

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

FLAVIA LUIZA SILVA

ESTUDO DO TRATAMENTO DA ÁGUA DO RIO IPOJUCA EM
CARUARU-PE ATRAVÉS DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO
UTILIZANDO ELETRODOS PROVENIENTES DE LATINHAS DE
ALUMÍNIO

JOÃO PESSOA – PB

2023

FLAVIA LUIZA SILVA

ESTUDO DO TRATAMENTO DA ÁGUA DO RIO IPOJUCA EM
CARUARU-PE ATRAVÉS DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO
UTILIZANDO ELETRODOS PROVENIENTES DE LATINHAS DE
ALUMÍNIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da
Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Química.

Orientadora: Dr.(a) Fabíola Dias da Silva Curbelo

Coorientador: Dr. Rennio Felix de Sena

JOÃO PESSOA – PB

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catálogo e Classificação

S586e Silva, Flavia Luiza.

Estudo do tratamento da água do Rio Ipojuca em Caruaru-PE através do processo de eletrofloculação utilizando eletrodos provenientes de latinhas de alumínio / Flavia Luiza Silva. - João Pessoa, 2023.
61 f. : il.

Orientação: Fabíola Dias da Silva Curbelo.
Coorientação: Rennio Felix de Sena.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Água - Poluição. 2. Recursos hídricos. 3. Eletrofloculação. 4. Rio Ipojuca - Caruaru (PE). I. Curbelo, Fabíola Dias da Silva. II. Sena, Rennio Felix de. III. Título.

UFPB/BC

CDU 628.19(043)

FLAVIA LUIZA SILVA

**ESTUDO DO TRATAMENTO DA ÁGUA DO RIO IPOJUCA EM CARUARU-PE
ATRAVÉS DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO UTILIZANDO
ELETRODOS PROVENIENTES DE LATINHAS DE ALUMÍNIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em 10 de agosto de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Fabíola Dias da Silva Curbelo – PPGEQ/DEQ/CT/UFPB

Orientadora



Prof. Dr. Rennio Felix de Sena – DEQ/CT/UFPB

Coorientador



Prof. Dr. Edson de Andrade Araujo – UFCG

Examinador Externo



Prof. Dra. Lígia Rodrigues Sampaio – IFPE/RECIFE

Examinador Externo

Aos meus pais, que nunca mediram
esforços para me oferecer tudo do melhor,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por iluminar os meus caminhos.

Aos meus pais, Flávio e Rosângela, que tanto fizeram e fazem por mim, para que eu chegasse até aqui. Além todos os ensinamentos, e apoio ao longo da minha vida.

Ao meu irmão, Luiz Felipe pela amizade e companheirismo em todas as horas.

Ao meu noivo, Wendel, que acima de tudo é o meu melhor amigo e sempre está ao meu lado, me ajudando a superar todas as dificuldades.

A minha orientadora, Professora Doutora Fabíola Dias, por todo suporte que apesar da sua intensa rotina, não mediu esforços para me ajudar.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Rennio Felix, por arregaçar as mangas comigo no laboratório, em buscar de melhores resultados e não mediu esforços para isso.

A professora Doutora Lígia Sampaio, pela orientação e confiança durante o estágio à docência, e pela amizade e paciência.

A Bioenzimas e a UNIFAVIP/WYDEN que abriram as portas para que eu utilizar-se o laboratório para a minha pesquisa.

A Ítalo Vidal, Sandrinha e Cesar Santos, que foram um super apoio no laboratório e pela amizade.

A Maria Luíza e Victor Hugo, que me deram várias dicas para a conclusão da dissertação e por todo carinho e atenção.

Ao médico, Dr. Pedro Revoredo, sem o acompanhamento dele não teria conseguido concluir o mestrado.

A FAPESQ por ter concedido a bolsa, possibilitando a continuidade no mestrado.

Enfim, a todas as pessoas que me ajudaram, de forma direta ou indireta, para chegar até aqui, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A água é um recurso natural fundamental para sobrevivência de todas as espécies do planeta. Com o seu uso intenso e o crescimento populacional, tem sido gerado um grande volume de efluentes, que são lançados nos rios sem o seu devido tratamento, acarretando sérios problemas ao meio ambiente. Os rios têm sido uns dos principais pontos atingidos pela poluição, como exemplo, pode-se citar o rio Ipojuca, localizado na cidade de Caruaru-PE, no qual é considerado o terceiro rio mais poluído do Brasil. Considerando escassez da água, nos últimos tempos, novas tecnologias e diversos tipos de tratamento têm sido desenvolvidos para tentar amenizar esse problema. A eletrofloculação surge como uma técnica promissora. Essa técnica é um tratamento eletroquímico, no qual por meio da eletrólise é gerado seu próprio coagulante, dispensando assim a adição de coagulantes químicos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da técnica de eletrofloculação utilizando eletrodos de alumínio para o tratamento do efluente do rio Ipojuca. O processo de eletrofloculação foi realizado em um reator, construído com materiais alternativos, sendo de vidro temperado, em batelada, utilizando eletrodos de alumínio provenientes de latas de refrigerantes e afins, sendo realizado durante um período pré-determinado de 60 minutos usando em cada ensaio 5 litros da amostra, aplicando uma voltagem de 12 volts e sob agitação interna. Os parâmetros analisados foram: DBO, DQO, óleos e graxas, pH, turbidez, fósforo, coliformes totais e termotolerantes. Por fim, com a utilização dessa técnica foram alcançadas reduções significativas, atingindo o valor máximo de redução de 94,59% para óleos e graxas, 86,17% para DQO, 66,40% para DBO, 84,79% para turbidez, 83,96% para fósforo. Portanto, o processo de eletrofloculação se mostra promissor no tratamento de efluentes, como o rio Ipojuca.

Palavras-chave: Água; Poluição; Recursos hídricos; Eletrofloculação; Rio Ipojuca.

ABSTRACT

Water is a fundamental natural resource for the survival of all species on the planet. With its intense use and population growth, a large volume of effluents has been generated, which are released into rivers without proper treatment, causing serious problems for the environment. Rivers have been one of the main points affected by pollution, as an example, we can mention the Ipojuca river, located in the city of Caruaru-PE, which is considered the third most polluted river in Brazil. Considering water scarcity, in recent times, new technologies and different types of treatment have been developed to try to alleviate this problem. Electroflocculation appears as a promising technique. This technique is an electrochemical treatment, in which its own coagulant is generated through electrolysis, thus eliminating the need for the addition of chemical coagulants. The present work aimed to evaluate the efficiency of the electroflocculation technique using aluminum electrodes for the treatment of effluent from the Ipojuca River. The electroflocculation process was carried out in a reactor, built with alternative materials, being made of tempered glass, in batch, using aluminum electrodes from soft drink cans and the like, being carried out during a pre-determined period of 60 minutes using in each test 5 liters of the sample, applying a voltage of 12 volts and under internal agitation. The parameters analyzed were: BOD, COD, oils and greases, pH, turbidity, phosphorus, total and thermotolerant coliforms. Finally, using this technique significant reductions were achieved, reaching a maximum reduction value of 94.59% for oils and greases, 86.17% for COD, 66.40% for BOD, 84.79% for turbidity, 83.96% for phosphorus. Therefore, the electroflocculation process shows promise in treating effluents, such as the Ipojuca River.

Keyword: Water; Pollution; Water resources; Electroflocculation; Ipojuca River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Remoção de baronezas do rio Ipojuca em Caruaru – PE	19
Figura 3.2	Zonas de autodepuração	20
Figura 3.3	Localização da Bacia do Rio Ipojuca	22
Figura 3.4	Descartes de poluentes no Rio Ipojuca	24
Figura 3.5	Esquema do reator eletrolítico utilizado no processo	25
Figura 4.1	Pontos de coleta no Rio Ipojuca	31
Figura 4.2	Coletas no Rio Ipojuca (Ponto 1- A; Ponto 2- B; Ponto 3- C)	32
Figura 4.3	Reator eletrolítico	33
Figura 4.4	Sistema para o processo de eletrofloculação	34
Figura 4.5	Latinha de alumínio	34
Figura 4.6	Fabricação dos eletrodos	35
Figura 4.7	Balança analítica com eletrodo	36
Figura 4.8	Reator	37
Figura 4.9	Sistema para preparação do cartucho	38
Figura 4.10	Aparelho para medição de DBO com suporte integrado para garrafas	39
Figura 4.11	A: incubadora/ B: Equipamentos para DBO	39
Figura 4.12	Sistema de filtração à vácuo para preparação do cartucho	40
Figura 4.13	Cartuchos	41
Figura 4.14	Extrator de óleos e graxas	41
Figura 4.15	Copo com o peso final	42
Figura 4.16	pHmetro	43
Figura 4.17	Turbidímetro	43
Figura 4.18	Tubos para análise de fósforo total	44
Figura 4.19	Tubos de ensaio para coliformes totais	45
Figura 4.20	Teste confirmativo de coliformes	46
Figura 5.1	Amostra da água do rio Ipojuca antes (A) e depois (B) do tratamento	47
Figura 5.2	Eletrodos após o processo de eletrofloculação	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Municípios que integram a Bacia hidrográfica do rio Ipojuca	23
Tabela 4.1	Localização dos pontos de coleta	32
Tabela 4.2	Dimensões dos eletrodos	35
Tabela 5.1	Avaliação das análises de DQO(mgO ₂ /L) pela eletrofloculação	48
Tabela 5.2	Avaliação das análises de DBO ₅ (mgO ₂ /L) pela eletrofloculação	49
Tabela 5.3	Avaliação da redução do Teor óleos e graxas pela eletrofloculação	50
Tabela 5.4	Avaliação do pH pela eletrofloculação	50
Tabela 5.5	Avaliação da remoção de Turbidez pela eletrofloculação	51
Tabela 5.6	Avaliação da redução do fósforo pela eletrofloculação	52
Tabela 5.7	Contagem para NMP	53
Tabela 5.8	Número mais provável (NMP) e intervalo de confiança	53
Tabela 5.9	Massa dos eletrodos	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Água e Saneamento Básico
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
pH	Potencial hidrogeniônico
UNT	Unidades nefelométricas de turbidez

LISTA DE SIMBOLOS

Al	Alumínio
Al(OH)	Hidróxido de alumínio
O ₂	Oxigênio
H ₂	Hidrogênio
H ⁺	Íon de hidrogênio
H ₂ O	Água
e ⁻	Elétron
N _{total}	Nitrogênio total
M	Metal
n	Número de elétrons
(s)	sólido
(l)	líquido
(g)	gasoso
(aq)	aquoso
cm ³	Centímetros cúbicos
g	Gramas
g/L	Gramas por litro
L	Litro
mg/L	Miligramas por litro
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA NO BRASIL	17
3.2 POLUIÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS	18
3.3 O RIO IPOJUCA	21
3.4 ELETROFLOCULAÇÃO	25
3.4.1 Reações envolvidas no processo	26
3.4.2 Eletrodos de alumínio	27
3.4.3 Vantagens e desvantagens do processo	28
3.4.4 Estado da Arte	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 COLETA	32
4.2 REATOR ELETROLÍTICO	33
4.3 ELETRODOS	34
4.4 ANÁLISES REALIZADAS	36
4.4.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	37
4.4.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	38
4.4.3 Óleos e graxas	40
4.4.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)	43
4.4.5 Turbidez	43
4.4.6 Fósforo Total	44
4.4.7 Coliformes Totais e Termotolerantes	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA DQO PELA ELETROFLOCULAÇÃO	48
5.2 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA DBO PELA ELETROFLOCULAÇÃO	49
5.3 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS	50
5.4 AVALIAÇÃO DO PH ANTES E APÓS A ELETROFLOCULAÇÃO	50
5.5 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE TURBIDEZ	51
5.6 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE FÓSFORO TOTAL	52
5.7 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO NA CONTAGEM DE COLIFORMES	52
5.8 COMPORTAMENTO DOS ELETRODOS	54
6 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural, fundamental para sobrevivência de todas as espécies existentes no planeta Terra. Ela é um bem indispensável presente na natureza, sendo utilizada para inúmeras finalidades. Neste sentido, os recursos hídricos podem ser usados de duas maneiras diferentes, consuntiva e não consuntiva. De maneira consuntiva, quando tem-se à retirada da água do corpo hídrico para, principalmente, abastecimento doméstico e industrial, irrigação e aquacultura, apresentando geralmente, requisitos mais rigorosos de qualidade. E de maneira não consuntiva, referindo-se à navegação, recreação, harmonia paisagística, entre outros em que não é necessário a retirada da água do corpo hídrico (LIBÂNIO, 2016).

