

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GUILHERME ZANÃO IAMBASSI**

**AVALIAÇÃO DA ELETRO-OXIDAÇÃO, UTILIZANDO ELETRODOS DE GRAFITE,  
NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UM ABATEDOURO E FRIGORÍFICO DE  
AVES**

**MEDIANEIRA**

**2025**

**GUILHERME ZANÃO IAMBASSI**

**AVALIAÇÃO DA ELETRO-OXIDAÇÃO, UTILIZANDO ELETRODOS DE GRAFITE,  
NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UM ABATEDOURO E FRIGORÍFICO DE  
AVES**

**Evaluation of Electro- Oxidation Using Graphite Electrodes in the Treatment of  
Effluent from a Poultry Slaughterhouse and Processing Plant.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Eduardo Eyng.

**MEDIANEIRA**

**2025**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GUILHERME ZANÃO IAMBASSI**

**AVALIAÇÃO DA ELETRO-OXIDAÇÃO, UTILIZANDO ELETRODOS DE GRAFITE,  
NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE UM ABATEDOURO E FRIGORÍFICO DE  
AVES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 25 de junho de 2025

---

Eduardo Eying  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Medianeira

---

Fábio Orssatto  
Doutorado em Engenharia Agrícola  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Medianeira

---

Laercio Mantovani Flare  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Medianeira

**MEDIANEIRA**

**2025**

## RESUMO

O crescimento da produção avícola no Brasil intensificou a geração de efluentes industriais, exigindo tratamentos mais eficazes. A eletro-oxidação surge como alternativa promissora na remoção de DQO, turbidez e cor desses resíduos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da eletro-oxidação, utilizando eletrodos de grafite, no tratamento de efluentes de um abatedouro e frigorífico de aves. Foram analisadas as remoções de turbidez, cor e demanda química de oxigênio (DQO), por meio de um planejamento experimental fatorial fracionado  $2^{4-1}$ , considerando como variáveis a corrente elétrica, o tempo de eletrólise, o pH e a distância entre os eletrodos. Os melhores resultados foram obtidos com corrente de 1 A, pH 5 e 30 minutos de eletrólise, atingindo 78,5% de remoção de turbidez, 90,6% de remoção de cor e 39% de DQO. A análise de variância indicou que, para a DQO, os fatores pH e corrente elétrica apresentaram significância estatística ( $p < 0,10$ ), com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 71,79%, demonstrando sua influência relevante sobre o processo. Para turbidez e cor, os fatores analisados não apresentaram significância estatística isolada. Os resultados evidenciam que a eletro-oxidação é uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes industriais com alta carga orgânica, mas requer o controle rigoroso das condições operacionais para garantir sua eficiência. O estudo reforça a necessidade de otimizações adicionais e pesquisas complementares, especialmente voltadas à estabilidade do sistema e à durabilidade dos eletrodos.

**Palavras-chave:** oxidação; tratamento eletroquímico; efluente agroindustrial.

## ABSTRACT

The growth of poultry production in Brazil has intensified the generation of industrial effluents, requiring more effective treatment methods. Electro-oxidation emerges as a promising alternative for the removal of COD, turbidity, and color from these wastes. This study aimed to evaluate the efficiency of electro-oxidation using graphite electrodes in the treatment of effluents from a poultry slaughterhouse and processing plant. The removal efficiencies of turbidity, color, and chemical oxygen demand (COD) were analyzed through a fractional factorial experimental design  $2^{4-1}$ , considering current intensity, electrolysis time, pH, and electrode spacing as variables. The best results were obtained with a current of 1 A, pH 5, and 30 minutes of electrolysis, achieving 78.5% turbidity removal, 90.6% color removal, and 39% COD removal. Analysis of variance indicated that, for COD, pH and current intensity were statistically significant factors ( $p < 0.10$ ), with a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 71.79%, demonstrating their relevant influence on the process. For turbidity and color, the analyzed factors did not show isolated statistical significance. The results demonstrate that electro-oxidation is a promising alternative for the treatment of industrial effluents with high organic load, but it requires strict control of operational conditions to ensure its efficiency. The study highlights the need for further optimization and complementary research, especially focused on system stability and electrode durability.

**Key words:** oxidation; electrochemical treatment; agro-industrial effluent.

*Dedico este trabalho à minha mãe Débora e minhas tias  
Denise e Daniela, que a trajetória da minha vida a deixem  
orgulhosas, e quando tudo terminar possamos nos  
reencontrar.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela proteção e saúde para conseguir alcançar mais uma conquista em minha vida.

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Eduardo Eyng, pela orientação dedicada e valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua disponibilidade e apoio foram essenciais para a realização deste TCC.

Agradeço aos professores, pelos ensinamentos transmitidos ao longo do curso e pelo incentivo constante à busca pelo conhecimento.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela formação acadêmica de excelência e pelas oportunidades proporcionadas ao longo da minha trajetória.

Agradeço, com todo o meu coração, à minha avó Delcy e ao meu tio Alípio, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando com amor e dedicação desde a infância, ensinando o valor dos estudos e acreditando no meu futuro mesmo quando eu duvidava.

Agradeço de forma especial a Rinaldo, Regina, Juliana e Rafael, que, embora não sejam da minha família por laços de sangue, se tornaram parte essencial da minha vida, me acolhendo, apoiando e torcendo por mim como verdadeiros familiares.

Um agradecimento especial à minha prima Giovana, que, mesmo sem laços de sangue, sempre esteve ao meu lado como família de coração, presente nos momentos mais difíceis, oferecendo apoio, carinho e palavras de incentivo que fizeram toda a diferença na minha caminhada até aqui.

Agradeço aos meus amigos Felipe e Matheus, que são verdadeiros irmãos de coração, e à Thainá, cuja presença iluminou minha caminhada com carinho, apoio e uma amizade sincera. Vocês tornaram os momentos difíceis mais suportáveis e as vitórias muito mais significativas, estando sempre ao meu lado quando mais precisei.

Agradeço de coração aos meus amigos de Medianeira, em especial a Larissa, Yago, Guilherme e Matheus, que, com amizade verdadeira e apoio constante, fizeram parte importante da minha trajetória, oferecendo companhia e força em todos os momentos, nestes últimos semestres.

Agradeço também ao Carlos e a Natielly, não só pela amizade, mas pelos últimos 7 anos de minha vida, foram os melhores da minha vida, agradeço por toda a experiência vivida e principalmente por me tornarem uma pessoa da qual eu aprendi

a gostar e amar. Nesses 7 anos nos tornamos uma família, que eu irei levar para todo o sempre.

Homenageio com carinho minhas tias que já partiram, cuja memória e ensinamentos permanecem vivos em meu coração, inspirando-me a seguir sempre com coragem e amor.

