



# EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E  
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



## TRATAMENTO ALTERNATIVO DE UM EFLUENTE INDUSTRIAL TERCIÁRIO UTILIZANDO ELETROFLOCULAÇÃO

João Batista Tomazini Sturiale<sup>1</sup>  
Marco Antonio Cardoso de Souza<sup>2</sup>

**Resumo:** Este estudo examinou a utilização da eletrofloculação no tratamento de efluentes industriais terciários, evidenciando sua eficácia na redução de cor, matéria orgânica e fósforo. Os experimentos mostraram que o processo é mais eficaz em pH alcalino e que a elevada condutividade do efluente dispensou a adição de eletrólitos. Apesar disso os eletrodos ainda precisam de grande atenção e manutenção, o tratamento se mostrou promissor e simples de se operar, de baixo custo e sustentável. Os resultados apontam a eletrofloculação como uma alternativa viável para a reutilização da água ou para a melhora no tratamento de efluentes que serão mandados de volta para a natureza.

**Palavras-chave:** Eletrofloculação; Tratamento de água; Sustentabilidade Industrial.

**Abstract:** This study examined the use of electroflocculation in the treatment of tertiary industrial effluents, highlighting its effectiveness in reducing color, organic matter, and phosphorus. The experiments showed that the process is more effective at alkaline pH and that the high conductivity of the effluent eliminated the need for electrolyte addition. Despite this, the electrodes still require significant attention and maintenance. The treatment proved to be promising, simple to operate, low-cost, and sustainable. The results point to electroflocculation as a viable alternative for water reuse or for improving the treatment of effluents to be returned to the environment.

**Key-words:** Electroflocculation; Water treatment; Industrial Sustainability

---

<sup>1</sup> Aluno João Batista Tomazini Sturiale do curso Engenharia Química, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <joaotomazinisturiale123@gmail.com>.

<sup>2</sup> Professor Marco Antonio Cardoso De Souza do curso Engenharia Química, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <marco.souza@unifateb.edu.br>.



## 1. INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades industriais torna a demanda por água e a geração de efluentes cada vez maiores uma realidade. Segundo Santos (2018), esses problemas resultam no problema de eliminação desses resíduos. Um dos meios de minimizar esses dois problemas é reutilizando o máximo possível os recursos hídricos, segundo Taranto (2016), "As empresas que implementam sistemas de reuso de água podem reduzir substancialmente os custos de captação de água potável oriunda de concessionárias públicas ou outras fontes, o que facilita processos regulatórios, como licitações para uso de recursos hídricos, além de contribuir para a sustentabilidade ambiental".

A eletrofloculação surge como uma tecnologia promissora, oferecendo um método eletroquímico eficaz para o tratamento desses efluentes. Com a vantagem de reduzir significativamente contaminantes como matéria orgânica, sólidos suspensos e turbidez, sem a necessidade de aditivos químicos, essa técnica alia eficiência e sustentabilidade (Linares-Hernández et al., 2009).

Dentro deste contexto buscam-se alternativas que visem tratar os efluentes de forma mais eficiente e uma alternativa consiste na eletrofloculação (Fleck, 2012). Para tanto o presente estudo busca analisar a eficiência do processo de eletrofloculação para promover o tratamento de efluentes provenientes da indústria de papel e celulose.



## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. EFLUENTES INDUSTRIAIS

Segundo a Fluxo Consultoria, efluente industrial é todo o efluente líquido gerado e descartado nas diversas etapas de um processo produtivo, isto é, toda a água que é utilizada em uma indústria e, posteriormente, descartada.

Já segundo a norma brasileira da ABNT – NBR 9800/1987, efluentes industriais são “despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial”.

#### 2.1.1. ETAPAS DE TRATAMENTO DO EFLUENTE

Para realizar um tratamento eficaz de um efluente industrial são seguidas algumas etapas, segundo a Fluxo Consultoria (2024), as etapas mais comuns são:

- **Tratamento Preliminar:** Sua principal função é evitar obstruções. É feita com o uso de grades, peneiras ou caixas de retenção de areia. Caso necessário é nesta etapa que é feita a neutralização do efluente;
- **Tratamento Primário:** Aqui, de 40 a 70% dos sólidos suspensos e o material flotante são removidos, através de técnicas como sedimentação, coagulação/floculação, flotação e precipitação química;
- **Tratamento Secundário:** São os processos biológicos, tanto anaeróbios quanto aeróbios, que removem a matéria orgânica por meio de microrganismos;
- **Tratamento Terciário de efluentes industriais:** É o tratamento avançado, requerido para reutilizar a água ou realizar o descarte no meio ambiente. O nível do tratamento depende do destino do efluente.