Por muito tempo a água foi considerada um recurso infinito, porém devido a vários fatores como crescimento populacional, mau uso e, principalmente poluição, tal recurso foi se tornando escasso. A poluição hídrica vem aumentando dia após dia, com o descarte de poluentes lançados nos recursos hídricos sem o devido tratamento como: esgotos domésticos e industriais, produtos químicos e entre outros (BORGES,2019; SEABRA e TAVARES, 2018).

A Fundação SOS Mata Atlântica (ONG Ambiental Brasileira) desenvolve o projeto “Observando os Rios”, que tem a finalidade de monitorar a qualidade das águas dos rios. São divulgados anualmente relatórios com os resultados obtidos nas análises. O relatório anual de 2022, foram realizadas coletas em 146 pontos de coletas de 90 rios, em 16 estados do Brasil. Os resultados mostram que apenas 10 pontos de coleta dos rios (7%) estão em boas condições. Não foi possível identificar corpos d’água com qualidade ótima (SOS MATA ATLÂNTICA, 2022).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) os dados do Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (2015), verifica-se que as bacias de água doce estão em situação crítica. A qualidade da água dos rios e represas brasileiras estão longe do ideal. Eles estão aumentando o seu nível de poluição.

Existe um ranking feito pelo IBGE, que dentre os dez rios mais poluídos do Brasil, o Rio Ipojuca encontra-se em terceiro lugar, apresentando águas muito turvas e, literalmente, podres em alguns trechos (DE SOUSA, 2017).

O rio Ipojuca corta vários municípios de Pernambuco. Ele nasce em Arcoverde, no Sertão, e deságua em Suape, ao Sul do Grande Recife. O lixo e o esgoto, que são despejados no

rio acabam aumentando os riscos de contaminação de doenças como leptospirose, hepatite A e diarreia (CIESP, 2013).

A legislação ambiental está cada dia mais inflexível em relação aos geradores de poluição, principalmente as indústrias, com intuito de tentar evitar uma poluição desenfreada, exigindo o tratamento dos efluentes, assim como a apresentação de novos métodos. À vista disso, tem-se a necessidade de investimentos como: tempo, mão de obra e dinheiro (FLOSS e CALLEGARO, 2011).

Uma das principais causas de poluição dos corpos receptores é o descarte de efluentes no meio ambiente, o qual é também uma séria fonte de risco à saúde humana, tornando-se um grande desafio para a saúde pública essa contaminação das matrizes aquáticas. Novos tratamentos vêm sendo estudados na última década, devido ao fato do tratamento convencional não degradar totalmente seus poluentes (TOMASSONI *et al.*, 2018; CARVALHO FILHO, 2019).

Processos eletrolíticos, como a eletrofloculação, são métodos que vêm ganhando destaque por ser uma técnica simples e de fácil operação, podendo também ser utilizado junto com outros métodos. Essa técnica consiste na utilização da diferença de potencial aplicado em um conjunto de eletrodos, de alumínio ou de ferro, colocados paralelamente e submersos na amostra. No ânodo ocorre a dissolução das moléculas poluentes e no cátodo, a formação de bolhas de gás hidrogênio (VAZ, 2017).

Utilizando eletrodos de alumínio (Al) no processo de eletrofoculação, íons de alumínio carregados positivamente são liberados durante o processo de dissolução anódica (SAFARI, AGHDAM e KARIMINIA, 2016).

A eletrofloculação não apresenta risco de gerar contaminantes secundários durante o processo de tratamento, pois não é necessário adicionar nenhum produto químico. Além de apresentar um custo baixo, tem uma alta taxa de remoção de contaminantes. Se tornando uma das principais alternativas de tratamento para efluentes contaminados. (DAS; SHARMA; PURKAIT, 2022).

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação da técnica de eletrofloculação utilizando eletrodos de alumínio no tratamento das águas do rio Ipojuca, localizado na cidade de Caruaru- PE.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Aplicar a técnica de eletrofloculação utilizando eletrodos de alumínio provenientes de latinhas no tratamento da água do rio Ipojuca na cidade de Caruaru- PE.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a água coletada em três pontos distintos, antes e após o tratamento por eletrofloculação;
- Montar equipamentos com materiais alternativos para aplicação da técnica de eletrofloculação;
- Analisar a eficiência quanto a redução dos parâmetros físico-químicos e biológicos;
- Avaliar a perda de massa sofrida pelo eletrodo no processo eletrolítico.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA NO BRASIL

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o Brasil possui parcela relativamente alta dos recursos hídricos do mundo, tendo aproximadamente 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Entretanto, essa quantidade não é igualmente distribuída no país. A região que contém a maior quantidade de água disponível, é a região Norte, concentrando aproximadamente 80% dessa quantidade. No entanto, somente 5% da população brasileira, está situada na região Norte. Ainda as demais regiões que são próximas ao Oceano Atlântico, contam somente com uma disponibilidade de menos de 3% (ANA, 2019).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, que 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, as águas podem ser classificadas como:

- Águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5%;
- Águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5% e inferior a 30%;
- Águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30%

Essas águas são classificadas, de acordo com a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, sendo ainda divididas em classes, como: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4. Cada uma delas é separada segundo a sua utilidade.

Borges (2019), Sousa (2020) e Perusatto (2019) descrevem que o uso desenfreado da água somado ao crescimento populacional e a poluição dos recursos hídricos são os principais fatores para a escassez da água. Os autores ainda apontam que dentre estes fatores, a poluição dos recursos hídricos é aquela que mais impacta a escassez do recurso.

3.2 POLUIÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS

De acordo com Libânio (2016), a poluição em um conceito mais moderno, indica a ocorrência de alterações prejudiciais ao meio aquático, e quando tais alterações colocam em risco a saúde dos elementos da biota ou do ser humano que dele faz uso, a poluição passa a denominar-se contaminação. Ou seja, pode-se poluir um corpo d'água sem necessariamente contaminá-lo, mas a ocorrência da contaminação como consequência de alguma ação antrópica estará sempre relacionada à poluição.

Em linhas gerais, segundo Derisio (2016) a poluição das águas pode ocorrer por meio das seguintes formas:

- Poluição natural provocada por folhas, cadáveres de animais mortos, erosão, escoamento superficial etc.;
- Poluição por causa do lançamento de despejos industriais provenientes das operações desenvolvidas nos diferentes processamentos industriais;
- Poluição por causa de esgotos domésticos, os quais resultam do uso da água para fins higiênicos, preparo de alimentos, lavagem de pisos e utensílios etc.;
- Poluição de corpos d'água advinda da drenagem de áreas agropastoris, provocada pelo carreamento de fertilizantes, defensivos agrícolas, fezes de animais etc.

Um dos principais problemas causados nos corpos hídricos devido à poluição, é a eutrofização, sobre isso pode-se afirmar que:

O excesso de sedimentos nos corpos d'água resulta em elevada turbidez, comprometendo áreas de reprodução de espécies e podendo levar à perda de habitats aquáticos. O principal problema associado ao enriquecimento da concentração de nutrientes é a eutrofização das águas, que se caracteriza pelo aumento da produtividade dos ecossistemas aquáticos, causando consequências negativas, como a proliferação de algas, implicando em grandes gastos para a sua recuperação (ANJINHO, 2019).

De acordo com Mercedes et al. a eutrofização também é uma forma de poluição, pois causa a degradação ambiental do meio aquático, tendo como consequências a alteração no padrão de oxigenação da água, maus odores, crescimento excessivo de vegetação, floração de algas, de cionobactérias e de macrófitas aquáticas.

A limpeza dos rios e lagos removendo a vegetação, como as baroneas (*Eichhornia crassipes*) na Figura 3.1, é extremamente importante pois a presença delas diminui a oxigenação da água. Ao contrário da eutrofização, a qual limita a atividade biológica da água, a autodepuração é um fenômeno que tem o intuito de “recuperar” aquele meio.

Figura 3.1 - Remoção de baroneas do rio Ipojuca em Caruaru – PE



Fonte: Prefeitura [...] (2021)

Sobre a capacidade da autodepuração dos recursos hídricos pode-se afirmar que:

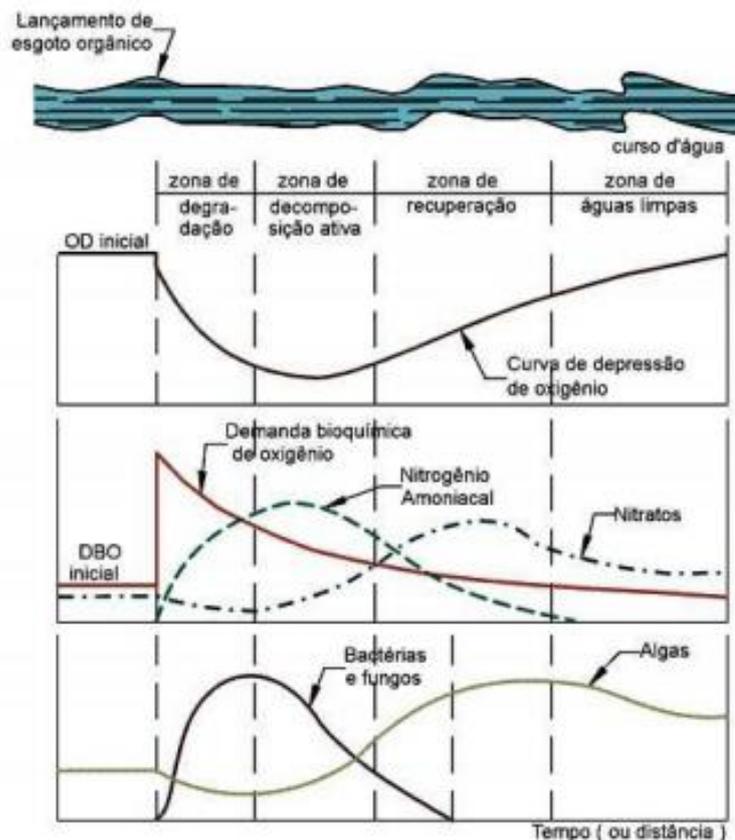
Em relação ao ambiente circundante, deve-se lembrar sempre que a maioria dos 5.564 municípios brasileiros tem origem às margens de rios. Todavia o desenvolvimento econômico e populacional provoca supressão da mata ciliar, uso e ocupação do solo efetuada sem planejamento, eleva os riscos a inundações, e poluição ou contaminação dessas águas e, como consequência disso, pode haver perda da capacidade de autodepuração. (SANTIAGO et al., 2020)

Segundo Von Sperling (2005) a autodepuração é uma forma de recuperação do equilíbrio do meio aquático após as mudanças causadas pelo lançamento de efluentes. Transformando os compostos orgânicos em compostos estáveis, como água e gás carbônico, não sendo prejudicial do ponto de vista ecológico.

Uma vez que o equilíbrio físico-químico é alterado por despejos orgânicos o equilíbrio biológico também se altera. Nesse sentido, cada alteração do meio induz um estágio de sucessão ecológica com mudanças na diversidade e número de indivíduos no meio (Lima, 2019).

