FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

TRABALHO DE LICENCIATURA

TEMA: TRATAMENTO DE ÁGUA DA ESTAÇÃO DE LAVAGEM DE AUTOMÓVEIS DALLAS CARWASH

Autora:

Vera Cláudia Mutchamua

Supervisor:

Prof. Doutor Estêvão Pondja, Eng°

Maputo, Maio de 2025

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

TRABALHO DE LICENCIATURA

TEMA: TRATAMENTO DE ÁGUA DA ESTAÇÃO DE LAVAGEM DE AUTOMÓVEIS DALLAS CARWASH

Autora:

Vera Cláudia Mutchamua

Supervisor:

Prof. Doutor Estêvão Pondja, Eng°

Maputo, Maio de 2025

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA _____

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que a estudante finalista Vera Cláudia Mutchamua entregou no dia ____/____/2025 as ____ cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura com referência: _____ intitulado: **Tratamento de Água da Estação de Lavagem de Automóveis Dallas Carwash.**

Maputo, ____de_____de 2025

A Chefe da Secretaria

_____

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Vera Cláudia Mutchamua, declaro por minha honra que o presente trabalho de Licenciatura com o tema **Tratamento de Água na Estação de Lavagem de Automóveis Dallas Carwash** foi por mim elaborado a partir de pesquisas bibliográficas, trabalho de campo, ensaios laboratoriais, análise dos resultados, sob supervisão do Professor Doutor Estêvão Pondja, Eng.º e que nunca foi apresentado por nenhum outro autor para a obtenção de qualquer grau ou título.

Maputo, _____ de 2025

O Supervisor

_____

(Professor Doutor Estêvão Pondja, Eng.º)

A autora

_____

(Vera Cláudia Mutchamua)

Índice

Dedicatória i

Agradecimentos ii

Resumo iv

Abstract v

1. Introdução 1

1.1. Objectivos 2

1.2. Metodologia 3

1.3. Justificativa 4

1.4. Limitações 4

2. Revisão bibliográfica 5

2.2. Tipos de lavagem de automóveis 6

2.3. Águas residuais provenientes das estações de lavagens de automóveis 8

2.5. Tratamento de água da lavagem de automóveis 12

2.6. Enquadramento legal 23

3. Área de estudo 24

4. Materiais e métodos 25

5. Apresentação e discussão de resultados 31

6. Conclusão e recomendação 54

Índice de Figuras

Figura 1. Lavagem a túnel 6

Figura 2. Lavagem exterior “rollover” 7

Figura 3. Lavagem ecológica 7

Figura 4. Lavagem Manual 8

Figura 5. Sistema separador água/óleo (SAO) 13

Figura 6. Representação da aglomeração das partículas a partir do processo de coagulação e floculação 15

Figura 7. Sedimentação (a) Antes da sedimentação (b) Após a sedimentação 16

Figura 8. Célula electrolítica 19

Figura 9. Reactor Monopolar 20

Figura 10. Reactor monopolar paralelo 20

Figura 11. Eléctrodos em série 21

Figura 12. Reactor Bipolar 21

Figura 13. Localização Dallas Car Wash 24

Índice de tabelas

Tabela 1. Parâmetros de caracterização da água residual proveniente da lavagem de automóveis 11

Tabela 2. Resultados de tratamentos de água residual proveniente do processo de lavagem de automóveis 22

Tabela 3.Equipamentos e materiais usados 25

Tabela 4. Caracterização de efluente 31

Tabela 5. Cores usadas para determinação de limites nacionais e internacionais 48

Tabela 6. Comparação de resultados do tratamento com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III e limites estabelecidos pelo Decreto n° 52/2023 49

Tabela 7. Comparação de resultados do tratamento com sulfato de alumínio e placas de alumínio e limites estabelecidos pelo Decreto n° 52/2023 49

Tabela 8. Comparação de resultados do tratamento com cloreto de ferro III e placas de ferro e limites estabelecidos pelo Decreto n° 52/2023 50

Tabela 9. Comparação de resultados do tratamento com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III e limites estabelecidos pelo padrão internacional (EPA) 50

Tabela 10. Comparação de resultados do tratamento com sulfato de alumínio e placas de alumínio e limites estabelecidos pelo padrão internacional (EPA) 51

Tabela 11. Comparação de resultados do tratamento com cloreto ferro III e placas de ferro e limites estabelecidos pelo padrão internacional (EPA) 51

Tabela 12. Custo de implementação tratamento de efluente do Dallas Car Wash 53

Tabela 13. Custo de mensal tratamento de efluente do Dallas Car Wash 53

Índice de Fluxogramas

Fluxograma 1 Metodologia usada para realização do presente relatório 26

Fluxograma 2. Sistema de tratamento proposto para o presente caso de estudo 52

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Dosagem óptima de sulfato de alumínio em função da turbidez 35

Gráfico 2 . Dosagem óptima de cloreto de ferro III em função da turbidez 35

Gráfico 3. Remoção da turbidez..... 36

Gráfico 4. Eficiência de remoção da turbidez..... 36

Gráfico 5. Remoção do DBO e DQO..... 38

Gráfico 6. Eficiência de remoção do DBO e DQO..... 38

Gráfico 7. Remoção de óleo e Gordura..... 39

Gráfico 8. Eficiência remoção de óleo e Gordura..... 39

Gráfico 9. Dosagem óptima de sulfato de alumínio em função da turbidez 41

Gráfico 10. Dosagem óptima de cloreto de ferro III em função da turbidez 41

Gráfico 11. Densidade de corrente óptima com placas de alumínio em função da turbidez 41

Gráfico 12. Densidade de corrente óptima com placas de ferro em função da turbidez 41

Gráfico 13. Comportamento do pH nos tratamentos. 42

Gráfico 14. Eficiência de remoção da turbidez..... 43

Gráfico 15. Remoção da turbidez..... 43

Gráfico 16. Remoção de DBO..... 46

Gráfico 17. Eficiência de remoção de DBO..... 46

Gráfico 18. Remoção de DQO 47

Gráfico 19. Eficiência de remoção de DBO..... 47

Lista de siglas e abreviaturas

DBO_5 – Demanda Bioquímica de Oxigénio aos cinco dias e a 20ºC

DQO – Demanda Química de Oxigénio

CE – Condutividade Eléctrica

EC – Electrocoagulação

FEUEM – Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane

g– Gramas

g/L– Gramas por litro

l – Litro

mg – Miligrama

mg/lL– Miligrama por litro

m^2– Metros quadrados

m^3– Metros cúbicos

NTU– Unidade Nefelométrica de turbidez.

µm– Micrómetro

pH– Potencial hidrogénico

s– Segundo

rpm– rotações por minuto

$Al_2(SO_4)_3$ – Sulfato de alumínio.

$FeCl_3$ – Cloreto de ferro.

$Al(OH)_3$– Hidróxido de alumínio.

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ – Sulfato de alumínio com dezasseis moléculas de água.

$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ – Cloreto de ferro com 6 moléculas de água

$Fe(OH)_2$ – Hidróxido de ferro II.

Dedicatória

Dedico o presente trabalho aos meus pais, Guedes de Argentina Armando e Ruth Gaspar Matlava, pilares da minha formação, sem eles nada seria possível. Aos meus irmãos Juliana Ruth e Hélio José Guedes que são um espelho em minha vida e que serviram de motivação e inspiração nesta fase da minha vida.

Aos meus sobrinhos Malick Seleja, Rayssa Seleja, Alicia Mutchamua e Hendro Mutchamua que o presente trabalho sirva de motivação e inspiração.