Por fim agradeço especialmente minha mãe, que, mesmo não estando mais aqui, permanece viva em cada gesto, em cada sonho e em cada conquista minha. Seu amor infinito e sua força silenciosa foram o alicerce que me sustentou nos momentos mais difíceis, e é a lembrança dela que me impulsiona a seguir sempre em frente.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	9
2.	OBJETIVOS .....	11
2.1.	Objetivo Geral.....	11
2.2.	Objetivos Específicos .....	11
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
3.1	Abatedouro e Frigorífico de Aves.....	12
3.2	Efluente de Abatedouros e Frigoríficos de Aves .....	13
3.3	Eletrólise.....	14
3.4	Eletro-oxidação.....	15
3.5	Fatores que influenciam na eletro-oxidação .....	16
3.5.1	Corrente Elétrica.....	16
3.5.2	Tempo .....	16
3.5.3	Distância entre os eletrodos .....	16
3.5.4	pH.....	16
4.	METODOLOGIA .....	17
4.1	Coleta .....	17
4.2	Caracterização do Efluente .....	18
4.2.1	Curva de Calibração da DQO .....	18
4.3	Montagem do Reator de Eletro-oxidação .....	19
4.4	Planejamento Experimental .....	20
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
5.1	Taxa de Remoção .....	22
5.1.1	Turbidez .....	23
5.1.2	Cor.....	23
5.1.3	Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	24
5.2	Análise de Variância.....	25
5.2.1	Turbidez .....	25
5.2.2	Cor.....	26
5.2.3	DQO .....	26
5.3	Estimativas dos Efeitos dos Fatores.....	27
5.3.1	Turbidez .....	27
5.3.2	Cor.....	28
5.3.2	DQO .....	28

5.4	Gráficos de Pareto.....	29
5.4.1	Turbidez.....	29
5.4.2	Cor.....	30
5.4.3	DQO .....	31
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
	REFERÊNCIAS .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente por carne de frango nas últimas décadas tem estimulado consideravelmente a produção avícola global. No Brasil, um dos principais produtores e exportadores dessa proteína, o setor avícola é o principal propulsor da economia agroindustrial, especialmente em estados como o Paraná. No entanto, o crescimento na produção e no abate de aves também tem resultado numa produção mais elevada de resíduos, principalmente os efluentes provenientes dos processos industriais de abatedouros e frigoríficos.

Esses efluentes, se não forem devidamente tratados, apresentam uma ameaça ao meio ambiente, devido ao seu elevado conteúdo de matéria orgânica, gorduras, sólidos suspensos, cor e turbidez. É crucial a implementação de sistemas de tratamento eficazes para garantir a segurança ambiental e a conformidade com as leis em vigor. Além disso, a opção de reutilizar a água contida em certas fases do processo produtivo destaca a relevância de soluções tecnológicas viáveis para o setor.

Os métodos convencionais de tratamento empregados em abatedouros de aves geralmente englobam fases físicas, químicas e biológicas, tais como peneiramento, flotação, lagoas de estabilização e processos com lodo ativado. Embora esses métodos sejam frequentemente utilizados, muitas vezes requerem grandes espaços físicos, custos operacionais elevados ou têm restrições na remoção de substâncias específicas, como compostos orgânicos persistentes e remanescentes.

Neste cenário, o tratamento eletroquímico, particularmente a eletro-oxidação, tem sido mostrada uma opção promissora. Este procedimento envolve a aplicação de eletricidade através de eletrodos inativos, gerando reações de oxidação direta ou indireta, capazes de decompor contaminantes orgânicos complexos. A eletro-oxidação pode ser eficaz na eliminação de características como a demanda química de oxigênio (DQO), turbidez e cor, tornando-a especialmente atraente para o tratamento de efluentes industriais complexos.

Vários elementos operacionais afetam diretamente a eficácia da eletro-oxidação, incluindo a intensidade da corrente elétrica, o tempo de exposição, o pH da solução e a distância entre os eletrodos. A combinação adequada desses fatores pode acelerar a degradação de poluentes, melhorando o uso de energia e o rendimento do

sistema. No entanto, a ausência de gerenciamento dessas variações pode levar a uma eficiência reduzida ou até ao aumento da concentração de impurezas no efluente tratado.

O reaproveitamento de subprodutos, como o lodo gerado no tratamento, também é uma estratégia que vem sendo estudada, apresentando inclusive possibilidades de aplicação na nutrição animal, desde que devidamente tratado e controlado.

Portanto, o propósito deste estudo foi analisar a eficácia do processo de eletro-oxidação na remoção de turbidez, cor e DQO de efluentes provenientes de um abatedouro e frigorífico de aves. Para tal, foi realizada uma investigação empregando a estratégia de planejamento experimental fatorial fracionado, testando-se parâmetros operacionais fundamentais, com o objetivo de identificar seus efeitos no rendimento do sistema. Os resultados obtidos poderão contribuir para a disseminação de tecnologias mais eficientes e ambientalmente responsáveis no setor de tratamento de efluentes industriais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a eletro-oxidação, utilizando eletrodos de grafite, no tratamento de efluentes de um abatedouro e frigorífico de aves.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar o efluente quanto à condutividade, pH, DQO, cor e turbidez;
- Estudar os efeitos de fatores como distância entre os eletrodos, pH, tempo de eletrólise e densidade de corrente elétrica, na eficiência do tratamento por eletro-oxidação, utilizando eletrodos de grafite;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Abatedouro e Frigorífico de Aves

A carne faz parte da alimentação humana desde o início dos tempos. O consumo de produtos e serviços aumentou significativamente devido a revolução industrial e o crescimento constante da população. Isso levou a uma expansão significativa do mercado e a uma intensificação da produção agropecuária (Camargo; Henkes; Rossato, 2016; Rodrigues et al. 2014 apud De Oliveira, Carla Tauana Francisca Alves et al, 2019, p. 211).

A proteína mais consumida no México é a carne de frango. Aproximadamente seis em cada dez pessoas consomem ovos e frangos todos os dias, graças ao seu alto valor nutricional, preço competitivo e características, tornando-os economicamente viáveis para as famílias mexicanas (UNA, 2021 apud Beristain-López, 2024).

De acordo com a Secex (Secretaria de Comércio Exterior), as exportações brasileiras de carne de frango in natura alcançaram patamares inéditos em 2024, estabelecendo um ano histórico no segmento. No quarto trimestre de 2024, cerca de 1,62 bilhões de frangos foram abatidos, um crescimento de 5,5% em relação ao mesmo período de 2023, e uma ligeira redução de 1,1% em relação ao trimestre anterior. O Paraná manteve sua posição de destaque no abate de aves, representando cerca de 34,2% da produção do país (IBGE, 2025).

A carne de frango é produzida com a vantagem de um ciclo de crescimento acelerado, pois as aves são vendidas com aproximadamente sete semanas de idade, pesando entre 0,8 e 1 kg. Portanto, a avicultura, em grande escala, se sobressai como uma das atividades mais lucrativas (Castañeda, 2018 apud Beristain-López, 2024).