Na Figura 3.2 pode-se observar de acordo com Braga et al. (2005) as zonas de autodepuração em um recurso hídrico, no qual elas têm as seguintes divisões:

Figura 3.2 - Zonas de autodepuração



Fonte: Adaptado de Mota (2015)

- Região anterior ao lançamento de matéria orgânica: em geral é uma região de águas limpas, com elevada concentração de oxigênio dissolvido e vida aquática, isso se já não existir poluição anterior;
- Zona de degradação: localiza-se a jusante do ponto de lançamento do poluente biodegradável, sendo caracterizada por uma diminuição inicial na concentração de oxigênio dissolvido, sedimentação de parte do material sólido e aspecto indesejável. Nessa região, ainda existem peixes que afluem ao local em busca de alimentos, quantidade elevada de bactérias e fungos, mas poucas algas;
- Zona de decomposição ativa: é a zona em torno da qual a concentração de oxigênio dissolvido atinge o valor mínimo, podendo inclusive tornar-se igual à zero em alguns casos. Nessa região, a quantidade de bactérias e fungos diminui, havendo também uma redução ou mesmo eliminação da quantidade de organismos aeróbios;

- Zona de recuperação: nessa zona, ocorre o aumento na concentração de oxigênio dissolvido, pois os mecanismos de reaeração acabam predominando sobre os mecanismos de desoxidação. O aspecto das águas melhora continuamente, havendo uma redução na quantidade de bactérias e fungos e um aumento na quantidade de peixes e outros organismos aeróbios. Existe uma tendência para a proliferação de algas, em consequência da disponibilidade de nutrientes, resultantes da decomposição da matéria orgânica;
- Zona de águas limpas: é a zona na qual volta a apresentar condições satisfatórias com relação às concentrações de oxigênio dissolvido e Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO) e com relação à presença de organismos aeróbios. Todavia, isso não significa necessariamente que ela esteja livre de organismos patogênicos.

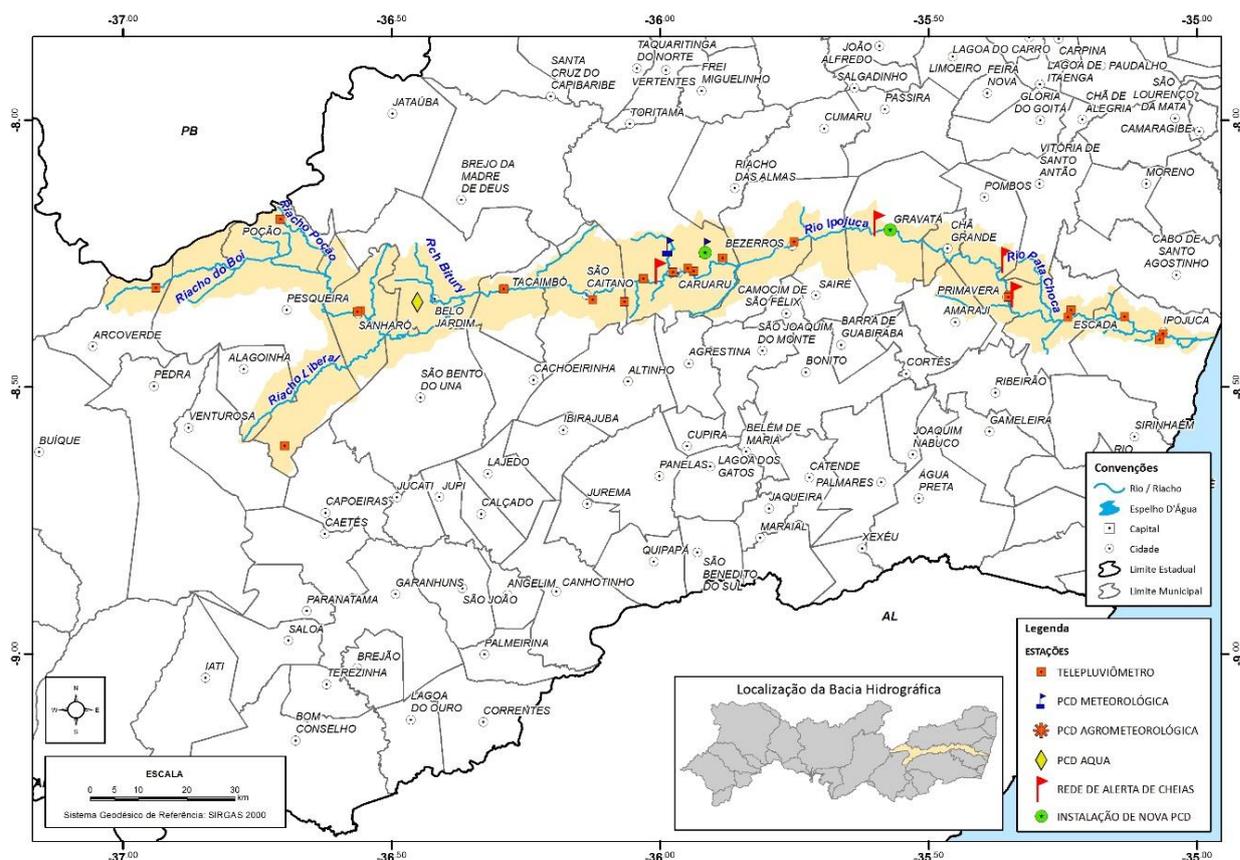
Segundo Chaves (2017), é importante salientar que cada curso d'água possui um limite receptor de matéria orgânica, sendo indispensável o estudo a respeito da sua capacidade de autodepuração.

3.3 RIO IPOJUCA

A palavra "Ipojuca" tem sua origem no tupi-guarani yapó-yuc, que significa podre, estagnado, banhado de água pútridas, pântano. Atualmente o Rio Ipojuca é considerado o terceiro mais poluído do Brasil, ficando atrás apenas dos rios Tietê (São Paulo) e Iguaçu (Paraná) (G1, 2023).

Segundo Medeiros (2018), a bacia do Rio Ipojuca, tem sua localização no Estado de Pernambuco, entre 08°09'50" e 08°40'20" de latitude Sul, e 34°57'52" e 37°02'48" de longitude Oeste. Sendo a sua formação no sentido oeste-leste, essa bacia tem uma posição estratégica no espaço estadual, servindo de grande calha hídrica (Figura 3.3) de ligação entre Recife e a região do Sertão.

Figura 3.3 - Localização da Bacia do Rio Ipojuca



Fonte: APAC (2019)

A bacia do Rio Ipojuca envolve uma área de 3.435,34 km², correspondendo a 3,49% da área estadual. A bacia é composta por 25 municípios, dentre os quais, 14 possuem suas sedes inseridas na bacia. O percurso do Rio Ipojuca, com cerca de 320 km, é preponderantemente orientado na direção oeste-leste, sendo seu regime fluvial intermitente, tornando-se perene a partir do seu trecho médio, nas proximidades de Caruaru (ARAÚJO, MEDEIROS e FRANÇA, 2020).

O rio Ipojuca banha diversas sedes municipais como mostra a Tabela 3.1, destacando: Belo Jardim, Bezerros, Caruaru, Chã Grande, Escada, Gravata, Ipojuca, Poção, Primavera, Sanharó, São Caetano e Tacaimbó, com as maiores áreas e com sede inserido na bacia.

Tabela 3.1 – Municípios que integram a Bacia hidrográfica do rio Ipojuca

Município	Área na bacia (%)	Município	Área na bacia (%)
Agrestina	0,04	Pesqueira	17,42
Alagoinha	1,77	Poção	5,34
Altinho	0,08	Pombos	1,95
Amaraji	1,76	Primavera	2,60
Arcoverde	2,80	Riacho das Almas	0,24
Belo Jardim	6,83	Sairé	2,25
Bezerros	6,02	Sanharó	7,12
Cachoerinha	0,05	São Bento do Una	2,06
Caruaru	11,31	São Caetano	7,49
Chã Grande	1,79	Tacaimbó	4,10
Escada	5,68	Venturosa	0,05
Gravatá	5,55	Vitória de S. Antão	1,14
Ipojuca	4,45		

Fonte: APAC (2010)

De acordo com estudos realizados pelo Governo de Pernambuco, mostram que cerca de 80% da poluição do Rio Ipojuca é causada por cinco cidades: Bezerros, Belo Jardim, Caruaru, Escada e Gravatá. A cidade que apresenta um dos trechos mais poluídos do rio Ipojuca é Caruaru, que corresponde à 40% de toda poluição do rio na região do Agreste, sendo 67% desta poluição gerada pelo lançamento de esgotos domésticos *in natura* (DE SOUSA, 2017).

A lei nº 16.360/2018 institui no calendário de eventos de Pernambuco, 9 de maio, o dia Estadual e municipal do Rio Ipojuca. O objetivo é incentivar a preservação e a conversação da bacia hidrográfica. O movimento ecológico SOS rio Ipojuca, surgiu em 2016 em Caruaru com o intuito de proteger e revitalizar o rio através de diversas ações.

O rio Ipojuca em outras épocas servia como incentivo ao turismo e era referência de lazer e pesca para moradores da região. Nos livros onde descreveu Caruaru no passado, o escritor Nelson Barbalho lembra até de lavadeiras que tiravam o sustento das águas, atividades comerciais com jangadas e banhos no rio.

A cidade de Caruaru é a segunda cidade com a maior área (Tabela 3.1) da bacia do Rio Ipojuca, e a segunda cidade mais populosa do interior do estado de Pernambuco (IBGE, 2018). Além de ser um dos maiores Polos de confecções do Agreste, no qual representa 9% da produção nacional de confecções (ABIT, 2016). Conseqüentemente, é uma das principais responsáveis pela poluição do rio Ipojuca.

Essa situação é devido à falta de tratamento antes do descarte dos efluentes, como também, a falta de um esgotamento sanitário adequado, no qual piora a situação atual do rio, (Figura 3.4), visto que tem um despejo contínuo de carga de poluentes, sendo eles provenientes de lavanderias, indústrias e o esgoto doméstico, aumentando assim a agressão ao rio.

Figura 3.4 – Descartes de poluentes no rio Ipojuca



Outro fator, essencialmente prejudicial ao rio, que por sua vez denota uma agressão imensurável, refere-se à ação de indústrias, que lançam seus efluentes químicos na rede de esgoto que vai diretamente para o rio, ocasionando o aumento da poluição e, conseqüentemente levando à morte uma diversidade de seres animal e vegetal, que têm como *habitat*, as águas do rio.

3.4 ELETROFLOCULAÇÃO

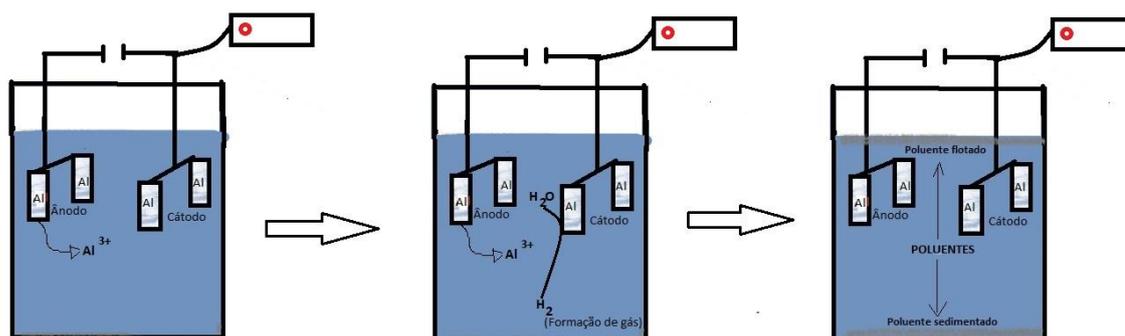
O processo da eletrofloculação, também conhecido como eletrocoagulação ou eletroflotação é um processo eletrolítico que desestabiliza os poluentes emulsificados, ou em suspensão, em meio aquoso.

No processo de eletrocoagulação, um reator eletroquímico permite a realização dos passos da coagulação convencional disponibilizando o coagulante “*in situ*”. O reator eletrolítico possui eletrodos de sacrifício, os quais são feitos de metais como alumínio ou ferro, que liberam espécies químicas que atuarão como coagulante. No momento em que é aplicado um potencial elétrico, o anodo sofre corrosão em decorrência da oxidação e ocorre a solvatação do cátion formado (COMBATT *et al.*, 2017).

Como mostra a Figura 3.5, o eletrodo que sofre oxidação, aumentando seu número de oxidação, é chamado de ânodo. É esse eletrodo que gera os íons positivos do metal que coagulam os coloides do efluente.

A eficiência da remoção dos poluentes presentes no efluente aumentam em decorrência das formações dos flocos através da interação entre as cargas residuais positivas com partículas negativas existentes na água. E são formados hidróxidos metálicos pouco solúveis em água em algumas faixas de pH (BELAN, 2014).