Dedico também este trabalho a todo o curso de Engenharia do Ambiente da Universidade Eduardo Mondlane, corpo docente e discente e aos colegas com quem convivi por todos esses longos anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos nesses espaços que surgiram experiência na minha formação académica.

Agradecimentos

Agradeço a **Deus** que me tem fortalecido ao longo de todo este período, pois não imagino o que seria de mim sem a fé que eu tenho nele.

Agradeço aos meus pais, Guedes de Argentina Armando e Ruth Gaspar aos meus irmãos Hélio José Guedes e Juliana Ruth meus maiores incentivadores, pela educação que me deram, por todos ensinamentos, pela dedicação e por serem verdadeiros pilares de esperança, força, determinação e sabedoria e por me guiarem sempre pelos caminhos de Deus.

Agradeço ao meu Supervisor Prof. Doutor Estêvão Pondja, eng° por ter aceitado acompanhar-me neste projecto. O seu empenho foi essencial para a minha motivação à medida que as dificuldades surgiam ao longo do percurso.

Agradeço ao Doutor Adolfo Condo, pelo suporte e assistência na construção e montagem do reactor electrolítico e pelo auxílio nas análises laboratoriais. E sem esquecer o meu profundo agradecimento ao Departamento da Engenharia Mecânica especificamente oficinas Mecânicas, o meu especial agradecimento ao Sr. Gil, *Tio Gil* como carinhosamente o chamo pelo auxílio nas placas e encorajamento constante e palavras de sabedoria. Meu profundo agradecimento ao Eng° António Chirico pelo auxílio e apoio incondicional na elaboração do relatório.

Agradeço aos Laboratórios da Faculdade de Engenharia em especial à Dona Maria das Dores, Técnica do Laboratório de Hidráulica Sanitária do Departamento de Engenharia Civil (DECI), à Engª Virgínia Gongole, à dra. Victória Álvaro Nhanombe pela disponibilidade e apoio na realização das análises laboratoriais.

Agradeço ao corpo de Docentes e todos os meus colegas em especial, a Edite Jacinto, Jessica Tembe colegas de turma e amigas, pela força e encorajamento constante.

“Mas a sabedoria que

vem do alto é antes de tudo

pura; depois, pacífica, amável,

compreensiva, cheia de misericórdia

e de bons frutos, imparcial e sincera.”

Tiago 3:17

Resumo

As estações de lavagem de automóveis em Maputo utilizam uma grande quantidade dos recursos hídricos e a maior parte são construídas de forma não convencional, sem fiscalização e controle do governo, e acaba por resultar em consumo excessivo dos mesmos e maior geração de efluentes, e para além de produtos químicos utilizados na lavagem de automóveis, que são destinados aos esgotos, sem nenhum tratamento. O presente trabalho tem como objectivo o tratar a água da estação de lavagem de automóveis do Dallas Carwash. A metodologia usada para a elaboração do trabalho foram pesquisas bibliográficas, colecta de amostras no campo, ensaios laboratoriais com coagulação e electrocoagulação para efeitos de comparação. Para a obtenção de resultados, fez-se a caracterização do efluente com análises de pH, turbidez, Demanda Biológica de Oxigénio (DBO), Demanda Química de Oxigénio (DQO). Após verificação dos dados, fez-se a simulação do tratamento através de testes de jarros (Coagulação) utilizando o coagulante sulfato de alumínio e Cloreto de ferro, e electrocoagulação com placas de alumínio e ferro. Dos resultados obtidos a remoção foi mais satisfatória com a eletrocoagulação, devido a melhor eficiência na remoção de turbidez, DBO, DQO respectivamente (98%; 95%), (82%; 86%), (82%; 86%), para placas alumínio e ferro. Comparado ao teste de jarros com resultados de (96%; 90%), (75%;79%), (75%;79%) para sulfato de alumínio e Cloreto de ferro.

Palavra-Chave: Tratamento, teste de jarros, electrocoagulação

Abstract

Car wash stations in Maputo use a large amount of water resources and most of them are built in an unconventional way, without government supervision and control, which end up resulting in excessive consumption of water and greater generation of effluents, in addition to the chemicals used in car washes, which are sent to the sewers, without any treatment. The present work aims to treat the water from the Dallas Carwash car wash station. The methodology used to prepare the work was bibliographical research, collection of samples in the field, laboratory tests with coagulation and electrocoagulation for comparison purposes. To obtain results, the effluent was characterized with analyses of pH, turbidity, Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD). After verifying the data, a simulation of the treatment was carried out through jar tests (Coagulation) using the coagulant aluminum sulfate and iron chloride, and electrocoagulation with aluminum and iron plates. From the results obtained, the removal was more satisfactory with electrocoagulation, due to better efficiency in the removal of turbidity, BOD, COD respectively (98%; 93%), (79%; 81%), (66%, 68%), for plates of aluminum and iron. Compared to the jar test with results of (96%; 90%), (75%; 80%), (58%, 65%) for aluminum sulfate and iron chloride.

Keyword: Treatment, jar test, electrocoagulation

1. Introdução

A água cobre mais de 70% da superfície terrestre e é vital para toda a vida no planeta (Gomes & Etiene, 2005). Dessa água, cerca de 97,5% corresponde à água salgada e somente 2,5% à água doce. Todavia, é importante levar em conta que somente 68,9% correspondem às geleiras e calotas polares situadas em regiões montanhosas, 29,9% são águas subterrâneas, 0,9% compõe a humidade do solo e pântanos e apenas 0,3% constitui a água armazenada nos rios e lagos, efectivamente disponível para uso em diferentes actividades (Shiklomanov, 1998, citado por Tundisi, 2003).

Segundo Vieira (2003), Reigada (2014) e Fael (2017), o crescimento demográfico, o aumento do consumo de água per capita associado à melhoria da qualidade de vida da população, a crescente urbanização e consequente degradação da qualidade e quantidade de água nas suas origens são alguns dos factores que conduziram às várias situações de escassez de água. O mundo enfrenta uma crise de segurança hídrica devido a factores como a poluição da água, efeitos das mudanças climáticas, más práticas de gestão da água e exploração insustentável de água (UNO, 2015).

Em África, tal como noutros continentes, este reconhecimento resultou em muitos esforços para promover inovações tecnológicas relacionadas com a água a diferentes níveis (organizacional, sectorial, político), alterando assim o panorama da inovação no domínio da água. Assim, foram introduzidas muitas abordagens inovadoras à gestão da água (Mvulirwenande & Wehn, 2020).

Em Moçambique, estações de lavagem de automóveis são construídas de forma não convencional, sem fiscalização e controle do governo e as mesmas acabam por ter um consumo excessivo da água potável, além de produtos químicos utilizados na lavagem de automóveis, que são destinados aos esgotos domésticos sem nenhum tipo de tratamento. Isso representa um desperdício sem precedentes de água, além de uma carga considerável de contaminantes para os esgotos, e a sua proliferação eleva o consumo de água e a geração de efluentes de forma descontrolada. A estação de lavagem de automóveis Dallas Carwash lava em média 25 automóveis durante os dias uteis da semana e 40 automóveis durante os finais de semana, tendo maior fluxo após

dias chuvosos. E em um mês estima-se uma média de 260 automóveis e em um ano 3.120 automóveis que são lavados na estação de lavagem de automóveis Dallas Carwash. Estima-se que cerca de 80 litros são usados para a lavagem de um automóvel, e fazendo uma estimativa do consumo de água neste estabelecimento por semana, mês, e ano tem-se uma média de 5200 litros/semana, 20800 litros/mês, 249600 litros/anos. Este volume de água está directamente relacionado com a quantidade de efluente gerado, podendo haver pequenas variações em função das perdas de água no processo de lavagem. Entretanto torna-se imprescindível a implementação de um sistema de tratamento de efluentes, a fim de não comprometer a qualidade dos corpos receptores, bem como a adopção de uma legislação específica que abranja esse tipo de efluente.