A avicultura não apenas apresentou um grande crescimento, mas também um enorme aprimoramento, permitindo que a indústria de frango de corte maximize seu potencial utilizando tecnologias mais avançadas e produzindo processos produtivos com uma capacidade de abate cada vez maior (Camargo; Henkes; Rossato, 2016; Rodrigues et al. 2014; Iguma et al. 2014 apud De Oliveira, Carla Tauana Francisca Alves et al, 2019, p. 211).

As unidades de abate e processamento de aves produzem uma grande quantidade de resíduos e subprodutos orgânicos. Esses materiais são altamente

perecíveis, necessitando de um manejo e descarte adequado para prevenir danos ao meio ambiente. A administração desses resíduos é crucial para a sustentabilidade do setor avícola (Beristain-López, 2024).

### **3.2 Efluente de Abatedouros e Frigoríficos de Aves**

O principal objetivo dos tratamentos de efluentes é atender as normas ambientais antes de serem descartados nos corpos hídricos e em determinadas circunstâncias, esses tratamentos também permitem o reuso da água. De forma geral, os processos de tratamento consistem em fases claramente definidas, que englobam: tratamento preliminar (físico); tratamento primário (físico-químico); tratamento secundário (biológico); tratamento terciário (Sobrinho; Thiem; Alkhatib, 1996).

O tratamento preliminar visa a remoção de sólidos grosseiros; o tratamento primário tem como princípio a remoção de sólidos por meio da flotação ou sedimentação; o tratamento secundário tem como objetivo a remoção da matéria orgânica biodegradável dissolvida ou coloidal; o tratamento terciário consiste na remoção de cor residual e turbidez e na desinfecção do efluente tratado (Pinto et al., 2015).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Como complemento desta regulamentação, a Resolução CONAMA nº 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Usualmente, para tratar os efluentes gerados pelo abate de aves, são implantadas até três etapas, o tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento secundário. No começo do tratamento, as vísceras passam pelo peneiramento e as gorduras são separadas do efluente, em seguida a matéria biodegradável é removida por meio do uso de lagoas anaeróbias, facultativas e wetland. Em alguns casos, não há espaço suficiente para lagoas de estabilização, então utiliza-se um tanque de equalização antes do processo de flotação e uma etapa biológica de tratamento por lodos ativados (Pinto et al., 2015).

O uso de lodo floculado de abatedouros de aves como componente para rações para animais tem se mostrado uma opção viável e promissora, principalmente

após sua pasteurização e fermentação. Em uma pesquisa realizada com suínos, o lodo fermentado foi incorporado à dieta em proporções que oscilavam entre 19% e 28% da matéria seca total, exibindo um desempenho zootécnico conjunto ao da alimentação convencional, que é fornecido quase em abundância. Os animais alimentados com lodo fermentado apresentaram aumentos de peso semelhantes aos do grupo controle, sem impactos negativos na saúde ou na produtividade, o que destaca sua capacidade como um componente nutricional viável na criação de suínos (Fransen et al., 1995).

Além disso, constatou-se que o fornecimento de lodo fermentado teve resultados positivos na microbiota intestinal dos suínos, resultando em uma diminuição expressiva na presença de Enterobacteriaceae, enterococos e bactérias aeróbias mesófilas. Isso pode ajudar na diminuição do risco de infecção por patógenos entéricos como *Escherichia coli* e *Salmonella*. A fusão da pasteurização (a 95 °C por 5 minutos) com a fermentação com *Lactobacillus plantarum* assegurou a proteção microbiana do lodo, inibindo metabolismos e melhorando a estabilidade das proteínas. Estes achados sugerem que, quando devidamente processado, o lodo de abatedouros pode ser utilizado de maneira segura e eficaz como matéria-prima na alimentação animal, auxiliando tanto na preservação do meio ambiente quanto na economia na produção de gado (Fransen et al., 1995).

Segundo Fransen et al. (1995), o alto teor de ferro no lodo, causado pelo uso de  $\text{FeCl}_3$  como floculante, elevou consideravelmente os níveis desse metal no fígado dos suínos. O excesso pode afetar a absorção de fósforo e cobre, mesmo sem evidências de deficiências visíveis. Foi também mencionada a produção de sulfeto de ferro no intestino, o que resultou em fezes mais escuras. Estes resultados destacam a relevância de acompanhar o ferro durante a elaboração da ração.

### **3.3 Eletrólise**

A eletrólise é um processo utilizado para estimular reações de oxirredução por meio de uma corrente elétrica contínua, proveniente de uma fonte externa, através de uma solução eletrolítica que contém íons livres, tais como ácidos, bases ou sais dissolvidos em meio aquoso. Por outro lado, a água destilada, é um mau condutor elétrico por conta de sua baixa concentração de íons, o que complica a ocorrência da eletrólise em sua forma isolada. Nesses casos, é preciso intensificar a corrente elétrica

ou adicionar solutos que forneçam maior quantidade de íons reativos. A palavra “eletrólise” é originária do grego, formada por “elektro” (eletricidade) e “lisis” (quebra) (Feltre, 2012).

Segundo Feltre (2012) o processo eletrolítico acontece ao fornecer energia elétrica de um gerador, que estimula a movimentação de íons na solução. Neste cenário, ocorre a transferência de carga dos cátions em direção ao polo negativo (cátodo) e dos ânions em direção ao polo positivo (ânodo). Ao atingir o cátodo, os cátions recebem elétrons, sofrendo o processo de redução (redução catódica), enquanto os ânions cedem elétrons, sofrendo o processo de oxidação (oxidação anódica). Para que esse processo ocorra, é necessário que dois ou mais eletrodos estejam imersos em uma solução condutora, o que possibilita a criação de uma diferença de potencial elétrico.

### **3.4 Eletro-oxidação**

O tratamento eletroquímico tem sido usado para tratar diversos tipos de efluentes. Sendo testado para tratar esgotos sanitários e efluentes industriais. (Meneses et al., 2012).

A eletro-oxidação é um processo eletrolítico que emprega eletrodos estáveis e tem os elétrons como principal agente oxidante. A sua eficácia está atrelada à condutividade elétrica do ambiente, exigindo a adição de um eletrólito de suporte quando essa condição não estiver satisfeita. A oxidação direta ou indireta é o processo que degrada as impurezas (Kumar et al., 2021 apud Da Silva, 2022).

No ânodo, os íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) são convertidos em cloro molecular ( $\text{Cl}_2$ ), que, ao entrar em contato com a água, dá origem ao ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ), um poderoso agente oxidante que auxilia na manipulação de produtos orgânicos presentes no esgoto. Simultaneamente, nas reações de redução no cátodo de grafite, ocorre a produção de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e a eliminação de espécies prejudiciais por meio da oxidação. Essas reações conjuntas levam a uma redução específica da demanda química de oxigênio (DQO), turbidez e cor do efluente, demonstrando a eficácia do processo para o tratamento de águas residuais complexas (Meiramkulova et al., 2020).

