps®. Para cada diluição supracitada, separaram-se 2 alíquotas de 50 mL do leite em béqueres de 100 mL, em seguida, adicionaram-se 3 mg de FeSO₄.7H₂O, 300 microlitros de H₂O₂ e homogeneizou. A amostra 50% diluída foi escolhida para fazer o teste de filtração, filtro quantitativo com diâmetro de 8 micrômetros.

Para determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO), primeiramente, preparou-se uma curva padrão (Figura 1) com biftalato de potássio, simulando uma DQO artificial, para tal, preparou-se uma solução padrão de biftalato de potássio de DQO 4000 mg/L de O₂ e, a partir desta, realizaram-se diluições para concentrações 2000, 1000, 500, 250 e 125 mg/L de O₂, considerando que 1 mg de biftalato de potássio corresponde a 1,171 mg/L de O₂.

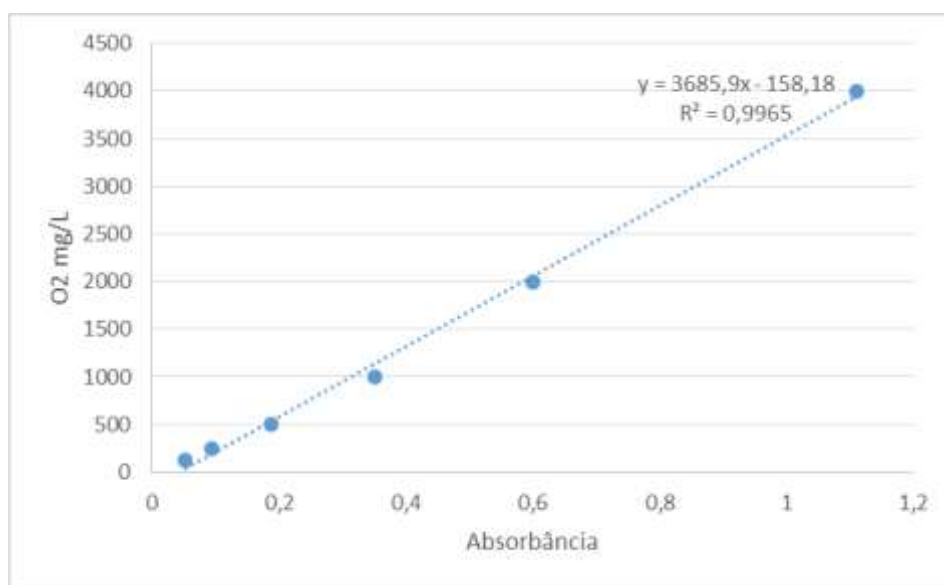


Figura 1: Curva padrão de Biftalato de Potássio para determinação de DQO

A determinação da DQO seguiu a seguinte metodologia: 2,5 mL de amostra, 1,5 mL de solução de digestão (2,554g de dicromato de potássio, 125 mL de água destilada, 42,75 mL de ácido sulfúrico e 8,325 g de sulfato de mercúrio) e 3,5 mL de solução de ácido sulfúrico (200 mL de ácido sulfúrico com 2,03 g de sulfato de prata).

RESULTADOS OBTIDOS

Inicialmente, a partir de uma amostra de leite comercial, ajustou-se o pH para 3,0, que é pH ideal para o processo foto-Fenton, em seguida, procedeu com as diluições em 30%, 50% e 70%, simulando uma diluição em um laticínio. Abaixo, na Tabela 1 estão os valores de cor, turbidez e Demanda Química de Oxigênio (DQO) antes do tratamento pelo processo oxidativo avançado.

Tabela 1: Características das águas estudadas na ETA-Morrinhos.