1.1. Objectivos

1.1.1. Objectivo geral

O presente trabalho tem como objectivo geral analisar a possibilidade de tratar a água resultante do processo de lavagem de automóveis Dallas Carwash.

1.1.2. Objectivos específicos

- Caracterizar os parâmetros físico-químicos (pH, Temperatura, Condutividade Eléctrica, Sólidos Totais Dissolvidos, Turbidez, DBO, DQO e Óleos e gordura) para conhecer os poluentes presentes na água proveniente do processo de lavagem de automóveis no Dallas Carwash;
- Identificar o método apropriado para realização do tratamento da água previamente caracterizada;
- Realizar tratamentos da água caracterizada usando o método identificado;
- Comparar os resultados com a legislação nacional e internacional.

1.2. Metodologia

Para a elaboração do presente trabalho seguiu-se a seguinte metodologia:

I. Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica consistiu na recolha e sistematização de conhecimentos, e as principais fontes de conhecimento usadas foram artigos científicos, teses de licenciatura, dissertações de mestrados e doutoramentos com temas consideravelmente relevantes ao estudo.

II. Actividades de campo

Efectuou-se a identificação do ponto de descarga do efluente proveniente da lavagem de automóveis. Foram recolhidas amostras para a análise in-situ para a determinação da qualidade da água e de seguida encaminhou-se ao laboratório para a medição dos parâmetros laboratoriais.

III. Realização de ensaios laboratoriais

Os ensaios laboratoriais consistiram na caracterização do efluente para a determinação dos parâmetros físico-químicos da amostra. Foram realizados ensaios de tratamento com coagulação, floculação e sedimentação em escala maior e menor, usando uma dosagem que foi determinada previamente em um teste de jarros. A posterior, foram realizados ensaios de electrocoagulação em um reactor electrólitico no Laboratório de Controlo Automático do Departamento de Engenharia Química e por fim verificou-se a eficiência do tratamento de água com os diferentes métodos.

IV. Análise de dados

Procedeu-se com a análise dos dados obtidos usando métodos estatísticos (média, desvio padrão) e comparou-se com os limites admissíveis dispostos nas legislações nacional e internacional.

1.3. Justificativa

A disponibilidade de água potável é um dos grandes problemas vividos em Moçambique e a tendência futura é insatisfatória. Em muitos casos, essa questão pode ser atribuída pela sua escassez devido ao aumento da população, desperdício, inadequada distribuição geográfica, poluição e degradação de mananciais, ilegalidade de sua utilização.

Em muitas regiões do país estabelecimentos que se dedicam a lavagem de automóveis consomem grandes quantidades de água, frequentemente de maneira ineficiente, e os efluentes gerados não são tratados antes de serem descartados no meio ambiente. Este cenário contribui para o desperdício de água e a contaminação dos corpos hídricos, comprometendo a qualidade da água disponível.

Apesar da relevância do tema, não existem estudos específicos que abordem o impacto ambiental das estações de lavagem de automóveis em Moçambique, nem a gestão e tratamento dos efluentes neste sector. A escolha deste tema justifica-se pela ausência de pesquisas locais sobre a questão e pela necessidade de avaliar o consumo de água e a geração de efluentes nestes estabelecimentos.

Este estudo visa preencher essa lacuna e propor soluções sustentáveis para a gestão de água e o tratamento de efluentes gerados nestes empreendimentos, ajudando não só a melhorar a eficiência dos processos dessa estação, mas também a contribuir para a preservação ambiental e a sustentabilidade do sector em Moçambique.

1.4. Limitações

Não foi possível a realização de medição de óleo e gordura para ensaios de electrocoagulação devido a falta de reagentes e não foi possível a realização de medição de metais pesados para ensaios de coagulação e electrocoagulação devido a falta de reagentes.

2. Revisão bibliográfica

A água é um recurso natural e indispensável para os seres vivos, assim como para a vida na Terra, uma vez que participa dos processos biológicos vitais e serve de habitat natural com nichos ecológicos de inúmeros organismos e espécies animais e vegetais (Costa & Perin, 2004).

Qualidade da água

Segundo Coradi, Fia, & Ramirez (2009) a qualidade da água é resultante de fenómenos naturais e de acções antropogénicas em função do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, seja por meio de uma forma concentrada, com a geração de efluentes domésticos ou industriais, ou de uma forma dispersa, com a aplicação de insumos agrícolas e manejo inadequado do solo contribuindo para a incorporação de compostos orgânicos e inorgânicos nos cursos de água e, desta forma, alterando directamente a sua qualidade.

Poluição hídrica

A água pode ter sua qualidade afectada pelas mais diversas actividades do homem, sejam elas domésticas, comerciais ou industriais. Cada uma dessas actividades gera poluentes característicos que têm uma determinada implicação na qualidade do corpo receptor (Pereira R. d., 2004).

Segundo Carapeto (1999), a poluição hídrica é definida como a introdução de substâncias nocivas ou estranhas aos corpos de água ou cursos de água, que prejudicam o meio ambiente. Essa contaminação pode ocorrer de forma directa, através do descarte de resíduos industriais e esgoto, ou de forma indirecta, por meio do escoamento de poluentes. A degradação da qualidade da água reduz a sua viabilidade para o uso recreativo e outros fins.

2.1. Estações de lavagem de automóveis

Segundo Costa, et al (2007), as estações de lavagem de automóveis podem ser consideradas uma fonte de poluição hídrica e de consumo dos mesmos. O descarte de água residual proveniente deste processo de lavagem sem tratamento prévio para os corpos de água pode causar danos ao meio ambiente.

2.2. Tipos de lavagem de automóveis

De acordo com a (USEPA, 1980), os estabelecimentos de lavagem de automóveis incluem diferentes tipos e operações cada um com necessidades e características próprias. Segundo Teixeira (2003) e Carvalho et al. (2020) os tipos de lavagem de automóveis mais comuns são: lavagem a túnel, lavagem exterior “rollover, lavagem ecológica e lavagem manual.

2.2.1. Lavagem a túnel

O automóvel passa por um túnel de lavagem conforme ilustra a figura 1, onde é submetido à uma lavagem superficial com água, de seguida aplica-se detergente diluído para remover sujidade. Escovas macias acompanhadas de jatos de água em alta pressão fazem a remoção da sujidade. Por fim, o veículo é enxaguado com água limpa para garantir a remoção completa do detergente e da sujidade. A secagem é realizada com jatos de ar que eliminam a água residual da chapa e dos vidros.

Figura 1. *Lavagem a túnel*

Fonte: *(Teixeira, 2003)*

2.2.2. Lavagem exterior “rollover

O motorista conduz o automóvel até a entrada do túnel, onde um sinal indica quando parar, e assegura o correcto posicionamento na esteira. Após parar os equipamentos do túnel são activados, e escovas e bicos de água são acionados para iniciar-se a lavagem. Os equipamentos deslocam-se sobre o automóvel por trilhos e alcançam todas as áreas de forma uniforme. Um detergente é aplicado enquanto escovas macias e jatos de água em alta pressão removem a sujidade, tudo de maneira controlada para evitar danos à

pintura. Depois, o automóvel é enxaguado com água limpa para garantir a remoção total do detergente e da sujidade. Jatos de ar em alta pressão secam rapidamente o veículo, evitando manchas e garantindo que saia do túnel limpo e seco, a figura 2 ilustra a lavagem exterior “rollover”.