Figura 3.5 - Esquema do reator eletrolítico utilizado no processo



A eletrofloculação acontece em três etapas e de acordo com Dos Santos *et al.* (2018) essas etapas são:

- Na primeira, o coagulante é gerado *in situ* pela oxidação de um ânodo metálico (M) de sacrifício. Assim que os respectivos cátions são gerados na fase anódica, estes reagem com moléculas de água para formação dos respectivos hidróxidos e poli-hidróxidos.
- Na segunda etapa, os hidróxidos formados adsorvem-se em partículas coloidais originando os flocos e tem-se o transporte destas espécies que entram em contato com as impurezas. A remoção dos poluentes pode ocorrer tanto por complexação como por atração eletrostática e posterior coagulação.
- Na última etapa do processo ocorre a flotação, em decorrência da formação das microbolhas que são geradas da eletrólise da água.

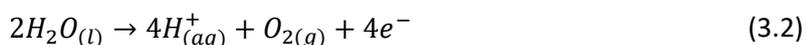
De acordo com Ferreira (2020), o desempenho no processo de eletrofloculação é medido pela eficiência de remoção de poluentes e pelo consumo de energia e/ou reagentes químicos, sendo este processo uma alternativa promissora, para o cumprimento das legislações ambientais, além de apresentar-se versátil e competitiva para instalações em tanques que requerem grandes volumes de água a ser tratada.

3.4.1 Reações envolvidas no processo

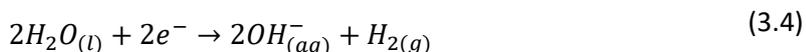
Na maioria das vezes, os materiais utilizados como ânodos de sacrifício no processo de eletrofloculação são o ferro e o alumínio, por ter seu custo menor, além de ter uma maior facilidade de serem encontrados no mercado e pela sua boa eficácia.

As reações eletroquímicas são resumidas nas Equações 3.1 a 3.4:

- No ânodo:



- No cátodo:



3.4.2 Eletrodos de alumínio

Segundos estudos os eletrodos de alumínio são considerados um dos materiais mais econômicos e eficientes na remoção de poluentes e na produção de flocos (SHAMAEI et al., 2018; NARIYAN et al., 2017) De acordo com Tegladza et al., (2021), os eletrodos de alumínio são preferíveis pela diferença dos flocos formados no metal de sacrifício, quando comparados com os eletrodos de ferro.

De acordo com Costa (2022) o alumínio possui boa condutividade elétrica, grande resistência à corrosão e baixo ponto de fusão. Considerando o baixo custo do material, ele é encontrado em várias atividades econômicas, como no tratamento de água e nas indústrias farmacêuticas, metalúrgicas e alimentar.

Os eletrodos de alumínio podem ser feitos propriamente de placas de alumínio ou provenientes de latas de refrigerantes/cervejas, através da reciclagem das latinhas, tornando o processo mais sustentável. De acordo com a Lei 12.305/2010 da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a reutilização desse tipo de material está prevista e regulamentada na lei.

Em relação ao processo de reciclagem, o Brasil é exemplo para o mundo no reaproveitamento da latinha e do alumínio em si. Mais da metade do metal consumido no país (56%) vem da reciclagem, o que o coloca bem acima da média mundial (25,9%) – índices de 2018 (ABRALATAS, 2020).

Segundo Dos Santos et al. (2021), a dissolução eletrolítica do ânodo de alumínio produz as espécies monoméricas catiônicas com Al^{3+} e $Al(OH)_2^+$ a um pH baixo, e em valores de pH entre 6,5 e 7,0 são transformados inicialmente em $Al(OH)_3$ (agente coagulante responsável pela coagulação e formação das partículas coloidais) e, finalmente, polimerizado $Al_n(OH)_{3n}$, de acordo com as Equações 3.5 a 3.8.

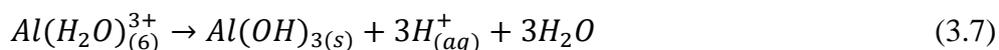
Ocorre a oxidação do Al sólido (reação anódica)



Solvatação do cátion formado



Formação do agente coagulante



Reações secundárias



Pode-se notar que pela Equação 3.8 vários complexos de alumínio podem ser formados. A presença desses complexos em solução aquosa confere uma característica gelatinosa ao meio. Esses complexos são responsáveis por remover contaminantes, pelo fato de adsorverem-se às partículas, originando coágulos maiores: os flocos. Porém, a estabilidade do hidróxido de alumínio depende do pH do meio.

3.4.3 Vantagens e desvantagens do processo

Bharath et al. (2018) elencam uma série de vantagens e desvantagens da eletrocoagulação. Entre as vantagens citam-se a facilidade de operação com equipamentos simples, a menor produção de lodo, as características dos flocos formados que são maiores, mais resistentes e carregam menos água, além de não necessitar da adição de coagulantes químicos e contribuir para a neutralização do pH, podendo ser usada com fontes alternativas de energia.

De acordo com Zini (2019), a eletrocoagulação mostra-se como uma técnica bastante promissora devido à simplicidade dos equipamentos necessários e ao baixo custo de instalação.

Quando comparado os processos de coagulação convencional utilizando cloreto férrico com a eletrofloculação em modo batelada, ambos apresentaram valores similares de remoção de cor, turbidez, COT, N_{total} e DQO. No entanto, a eletrocoagulação apresentou menor teor residual de ferro no efluente tratado (CENI et al., 2020).

Como desvantagens tem-se a necessidade de trocar, periodicamente, os eletrodos, devido à corrosão do ânodo e à formação de um filme de óxido no cátodo, à necessidade de

condutividade elevada no efluente e o custo da energia elétrica, que pode ser alto em determinadas regiões (BHARATH *et al.*, 2018).

3.4.4 Estado da arte

Behling (2018) utilizou da técnica da eletrofloculação como uma alternativa ao tratamento de efluentes da indústria de produtos lácteos, apresentando alta remoção de DQO, cor aparente e turbidez. Assim como Santin (2018) que avaliou a eficiência na remoção dos parâmetros analisados através da eletrofloculação aplicada no efluente de lavanderia industrial têxtil. Obteve-se significativas remoções para cor, turbidez, surfactantes, sólidos suspensos e DQO.

Sabino (2019) aplicou a técnica da eletrofloculação em um estudo comparativo com os métodos convencionais e concluiu que a eletrofloculação é viável, visto que obteve-se uma redução de 77% dos gastos em relação com o método convencional, além de uma redução de cor e turbidez cerca de 94%.

Andrade *et al.* (2020) avaliaram a eficiência da eletrofloculação no tratamento de águas contaminadas por resíduos orgânicos, mostrando melhora significativa na qualidade da água nos aspectos físico-químicos, pH, DQO e turbidez.

Natal *et. al* (2020) utilizaram o método de eletrofloculação em conjunto com a utilização das sementes de *Moringa oleífera* no tratamento de efluentes proveniente de lagoas de vinhaça. Aplicando apenas a eletrofloculação obteve uma redução de 72% de COT, 36% de DBO, e 92% de turbidez. Após a adição das sementes, tendo uma redução de 70% de DBO e 81% da turbidez.

Klein *et. al* (2021) aplicou a técnica de eletrofloculação no tratamento de águas residuais da indústria de papel reciclado, obtendo resultados superiores ao método físico-químico para os parâmetros. Caetano *et al.* (2022) utilizaram do tratamento por eletrofloculação de efluentes oriundos de lavadeiras domésticas, obtendo reduções significativas para todos os parâmetros, sendo a menor redução para turbidez (88%) e a maior para DQO (98%).

Pereira e Pasquali (2022) avaliaram a remoção de fármaco (ciprofloxacina) de efluente sintético utilizando a técnica de eletrofloculação com eletrodos de alumínio. Se mostrando um processo eficaz, e com potencial de aplicação para a remoção de compostos com características emergentes, alcançando remoções superiores a 80%, chegando a 91,33%.

Todos os trabalhos citados acima têm a mesma técnica utilizada, a eletrofloculação, porém em efluentes de diferentes tipos, comprovando assim que ela tem resultado eficaz independente do tipo do efluente, variando apenas em alguns parâmetros. O processo de eletrofloculação, avaliado nesta pesquisa, é o primeiro estudo realizado no rio Ipojuca.

4 METODOLOGIA

Apresentam-se neste capítulo os materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho experimental e a metodologia empregada para identificar as características e propriedades do efluente do Rio Ipojuca, localizado na cidade de Caruaru-PE. Atualmente, não existem trabalhos que aplicam essa técnica na água do Rio Ipojuca, sendo a pesquisa de dados feitas no Google Acadêmico, Web of Science, Scielo e entre outros.

Foram realizadas coletas em três pontos distintos do Rio Ipojuca, como mostra a Figura 4.1, a fim de analisar e caracterizar o efluente avaliando a eficiência da eletrofloculação no tratamento do efluente.

A parte experimental foi dividida em duas etapas: tratamento do efluente e análise das amostras, bruta e tratada. A primeira etapa, no laboratório do Centro Universitário Vale do Ipojuca – UNIFAVIP, e a segunda etapa no laboratório da Bioenzimas e nos laboratórios de carvão ativado e Tecnologia Química da UFPB.

Figura 4.1 – Pontos de coleta no Rio Ipojuca



Fonte: Google Maps (2022)

Os pontos de coletas ao longo do percurso do Rio Ipojuca pela cidade de Caruaru foram escolhidos em localizações estratégicas, com intuito de ter amostras em diferentes condições. Na Tabela 4.1 temos a localização dos três pontos.

Tabela 4.1 – Localização dos pontos de coletas

Amostras	Descrição	Bairro	Coordenadas geográficas
P1	Ponto central da cidade	N. Senhora das Dores	Lat: 8°17'29" S Long: 35°58'6" O
P2	Saída do rio	Rendeiras	Lat: 8°16'49" S Long: 35°56'23" O
P3	Área industrial, entrada no rio na cidade	Distrito industrial	Lat: 8°18'10" S Long: 36°0'38" O

Com os resultados obtidos nas seguintes análises, observa-se que o rio entra na cidade (P3) de menos “poluído”, e conseqüentemente sai da cidade (P2) mais “poluído”, tornando assim Caruaru, uma das principais causadoras da poluição do rio Ipojuca.

4.1 COLETA

A coleta de cada amostra foi realizada com o auxílio de balde e corda, pois era de difícil acesso os pontos do rio, sendo colocado em dois recipientes plásticos devidamente limpos e secos, isentos de contaminantes e com capacidade de armazenamento de 10 litros cada, como mostra a figuras 4.2 no ponto 1, no ponto 2 e no ponto 3.

Figura 4.2- Coletas no Rio Ipojuca (Ponto 1- A; Ponto 2- B; Ponto 3- C)



Após as coletas, as amostras foram armazenadas em um local refrigerado para que não sofressem nenhuma alteração dos parâmetros, passando então pelo processo de tratamento

através da eletrofloculação e sendo feitas todas as análises necessárias para a caracterização do mesmo.

4.2 REATOR ELETROLÍTICO

O reator eletrolítico (Figura 4.3) foi criado com materiais alternativos, que são materiais de baixo custo, construído utilizando vidro temperado com dimensões de 14,2 cm de largura, 24 cm de comprimento e 20 cm de altura, totalizando uma capacidade de trabalho de 6816 cm^3 ou 6,82 L.

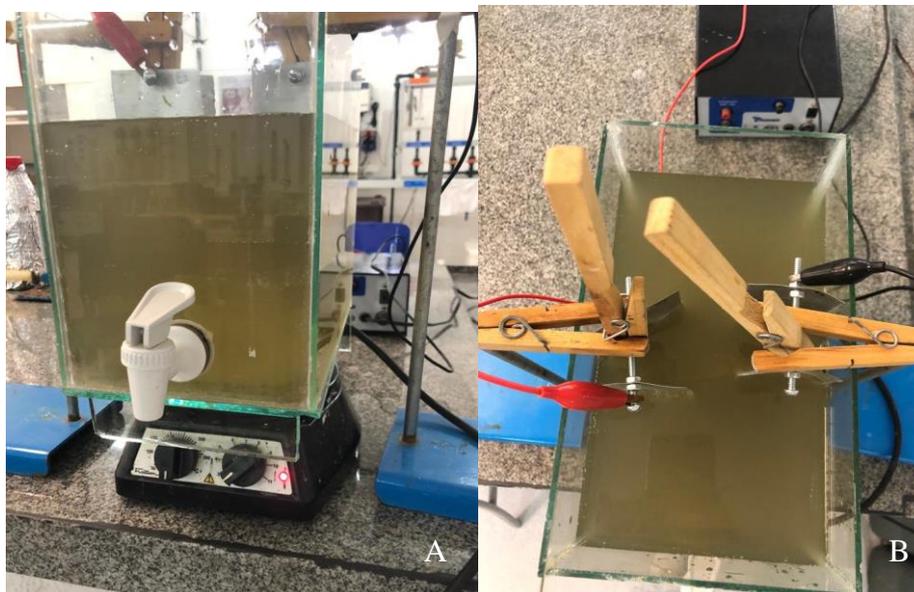
Figura 4.3 – Reator eletrolítico



O sistema montado para o processo de eletrofloculação (Figura 4.4) foi composto com o reator em batelada, os eletrodos dispostos paralelamente, a fonte de corrente contínua

utilizando o valor máximo atingido pelo equipamento de 12 volts e, o agitador magnético com a barra magnética (peixinho).