## 2.2. ELETROFLOCULAÇÃO

Segundo de Brito, Ferreira, da Silva (2012, p. 228), dispositivos simples de eletrofloculação consistem em eletrodos de diferentes polaridades, alguns dos quais constituem ânodos e outros cátodos. Quando uma voltagem é aplicada, o ânodo oxida e o cátodo se reduz, resultando na produção eletroquímica de um coagulante. Material com carga positiva pode reagir com material com carga negativa em solução, levando à hidrólise e à liberação de hidróxido, um dos principais componentes do tratamento de águas residuais.

O processo de tratamento por meio da eletrofloculação possui 3 etapas principais segundo Chaturvedi (2013):

- Formação de coagulantes por oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício;
- Desestabilização dos contaminantes, suspensão de partículas e quebra de emulsões;
- Agregação da fase desestabilizada para formar flocos.

### 2.2.1 ELETROFLOCULAÇÃO VANTAGENS E DESVANTAGENS

A eletrofloculação como todos os processos possui suas vantagens e desvantagens. Cabe ao aplicador do processo analisar a viabilidade da aplicação no seu processo.

Mollah et al (2004), cita algumas vantagens do processo, em que se pode elencar:

- A exigência de equipamento relativamente simples e de fácil operação;
- A célula eletroquímica requer baixo investimento inicial com baixo custo operacional;
- Os processos eletrolíticos na célula são controlados eletricamente e sem movimento, exigindo menos manutenção;
- O procedimento produz efluente com menor teor de sólidos dissolvidos totais em comparação com tratamentos químicos (Mollah et al., 2004).

Já Muruganathan; Raju; Prabhakar (2004), por outro lado, apresentam algumas desvantagens, tais como:



# EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E  
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



- Em alguns sistemas, pode ocorrer a formação impermeável de filmes de óxidos no cátodo, provocando a perda de eficiência da célula de eletrocoagulação;
- É necessária uma alta condutividade da suspensão de águas residuais;
- O hidróxido gelatinoso produzido pode tender a ser solubilizado em alguns casos;
- Devido à oxidação, o ânodo sacrificial dissolvido precisa ser substituído regularmente;
- O uso de eletricidade pode ser caro em alguns casos.

Estudos demonstram que a eletrofloculação pode garantir alta qualidade da água tratada, tornando possível sua reutilização segura em diversas etapas industriais, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e para a conformidade com as exigências ambientais atuais (García-García et al., 2020).

Em suma, a eletrofloculação apresenta-se como uma solução eficiente e sustentável para o tratamento de efluentes terciários industriais, possibilitando a remoção significativa de poluentes sem a necessidade do uso de aditivos químicos (Nassani et al., 2021). Seu potencial para viabilizar a reutilização da água, aliado ao menor impacto ambiental, torna essa técnica uma alternativa promissora para que a indústria avance em práticas de gestão ambiental responsáveis e conscientes (Vannucci et al., 2018). Dessa forma, investir no desenvolvimento e na aplicação da eletrofloculação pode representar um importante passo rumo à sustentabilidade hídrica e à competitividade industrial (García-García et al., 2020).



## 2.3 METODOLOGIA UTILIZADA

Para realizar o tratamento, inicialmente realizou-se a confecção de um reator eletroquímico, onde foram colocadas duas hastes de ferro conectadas a uma fonte de energia em um Becker. Todos os tratamentos foram feitos utilizando 1 litro de efluente.

Os tratamentos foram feitos com variação de pH e da quantidade de cloreto de potássio (KCl). Com esses dados tornou-se possível verificar como esses fatores influenciam no resultado do tratamento. Por isso, realizou-se também as mesmas análises para o efluente em seu pH original, depois o mesmo foi ajustado para um pH ácido, cerca de 4,0, e também para um pH mais básico, em torno de 10,0.

A Figura 1 apresenta a configuração do reator utilizado para o tratamento.

Figura 1 – Efluente durante o processo de eletrofloculação



Fonte: De autoria própria.

Pode-se constatar através da análise da Figura 1 a formação das bolhas de  $H_2$  na superfície do efluente, sendo está uma característica do processo de eletrofloculação.

Além disso, realizou-se comparações com a utilização e sem a utilização do cloreto de potássio, adicionando cerca de 10 gramas desse reagente por litro nas



amostras com o sal. As alíquotas para análise foram coletadas regularmente em intervalos de 5 em 5 minutos para todas as amostras analisadas

A ideia destas variações de parâmetros foi avaliar como essas mudanças afetam a eficiência do processo, observando parâmetros importantes da qualidade da água após o tratamento.