Concentração de leite (V/V)	Cor (uC)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L O ₂)
30%	3200	723	210.000
50%	6500	418	
70%	8300	287	

A análise dos dados da Tabela 1 mostram que existe uma tendência da cor aumentar do menos concentrado 30% (v/v) para o mais concentrado 70% (v/v), logo, quanto maior a concentração de leite, maior a cor. No caso da turbidez, ocorre o inverso, mostra-se uma tendência da turbidez diminuir do menos concentrado para o mais concentrado, isto pode ser explicado pelo fato do leite ser uma emulsão, corroborado por Gonzáles et al (2001), diz que o leite é uma emulsão de glóbulos de gordura e uma suspensão de micelas de caseína (caseína, cálcio, fósforo), todas suspendidas em uma fase aquosa que contém solubilizadas moléculas de lactose, proteínas do soro do leite e alguns minerais. Os leucócitos no leite são parte da fase suspendida. Shirai (2010) constatou que a turbidez do leite aumenta com a acidez. Neste trabalho, a acidez foi ajustada para pH 3, ideal para aplicação da reação foto-Fenton, isto pode justificar o aumento da turbidez após o tratamento. O valor aceitável para turbidez é abaixo de 100 NTU de acordo com o CONAMA 430/11, que indica que a amostra bruta de fato precisa ser tratada, até mesmo, quando diluída. A faixa de turbidez encontrada foi de 287 a 723 NTU, de acordo com o encontrado por Soares (2018), que foi de $1.104 \pm 313,9$ para amostra bruta. O valor de DQO foi baseado no Guia Técnico Ambiental de Produtos Lácteos, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, que menciona que um litro de leite integral equivale aproximadamente a uma DQO de 210.000 mg/L.

A seguir, na Tabela 2, são apresentados os valores médios de cor, turbidez e Demanda Química de Oxigênio (DQO) para o leite submetido ao tratamento foto-Fenton. As condições experimentais foram: 3 mg de FeSO₄.7H₂O, 300 uL de H₂O₂, 3h30min de reação e intensidade luminosa média de 150.000 lux. Vale salientar que as amostras foram tratadas em duplicata, a amostra de concentração 50% (v/v) foi tratada e filtrada e seus parâmetros físico-químicos analisados.

Tabela 2: Valores médios de cor (uC), turbidez (NTU) e DQO (9mg/L) depois do tratamento foto-Fenton e a eficiência do processo

Amostras	Cor (uC)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Degradação (%)
30.1	5100	835	57162	73
30.2	5000	830	63060	70
50.1	8500	492	85728	59
50.2	9300	480	94574	55
70.1	12300	376	113925	46
70.2	11500	347	117427	44
50.filtrado	8100	60	57531	73

Após o tratamento, observou-se o mesmo padrão para cor, aumentando com a diminuição da diluição, e da turbidez, diminuindo com a diminuição da diluição, porém, observou-se um aumento nestes parâmetros, o que pode ser explicado pelo ajuste da acidez, pela inserção de mais produtos químicos como, por exemplo, o sal sulfato ferroso heptaidratado, que funciona como catalisador no processo foto-Fenton e a oxidação dos componentes do leite, gerando novos compostos que pode contribuir com a presença de mais moléculas em suspensão e culminar com o aumento da cor e da turbidez da amostra. No caso, da amostra filtrada, percebeu-se que não houve alteração significativa na cor, indicando que o filtro não reteve o suficiente para alterar este parâmetro, enquanto que a turbidez diminuiu, indicando que uma etapa de filtração no tratamento pode ser utilizada para reduzir este parâmetro. Observando os valores obtidos de DQO, percebe-se que os mesmos aumentam com o aumento da concentração do leite e que melhores valores são obtidos para o leite mais diluído, o que é mostrado na coluna de degradação, apresentando uma eficiência de 73% de eficiência no tratamento na remoção da matéria orgânica, este valor também foi obtido para a amostra tratada e filtrada



numa diluição de 1:1, indicando que a filtração pode interferir na redução da matéria orgânica e aumento da eficiência do tratamento.