Figura 2. Lavagem exterior “rollover”
Fonte: *(Equiwash, Wash Systems, 2013)*

2.2.3. Lavagem ecológica

A figura 3 ilustra a lavagem ecológica, que é um método de limpeza de veículos que utiliza produtos biodegradáveis e minimiza o consumo de água. Em vez de utilizar grandes quantidades de água essa técnica emprega panos de microfibra e produtos específicos que removem sujidade de forma eficaz. Utilizam-se panos secos ou toalhas de microfibra para remover a sujidade e produto de limpeza, se estiver a usar um produto que não requer lavagem com água, basta passar o pano até a superfície estar limpa e usa-se um pano de microfibra, para evitar manchas e garantir boa visibilidade.

Figura 3. Lavagem ecológica
Fonte: *(Wilcar, 2021)*

2.2.4. Lavagem manual

Na lavagem manual prepara-se os materiais necessários para a lavagem do automóvel, como baldes, mangueiras a jato, esponjas, panos de microfibra e detergentes específicos para limpeza de automóvel. Inicia-se a lavagem do automóvel com água para remover a sujidade e evitar riscos ao automóvel. Utiliza-se uma esponja ou luva de lavagem para aplicar o sabão, começando de cima para baixo. Isso ajuda a impedir que a sujeira mais pesada seja arrastada para as partes inferiores do carro, lava-se bem com água limpa para remover todo o sabão e sujeira. Usam-se panos de microfibra para secar o carro, e assim evita manchas de água, conforme ilustrado na figura 4.

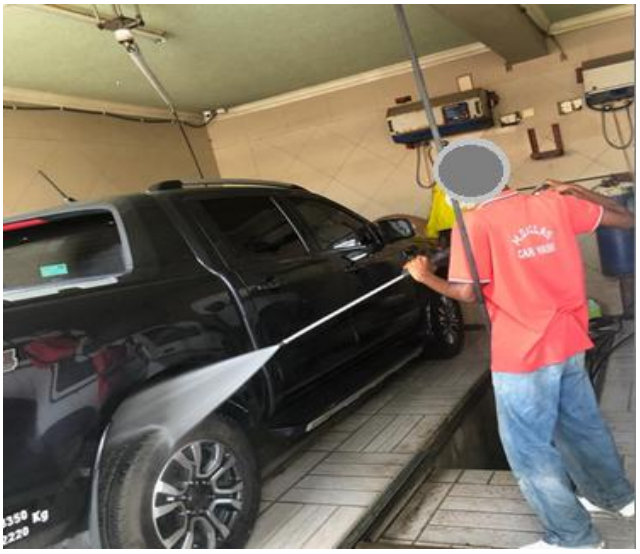


Figura 4. Lavagem Manual

Fonte: Adaptado pela autora

2.3. Águas residuais provenientes das estações de lavagens de automóveis

Segundo Elashtoukhy, Amin, & Fouad (215), a água residual proveniente da lavagem dos automóveis pode conter quantidades significativas de matéria orgânica, óleos e gorduras, metais pesados, sólidos suspensos entre outras substâncias, detergentes.

Tais características estão associadas aos poluentes impregnados na superfície dos automóveis e também às características do solo de cada região, produtos químicos utilizados nas lavagens e a parte do automóvel a ser lavado (chapa, motor, chassi, roda) (Hashim & Zayadi, 2016). Elashtoukhy, Amin, & Fouad (2015)

2.3.1. Matéria orgânica

Segundo Metcalf & Eddy (2003), a matéria orgânica proveniente da lavagem de automóvel concerne aos compostos orgânicos que permanecem na água após o processo de limpeza de veículos, como óleos e gorduras que se acumulam na superfície do automóvel, produtos químicos, substâncias utilizadas para limpeza, poeira, folhas e sujidade acumulada na superfície do automóvel.

2.3.2. Óleos e gorduras

Óleos e gorduras estão entre os compostos orgânicos mais estáveis e de difícil remoção por bactérias. Ao entrar em contacto com substâncias alcalinas, como o hidróxido de sódio, ocorre a saponificação da gordura que dá origem ao sabão, que assim como as gorduras, são estáveis. Os sabões são solúveis em água, porém na presença de elementos como cálcio e magnésio ocorre a substituição do sódio, o que diminui a solubilidade do composto e forma um precipitado (Metcalf & Eddy, 1991). Os óleos para motor são derivados do petróleo, e são hidrocarbonetos constituídos por carbono e hidrogénio. Estes óleos minerais, tendem a revestir as superfícies dos corpos hídricos e as redes de esgoto com uma grande quantidade fica na superfície e a outra é carregada para o lodo na sedimentação dos sólidos (Metcalf & Eddy, 1991).

A água residual da lavagem de automóveis possui óleos em sua composição que são provenientes do motor e do sistema de travagem, o que constitui uma fonte significativa de matéria orgânica e óleo. (Etchepare, 2012).

2.3.3. Sólidos

Os sólidos totais (ST) são definidos como a matéria que permanece como resíduo após uma amostra ser evaporada e seca a uma temperatura da ordem de 105°C. Os sólidos suspensos totais (SST) são os que possuem diâmetro superior a 0,45–2,00 μm, retidos em membranas com esta respectiva porosidade (secagem da amostra em estufa a aproximadamente 105°C) (Etchepare, 2012). Os sólidos suspensos causam um aumento na turbidez, que é um parâmetro de grande importância no controle da qualidade das águas residuárias. Já os sólidos dissolvidos, podem ser calculados pela diferença entre ST e SST, são constituídos principalmente de sais inorgânicos o que causa alterações na condutividade da água (Etchepare, 2012).

2.3.4. Detergentes

A água residual proveniente do processo de lavagem de automóveis contem diversos tipos de detergentes. Esses detergentes são utilizados para remover sujidade, óleo e gordura, poeiras e outros contaminantes das superfícies dos automóveis.

2.3.5. Tipo de detergentes usados na lavagem de automóveis

Segundo Leal Filho (2015) , na lavagem externa e interna de automóveis geralmente são utilizados três produtos de limpeza:

Detergente ácido: Este detergente é utilizado para remover impurezas mais comuns. Tem coloração roxa;

Detergente alcalino: Este detergente é utilizado na remoção de impurezas pesadas como óleos e gorduras, geralmente utilizado na limpeza de chassis de automóveis, motores e pneus. Sua coloração tem tonalidade verde.

Detergente neutro: Este detergente é utilizado para limpeza leve, não somente de veículos, mas também bastante utilizado em indústrias. Sua coloração é amarelada

Nota: As colorações dos detergentes não são determinadas consoante o pH apenas são as colorações mais usadas para estes tipos de detergentes, e podem variar de acordo com cada fabricante.