### 2.3.1 ANÁLISES REALIZADAS PARA MEDIÇÃO DA EFICIENCIA DO TRATAMENTO.

Para a medição da eficiência do tratamento utilizamos algumas das principais análises controladas pela indústria onde o efluente foi retirado, sendo estas as análises de: DQO, fósforo, cor e condutividade.

A seguir são apresentados os principais resultados obtidos para o tratamento do efluente industrial.

### 2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

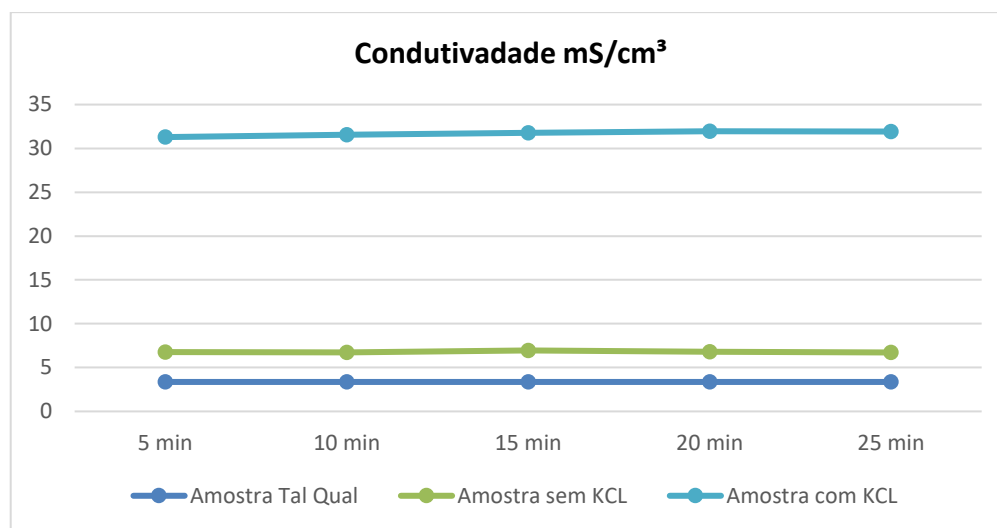
Os resultados apresentados a seguir estão divididos entre os realizados com o efluente para a amostra inicial com e sem adição de KCl e para com a amostra com a variação de pH.

#### 2.4.1. RESULTADOS DO COMPARATIVO DA AMOSTRA COM E SEM KCL

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para o parâmetro de condutividade para tanto para o efluente com adição de KCl e sem a adição de KCl.



Figura 1 – Comparativo dos resultados de condutividade da amostra com e sem KCL.



Fonte: De autoria própria.

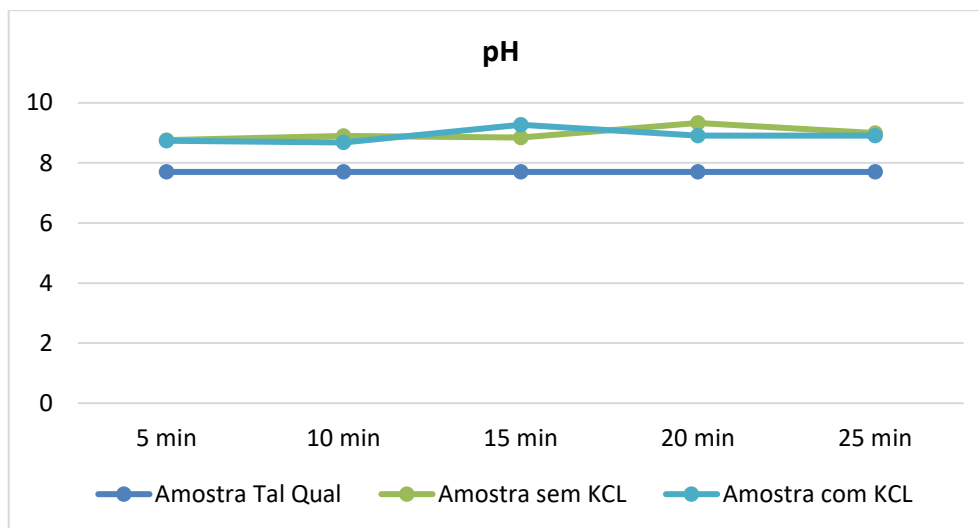
No comparativo de condutividade pode-se constatar a ocorrência de um aumento expressivo dos resultados da amostra com KCL devido a adição do sal que facilita a passagem da corrente aumentando a condutividade residual da amostra.