### 3.5 Fatores que influenciam na eletro-oxidação

#### 3.5.1 Corrente Elétrica

Quando uma corrente mais elevada é aplicada ocorre a oxidação no ânodo e redução no cátodo, tendo como consequência a formação de gases hidrogênio e oxigênio, fazendo com que os poluentes sejam transportados para a superfície do efluente. Contudo, a aplicação de uma alta corrente pode resultar em desperdício de energia elétrica e diminuição da eficiência de corrente (Chen, 2003).

A escolha do valor protetor da corrente elétrica exige cuidado, pois correntes muito altas podem levar a perda de energia, principalmente por causa do efeito Joule, além de elevar a necessidade de manutenção dos eletrodos devido ao desgaste acelerado (Crespilho et al., 2004).

#### 3.5.2 Tempo

O tempo é um fator importante para que ocorra as reações necessárias que garantem a eficiência do processo. Um maior tempo de exposição do efluente aos eletrodos, tende a ocasionar um aumento significativo na eficiência de remoção de contaminantes (Dos Santos et al., 2007).

#### 3.5.3 Distância entre os eletrodos

A distância entre os eletrodos pode afetar diretamente a eficiência do processo. Com uma distância maior entre os eletrodos a eficiência tende a ser menor. Portanto, para uma melhor eficiência é importante reduzir a distância entre os eletrodos, aumentar a corrente elétrica juntamente com a área dos eletrodos (Merma, 2008).

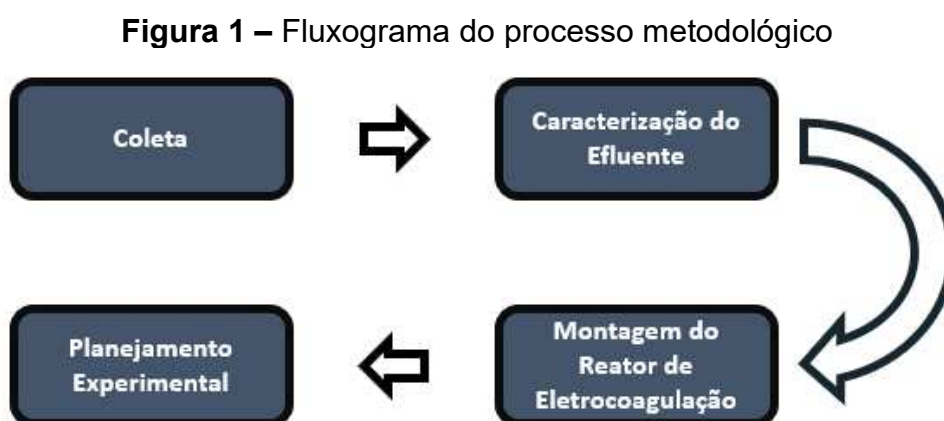
#### 3.5.4 pH

A eficiência da corrente afeta diretamente o efeito do pH sobre o efluente. Com o pH neutro a potência consumida é maior, pois há variações da condutividade em condições ácidas e alcalinas. Portanto, quanto maior a condutividade, menor será o efeito do pH (Chen, 2004).

## 4. METODOLOGIA

O presente trabalho seguiu um processo metodológico prático, em que, as análises necessárias foram realizadas no Laboratório de Águas, Efluentes e Emissões (L32), localizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Medianeira.

A partir da metodologia empregada foram utilizados parâmetros de naturezas qualitativa e quantitativa, sendo eles: cor, turbidez e DQO, com o intuito de avaliar a eficiência do tratamento por eletro-oxidação, sob diferentes condições de pH, distância entre os eletrodos, corrente elétrica e tempo de eletrólise em um efluente de abatedouro de aves. A Figura 1 apresenta um fluxograma referente ao processo metodológico.



Fonte: Autoria própria (2025)

### 4.1 Coleta

Para os ensaios foram coletadas amostras provenientes de uma estação de tratamento de efluentes de um frigorífico de aves, onde o ponto de coleta da amostra se deu posteriormente ao tratamento preliminar, após o gradeamento e antecedendo o flotor físico-químico. Na chegada ao laboratório, as amostras coletadas foram acondicionadas em galões de 5L dentro de uma geladeira, para seu congelamento, com o intuito de manter suas propriedades físico-químicas.

## 4.2 Caracterização do Efluente

O efluente foi caracterizado por meio dos seguintes parâmetros: pH, cor, turbidez, condutividade elétrica e DQO, segundo a Tabela 1. Para a caracterização foi realizada a leitura em triplicada, onde se retirou a média das leituras em cada um dos parâmetros.

**Tabela 1 – Métodos dos parâmetros de caracterização**

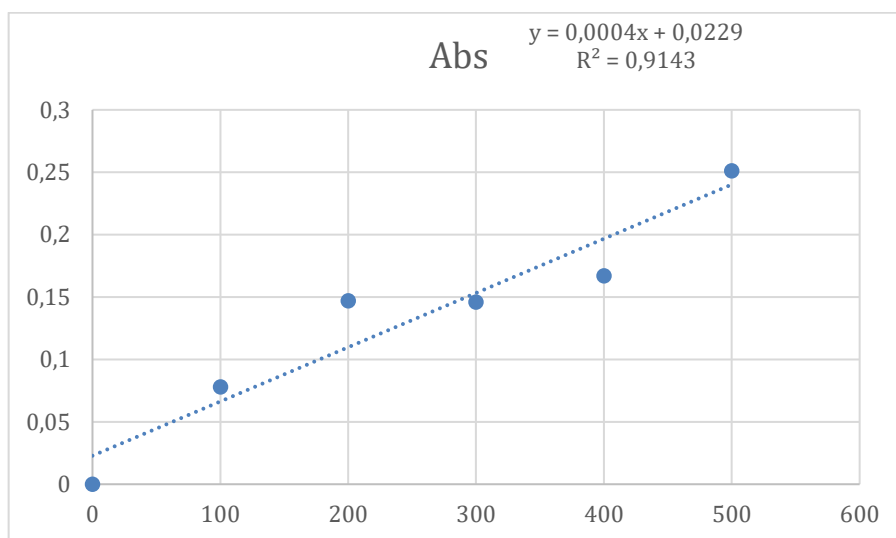
<b>Parâmetros</b>	<b>Método</b>	<b>Referência</b>
pH	Potenciométrico (4500-H <sup>+</sup> -B)	APHA (2017)
Cor	Espectrofotometria (2120-C)	APHA (2017)
Turbidez	Nefelométrico (2130-B)	APHA (2017)
Condutividade Elétrica	Laboratorial (2510-B)	APHA (2017)
DQO	Refluxo Fechado (Colorimetria) (5220-D)	APHA (2017)

**Fonte:** Autoria própria (2025)

Para todos os ensaios constatou-se que era necessário a adição de 7,5 g de Cloreto de Sódio (NaCl) para aumentar a condutividade do efluente e ser possível a realização dos testes de eletro-oxidação. Para a realização das análises foi necessário também realizar a diluição de 10 mL de amostras para 100 mL de água destilada em alguns ensaios, onde somente as amostras 5 e 6 não foram diluídas. Após a eletro-oxidação todos os ensaios foram submetidos a um tempo de decantação de 1h30min.