2.4. Parâmetros de caracterização do efluente da água residual proveniente da lavagem de automóveis

Dos estudos realizados na área de águas residuais proveniente do processo de lavagem de automóveis os parâmetros que caracterizam os efluentes estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de caracterização da água residual proveniente da lavagem de automóveis

	Parâmetro	Descrição	Referência
Físico	**Temperatura**	**I**nfluencia reações químicas e bioquímicas, solubilidade de gases, metabolismo e oxigénio dissolvido.	(Silva A. L., 2002)
	Turbidez	Causada por partículas em suspensão e dissolvidas (argilas, silte, microrganismos, matéria orgânica); dificulta da passagem da luz.	(Lenzi, Favero, & Luchese, 2014).
	Condutividade elétrica	Capacidade da água de conduzir eletricidade devido a íons dissolvidos; depende da concentração, valência e mobilidade dos íons e da temperatura.	(Lenzi, Favero, & Luchese, 2014).
	Sólidos	Reduzem a transparência da água e a penetração da luz, afetando a oxigenação e a vida aquática.	(Polido & Lopes, 2011)
Químico	**Potencial Hidrogeniônico (pH)**	Mede a concentração de íons H^+, indicando se a água é ácida (<7), neutra (=7) ou alcalina (>7).	(Von Sperling, 2005)
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Indica a quantidade de matéria orgânica biodegradável e a capacidade de autodepuração da água.	(Von Sperling, 2005)
	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Mede o oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica; avalia a contaminação e o impacto ambiental.	(Gonçalves, 2015)

2.5. Tratamento de água da lavagem de automóveis

Segundo, Metcalf & Eddy (2016), os métodos de tratamento nos quais a aplicação de forças físicas predomina são conhecidos como operações unitárias de tratamento, e aqueles em que a remoção dos poluentes é feita por reacções químicas ou reacções biológicas são conhecidos como processos unitários. Actualmente as operações e os processos unitários são associados para fornecer vários níveis de tratamento, conhecidos como tratamento preliminar, primário, secundário ou terciário.

2.5.1. Tratamento preliminar

Esse tratamento é responsável pela remoção de sólidos grosseiros, areia e também pela remoção das gorduras presentes na água residual, isto é o propósito desta etapa é facilitar e proteger as etapas seguintes e evita a obstruções dos circuitos hidráulicos e contaminações das águas (assim o processo se torna mais eficiente) (Monte, 2016). No entanto, esse tratamento inicial não remove poluentes (Etchepare, 2012).

2.5.1.1. Gradeamento

Segundo Metcalf & Eddy (2003) o gradeamento consiste na remoção dos sólidos grossos tais como objectos grandes, tecidos, pedras e outros, o objectivo do gradeamento é proteger as etapas seguintes.

2.5.1.2. Caixa de areia

A caixa de areia serve para reter os sólidos finos e materiais sedimentáveis (areia e lodo), provenientes da lavagem dos automóveis (lavagens dos chassis, rodas, chapa) que são conduzidos pela água. (Sistema de separação de água e óleo em actividades automotivas, 2015) A caixa de areia retira as partículas menores que passaram pelas grades, as partículas mais densas que a água se depositam na areia (Varela, 2015).

2.5.1.3. Separador de água e óleo

O princípio de funcionamento do separador de água e óleo é baseado na separação da fase oleosa e aquosa em virtude da diferença de densidade existente entre elas (Lemos & Sandes, 2018).

Segundo Secron (2006), o efluente entra no separador onde ocorre a separação do óleo e de sólidos sedimentáveis da fase líquida pela gravidade. Devido à diferença de densidade o óleo flutua para o topo enquanto a água sendo mais densa permanece na parte inferior. Isso permite a remoção eficiente dos contaminantes, e garante que a água tratada esteja adequada para descarte ou reaproveitamento. A Figura 5 ilustra, o esboço do dispositivo SAO.

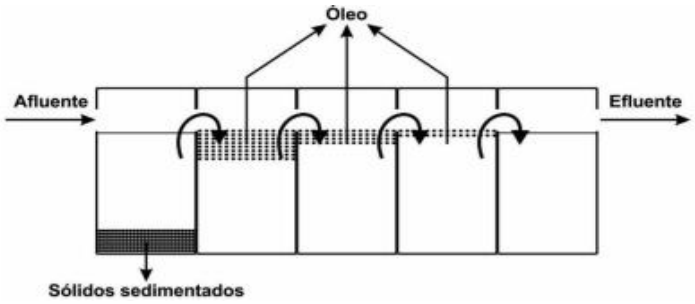


Figura 5. Sistema separador água/óleo (SAO)

Fonte: Engemáquina *(1987)*

2.5.2. Tratamento primário

De acordo com Metcalf & Eddy (2003), no tratamento primário alguns produtos químicos (coagulantes químicos) ou naturais (coagulantes naturais) são adicionados para acelerar a remoção de sólidos suspensos e facilitar a sedimentação dos sólidos dissolvidos. Com a adição de coagulantes a sedimentação é fortemente acelerada. Mesmo assim, partículas finas e coloidais permanecem no efluente que causam a turbidez. Processos adicionais poderão ser necessários para melhorar a qualidade da água recuperada. O método que melhor se aplica neste caso é a filtração (Mendonça, 2004).

2.5.2.1. Coagulação

A coagulação consiste na adição de um reagente químico com o propósito de condicionar a matéria suspensa coloidal e dissolvida (Howe et al, 2016) . Dessa forma torna-se necessário promover a alterações das características da superfície das partículas com a da adição de coagulantes (Campos, Bernardo, & Vieira, 2005).

A utilização de produtos químicos como coagulante causam a desestabilização e adsorção da matéria orgânica particulada a partir da formação de precipitados floculantes que acabam por remover material suspenso, coloidal e dissolvido (Howe et al, 2016).

Segundo Libânio (2010), para o processo de coagulação é necessário que ocorra uma **mistura rápida** que tem como objectivo uma distribuição uniforme dos coagulantes na água, de forma que todas as partículas tenham contacto com os sais de alumínio, ferro, ou polímeros e tem como finalidade promover a dispersão do coagulante o mais rápido possível, porque as reações de desestabilização dos coloides por neutralização de carga ocorrem em fracções de segundos e são irreversíveis (Martins, 2014).

Segundo Borba (2001), os coagulantes podem ser divididos em duas classes: os químicos e os naturais. Os mais convencionais são os químicos como por exemplo, o sulfato de alumínio, cloreto férrico, cloreto ferroso, entre outros, devido à grande electropositividade dos elementos químicos que se opõem.

2.5.2.1.1. Coagulantes químicos

Sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio ($AL_2(SO_4)_3nH_2O$) trata-se de um coagulante muito conhecido devido a sua grande utilização no tratamento de efluentes (Carvalho M. J., 2008). Quando o sulfato de alumínio entra em contacto com a água logo ocorre sua dissociação formando dois moles de $(Al_3)^{+3}$ e três moles de $(SO_4)^{-2}$, no decorrer da hidrólise são formados íons H^+ que tornam a solução mais ácida. Uma característica negativa em relação ao uso deste coagulante é em relação ao lodo proveniente do seu processo de coagulação, floculação e sedimentação, o lodo gerado não é biodegradável, por isso existe uma problemática a respeito de seu tratamento e disposição final (Carvalho M. J., 2008).

Cloreto férrico

O cloreto férrico ($FeCl_3$) é amplamente utilizado no tratamento de efluentes. Esse coagulante possui efeitos corrosivos, por isso deve-se ter certos cuidados em relação ao seu armazenamento. O coagulante cloreto férrico é bastante eficiente na remoção de sólidos em suspensão e fósforo (Mancuso & Santos, 2003). Quando o produto coagulante é adicionado ao efluente a ser tratado ocorre à hidrólise do cloreto férrico, logo os complexos de ferro adquirem cargas positivas. Os sólidos suspensos na água unem-se aos complexos férricos resultando na coagulação e neutralização dos sedimentos que possuem cargas negativas (Franco, 2013).