Já na amostra sem a adição de sal é comum observar um aumento na condutividade da amostra, porém não tão expressivo como a com a adição de sal. Isso acontece porque, ao longo do processo, os eletrodos liberam íons metálicos no líquido, os eletrólitos presentes se mantêm ativos, e ainda ocorre a eletrólise da água, tudo isso somando uma maior quantidade de partículas carregadas que conduzem eletricidade (Grecco et al., 2022).

Já a Figura 2 apresenta a análise para a variação do parâmetro de pH tanto para o efluente com adição de KCl e sem a adição de KCl



Figura 2 – Comparativo dos resultados de pH da amostra com e sem KCL.



Fonte: De autoria própria.

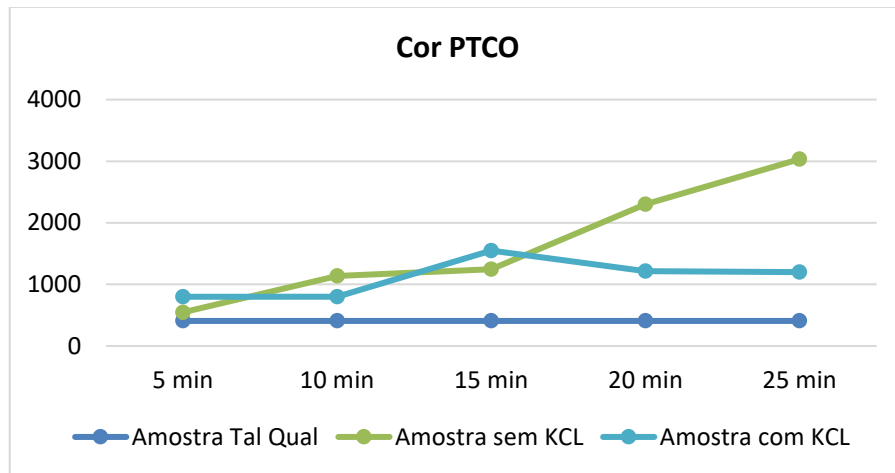
Podemos destacar que ambas as análises apresentaram um aumento na faixa de pH, segundo Grecco (2022), o pH possui uma tendência de aumento do pH, principalmente em amostras que já estão em faixas de pH mais baixos, isso se dá a liberação de íons  $\text{OH}^-$ .

Ressalta-se ainda que o quanto o pH final após o tratamento pode aumentar depende de fatores empregados no decorrer do processo eletroquímico, seja pelo tipo de eletrodo utilizado e do tempo de eletrofloculação, ou ainda das características oriundas do próprio efluente industrial analisado.

A Figura 3 apresenta por sua vez o comparativo para a variação da cor da amostra com e sem a adição de KCl



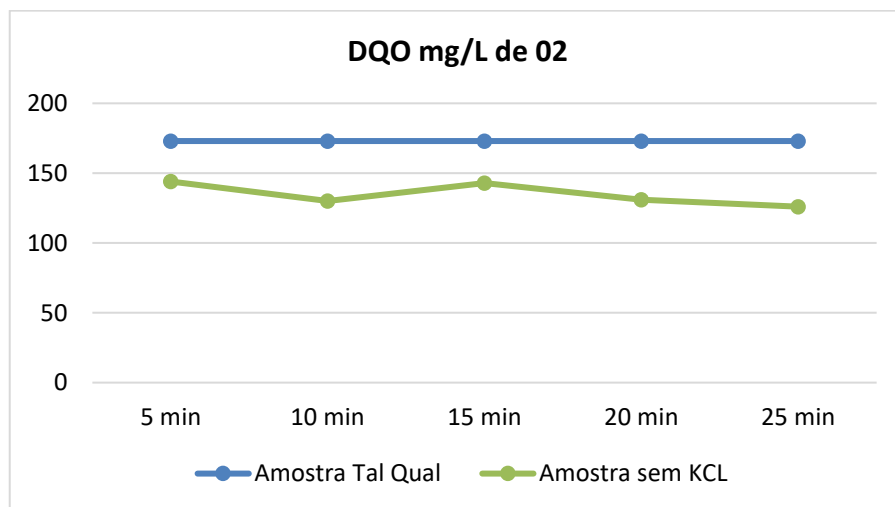
Figura 3 – Comparativo dos resultados de cor da amostra com e sem KCL.



Fonte: De autoria própria.