### 4.2.1 Curva de Calibração da DQO

Para a obtenção dos resultados de DQO, antes foi necessário realizar a curva de calibração, para encontrar a fórmula que apresentara os valores de DQO em mg/L. O gráfico 1 apresenta a curva de calibração, juntamente com a fórmula da curva.

**Gráfico 1 – Curva de Calibração**

Fonte: Autoria própria (2025)

A determinação da DQO é essencial para o monitoramento da eficiência de tratamentos físico-químicos, como eletro-oxidação, pois permite quantificar a redução da matéria orgânica ao longo do processo.

### 4.3 Montagem do Reator de Eletro-oxidação

Para conduzir os experimentos de eletro-oxidação, foi utilizado um reator em escala laboratorial, esse reator contou com: um recipiente de vidro (béquer); um par de eletrodos de grafite com dimensões de 10cmx5cm; uma fonte para se obter uma corrente e tensão controladas. A Figura 2 mostra o reator de eletro-oxidação montado para realização do tratamento.

**Figura 2 – Reator de Eletro-oxidação**



Fonte: Autoria própria (2025)

#### **4.4 Planejamento Experimental**

Os resultados foram coletados e avaliados usando o método fatorial fracionado,  $2^{4-1}$ . Essas variações podem alterar os resultados de cor, turbidez e DQO. Sendo assim, os fatores envolvidos foram: pH, corrente, tempo e distância.

Um ponto importante é que para as análises de variância (ANOVA), estimativas dos efeitos dos fatores e os gráficos de Pareto foi considerado o nível de confiança de 90%, adotando então um p-valor de no máximo 0,10. Este valor foi adotado, pois é normalmente adotado em pesquisas voltadas à seleção de variáveis, como o método do fatorial fracionado.

Para a realização do método, foi utilizado o software Statistica, em que, seguindo o método estatístico, doze ensaios foram utilizados no presente trabalho, dos quais quatro são ensaios centrais (0), e os ensaios extremos máximo (+1) e mínimo (-1) são variados seguindo a matriz do delineamento experimental fracionado, mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Matriz do delineamento experimental fracionado**

Ensaio	Fator de Controle			
	X1	X2	X3	X4
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0

Fonte: Autoria própria (2024)

A Tabela 3 mostra os valores que foram determinados, por análises preliminares, para a faixa de corrente elétrica (i), tempo de reação (t), pH e distância entre os eletrodos (d) a serem utilizados nos testes deste trabalho.

**Tabela 3 – Faixa de Valores para os Fatores**

Fatores	-1	0	1
i (A)	1	2,5	4
t (min)	10	20	30
pH	5	7,5	10
d (cm)	2	3,5	5

Fonte: Autoria própria (2024)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes realizados com os métodos de eletro-oxidação no tratamento de efluente de um frigorífico de aves são apresentados a seguir. Os dados foram examinados de acordo com os critérios estabelecidos, com o intuito de debater seu desempenho em relação ao objetivo estabelecido. Foram então realizadas tabelas para a taxa de remoção, análise de variância (ANOVA), estimativas dos efeitos dos fatores e por fim gráficos de Pareto.

A Tabela 4, apresenta os valores médios dos parâmetros de caracterização do efluente. A caracterização foi realizada em triplicata e tirada a média das leituras de cada parâmetro, sendo eles, pH, cor, turbidez, condutividade elétrica e DQO.

**Tabela 4 – Caracterização do Efluente sem tratamento**

Parâmetros	Leitura (Média)	Unidade de Medida
pH	8,4	-
Cor	606	PtCo
Turbidez	149	NTU
Condutividade Elétrica	1303	µS/m
DQO	2441	mg/L

Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.1 Taxa de Remoção

A taxa de remoção é crucial para avaliar a eficácia dos processos de tratamento de efluentes, uma vez que possibilita a mensuração da diminuição de contaminantes ou características indesejáveis presentes na água ou no efluente. Através da análise das reservas iniciais e finais de um parâmetro específico, podemos estimar o percentual de remoção obtido pelo tratamento. Essa métrica é frequentemente empregada em pesquisas ambientais, particularmente no acompanhamento de variáveis, fornecendo informações concretas sobre o desempenho dos sistemas utilizados. Valores positivos representam uma remoção eficaz, ao passo que valores negativos podem indicar erros no procedimento ou a presença de influências externas.

Para avaliar a eficiência do processo de eletro-oxidação no tratamento de efluentes de um frigorífico de aves, foi calculado a taxa de remoção, a partir dos parâmetros de turbidez, cor e DQO.

### 5.1.1 Turbidez

A Tabela 5 mostra os resultados realizados para o indicador de turbidez, comparando os valores brutos com os valores pós-tratamento. O valor médio de turbidez do efluente sem o tratamento foi de 149 NTU, o que proporcionou uma avaliação mais precisa da eficácia do tratamento em cada situação. Nota-se uma grande oscilação na taxa de remoção, apresentando resultados que variam de valores negativos, até remoções superiores a 78%, demonstrando flutuações na eficácia do processo sob diversas condições operacionais.

**Tabela 5 – Taxa de Remoção de Turbidez**

Corrente Elétrica (A)	Tempo de Eletrólise (min)	pH	Distância (cm)	Pós-Tratamento (NTU)	Taxa de Remoção (%)
4	30	10	5	250	-67,79
1	30	10	2	150	-0,67
4	10	10	2	170	-14,09
1	10	10	5	140	6,04
4	30	5	2	35	76,51
1	30	5	5	32	78,52
4	10	5	5	270	-81,21
1	10	5	2	190	-27,52
2,5	20	7,5	3,5	110	26,17
2,5	20	7,5	3,5	140	6,04
2,5	20	7,5	3,5	140	6,04

Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.1.2 Cor

A Tabela 6 apresenta os resultados alcançados para o parâmetro de cor, comparando os valores brutos com os valores pós-tratamento. O valor médio de cor para o efluente sem tratamento por eletro-oxidação foi de 606 PtCo, o que proporcionou uma avaliação mais precisa da eficácia do tratamento em cada situação. Observou-se uma grande oscilação entre as taxas de remoção, variando de -83,17% a 90,59%. Certos testes mostraram uma remoção eficaz da cor, enquanto outros

apontaram um crescimento na concentração do parâmetro, resultando em valores negativos de remoção.

**Tabela 6 – Taxa de Remoção de Cor**

Corrente Elétrica (A)	Tempo de Eletrólise (min)	pH	Distância (cm)	Pós-Tratamento (PtCo)	Taxa de Remoção (%)
4	30	10	5	790	-30,36
1	30	10	2	880	-45,21
4	10	10	2	650	-7,26
1	10	10	5	820	-35,31
4	30	5	2	57	90,59
1	30	5	5	193	68,15
4	10	5	5	1110	-83,17
1	10	5	2	710	-17,16
2,5	20	7,5	3,5	460	24,09
2,5	20	7,5	3,5	610	-0,66
2,5	20	7,5	3,5	600	0,99

Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.1.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Tabela 7 apresenta os resultados referentes à Demanda Química de Oxigênio (DQO), com concentração média do efluente antes da eletroco-oxidação de 2441 mg/L. Os valores obtidos após o tratamento evidenciam oscilações na eficiência do processo, com taxas de remoção que vão de -53,75% a 38,96%. Esses resultados indicam que o processo testado apresentou eficiência instável para a remoção da matéria orgânica, sugerindo a necessidade de ajustes nas condições operacionais para garantir maior consistência e efetividade.