Figura 4.4– Sistema para o processo de eletrofloculação. Vista frontal (A) e vista superior do reator eletrolítico (B)



4.3 PRODUÇÃO DOS ELETRODOS

A Figura 4.5 mostra a lata utilizada para preparação dos eletrodos usados no processo de eletrofloculação. A escolha da latinha de alumínio, para utilizar como eletrodo, deu-se pelo fato de ser um material reciclável, tornando o processo mais sustentável.

Figura 4.5 – Latinha de alumínio



Pode-se descrever o procedimento para a fabricação dos eletrodos (Figura 4.6) da seguinte maneira:

1. Corte das latas, em que o topo e o fundo são removidos;
2. Lixamento, para retirada da tinta;
3. Por fim, são dimensionadas e cortadas.

Figura 4.6 – Fabricação dos eletrodos



Os eletrodos utilizados no processo foram inicialmente medidos (Tabela 4.2) utilizando uma régua e pesados com o auxílio da balança analítica (Figura 4.7), afim, de serem analisadas as alterações ocorridas durante o processo.

Tabela 4.2 – Dimensões dos eletrodos

Eletrodos	Dimensões (cm)	Massa inicial (g)
E1 (cátodo)	11 x 5,5	1,638
E2 (cátodo)	11 x 5,5	1,565
E3(anodo)	10,9 x 5,5	1,605
E4(anodo)	10,6 x 5,5	1,532
E5(cátodo)	10,6 x 5,5	1,578
E6(cátodo)	10,7 x 5,5	1,545
E7(anodo)	10,9 x 5,5	1,609
E8(anodo)	10,8 x 5,5	1,593
E9(cátodo)	10,7 x 5,5	1,584
E10(cátodo)	10,7 x 5,5	1,605
E11(anodo)	10,6 x 5,5	1,561
E12(anodo)	10,8 x 5,5	1,620

As dimensões dos eletrodos foram definidas de acordo com a literatura. Ferreira, Barbosa e Cunha (2020) utilizaram os eletrodos com as dimensões de 10cm x 5cm. Assim como Araújo e Orsatto (2019) também utilizaram as mesmas dimensões.

Figura 4.7 – Balança analítica com eletrodo



Calcula-se a variação de massa dos eletrodos através da Equação 4.1:

$$\Delta m = (m_f - m_i) \quad (4.1)$$

Em que : Δm = variação de massa (g)

m_f = massa final (g);

m_i = massa inicial (g).

4.4 ANÁLISES REALIZADAS

Através do processo de eletrofloculação observa-se os seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), óleos e graxas, pH, turbidez, fósforo, nitrogênio, condutividade, coliformes totais e termotolerantes.

As análises foram realizadas quantidades de coletas diferentes, dependendo da disponibilidade de do equipamento necessário. Sendo três coletas para: pH e DQO. Duas coletas para óleos e graxas, e uma coleta para: fósforo, coliformes, turbidez, e DBO. Sendo essas coletas realizadas em dias diferentes.

Para calcular a eficiência na redução dos parâmetros analisados foi utilizada a seguinte Equação 4.2:

$$E = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) * 100 \quad (4.2)$$

Em que:

E = Eficiência de remoção (%);

P_i = Valor do parâmetro antes do tratamento;

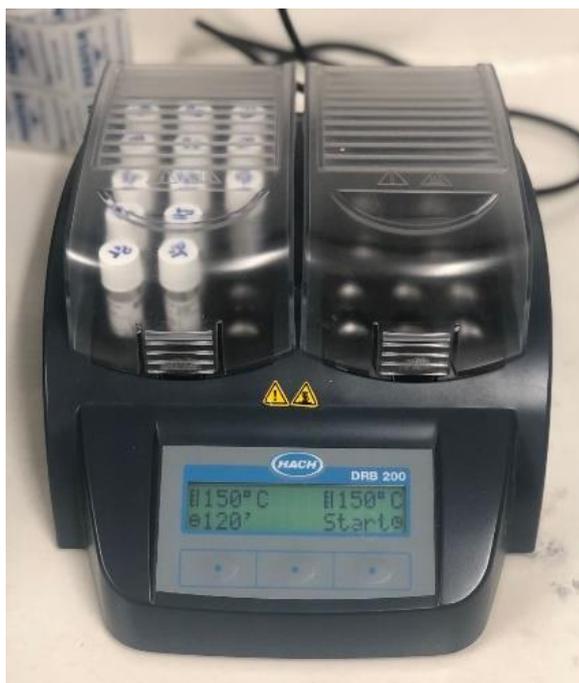
P_f = Valor do parâmetro após o tratamento.

4.4.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Neste processo, utiliza-se a digestão do Reator USEPA 1 – método 8000, com a faixa de leitura 20 a 1500 mgO₂/L DQO (HR). Para preparar as soluções, são utilizados tubos de digestão (16 x 100 mm). Neles são adicionados 2 mL da amostra de efluente bruto e tratado, a solução de digestão já está contida nos tubos.

É preparado uma amostra chamada de “branco”, que é utilizada para zerar o espectrofotômetro, sendo esta preparada com água destilada no lugar da amostra. Em seguida os tubos são fechados, agitados e colocados no reator DRB200 estando pré-aquecido à 150°C, como a Figura 4.8 mostra a seguir, por 120 min.

Figura 4.8 – Reator



Posteriormente, os tubos são retirados do reator e mantidos à 25°C, para ser feita a leitura das amostras (Figura 4.9) no espectrofotômetro utilizando o programa específico para a DQO (435 COD HR) no comprimento de onda de 600 nm, que apresenta maior absorção sem que haja interferência do dicromato residual.

Figura 4.9 – Espectrofotômetro



4.4.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Para este procedimento é utilizado o método DBO5, o qual é um teste padrão que tem um tempo fixo de 5 dias, onde as amostras são armazenadas em uma incubadora à 20°C, sendo realizada a leitura das amostras no primeiro e no quinto dia.

As primeiras análises foram realizadas em um laboratório privado, BIOTECH Laboratório de Análises Ambientais, Alimentos e água. As outras foram realizadas no laboratório de Carvão ativado da UFPB.

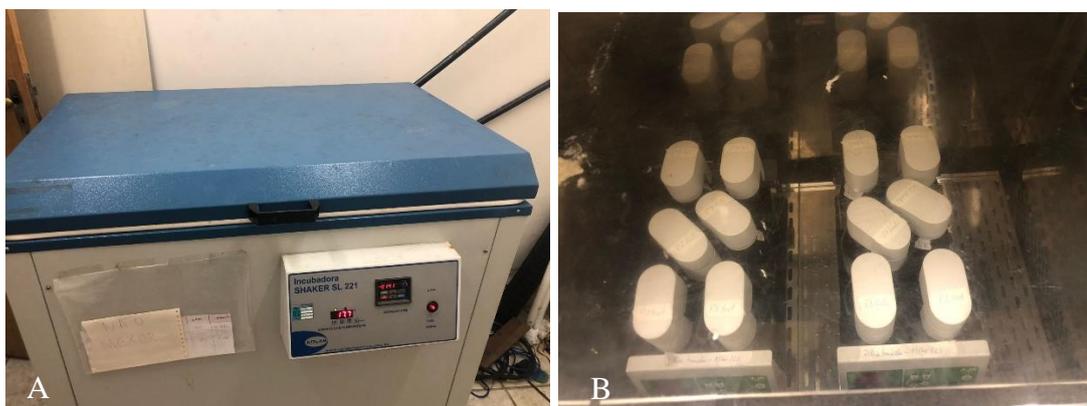
Para a medição da DBO, o sistema (Figura 4.10) é composto pela garrafa de amostra e o sensor de DBO. O volume da amostra é selecionado de acordo com a faixa de medição do valor esperado da DBO. No suporte de borracha, é adicionado KOH (hidróxido de potássio) e colocado na garrafa.

Figura 4.10 – Aparelho para medição de DBO com suporte integrado para garrafas



Em seguida os equipamentos são ligados, para serem iniciadas as leituras de DBO e são colocados na incubadora (Figura 4.11) à 20°C por 5 dias. No final do quinto dia, eles são retirados da incubadora para que assim seja feita a última leitura.

Figura 4.11 – A: Incubadora / B: Equipamentos para DBO



4.4.3 Óleos e graxas

Para o teor de óleos e graxas são adicionados 6,5 mL de ácido clorídrico na amostra. Logo após, em um kitassato conectado a uma bomba a vácuo, com um funil Buchner e dentro dele um tecido de musseline e papel filtro quantitativo (Figura 4.12) realiza-se a filtração de 10 mL de sílica, 1 L de água destilada e, por último, a amostra. Quando todo o líquido for filtrado, o tecido de musseline e o papel filtro quantitativo são retirados juntos, com o auxílio de uma pinça, sendo feito algumas dobras de modo que encaixe no cartucho. Com outro papel de filtro quantitativo limpo é retirado o excesso que ficou no funil, o qual é colocado no cartucho. Por fim, coloca-se a fibra de vidro e a identificação da amostra, como mostra na Figura 4.13, para finalizar o cartucho.

Figura 4.12 – Sistema de filtração à vácuo para preparação do cartucho



Figura 4.13 – Cartuchos



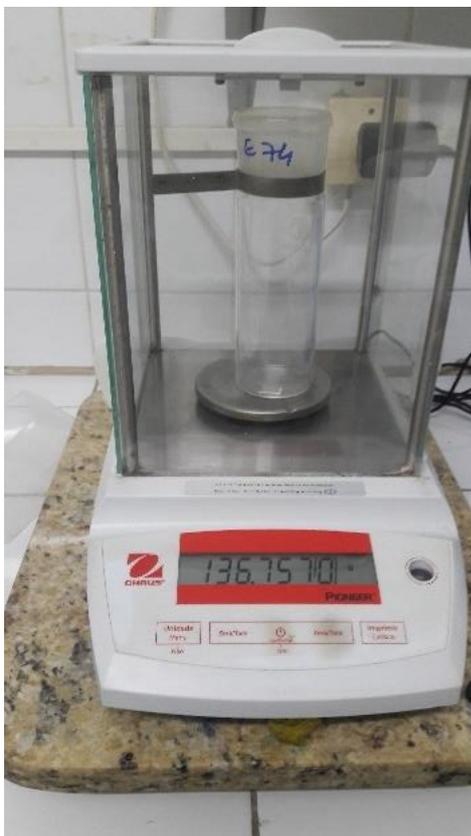
Após a secagem na estufa por 1 h à 103/105°C, os cartuchos são colocados em suporte e pendurados nos ganchos (Figura 4.14) do extrator de óleos e graxas. O processo inicia quando o extrator atinge 110°C, pois passa do ponto de ebulição do N-Hexano (63°C). Com isso os cartuchos são submersos e permanecem por 30 min.

Figura 4.14 – Extrator de óleos e graxas



Posteriormente, os copos são retirados do extrator e colocados na estufa à 105°C, por 30 min, para assim secar todo o resíduo ainda presente. Por fim, eles são resfriados em um dessecador e pesados novamente na balança analítica, como mostra a Figura 4.15.