2.5.2.1.2. Coagulantes naturais

Os coagulantes naturais actuam em sistemas de partículas coloidais, neutralizam cargas e formam pontes entre estas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos (Graham, 2008). Os coagulantes naturais têm funcionalidade semelhante a dos coagulantes químicos, porém, segundo Kawamura (1991), apresentam vantagem por serem biodegradáveis e não apresentarem toxicidade, além de formarem lodos em quantidades reduzidas se comparadas com os coagulantes químicos, e com menores teores de metais. O coagulante natural mais comummente utilizado é a Moringa oleífera.

Moringa oleífera

A planta da Moringa oleífera apresenta a vantagem de adaptação a qualquer tipo de solo, desenvolvendo-se em locais quentes e de baixa. O melhor potencial de coagulação/floculação está presente em suas sementes em comparação as demais partes da planta – folhas e vagens (Gidde, Bhalerao, & Malusare, 2012).

2.5.2.2. Floculação

A floculação é um método aplicado para promover o choque entre partículas desestabilizadas para agregação das mesma e posterior formação de flocos (Telles & Kopperschmidt, 2009). Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) , a floculação consiste em uma **mistura lenta** para que ocorram choques entre as partículas e que se aglomerem e formem partículas maiores de alto peso (flocos) e promovam a separação.

A formação de flocos facilita sua posterior remoção por sedimentação por acção da gravidade, sendo então possível a obtenção de melhores resultados na etapa de separação da fase líquida (Matos, Cabanellas, & Brasil, 2006). A figura 6 ilustra o processo de desestabilização das partículas a partir do coagulante:

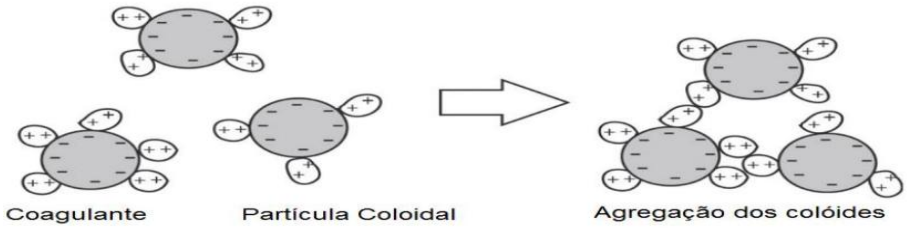


Figura 6. Representação da aglomeração das partículas a partir do processo de coagulação e floculação

Fonte: (Howe et al, 2016)

2.5.2.3. Sedimentação

A sedimentação é uma das operações mais utilizadas para o tratamento de efluentes, conforme ilustra a figura 7. Nela as fases sólidas e líquidas são separadas devido a diferença de densidade. A aplicação deste tipo de separação possui baixo custo e quando associados a processos de coagulação e floculação podem apresentar elevada eficiência na remoção de poluentes (Kunz, Steinmetz, & Bortoli, 2010).

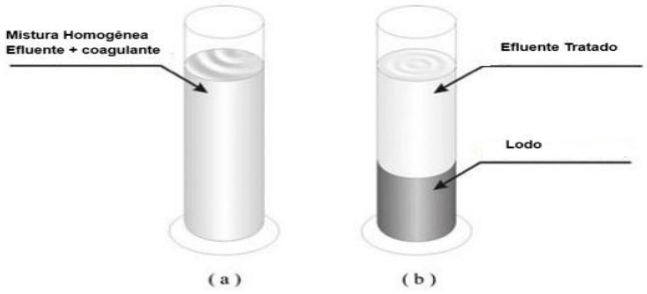


Figura 7. Sedimentação (a) Antes da sedimentação (b) Após a sedimentação

Fonte: *(Guimarães & Maniero, 2012)*

2.5.3. Tratamento secundário

O tratamento secundário é constituído por processos biológicos seguidos de processos físico-químicos usados para remover a maior parte da matéria orgânica e sólidos suspensos finos. No tratamento biológico objectivo é remover ou reduzir a concentração de compostos orgânicos e inorgânicos (Metcalf & Eddy, 2003).

Segundo (Luizi, 2012), no processo biológico podem ser utilizados dois tipos diferentes de tratamentos:

Processos biológicos aeróbicos: que utilizam bactérias aeróbias com necessidade constante, de oxigénio em lagoas aeradas e filtros biológicos;

Processos biológicos anaeróbicos: que utilizam bactérias anaeróbias e aeróbias facultativas em lagoas, biodigestores, fossas ou reactores.

2.5.3.1. Processos biológicos aeróbicos

O tratamento biológico aeróbio, os microorganismos, mediante processos oxidativos, degradam as substâncias orgânicas, que são assimiladas como "alimento" e fonte de energia, sendo que nesse processo ocorre a utilização de oxigénio para que ocorra a biodegradação (Barcellos & Carvalho, 2012).

2.5.3.2. Processos biológicos anaeróbicos

Segundo Lier (2001) , o **Processos biológicos anaeróbicos** são uns dos mais antigos estudos em tratamentos biológicos sustentáveis na redução de orgânicos, o qual consiste no processo de degradação da matéria orgânica presente no efluente, sem a presença de oxigénio, através de microorganismos que desencadeiam uma série de reacções que reduzem as moléculas orgânicas, como lipídos, proteínas, e estruturas moleculares como aminoácidos, açúcares e ácidos gordos voláteis, e assim, gerando metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), e nova biomassa através da fermentação e oxidação, e que estão directamente ligados à redução em alguns casos, de 90% de DBO e DQO (Jurgensen, et al., 2005).

2.5.4. Tratamento avançado ou terciário

O tratamento terciário é necessário para que os efluentes de plantas de tratamento avançado possam ser reaproveitados ou reciclados directa ou indirectamente na planta industrial (Filho, 2009). Nesta fase obtém-se uma água de qualidade superior (Alves T. A., 2012).

2.5.4.1. Electrocoagulação

De acordo com Mollah, et al. (2004), Mahesh, et al. (2006), e Kuokkanen (2013) a electrocoagulação é uma tecnologia electroquímica que é aplicada no tratamento de efluentes e envolve as seguintes etapas:

1ª Etapa: formação in-situ de coagulantes

A formação in situ de coagulantes é através da dissolução de eléctrodos metálicos, frequentemente são utilizados eléctrodos metálicos feitos de alumínio ou ferro. Uma corrente eléctrica é aplicada, onde ocorre a oxidação do metal no ânodo (eléctrodo positivo) ilustrada na equacção (1) e (2) que se dissolve e liberta iões metálicos, no cátodo, ocorrem reacções de redução, ilustrada na equacção (3) e (4), onde a água é reduzida e forma gás hidrogénio e iões hidróxido (OH^-).

Ânodo (Positivo):

Alumínio:

$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$ (1)

Ferro:

$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$ (2)

Cátodo (Negativo)

Alumínio:

$H_2O + 3e^{-} \rightarrow \frac{3}{2}H_{2(g)} + 3OH^{-}$ *(3)*

Ferro:

$H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^{-}$ *(4)*

Os iões metálicos gerados reagem com iões hidróxido (OH^{-}), que formam hidróxidos metálicos (como $Al(OH)_3$ ou $Fe(OH)_2$) que têm propriedades coagulantes, conforme ilustra a equacção (5) e (6).