Os resultados mais eficazes na eliminação de DQO, turbidez e cor ocorreram com corrente de 1 A, pH 5 e 30 minutos de eletrólise. Por outro lado, os piores resultados foram realizados com 4 A, sem importar o pH, particularmente em pH 5 e 10. Notou-se que correntes mais baixas facilitam a eliminação dos parâmetros de qualidade avaliados. Além disso, períodos mais extensos de eletrólise também tiveram um impacto positivo. Existe um padrão evidente de que a alta corrente prejudica a eficácia dos tratamentos.

**Tabela 7 – Taxa de Remoção de DQO**

Corrente Elétrica (A)	Tempo de Eletrólise (min)	pH	Distância (cm)	Pós-Tratamento (mg/L)	Taxa de Remoção (%)
4	30	10	5	3753	-53,75
1	30	10	2	2453	-0,49
4	10	10	2	2553	-4,59
1	10	10	5	2203	9,75
4	30	5	2	2115	13,36
1	30	5	5	1490	38,96
4	10	5	5	1928	21,02
1	10	5	2	1978	18,97
2,5	20	7,5	3,5	2303	5,65
2,5	20	7,5	3,5	2503	-2,54
2,5	20	7,5	3,5	2403	1,56

Fonte: Autoria própria (2025)

## 5.2 Análise de Variância

Foi realizado uma análise de variância (ANOVA), utilizando o software Statistica, onde os fatores são x1 sendo corrente elétrica, x2 o tempo, x3 o pH e por fim o x4 sendo a distância entre os eletrodos.

### 5.2.1 Turbidez

A Tabela 8 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) para remoção de turbidez, evidenciando a influência dos fatores operacionais na eliminação de turbidez.

**Tabela 8 – Análise de Variância (ANOVA) para Remoção de Turbidez**

Fator	SS	df	MS	F	p-valor
Corrente Elétrica	2554,45	1	2554,446	1,084815	0,337761
Tempo de Eletrólise	5169,19	1	5169,193	2,195239	0,188947
pH	1885,56	1	1885,557	0,800753	0,405333
Distância	1216,67	1	1216,668	0,516691	0,499281
Erro	14128,38	6	2354,729		
<b>Total SS</b>	<b>24954,24</b>	<b>10</b>			

**R<sup>2</sup> = 43,38%**

Fonte: Autoria própria (2025)

Notou-se que nenhum dos elementos analisados alcançou significância estatística, com valores de p superiores a 0,10 em todos os casos. O fator tempo de eletrólise, que apresentou o maior valor de F (2.195), ainda não obteve prevalência estatística significativa. A taxa de determinação ( $R^2$ ) atingiu 43,38%, sugerindo que os fatores explicam uma parcela limitada da variação observada na remoção de turbidez. Esses resultados sugerem que outros fatores ou interações que não foram contemplados no modelo podem estar afetando o processo.

### 5.2.2 Cor

A Tabela 9 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) para remoção de cor, evidenciando a influência dos fatores operacionais na eliminação de cor.

**Tabela 9 – Análise de Variância (ANOVA) para Remoção de Cor**

<b>Fator</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Corrente Elétrica	0,05	1	0,0054	0,000025	0,996194
Tempo de Eletrólise	6392,12	1	6392,119	2,899364	0,139509
pH	3899,16	1	3899,162	1,768598	0,231875
Distância	1292,31	1	1291,305	0,586169	0,472937
Erro	13227,98	6	2204,663		
<b>Total SS</b>	<b>24811,62</b>	<b>10</b>			

**$R^2 = 46,69\%$**

Fonte: Autoria própria (2025)

Nenhum dos fatores apresentou significância estatística de 95%, com valores de p superiores a 0,10. O fator tempo de eletrólise apresentou o valor mais baixo de p (0,1395), sugerindo um possível efeito moderado, mesmo sem ser relevante. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) atingiu 46,69%, indicando que menos da metade da variação na remoção de cor pode ser atribuída ao modelo. Esses resultados sugerem que os fatores examinados exercem influência limitada na variável em análise (remoção de cor).

### 5.2.3 DQO

A Tabela 10 mostra os resultados da análise de variância (ANOVA) para remoção de DQO, evidenciando a influência dos fatores operacionais na eliminação de DQO.

**Tabela 10 – Análise de Variância (ANOVA) para Remoção de DQO**

<b>Fator</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Corrente Elétrica	1038,177	1	1038,177	4,142664	0,088009
Tempo de Eletrólise	277,578	1	277,578	1,107625	0,333126
pH	2495,305	1	2495,305	9,95708	0,019677
Distância	15,859	1	15,859	0,063283	0,809775
Erro	1503,637	6	250,606		
<b>Total SS</b>	<b>5330,556</b>	<b>10</b>			

**R<sup>2</sup> = 71,79%**

**Fonte:** Autoria própria (2025)

Nota-se que os fatores tempo de eletrólise e distância entre eletrodos, não demonstraram significância para o estudo, por outro lado os fatores de corrente elétrica e pH, sim. Isto se dá, devido ao p-valor destes fatores ser inferior a 0,10. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) atingiu cerca de 71,79%, indicando que o modelo é capaz de prever uma parte considerável da variação da remoção de DQO com base na variação desses fatores.

### 5.3 Estimativas dos Efeitos dos Fatores

Foi realizado uma análise de variância (ANOVA), utilizando o software Statistica, onde os fatores são x1 sendo corrente elétrica, x2 o tempo, x3 o pH e por fim o x4 sendo a distância entre os eletrodos.

#### 5.3.1 Turbidez

A Tabela 11 mostra os resultados da estimativa dos efeitos dos fatores para remoção de turbidez, evidenciando a influência dos fatores operacionais na eliminação de turbidez.

Notou-se pelos resultados que, nenhum dos fatores apresentou relevância estatística, já que todos os p-valores são superiores a 0,10. Isso sugere que, de forma individual, nenhum dos fatores exerce efeito estatisticamente relevante na remoção de turbidez.

**Tabela 11 – Efeitos dos Fatores na Remoção de Turbidez**

Fatores	Efeito	Erro Padrão	t(6)	p-valor
Média	0,7322	14,631	0,05004	0,96171
(1)x1	-35,738	34,3128	-1,0415	0,33776
(2)x2	50,8389	34,3128	1,48163	0,18895
(3)x3	-30,705	34,3128	-0,8949	0,40533
(4)x4	-24,664	34,3128	-0,7188	0,49928

**Fonte:** Autoria própria (2025)

### 5.3.2 Cor

A Tabela 12 mostra os resultados da estimativa dos efeitos dos fatores para remoção de cor, evidenciando a influência dos fatores operacionais na eliminação de cor.