Notamos que ambas as amostras tiveram uma elevação no nível de cor. No estudo realizado por Combatt (2017), ele relacionou o aumento de coloração quando a amostra está em uma faixa de pH ácida ou neutra a oxidação dos íons de ferro  $Fe^{+2}$  gerando íons  $Fe^{+3}$  que originam moléculas de hidróxido de férrico ( $Fe(OH)_3$ ). Essa molécula possui coloração avermelhada, o que ocasiona o aumento no nível de cor.

Figura 4 – Comparativo dos resultados de DQO da amostra com e sem KCL.

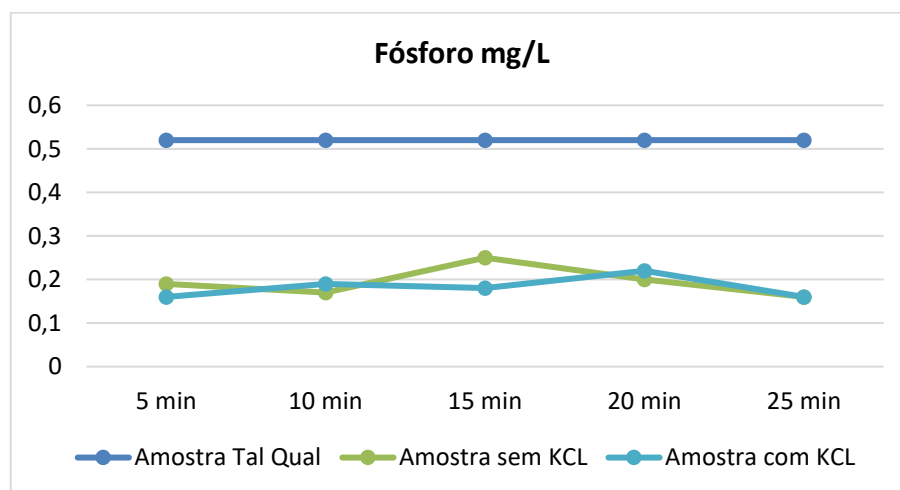


Fonte: De autoria própria.



Notamos a redução do valor de DQO, o que demonstra a oxidação da matéria orgânica do efluente, indicando o tratamento do efluente. Essa correlação pode ser feita, pois segundo a revista *Microambiental* (2025), DQO é um parâmetro que estima a quantidade total de matéria orgânica num efluente, pois pode medir a quantidade necessária de oxigênio para oxidar toda a matéria orgânica do efluente. Não foi possível a realização da análise de DQO da amostra com KCL devido a precipitação do sal na cubeta, impossibilitando a leitura no espectrofotômetro.

Figura 5 – Comparativo dos resultados de fósforo da amostra com e sem KCL.

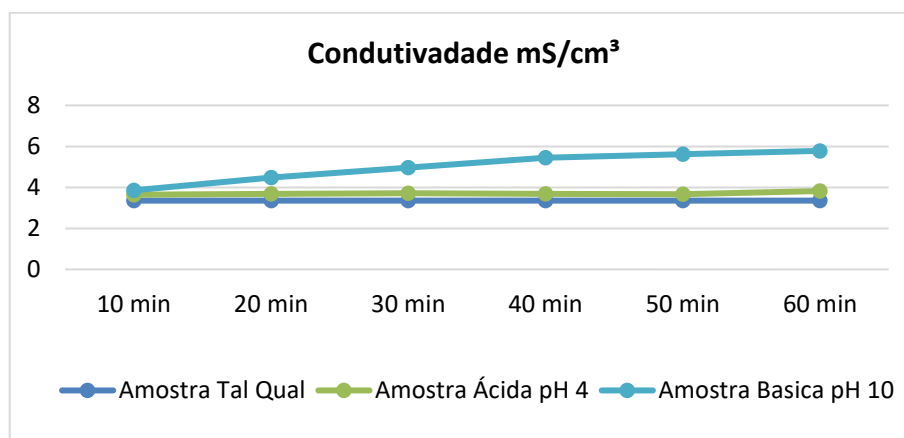


Fonte: De autoria própria.

Podemos ver a redução do valor de fósforo do efluente, indicando o tratamento do efluente. Segundo Taufer et. al., (2016) a retirada do fósforo no efluente ocorre por meio dos hidróxidos metálicos que floculam e decantam as amostras.