Figura 4.15 – Copo com o peso final



A Equação 4.3 determina o teor de óleos e graxas (TOG):

$$\text{TOG(g/L de óleos e graxas)} = \frac{((mf - mi) \times 1000)}{v} \quad (4.3)$$

Em que: mf = massa final do copo (g)

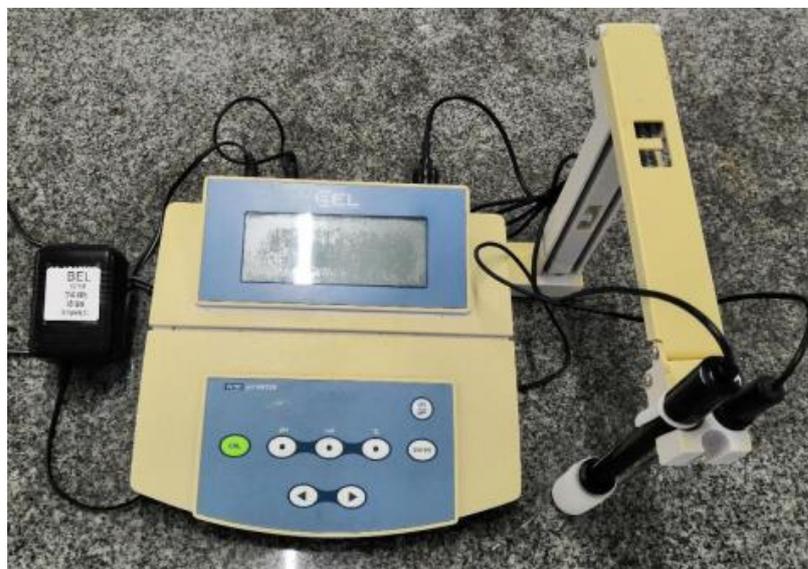
mi = massa inicial do copo (g)

v = volume da amostra (L)

4.4.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Com o auxílio de um pHmetro (Figura 4.16) é feita a leitura das amostras através do método potenciométrico, sendo feita em triplicada dos efluentes sujos e tratados.

Figura 4.16 - pHmetro



4.4.5 Turbidez

Com o auxílio de um Turbidímetro (Figura 4.17), é feita a leitura da turbidez das amostras em unidades nefelométrica de turbidez (uT), sendo feita em triplicada dos efluentes sujos e tratados.

Figura 4.17 - Turbidímetro



4.4.6 Fósforo Total

Utilizou-se do método de digestão com Persulfato Ácido – método 8190, com faixa de 0,06 a 3,50 mg/L. São adicionadas 5 mL das amostras nos tubos do Teste 'N Tube Reagente Fósforo total. Em seguida adiciona-se um sachê de pó de persulfato de potássio e os tubos são colocados no reator DRB200 à 150 °C durante 30 min. Posteriormente, eles são retirados (Figura 4.18) e mantidos em temperatura ambiente (25 °C)

Figura 4.18 – Tubos para análise de Fósforo Total



Em seguida adiciona-se 2 mL de solução padrão de hidróxido de Sódio no tubo e agita-o. Por fim adiciona-se o conteúdo do sachê de pó PhosVer 3 ao tubo, agita-o e após 2 min é feita a leitura no espectrofotômetro (DR6000), utilizando o programa específico para o Fósforo total.

4.4.7 Coliformes Totais e Termotolerantes

Utilizou-se o método de quantificação pela técnica dos tubos múltiplos para a determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e coliformes termotolerantes. O volume de 100 mL, que já contém o substrato de cultura, é dividido em 10 alíquotas de 10 mL e transferidos para tubos de ensaio (Figura 4.19) estéreis vazios e agitados com o auxílio do agitador vortex. Em seguida incuba-se os tubos à $35\pm 1^\circ\text{C}/24\text{h}$ e procede-se a leitura dos resultados para o teste de presença/ausência.

Figura 4.19 – Tubos de ensaio para coliformes totais



Com o resultado positivo do teste, em que se observa através da produção de gás, é necessário fazer o teste confirmativo. Nele são preparados 10 tubos com meio de cultura verde brilhante 2% para a contagem de *E. coli*. (EC) e 10 tubos com o meio EC para a contagem de coliformes termotolerantes.

Figura 4.20 – Teste confirmativo de coliformes



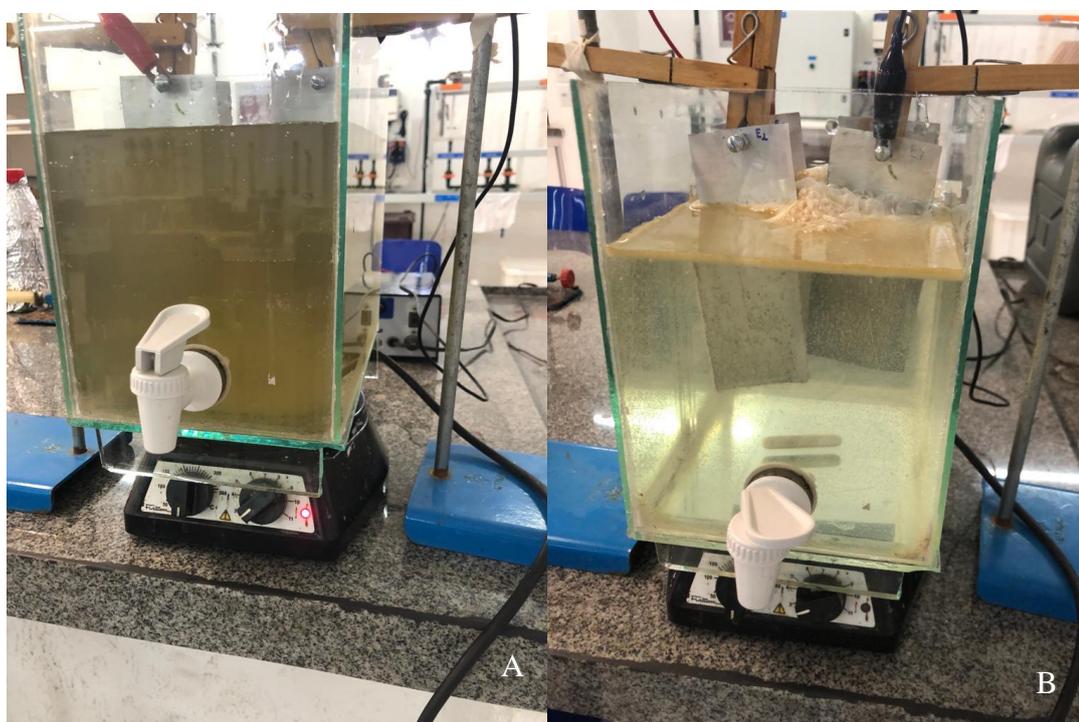
Na Figura 4.20 tem-se a preparação do teste confirmativo. Com o auxílio da alça de platina, previamente flambada e fria, retira-se de cada tubo positivo uma porção de amostra e inocula-se no tubo correspondente contendo o meio específico. Em seguida, para o *E. coli*, incuba-se à $35\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 24/48h, enquanto para os termotolerantes incuba-se à $44\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24h. Se ao final desse período, ou menos, houver a formação de gás, verifica-se a presença de coliformes totais e/ou termotolerantes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas análises realizadas em bancada, assim como a comparação dos parâmetros escolhidos, com a finalidade de avaliar a eficiência do processo de eletrofloculação no tratamento do rio Ipojuca.

A Figura 5.1 apresenta o aspecto visual, antes e depois, como resultado do processo de eletrofloculação após uma hora.

Figura 5.1 – Amostra da água do rio Ipojuca antes (A) e depois (B) do tratamento



As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata, no qual foi possível obter os dados necessários para determinar a eficiência do tratamento.

Os dados obtidos foram comparados com os valores estabelecidos nas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011 pois são resoluções que estabelecem condições e padrões de lançamentos de efluentes e que mais se adequam com o efluente utilizado neste presente trabalho.

5.1 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA DQO PELA ELETROFLOCULAÇÃO

Os dados obtidos na análise de DQO estão dispostos na tabela 5.1. Na resolução CONAMA nº 430/2011, a DQO não é um dos parâmetros exigidos para o enquadramento nas classes de águas, uma vez que ele é importante para os cálculos da DBO.

De acordo com a norma técnica N 2.001 da CPRH (Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), em que define os parâmetros de controle de carga orgânica em efluentes líquidos industriais, a redução da DQO varia entre 60% e 90%, dependendo do tipo de indústria.

Tabela 5.1 – Avaliação das análises de DQO (mgO₂/L) pela eletrofloculação

Amostra	Coleta 1 13/07/2022			Coleta 2 21/09/2022			Coleta 3 07/02/2023		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Bruta (mgO ₂ /L)	64,48	397,39	407,42	37,67	365,95	403,68	88,5	143,5	75
Tratada (mgO ₂ /L)	57,09	70,96	86,427	32,121	50,616	67,261	65	66,5	65,5
Redução (%)	11,47	82,14	78,78	14,73	86,17	83,34	26,55	53,66	12,67

Observa-se, que, o ponto 2 atingiu o maior teor de remoção de DQO nas três coletas, no valor de 82,14% na coleta 1, 86,17% na coleta 2 e 53,66% na coleta 3. No entanto, no ponto 1 devido à alta concentração de componentes oxidáveis, nas três coletas essa concentração foi menor, resultando em menores reduções.

De Souza, De Lima e Santo Tavera (2020), utilizaram efluentes de celulose e papel, com eletrodo de alumínio, realizado a 12 volts com o tempo de duração de 30 min, obtiveram uma remoção de DQO de 71%. Bystronski (2019) relata uma remoção de 63%, para as amostras sem o pós-tratamento, a redução ocorreu até os 20 min e, após esse tempo, se manteve constante com o valor próximo a 100 mg/L. O efluente utilizado foi de lavagem de oficina mecânica.

5.2 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA DBO PELA ELETROFLOCULAÇÃO

Na Tabela 5.2, pode-se observar os valores da DBO₅ para as amostras antes e após a eletrofloculação.

Tabela 5.2 – Avaliação das análises de DBO₅ (mgO₂/L) pela eletrofloculação

Pontos de coleta (21/09/2022)	CONTAMINADA (mg/L)	TRATADA (mg/L)	Remoção (%)
Ponto 1	-	-	-
Ponto 2	320,5	135,0	57,88
Ponto 3	373,5	125,5	66,40

Pela Tabela 5.2, foi observada uma redução dos parâmetros entre as amostras contaminada e tratada, em que, nos pontos 2 e 3, ocorreram reduções significativas. Enquanto que no ponto 1 não foi possível ser feita a leitura.

Segundo Oyama (2017), é possível observar que estas reduções podem variar de acordo com o efluente bruto, pois o mesmo possui uma grande variação de quantidade de matéria orgânica de um dia para o outro.

Avaliando o ponto 3, observa-se que este foi o único ponto que atingiu o valor exigido na Resolução CONAMA nº 430/2011, no qual o efluente tratado precisa ter uma redução de 60%, sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor (BRASIL, 2011).

5.3 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS

Para as análises de óleos e graxas, foram obtidos os seguintes valores, como mostra a Tabela 5.3.

Tabela 5.3- Avaliação da redução do Teor de óleos e graxas pela eletrofloculação

Amostra	Coleta 1 (13/07/2022)			Coleta 2 (21/09/2022)		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Bruta (mg/L)	66	90	82	34	74	28
Tratada (mg/L)	22	14	17	32	4	14
Redução (%)	66,67	84,44	79,27	5,88	94,59	50

É observado que no ponto 2 da segunda coleta foi onde obteve-se a maior eficiência (94,59%). Entretanto, todos os pontos nas duas coletas se enquadram na Resolução CONAMA nº 357/2005, pois, os óleos e graxas precisam ser “virtualmente ausentes”, ou seja, imperceptível pela visão. Com isso, podem se enquadrar em todas as classes de água.

5.4 AVALIAÇÃO DO PH ANTES E APÓS A ELETROFLOCULAÇÃO

Na Tabela 5.4, em que estão mostrados os valores do pH das amostras, pode-se observar que os valores não aumentaram muito após o tratamento por eletrofloculação.