**Tabela 12 – Efeitos dos Fatores na Remoção de Cor**

Fatores	Efeito	Erro Padrão	t(6)	p-valor
Média	-3,2387	14,1571	-0,2288	0,82665
(1)x1	-0,1651	33,2014	-0,005	0,99619
(2)x2	56,5337	33,2014	1,70275	0,13951
(3)x3	-44,154	33,2014	-1,3299	0,23188
(4)x4	-25,42	33,2014	-0,7656	0,47294

**Fonte:** Autoria própria (2025)

Notou-se pelos resultados que, nenhum dos fatores apresentou relevância estatística, já que todos os p-valores são superiores a 0,10. Isso sugere que, de forma individual, nenhum dos fatores exerce efeito estatisticamente relevante na remoção de cor.

### 5.3.2 DQO

A Tabela 13 mostra os resultados da estimativa dos efeitos dos fatores para remoção de DQO, evidenciando a influência dos fatores operacionais na eliminação de DQO.

**Tabela 13 – Efeitos dos Fatores na Remoção de DQO**

Fatores	Efeito	Erro Padrão	t(6)	p-valor
Média	4,3865	4,77309	0,91901	0,39354
(1)x1	-22,784	11,1939	-2,0535	0,08801
(2)x2	-11,781	11,1939	-1,0524	0,33313
(3)x3	-35,322	11,1939	-3,1555	0,01968
(4)x4	-2,8159	11,1939	-0,2516	0,80978

**Fonte:** Autoria própria (2025)

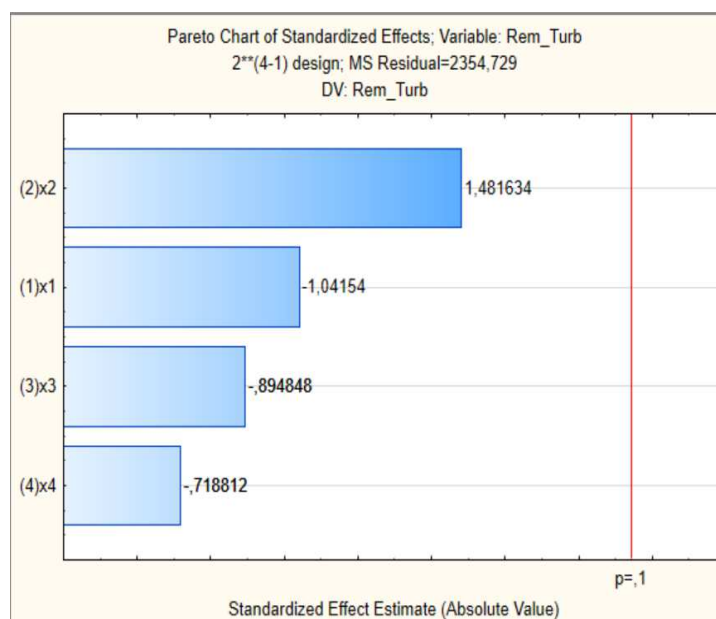
Observou-se que os fatores x1 e x3 possuem significância estatística, levando em conta o p-valor inferior a 0,10. No entanto os fatores x2 e x4 não tiveram significância, pelo p-valor ser superior a 0,10. O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) atingiu 71,79% da variabilidade total na remoção de DQO.

## 5.4 Gráficos de Pareto

### 5.4.1 Turbidez

A Figura 3 mostra os resultados da estimativa dos efeitos dos fatores para remoção de turbidez, evidenciando a influência dos fatores operacionais na eliminação de turbidez.

O diagrama de Pareto para remoção de turbidez demonstra os efeitos uniformes dos fatores. É possível observar que nenhum dos fatores ultrapassa a linha de significância vermelha, que representa um p-valor de 0,10. Isso sugere que, mesmo adotando uma significância de 10%, nenhum dos elementos analisados tem um impacto estatístico relevante na remoção da turbidez.

**Figura 3 – Gráfico de Pareto para Remoção de Turbidez**

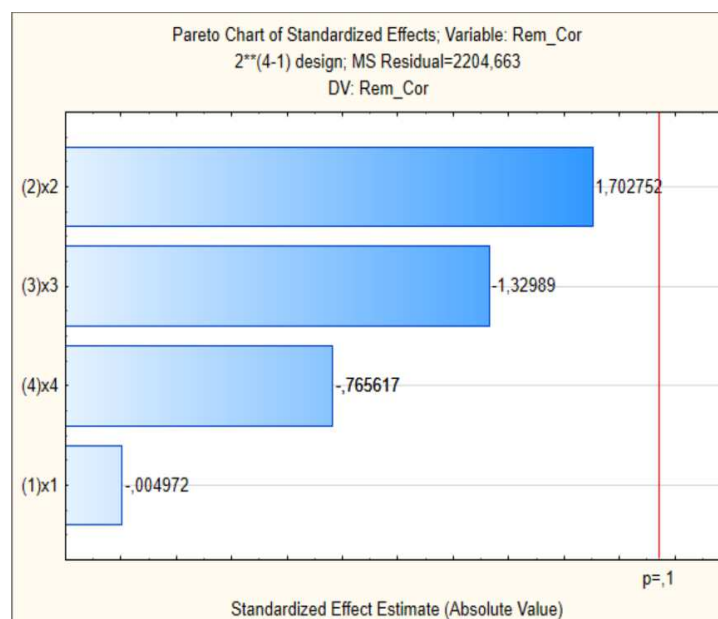
Fonte: Autoria própria (2025)

#### 5.4.2 Cor

A Figura 4 mostra os resultados da estimativa dos efeitos dos fatores para remoção de cor, evidenciando a influência dos fatores operacionais na eliminação de cor.

O diagrama de Pareto para remoção de cor demonstra os efeitos uniformes dos fatores. É possível observar que nenhum dos fatores ultrapassa a linha de significância vermelha, que representa um p-valor de 0,10. Isso sugere que, mesmo adotando uma significância de 10%, nenhum dos fatores analisados tem um impacto estatístico relevante na remoção da cor.