Alumínio:

$Al + 3H_2O \rightarrow \frac{3}{2}H_{2(g)} + Al(OH)_3$ *(5)*

Ferro:

$Fe + 2H_2O \rightarrow H_{2(g)} + Fe(OH)_2$ (6)

1ª Etapa: destabilização dos contaminantes

O coagulante formado, o hidróxido metálico, possui carga eléctrica positiva e os contaminantes possuem cargas negativas. A interação entre a carga positiva do coagulante e as cargas negativas dos contaminantes resulta na neutralização dessas cargas e promove a destabilização e aglomeração das partículas e a quebra de emulsões de óleo e água, que normalmente são estáveis, e são destabilizadas pela corrente eléctrica. Isso ocorre porque a energia eléctrica ajuda a romper as forças que mantêm as gotas de óleo dispersas.

3ª Etapa: aglomeração das partículas

Após a destabilização dos contaminantes, as partículas começam a aglomerar-se, e a formar flocos maiores. Esses flocos incorporam os poluentes, facilitando sua remoção do efluente

4ª Etapa: separação dos poluentes

Os flocos formados são separados do líquido através de processos de sedimentação e electroflotação. A sedimentação permite que os flocos se depositem no fundo do tanque, enquanto a electroflotação permite que os flocos se elevem a superfície devido a formação de bolhas de hidrogénio no cátodo. A figura 8 mostra esquematicamente o funcionamento de uma célula electrolítica.

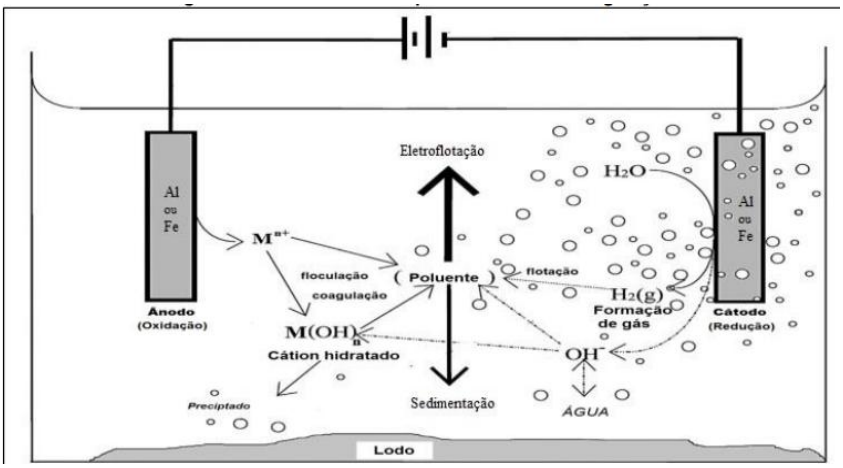


Figura 8. Célula electrolítica

Fonte: Alves L. D *(2021)* adaptado de *Holt (2002)*

Eléctrodos para electrocoagulação

Segundo Silva (2002), a maioria dos eléctrodos destinados ao tratamento de efluentes é constituído por materiais idênticos: Eléctrodos iguais feitos de mesmo material têm o mesmo potencial, sofrem desgastes uniformes e simplificam a sua substituição.

Tipos de Células electroquímicas

Células electroquímicas de eléctrodos com arranjos monopolares e células electroquímicas de eléctrodos com arranjos bipolares:

Células electroquímicas de eléctrodos com arranjos monopolares

Segundo Mollah, et al (2004) Em uma configuração monopolar, cada eléctrodo é conectado a um terminal positivo (ânodo) ou negativo (cátodo) de uma fonte de energia, mas todos compartilham um único ponto de referência conforme ilustra a figura 9. Os eléctrodos monopolares podem ser dispostos em paralelo ou em série.

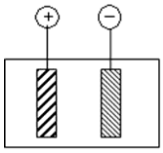


Figura 9. Reactor Monopolar
***Fonte**: Mollah, et al (2004)*

Células electroquímicas de eléctrodos com arranjos monopolares em paralelo

Segundo Mollah, et al (2004)**,** conexão em paralelo consiste, em um par de placas metálicas condutíveis (eléctrodos de sacrifício) colocadas entre dois eléctrodos paralelos e uma fonte de tensão. A corrente é dividida entre todos os elétrodos de acordo com a resistência oferecida por cada célula. Portanto, é requerida uma menor diferença de potencial na conexão em paralelo, ilustrada na figura 10.

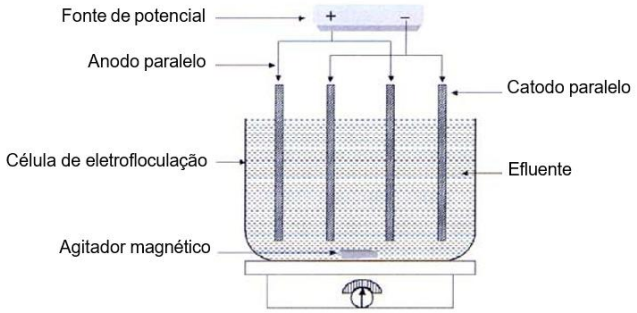


Figura 10. *Reactor monopolar paralelo*
Fonte**:** Mollah, et al *(2004)*

Células electroquímicas de eléctrodos com arranjos monopolares em série

Segundo Mollah, et al (2004)**,** conexão em série consiste em cada par de eléctrodos de sacrifício são conectados internamente com o outro, não tendo contato com os

eléctrodos exteriores. Uma maior diferença de potencial é requerida para uma dada corrente, devido ao somatório das tensões das células, ilustrada na figura 11.

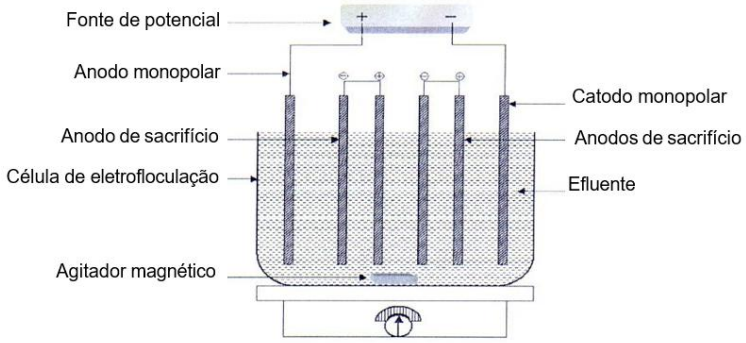


Figura 11. Eléctrodos em série

***Fonte*:** Mollah, et al *(2004)*

Células electroquímicas de eléctrodos com arranjos bipolares

Segundo Mollah, et al (2004), os ânodos são colocados entre os dois eléctrodos em paralelo (denominadas placas condutoras), sem qualquer conexão eléctrica, como mostra a Figura 12. Somente os dois elétrodos monopolares são conectados à fonte de energia elétrica, sem interconexão com os cátodos.

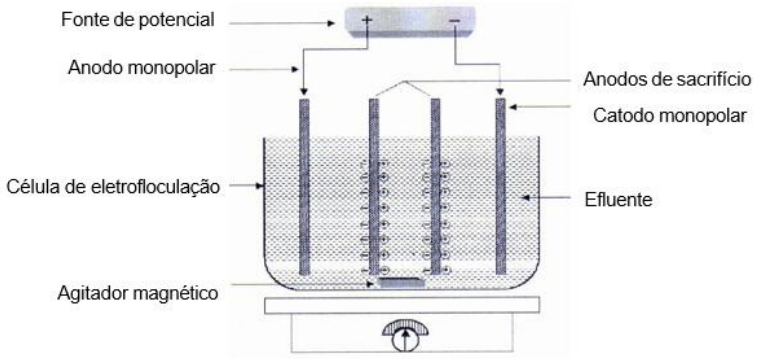


Figura 12. Reactor Bipolar

***Fonte*:** Mollah, et al *(2004)*

2.5.5. Resultados de estudos desenvolvidos por alguns pesquisadores na área de tratamento de águas residuais na lavagem de automóveis

Foram realizados vários estudos por alguns pesquisadores na área de tratamento de águas residuais proveniente do processo de lavagem de automóveis onde mostram os melhores resultados obtidos na realização de vários tratamentos para o efluente bruto do processo de lavagem de automóveis como ilustra a Tabela 2.