CONCLUSÕES

Diante do exposto, os resultados obtidos mostraram que o processo foto-Fenton reduziu a matéria orgânica do leite. A degradação obteve eficiência de 73%. Os parâmetros cor e turbidez apresentaram um aumento após o tratamento, indicando que os compostos adicionados e gerados na reação influenciaram nos materiais dispersos em solução, interferindo na cor e turbidez das amostras. A filtração não apresentou melhora significativa na cor, mas diminuiu turbidez e DQO, a amostra tratada e filtrada foi a amostra 50% v/v, após filtração a DQO ficou equivalente a amostra 30 % v/v, indicando que a filtração pode ser uma etapa do tratamento do efluente gerado por um laticínio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Planilha de Outorgas**. 2020.
2. AHMAD, Talha et al. Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. **Trends in Food Science and Technology**, Rio de Janeiro, v. 88, n. December 2018, p. 361–372, 2019.
3. AKANSHA, J et al. Treatment of dairy industry wastewater by combined aerated electrocoagulation and phytoremediation process. **Chemosphere**, Maharashtra, v. 253, 2020.
4. Anuário Leite 2023. Leite baixo carbono. Texto Comunicação Corporativa-concessão. Embrapa Gado de Leite. 61p.
5. BRUVANESHWARI, S. et al. Different treatment methodologies and reactors employed for dairy effluent treatment-A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 46, p. 102622, 2022.
6. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - **Guia Técnico Ambiental de Produtos Lácteos - Série P + L**, 2008.
7. DOMINGUES, E. et al. Sulfate radical based advanced oxidation processes for agro-industrial effluents treatment: A comparative review with Fenton's peroxidation. **Science of the Total Environment**, v. 832, p. 155029, 2022.
8. FONSECA, R. M. **Tratamento de efluente de uma indústria de laticínios, por meio do processo Fenton, visando seu reuso**. 143 p. 2023. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Sustentáveis) - Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2023.
9. GONZÁLEZ, F. H. D.; DÜRR, J. W.; FONTANELI, R. S. **Uso do leite para monitorar a nutrição e o metabolismo de vacas leiteiras**. UFRGS, Porto Alegre, RS, 72 p, 2001.
10. HOSSEINLOU, D. Determination of design loading rates for simultaneous anaerobic oxidation/partial nitrification-denitrification process and application in treating dairy industry effluent. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 3, p. 105176, 2021.
11. KAUR, N. Different treatment techniques of dairy wastewater. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 14, p. 100640, 2021.
12. KHARE, P. et al. Recent trends in advanced oxidation process for treatment of recalcitrant industrial effluents. In: **Advanced oxidation processes for effluent treatment plants**, p. 137-160, 2021.
13. NIDHEESH, Puthiya Veetil et al. A review of integrated advanced oxidation processes and biological processes for organic pollutant removal. **Chemical Engineering Communications**, v. 209, n. 3, p. 390-432, 2022.
14. OLIVEIRA, M. A. S. O. **Degradação de mistura de corantes em efluente têxtil sintético via processos fenton e foto-fenton homogêneos e heterogêneos**. 83 p. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.
15. REKHATE, C. V.; SRIVASTAVA, J. K. Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater-A review. **Chemical Engineering Journal Advances**, v. 3, p. 100031, 2020.
16. SANTANA, I. L. S. **Degradação do corante têxtil preto direto 22 empregando processos oxidativos avançados eletroquímicos e homogêneos**. 96 p. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.
17. SOARES, J. M. C. **Tratamento Alternativo de Efluentes de uma Indústria de Laticínios**. 46p. 2018. Dissertação (Mestrado em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí, 2018.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



18. SHIRAI, M. A. **Conservação do leite cru pela aplicação de dióxido de carbono**. 2010, 90f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, 2010.
19. SILVA, L. R et al. Tratamento de efluente de laticínio por processo oxidativo avançado tipo fenton-fotocatalisado. **Química Nova**, v. 47, p. e-20240015, 2024.