Tabela 5.4 – Avaliação do pH pela eletrofloculação

Amostra	Coleta 1 (13/07/2022)			Coleta 2 (21/09/2022)			Coleta 3 (07/02/2023)		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Bruta	5,65	5,88	5,97	5,71	7,65	7,45	7,24	7,04	7,12
Tratada	5,72	6,14	6,17	5,89	7,81	7,65	7,53	7,40	7,42

De acordo com Nascimento et al. (2014), esse incremento no pH ocorre pela liberação de íons alumínio do eletrodo para o meio, tornando-o mais alcalino.

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água, sendo a água doce de classe 3 ou classe 4, o padrão da faixa de pH é de 6,0 à 9,0. Nas coletas 1 e 2, o ponto 1 não atingiu o padrão exigido, porém na coleta 3 o mesmo já se encontra dentro do padrão e após o tratamento houve o aumento do pH.

Para Abreu et al. (2018) a dificuldade com relação ao pH das amostras, foi a variação da concentração e a variedade dos tipos de efluentes utilizados na indústria, especificamente de serigrafia. Os valores de pH ficaram dentro do permitido, em 40 min de tratamento.

Segundo as análises realizadas por Ritter (2016), o pH indicou uma tendência de aumento ao longo do tempo e caso necessitasse de estabilidade, seria necessário a aplicação de reagentes. As amostras utilizadas em seu trabalho foram de efluentes têxteis, com o intuito de analisar a influência do pH no processo de eletrofloculação.

5.5 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE TURBIDEZ

Na remoção de turbidez pode-se observar que o resultado para todas as amostras foi satisfatório, com remoções de 66,41% a 84,79%, (Tabela 5.5)

Tabela 5.5 –Avaliação da remoção de Turbidez pela eletrofloculação

Amostra	Ponto de coleta (21/09/2022)		
	P1	P2	P3
Bruta (uT)	9,8	13,1	3,4
Tratada (uT)	1,49	4,4	0,99
Redução (%)	84,79	66,41	70,88

Com base na Resolução CONAMA nº 357/2005, para o efluente se enquadrar na classe 3 a turbidez pode atingir até 100 UNT. As amostras brutas não se enquadraram na classe 3, e sim na classe 1, no qual é permitido que a turbidez atinja até 40 UNT. Portanto, todos os pontos

estão dentro dos limites estabelecidos. Pode-se afirmar também, que além da remoção da turbidez, há remoção na cor aparente das amostras.

5.6 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE FÓSFORO TOTAL

Na Resolução CONAMA nº 357/2005, para o efluente da classe 3, o valor padrão do Fósforo total em ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários é de 0,15 mg/L P.

Analisando o parâmetro fósforo na Tabela 5.6, pode-se notar que ocorreu uma redução significativa e semelhante nos três pontos de coleta, sendo acima de 80%, atingindo o valor máximo de 83,96% no ponto 3.

Tabela 5.6 – Avaliação da redução de Fósforo pela eletrofloculação

Amostra	Ponto de coleta (07/02/2023)		
	P1	P2	P3
Bruta (mg/L)	5,56	4,44	5,3
Tratada (mg/L)	1,04	0,8	0,85
Redução (%)	81,29	81,98	83,96

Klein et. al (2021) comparou o tratamento tradicional com o tratamento de eletrofloculação utilizando eletrodos de alumínio no efluente da indústria de papel, e obtiveram redução de 87,77% pelo tradicional e 99,25% pela eletrofloculação. Assim como Santos (2018) no tratamento de efluentes industriais obteve uma redução de 93,88%.

5.7 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO NA CONTAGEM DE COLIFORMES

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 para a classe 2 não deverá ser excedido um limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras.

Os resultados da análise das amostras coletadas detectaram-se a presença de bactérias nas 24h da fase presuntiva. Na Tabela 5.7 tem-se o número de tubos no qual positivaram após a utilização da técnica dos tubos múltiplos (NMP).

Tabela 5.7 – Contagem para NMP

COLETA - 07/02/2023						
Análise Bacteriológica (NMP/100 mL)	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3	
	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada	Bruta	Tratada
Coliformes Totais	10+	10+	10+	10+	10+	10+
Coliformes Termotolerantes	2+	1+	2+	1+	3+	3+

Segundo Blogdett (2006) o Número Mais Provável e intervalo de confiança a nível de 95% de probabilidade, para diversas combinações de tubos positivos e negativos na inoculação de 10 alíquotas de 10 mL da amostra por tubo.

Tabela 5.8 – Número mais provável (NMP) e intervalo de confiança

Número de tubos positivos	NMP/100 mL	Intervalo de confiança (95%)	
		Mínimo	Máximo
0	<1,1	-	3,3
1	1,1	0,05	5,9
2	2,2	0,37	8,1
3	3,6	0,91	9,7
4	5,1	1,6	13
5	6,9	2,5	15
6	9,2	3,3	19
7	12	4,8	24
8	16	5,9	33
9	23	8,1	53
10	>23	12	-

Fonte: Bacteriological Analytical Manual (Blodgett,2006)

Relacionando as Tabela 5.7 e 5.8, pode-se avaliar que para os coliformes totais não houve redução após o tratamento, pois obteve 10 tubos positivos na amostra bruta e tratada, sendo o valor de >23NMP/100 mL. Entretanto nos coliformes termotolerantes nos pontos 1 e 2, houveram reduções após o tratamento, sendo inicialmente de 2,2NMP/100 mL reduzindo para 1,1NMP/100 mL.

5.8 COMPORTAMENTO DOS ELETRODOS

Utilizou-se pares de eletrodos no processo, sendo um par atuando como cátodo e o outro par como anodo. Na Tabela 5.9 está determinado cada eletrodo, e os valores das massas iniciais e finais.

Figura 5.2 – Eletrodos após o processo de eletrofloculação



Na Figura 5.2 pode-se observar que os eletrodos E7 e E8 sofreram oxidação e, conseqüentemente, perde de massa após a aplicação da corrente elétrica, assim como os eletrodos E3, E4, E11 e E12. Enquanto os eletrodos E1, E2, E5, E6, E9, E10 sofreram redução, ou seja, aumento de massa.

Tabela 5.9 – Massa dos eletrodos

Eletrodos	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença de massa (g)
E1 (cátodo)	1,638	1,661	+0,023
E2 (cátodo)	1,565	1,582	+0,017
E3(anodo)	1,605	1,572	-0,033
E4(anodo)	1,532	1,506	-0,026
E5(cátodo)	1,578	1,587	+0,009
E6(cátodo)	1,545	1,567	+0,022
E7(anodo)	1,609	1,588	-0,021
E8(anodo)	1,593	1,562	-0,031
E9(cátodo)	1,584	1,629	+0,045
E10(cátodo)	1,605	1,658	+0,053
E11(anodo)	1,561	1,500	-0,061
E12(anodo)	1,620	1,578	-0,042

Nota: (+): para ganho de massa do eletrodo;

(-): para perda de massa do eletrodo.

Segundo Cunha et al. (2022) o desgaste dos eletrodos tem relação com a produção do agente coagulante Al(OH)_3 , no qual é gerado durante o processo de eletrofloculação.

Ferreira, Barbosa e da Cunha (2020) tiveram uma perda de massa de aproximadamente 3,53% dos eletrodos utilizados para os ensaios de eletrofloculação, no qual mostra um desgaste mínimo, explicitando assim que a reutilização deles para novos ensaios seria viável, podendo ser reutilizado em até 28 vezes.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho, estudou-se o tratamento da água do Rio Ipojuca, através do processo da eletrofloculação, utilizando eletrodos de alumínio, oriundos de latas de refrigerante. Dos resultados obtidos, é possível obter as seguintes conclusões:

- O efluente utilizado foi coletado em três pontos distintos pela cidade de Caruaru-PE, sendo escolhido de acordo com o percurso do Rio. De acordo com os resultados das análises, pode se concluir que o rio sai (ponto 2) para a próxima cidade (Bezerros) mais “poluído”, sendo assim, Caruaru é uma das principais causadoras da poluição do rio.
- Os eletrodos foram construídos através da reutilização de latinhas de alumínio, e o reator construído de vidro, resultando no baixo custo. Entretanto, a corrente utilizada no processo é proveniente da energia elétrica, fazendo com que o processo não se torne totalmente sustentável. No entanto é possível a geração de energia através da energia solar.
- A técnica de eletrofloculação se mostrou eficaz na redução dos parâmetros analisados, utilizando a voltagem de 12 volts, com resultados significativos para TOG, DQO, DBO, turbidez e fósforo.
- Para os coliformes termotolerantes houve redução de 1,1NMP/100 mL e para o pH houve aumento em todos os pontos se enquadrando nos padrões estabelecidos pelo CONAMA.
- Os eletrodos de alumínio passaram pelo processo de eletrólise, ocorrendo assim a oxidação e redução, ou seja, a perda e o ganho de massa. Entretanto, esse problema pode ser resolvido com a inversão da polaridade dos eletrodos até que seja necessário fazer a troca.

Com isso, pode-se concluir que, através do processo de eletrofloculação, os resultados obtidos utilizando eletrodos de alumínio, feitos a partir de latas de refrigerantes, é possível para o tratamento das águas do Rio Ipojuca.

Uma vez que para os métodos convencionais são adicionados coagulantes químicos no processo, o que torna o tratamento mais oneroso, e com isso a técnica de eletrofloculação surge como um método promissor, pois os coagulantes são gerados durante o processo, devido ao fato dos eletrodos de alumínio sofrerem desgaste durante a eletrólise, ocorrendo liberação de

Al^{3+} que funciona como coagulante, assim não sendo necessário fazer nenhuma adição dos coagulantes ao processo.

REFERÊNCIAS

- ABIT – Associação Brasileira da Indústria têxtil e de Confecções. **“Agreste Tex” 2016 movimenta mercado têxtil do Nordeste** (2016). Disponível em: <https://www.abit.org.br/noticias/agreste-tex-2016-movimenta-mercado-textil-do-nordeste>. Acesso em: 04 de jun. de 2023
- ANA. **Estudo da ANA aponta perspectiva de aumento do uso de água no Brasil até 2030**. 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-ana-aponta-perspectiva-de-aumento-do-uso-de-agua-no-brasil-ate-2030>. Acesso em: 07 jun. 2021
- ANDRADE, A. N. et al. Eficiência da eletrofloculação no tratamento de águas contaminadas por resíduos orgânicos. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, 2020.
- ANJINHO, P. S. **Modelagem distribuída da poluição pontual e difusa dos sistemas hídricos da bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo, Itirapina-SP**.135p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo. 2019.
- APAC. **Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Ipojuca: Tomo I - Diagnóstico Hidroambiental – Volume 03/03 / Projetos Técnicos**. Recife, 2010. 185p.: il.
- ARAÚJO, W. R.; MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V. Espacialização da evapotranspiração na bacia hidrográfica do rio Ipojuca-PE, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 3, p. 205-218, 2020.
- ARAUJO, I. S.; ORSSATTO, F. Análise de remoção de cor e turbidez em efluente de frigorífico de suínos tratado por eletrocoagulação. In: **XXIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE LATAS DE ALUMÍNIO [ABRALATAS]. Brasil reciclou mais de 97% das latas de alumínio para bebidas. Disponível em: <https://www.abralatas.org.br/brasil-reciclou-mais-de-97-das-latas-de-aluminio-para-bebidas/> Acesso em 20 maio 2023.
- BAIRD, Rodger B. et al. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC: American public health association, 2012.
- BARBOSA, F. L. A. **A EUTROFIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO CEARÁ**. 2017. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Agronomia, Economia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- BELAN, A. L. D. **ELETROFLOCULAÇÃO APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS: Revisão Bibliográfica**. 2014. 40 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão Ambiental em Municípios, Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