## 2.4.2. RESULTADOS DO COMPARATIVO DA AMOSTRA EM PH ÁCIDO E ALCALINO

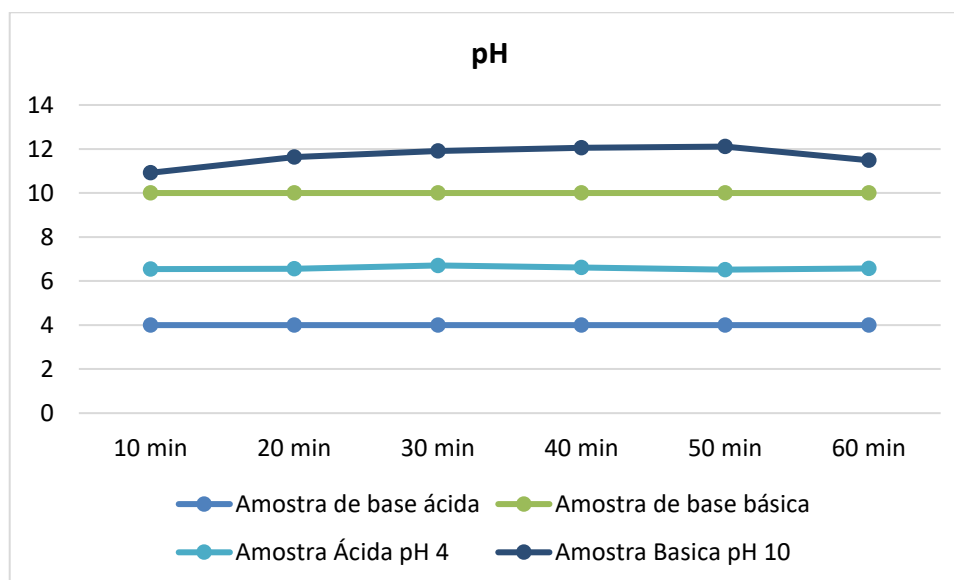
Figura 6 – Comparativo dos resultados de condutividade da amostra em pH ácido e básico.



Fonte: De autoria própria.

Nas amostras de pH ácido e básico notamos tendências semelhantes a amostra sem adição de KCL, um aumento não muito expressivo da condutividade.

Figura 7 – Comparativo dos resultados de pH da amostra em pH ácido e básico.

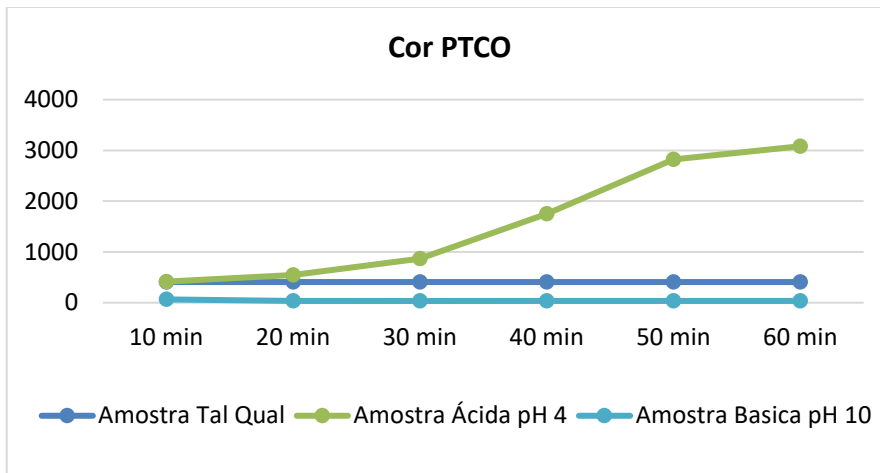


Fonte: De autoria própria.

Nota-se o aumento do pH em ambas as bases, tanto ácida quando básica, pois segundo Grecco (2022), o processo de eletrofloculação forma hidróxidos metálicos que elevam o pH do meio.