**Figura 4 – Gráfico de Pareto para Remoção de Cor**

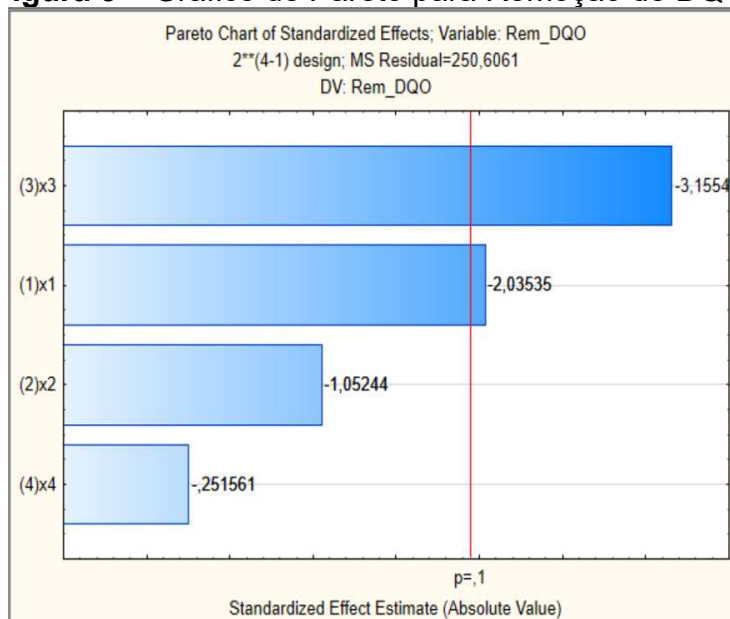


Fonte: Autoria própria (2025)

#### 5.4.3 DQO

A Figura 5 mostra os resultados da estimativa dos efeitos dos fatores para remoção de DQO, evidenciando a influência dos fatores operacionais na eliminação de DQO.

**Figura 5 – Gráfico de Pareto para Remoção de DQO**



Fonte: Autoria própria (2025)

O diagrama de Pareto para remoção da DQO apresenta os efeitos padronizados dos fatores. Nota-se que os fatores x3 e x1 ultrapassam a linha de significância vermelha, sinalizando que possuem significância estatística para a remoção da DQO. O fator x3 possui o efeito padronizado mais significativo, seguido do x1. Contudo os fatores x2 e x4 não tiveram significância estatística, já que seus efeitos não ultrapassaram a linha de significância.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da avaliação dos dados encontrados, conclui-se que a eficácia do processo de eletro-oxidação utilizado no efluente de um abatedouro de aves varia de acordo com o parâmetro examinado. As taxas de remoção para turbidez, cor e DQO apresentaram flutuações consideráveis, apresentando valores positivos e negativos, diminuindo uma sensibilidade do processo às condições operacionais adotadas. Os resultados mais positivos foram encontrados com uma corrente de 1 A, pH 5 e um tempo de eletrólise de 30 minutos. Correntes mais altas, como 4 A, apresentaram desempenho inferior, independentemente do pH.

Uma análise de variância (ANOVA) revelou que, em relação aos parâmetros de turbidez e cor, nenhum dos elementos analisados apresentou significância estatística, com valores de  $p$  superiores a 0,10. Isso indica que os fatores de corrente elétrica, tempo de eletrólise, pH e distância entre os eletrodos, por si só, não conseguem explicar de maneira consistente a variação na remoção dessas variações. Por outro lado, na remoção de DQO, os fatores pH (x3) e corrente elétrica (x1) apresentaram significância estatística, explicando 71,79% da variabilidade observada, conforme evidenciado pelo coeficiente de determinação  $R^2$ .

As observações são reforçadas pelos efeitos estimados e pelos gráficos de Pareto. No que diz respeito à turbidez e cor, nenhum fator excedeu o nível de significância de 10%. No entanto, para o DQO, os fatores x3 e x1 se sobressaíram, exercendo uma influência estatisticamente significativa. Isso destaca a relevância do pH regular e a intensidade da corrente elétrica para a eficácia do procedimento na eliminação da matéria orgânica avaliada por DQO.

Assim, sugere-se que as pesquisas futuras levem em conta a otimização conjunta dos elementos operacionais, particularmente o pH e a corrente elétrica, com o objetivo de aprimorar a eficácia do processo. Além disso, estudos futuros devem incorporar outros elementos ou interações não abordadas neste estudo, com o objetivo de expandir o entendimento sobre os processos em questão e garantir maior consistência nos resultados, assim como se preocupar com a deterioração dos eletrodos.

## REFERÊNCIAS

- APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23<sup>a</sup> ed. Washington – DC: APHA, 2017.
- Beristain-López, Betzabel et al. **Efficiency of an upflow anaerobic filter for poultry effluent treatment**. *Agrociencia*, 2024.
- Brasil. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Classificação de águas doces, salobras e salinas do Território Nacional.
- Brasil. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Publicada no Diário Oficial nº 92 em 16 de maio de 2011.
- Chen, G. **Electrochemical technologies in wastewater treatment**. *Separation and Purification Technology*, v. 38, n. 1, p. 11-41, 2003.
- Chen, G. **Electrochemical Technologies in wastewater treatment**. *Separation and Purification Technology*, v. 38, n. 1, p. 11-41, 2004.
- Crespilho, F. N.; Rezende, M. O. O.; Santana, C. G. **Tratamento de efluente de coco utilizando eletroflotação**. *Química Nova*, v. 27, n. 3, p. 387-394, 2004.
- De Oliveira, C. T. F. A. et al. **Incorporação de cinza de lodo de estação de tratamento de esgoto de abatedouro de aves em cimento**. *Revista Valore*, v. 4, p. 210-226, 2019.
- Dos Santos, A. C. et al. **Tratamento de efluentes sintéticos da indústria de petróleo utilizando o método da eletroflotação**. 2007.
- Feltre, R. *Fundamentos de Química*. São Paulo: Moderna, v. único, p. 646, 1996.
- Fransen, N. G. et al. **Utilization of fermented flocculated poultry sludge as a feed constituent for pigs**. *Poultry Science*, v. 74, p. 1948–1960, 1995.
- IBGE. **2024 registra recorde no abate de bovinos, frangos e suínos**. IBGE, 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42898-2024-registra-recorde-no-abate-de-bovinos-frangos-e-suinos#:~:text=Abate%20de%20frangos%20registra%20recorde%20na%20s%C3%A9rie%20hist%C3%B3rica&text=O%20abate%20de%20172%2C73,Federa%C3%A7%C3%A3o%20que%20participaram%20da%20pesquisa>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- Meiramkulova, K. et al. **Performance of graphite and titanium as cathode electrode materials on poultry slaughterhouse wastewater treatment**. *Materials*, v. 13, n. 20, p. 4489, 2020.
- Meneses, J. M. et al. **Tratamento do efluente do biodiesel utilizando eletrocoagulação/flotação: investigação dos parâmetros operacionais**. *Química Nova*, v. 35, p. 235-240, 2012.

Merma, A. G. **Eletrocoagulação aplicada a meios aquosos conteúdo óleo**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais e Metalurgia) – Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: [http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/12209/12209\\_1.PDF](http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/12209/12209_1.PDF). Acesso em: 15 nov. 2017.

Pinto, L. A. M. et al. **Aspectos ambientais do abate de aves: uma revisão**. Uningá Review, v. 22, n. 3, 2015.

Silva, Flavia Manente da et al. **Degradação de corante azo Acid black 210 Na por meio de eletro-oxidação com eletrodos de grafite**. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Sobrinho, Jose A. H.; Thiem, Leon T.; Alkhatib, Eid A. **Optimizing submerged jet flocculator performance**. Journal AWWA, p. 81-92, 1996.