- BEHLING, L. Eletrofloculação aplicada no tratamento de efluente lácteo: delineamento experimental e otimização de múltiplas respostas. 2018. Trabalho de conclusão de curso. Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal da Fronteira Sul campus Cerro Largo/RS, 2018.
- BHARATH, M.; KRISHNA, B. M.; MANOJ, K. B. A review of electrocoagulation process for wastewater treatment. **International Journal of ChemTech Research**, v. 11, n. 3, p. 289-302, 2018.
- BORGES, T. C. de S. **A Gestão dos Recursos Hídricos no Pará: Uma Análise do Uso Múltiplo da Água na Região de Santarém e suas Implicações**. 86p. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Ambiente e Qualidade de vida). Universidade Federal do Oeste do Para. 2019.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. RESOLUÇÃO N. 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. **Resolução CONAMA**, Brasília,DF, Março 2005.
- BRASIL. Lei n. 12305 de 02 de agosto de 2010. Dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F., 02 de agosto de 2010.
- BRAZ, A. S.; et al. Viabilidade da eletrofloculação como alternativa de tratamento da água de poço artesiano utilizando materiais de baixo custo. **Encontro Internacional de Jovens Investigadores**, Edição Brasil, 2017. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50222>. Acesso em: 16/01/2023.
- BRITO, J. F.; FERREIRA, L. O.; SILVA, J. P. **Tratamento da água de purificação do biodiesel utilizando eletrofloculação**. 35. ed. Lavras: Quim. Nova, 2012.
- BYSTRONSKI, A. R. Avaliação de sistema de tratamento de efluentes de lavagem de uma oficina mecânica por eletroflotação para reúso. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia química) - Universidade de Caxias do Sul. 2019.
- CAETANO, M. O. et al. Tratamento por eletrofloculação de efluentes oriundos de lavadeiras domésticas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, p. 91-101, 2022.
- CARVALHO FILHO, José Adson Andrade de. **Estudo de contaminantes emergentes e meiofauna no Rio Ipojuca no município de Caruaru**. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil e ambiental). Universidade Federal de Pernambuco. 2019.
- CB Brasil. **Apenas 6,5% dos rios brasileiros têm boa qualidade da água**. 2019 Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/brasil/2019/03/23/interna-brasil,744836/apenas-6-5-dos-rios-brasileiros-tem-boa-qualidade-da-agua.shtml>. Acesso em: 24 jun. 2021
- CENI, Gustavo et al. Avaliação da eficiência do cloreto férrico como coagulante no tratamento de um efluente sintético pelo método convencional e eletrocoagulação. **Vivências**, v. 16, n. 30, p. 77-97, 2020.

CHAVES, L. C. et al. Análise da autodepuração no riacho caraibeirinhas através do modelo matemático de Streeter-Phelps. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas. 2017.

CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. IBGE apresenta ranking dos 10 rios mais poluídos do Brasil. Disponível em: <http://www.ciespjacarei.org.br/noticias/ibge-apresenta-ranking-dos-10-rios-mais%20poluidos-do-brasil/> Acesso em: 17 jul. 2021

COMBATT, M. P. M. et al. Validação do processo de eletrocoagulação e avaliação da eletrodissolução de eletrodos no tratamento de efluentes de abatedouros de aves. **Química Nova**, v. 40, p. 447-453, 2017.

COSTA, L. V. da. A reciclagem do alumínio: caminho para um desenvolvimento sustentável. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de produção) - Universidade Federal de Ouro Preto. 2022.

CPRH –AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS.
Norma Técnica CPRH nº 2.001: Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos Industriais.

CUNHA, F. A. P. et al. Estudo da viabilidade econômica da eletrofloculação na recuperação de efluentes de máquinas de lavar roupas domésticas. **Concilium**, v. 22, n.4, p. 216-229, 2022.

DA SILVA, J. S. e SILVA NETO . Tratamento da água do petróleo por eletrocoagulação/eletrofloculação. **Revista Ambientale**, v. 2, n. 2, p. 104-116, 2010.

DAS, P. P.; SHARMA, M.; PURKAIT, M. K.. Recent progress on electrocoagulation process for wastewater treatment: a review. *Separation And Purification Technology*, [S.L.], v. 292, p. 121058, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121058>.

DE SOUSA, F. J. **Ipojuca: “Água das raízes podres”, ou o 3 rio mais poluído do Brasil.** Disponível em: <https://ferdinandodesousa.com/2017/09/21/ipojuca-agua-das-raizes-podres-ou-o-3-rio-mais-poluido-do-brasil/> Acesso em: 23 agos. 2023

DE SOUZA, M. A. C.; DE LIMA, E. A.; SANTO TAVERA, I. E. Análise Comparativa entre a Fotocatálise Heterogênea e a Eletrofloculação para o Tratamento de Efluentes de Celulose e Papel. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 8, n. 17, 2020.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** Oficina de textos, 2016.

DOS SANTOS, S. M. et al. Comparação dos eletrodos de ferro e alumínio para o tratamento de efluentes da lavagem de máquinas de terminal intermodal por eletrofloculação. **Revista Processando o Saber**, v. 13, p. 278-294, 2021.

DOS SANTOS, M. J. G. et al. Tratamento de resíduo contendo cobre por eletrofoculação e gravimetria por precipitação química. **e-xacta**, v. 11, n. 2, p. 23-30, 2018.

FERREIRA, M. E. S. **Análise da eficiência do método da eletrofloculação no tratamento do efluente têxtil sintético de azul de metileno.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e tecnologia) Universidade Federal Rural do Semiárido, 2020.

FLOSS, M. I.; CALLEGARO, T. **Utilização de eletrodos de sacrifício de ferro na eletrofloculação do efluente de uma indústria têxtil: avaliação da eficiência de tratamento.** 2011. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

FRIES, J. GETROST, H. Organic Reagents for Trace Analysis, MERCK; 1977 pg. 236

G1 Caruaru. **Dia do Rio Ipojuca: rio é considerado o terceiro mais poluído do Brasil.** Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2023/05/09/dia-do-rio-ipojuca-rio-e-considerado-o-terceiro-mais-poluído-do-brasil.ghtml> Acesso em: 23 agos. 2023

G1 Caruaru. **Rio Ipojuca agoniza e expõe descaso com meio ambiente em Caruaru, PE.** 2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2017/03/rio-ipojuca-agoniza-e-expoe-descaso-com-meio-ambiente-em-caruaru-pe.html>. Acesso em: 20 jul. 2021

IBGE. IDS - Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil : 2015 / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais [e], Coordenação de Geografia. – Rio de Janeiro : IBGE, 2015. 352p. – (Estudos e pesquisas. Informação geográfica, ISSN1517-1450 ; n. 10)

KLEIN, G. A. et al. Tratamento de efluentes para indústria de papel reciclado utilizando Eletrofloculação Wastewater treatment for recycled paper industry using Electroflocculation. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 118685-118700, 2021. LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Átomo, 2016. 640p.

LIMA, I. M. **Utilização do modelo matemático QUAL-UFGM para avaliar a capacidade de autodepuração do rio Paraíba do Sul.** Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2019.

MEDEIROS, R. M. Aptidão climática da cultura do caju na bacia hidrográfica do rio Ipojuca. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, v. 15, n. 2, p. 125-138, 2018.

MERCEDES, Jônatas de Souza et al. **Balço de fósforo em uma laguna tropical rasa (Lagoa de Jacarepaguá–RJ): implicações para o gerenciamento da eutrofização.** 111p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2020.

MOTA, S. Preservação e Conservação de Recursos Hídricos, ABES, 2o ed., Rio de Janeiro, 1995.

NARIYAN, E., AGHABABAEI, A., SILLANPÄÄ, M., 201. Removal of pharmaceutical from water with an electrocoagulation process; effect of various parameters and studies of isotherm and kinetic. **Separation Purification Technology**, v.188, p. 266–281. Journal homepage: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2017.07.031>.

NASCIMENTO, I. L. et al. **Eletrofloculação em efluentes oleosos utilizando eletrodos de alumínio.** In: Congresso brasileiro de engenharia química iniciação científica, 10, 2014, Vassouras: 2013. v. 1, p. 1 – 6

NATAL, Jean Paulo Silva et al. Eletrofloculação seguido pela adição de moringa oleífera para o tratamento de efluentes de lagoa de vinhaça. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 6, p. 583-599, 2020.

OYAMA, P. T. et al. **Desenvolvimento do rabanete vermelho com aplicação de efluente de abatedouro de suínos, tratado por eletrofloculação.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Programa de PósGraduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. 2014.

PERNAMBUCO, Lei 16360, de 09 de maio de 2018. Altera a Lei nº 16.241, de 14 de dezembro de 2017, que cria o Calendário Oficial de Eventos e Datas Comemorativas do Estado de Pernambuco, define, fixa critérios e consolida as Leis que instituíram Eventos e Datas Comemorativas Estaduais, a fim de incluir o Dia Estadual do Rio Ipojuca. Recife, 09 de maio de 2018.

PERUSATTO, J. F. **O direito ao acesso à água potável.** Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Direito) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. DCJS- Departamento de Ciências Jurídicas e Sociais. 2019.

RITTER, M. T. **Influência do pH no processo de eletrofloculação aplicado em a efluentes têxteis tratados biologicamente.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.

SHAMAEI, L., KHORSHIDI, B., PERDICAKIS, B, SADRZADEH, M., 2018. Treatment of oil sands produced water using combined electrocoagulation and chemical coagulation techniques. *Science of the Total Environment*, v.645, p. 560 -572. Journal homepage: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.387>

SANTIAGO, D. R. et al. Convivência da cidade com seus rios: estudo da paisagem ribeirinha em Teresina, Piauí, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e1209119582-e1209119582, 2020.

SANTIN, G. **Avaliação do tratamento de efluentes têxtil em escala laboratorial utilizando diferentes combinações com a eletrofloculação.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) Universidade de Caxias do Sul. 2018.

SABINO, J. B. **Estudo comparativo entre o método convencional e o da eletrofloculação aplicado no tratamento de águas residuais.** 49p. Trabalho de Conclusão de Curso. Licenciatura em Química da Unidade Acadêmica de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal de Campina Grande. 2019

SAFARI, S.; AGHDAM, M. A.; KARIMINIA, H. R. Electrocoagulation for COD and diesel removal from oily wastewater. In: *International Journal of Environmental Science and Technology*. v. 13, p. 231-242, 2016. Disponível em: [Electrocoagulation for COD and diesel removal from oily wastewater \(bioline.org.br\)](http://www.bioline.org.br). Acesso em: 29 agosto 2023.

SEABRA, M. A.; TAVARES, E. G. Crise hídrica e sistemas de saneamento no Brasil: breve abordagem técnica e jurídica sobre o reúso e aproveitamento de águas pluviais. **Meio ambiente, novos direitos e a sociedade de consumo**, p. 150. 2018

SILVA, D. A. dos S. S. **Caracterização do efluente e avaliação da eficiência do sistema de tratamento de uma indústria têxtil do vale do piacó** – Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química), Unidade Acadêmica de Ciências Exatas e Natureza (UACEN) do Centro de Formação de Professores (CFP), da Universidade Federal de Campina Grande. Cajazeiras – PB 2019

SOUZA, D. F. **Abordagens educativas sobre o uso sustentável da água: contribuições da aprendizagem baseada em problemas com estudantes do ensino fundamental.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino - PPGEn - do Instituto do Noroeste Fluminense de Educação Superior - INFES/UFF. 2020.

SOS MATA ATLANTICA. **Observando os Rios 2021- O Retrato da Qualidade da Água nas Bacias Hidrográficas da Mata Atlântica.** 2021. Disponível em: https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/03/observando-rios-2021digital_FINAL.pdf . Acesso em: 13 mar. 2023

TEGLADZA, I. D. et al. Electrocoagulation processes: A general review about role of electro-generated flocs in pollutant removal. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 146, p. 169-189, 2021. Journal homepage: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.08.048>

TOMASSONI, F. et al. Otimização da eletrocoagulação aplicada em efluente têxtil. **A Revista DAE é classificada pelo QUALI/CAPES e está adicionada/indexada nas seguintes bases**, v. 67, 2019.

PREFEITURA de Caruaru intensifica ações de limpeza no rio Ipojuca e nos canais. **Blog da Revista Total.** 2021. Disponível em: <https://blogrevistatotal.com.br/2021/03/17/prefeitura-de-caruaru-intensifica-acoes-de-limpeza-no-rio-ipojuca-e-nos-canais/>. Acesso em: 16 jul. 2021

VAZ, M. de O.. **Avaliação da aplicação da taxa de corrente elétrica em reatores eletroquímicos em batelada e fluxo contínuo destinados ao tratamento de efluente têxtil.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2017

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Editora UFMG, 2005.

ZINI, K. M. et al. **Avaliação do processo de eletrocoagulação para o tratamento de efluentes de uma indústria metalúrgica com uso de eletrodos de diferentes materiais metálicos.** Farrroupilha, 80 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais. 2019