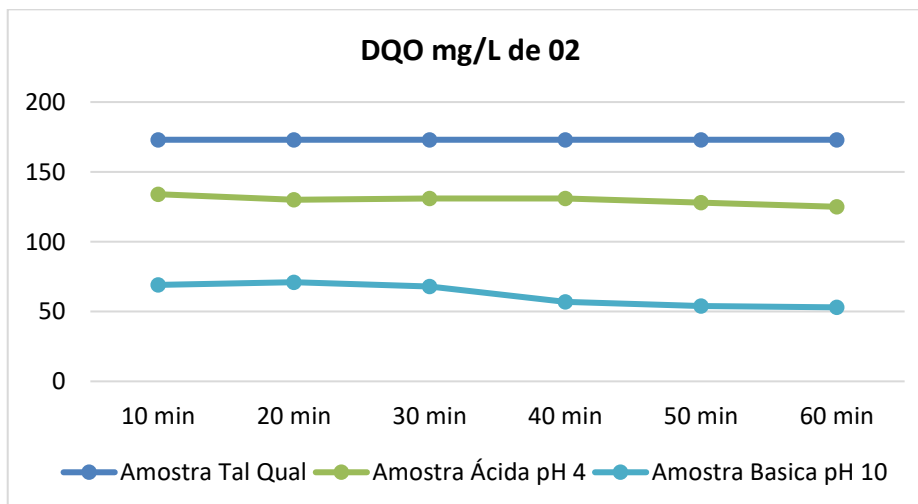
Figura 8 – Comparativo dos resultados de cor da amostra em pH ácido e básico.



Fonte: De autoria própria.

Na faixa de pH ácido foi notado como mencionado o aumento do nível de cor devido a formação dos íons de ferro  $Fe^{+2}$ . Já na faixa de pH básico notamos a redução da cor, pois segundo Silva e Laurindo (2025), em meio básico a eletrofloculação forma hidróxidos insolúveis que são molécula altamente adsorventes, facilitando assim a remoção de particular coloridas por meio de floculação e sedimentação.

Figura 9 – Comparativo dos resultados de DQO da amostra em pH ácido e básico.

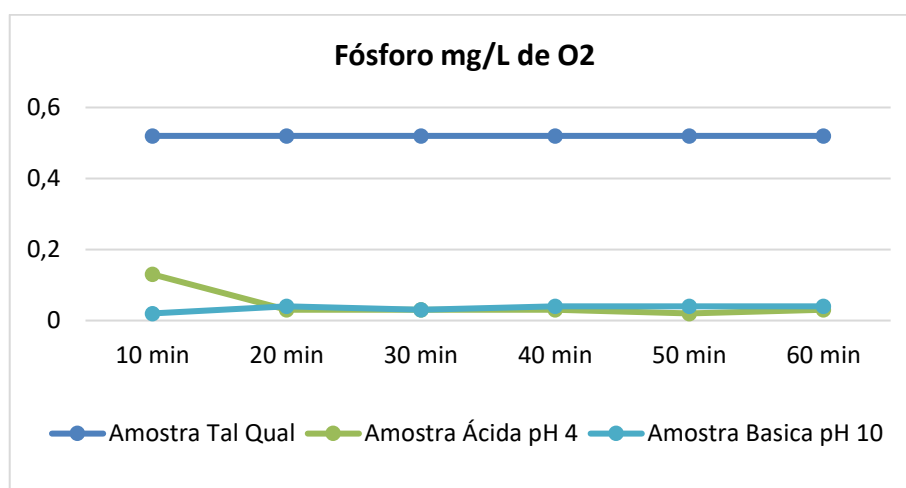


Fonte: De autoria própria.



Ao analisar o gráfico vê-se a redução dos resultados de DQO, evidenciando a redução da matéria orgânica.

Figura 10 – Comparativo dos resultados de fósforo da amostra em pH ácido e básico.



Fonte: De autoria própria.

Como no comparativo de fósforo anterior notamos a redução dos níveis de fósforo por meio da floculação e precipitação.



### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho estudou o uso da eletrofloculação para o tratamento de um efluente industrial terciário, que resultou em resultados positivos no tratamento do efluente, especialmente nas análises de cor, matéria orgânica e fósforo. O tratamento demonstrou-se eficaz em diferentes condições, mas com uma eficácia mais abrangente em meios alcalinos, o que sugere seu potencial para uso em instalações industriais.

Durante a análise, foi possível identificar que fatores como o pH da solução exerce influência significativa sobre o processo, a adição de eletrólitos como cloreto de potássio não se demonstrou necessário por conta da elevada condutividade do efluente. Em meio alcalino, foi observada maior formação de hidróxidos insolúveis, que colaboram para remoção de corantes e outros contaminantes. Sem ajustes adequados nessas condições, a eficiência global do tratamento seria visivelmente comprometida, principalmente nas análises de cor.

Apesar das vantagens claras, como simplicidade operacional, baixo custo e ausência, a técnica enfrenta desafios práticos. A passagem do tempo pode resultar na formação de películas sobre os eletrodos, reduzindo a atividade do sistema e requerendo manutenção frequente e monitoramento rigoroso.

Concluindo, a eletrofloculação é uma alternativa tecnológica eficiente, desde que haja um controle efetivo de variáveis como pH, manutenção dos eletrodos e outras variáveis a depender do processo.



# EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E  
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9800: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

BRITO, J. de; FERREIRA, R. J.; DA SILVA, L. F. M. Materiais para produção de concreto de alto e ultra alto desempenho: revisão e perspectivas de novos materiais. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 228-249, 2012.

CHATURVEDI, S. I. Electrocoagulation: A Novel Waste Water Treatment Method. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, v. 3, n. 1, p. 93-100, 2013.

COMBATT, E. B. Eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis: estudo de parâmetros operacionais. *Revista Brasileira de Engenharia Química*, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, p. 456-467, 2017.

FLUXO CONSULTORIA. Efluentes industriais: o que são e por que é essencial tratá-los? 20 out. 2024. Disponível em: <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/efluentes-o-que-sao-como-tratar/>. Acesso em: 16 set. 2025.

GARCÍA-GARCÍA, V. et al. Electrochemical technologies for wastewater treatment: progress and perspectives. *Chemical Engineering Journal*, v. 380, p. 122125, 2020.

GRECCO, D. L. H. A. et al. Eletrocoagulação/eletrofloculação para tratamento de águas residuárias: eletrodos não convencionais e acoplamento de técnicas. *Química Nova*, São Paulo, v. 45, n. 4, p. 410-423, 2022.

LINARES-HERNÁNDEZ, I. et al. A combined electrocoagulation–ozonation process for wastewater treatment: pollutants removal and biodegradability enhancement. *Journal of Hazardous Materials*, v. 161, n. 2-3, p. 1223-1229, 2009.

MICROAMBIENTAL. Análise de efluentes: O que significam DBO, DQO e pH. 2025. Disponível em: <https://microambiental.com.br/analises-de-agua/analise-de-efluentes-o-que-significam-dbo-dqo-ph-e-outros-parametros-exigidos-por-lei/>. Acesso em: 18 set. 2025.

MOLLAH, M.Y.A.; MORKOVSKY P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L., Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, v. B114, p. 199-210, 2004.

MURUGANANTHAN, M.; RAJU, G. B.; PRABHAKAR, S. Separation of pollutants from tannery effluents by electro flotation. *Separation and Purification Technology*, v. 40, n. 1, p. 69-75, 2004.



# EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E  
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



NASSANI, D. E. et al. Recent advances in electrocoagulation for wastewater treatment: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 4, p. 105–152, 2021.

SANTOS, Pedro Vieira Souza. Eletrofloculação no tratamento de efluentes industriais: Suporte às práticas de gestão ambiental. Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 2018. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2020/04/Eletroflocula%C3%A7%C3%A3o-no-tratamento-de-efluentes-industriais-Suporte-%C3%A0s-pr%C3%A1ticas-de-gest%C3%A3o-ambiental.pdf>. Acesso em: 16 set. 2025

SILVA, I. R.; LAURINDO, E. A. Estudo da utilização da eletrofloculação na remoção do corante índigo blue de efluente proveniente da indústria têxtil. *Revista DAE*, São Paulo, v. 72, n. 247, p. 01-13, 2025.

TARANTO. Reúso de água: solução viável para o reaproveitamento do recurso nas empresas. Blog da Tera Ambiental, 22 nov. 2016. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/reuso-de-agua-solucao-viavel-para-o-reaproveitamento-do-recurso-nas-empresas>. Acesso em: 16 set. 2025.

TAUFER, G. et al. Remoção de fósforo e nitrogênio em efluente de indústria de laticínios por eletrocoagulação. *Scientia Plena*, v. 12, n. 7, 2016.

VANNUCCI, G. et al. Application of electrocoagulation for wastewater treatment: a review of recent literature. *Environmental Technology Reviews*, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2018.

VASCONCELOS, A. S. et al. Eletrofloculação com eliminação de resíduos da água. Centro de Formação de Professores da Universidade Federal de Campina Grande, 2018. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/CVADS/article/view/6660>. Acesso em: 16 set. 2025



## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos

Item de colaboração	Igual aos demais	Menor que os demais	Maior que os demais	Não participou deste item
Contextualização do trabalho	X			
Organização dos dados	X			
Análise formal dos dados	X			
Análise formal do texto	X			
Financiamento para desenvolvimento do trabalho	X			
Investigação e estudo	X			
Metodologia	X			
Administração de cronograma	X			
Administração de recursos	X			
Gestão do projeto	X			
Validação do projeto	X			
Marketing	X			
Escrita do trabalho	X			
Participação em reuniões	X			
Revisão do trabalho	X			
Participação na construção do protótipo	X			