Tabela 2. Resultados de tratamentos de água residual proveniente do processo de lavagem de automóveis

Tipo de Tratamento	*Melhores Resultados*	*Autores*
Biodigestores	Redução de DBO de 90 a 96%	Rodrigues et al (2021)
Equalização, Decantação e Filtração	Cor aparente 90% Turbidez 90%	Coelho & Silva (2019)
Electrofloculação e Teste de jarros	Turbidez 99.17% a 98.84%	Ferreira (2018)
Coagulação, floculação, Sedimentação, Filtro de areia, ultrafiltração de cerâmica e osmose reversa.	Turbidez 99.9%, sólidos suspensos 100% e DQO 96%	Moazzem (2018)
Floculação com sulfato de alumínio e tratamento físico-químico com cloro	Turbidez 98.2%, DQO 96.23%, DBO 94.29% e sólidos totais 72.35%	Luz (2017)
Contator biológico rotativo	Cor 82%, Turbidez 90%, e DQO 92%	Subtil (2016)
Bioreactor de membranas	Sólidos suspensos 100%, DQO 99.2%, Carbono 97.3% e Amônia 41%	Boluarte (2016)
Floculação-flotação em coluna, Filtração em areia	Turbidez 97%, Sólidos suspensos totais 91%, Fósforo 80%, Sulfetos 76%, DQO 76% e DBO 70%	Etchepare (2012)
Floculação e Sedimentação	Cor 96.9%, Turbidez 93.7%, Sólidos sedimentados 100%, óleos e gorduras 99.4% e DBO 80%	Morelli (2005)

Fonte: *(Araújo, 2020)*

2.6. Enquadramento legal

2.6.1. Legislação nacional

Regulamento de Padrões de Qualidade de Água Bruta e de Descargas de Efluentes Líquidos e Sólidos

(Decreto n.º 52/2023)

O presente Regulamento estabelece as normas que definem os padrões de qualidade de água bruta e de descarga de efluentes, fixando os níveis máximos admissíveis de concentração de poluentes nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, conforme ilustra a Tabela 13 do Anexo 4

2.6.2. Legislação internacional

EPA

A Agência de Protecção Ambiental (EPA) é uma agência independente do governo dos Estados Unidos encarregada de questões de proteção ambiental .

A missão da EPA é proteger a saúde humana e o meio ambiente.

Tratamento e reaproveitamento de água fora dos EUA

Os principais benefícios da utilização de água recuperada nestas situações são a conservação dos recursos hídricos e a redução da poluição, conforme ilustra a Tabela 14 do anexo 4 .

.

3. Área de estudo

O Dallas Car Wash localiza-se na Cidade de Maputo, especificamente no Bairro do Jardim, na Rua das Trepadeiras. Dallas Car Wash encontra-se a **840,68 metros** da Fábrica de Cerveja de Moçambique (CDM), a **1,58 km** da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) e a **1,32 km** do Rio Infulene conforme é ilustra a Figura 13.

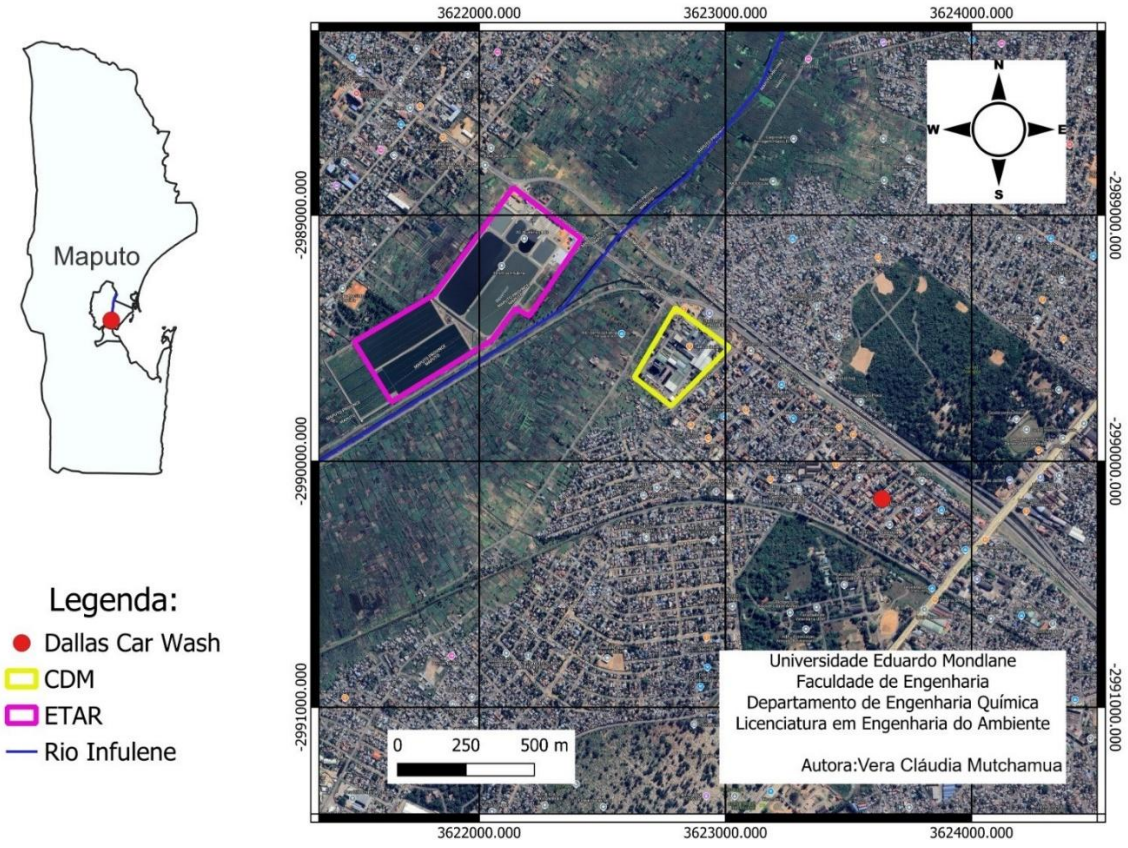


Figura 13. *Localização Dallas Car Wash*

Clima

A província de Maputo é caracterizada por um clima tropical seco, e o período mais frio compreende os meses de Maio a Outubro, e o quente compreende os meses de Novembro a Abril, onde a temperatura tem atingido um máximo de 43°C nos meses de Janeiro e Novembro e uma precipitação de 152,4 mm no mês de Janeiro. A precipitação média anual da província de Maputo varia entre 600 e 800 mm, e o período de maior precipitação têm início no mês de Novembro até Março que correspondem aos meses mais quentes do ano (Ministério da Administração Estadal, 2005).

4. Materiais e métodos

4.1. Equipamentos / Materiais usados

Para a elaboração da parte experimental do presente trabalho foram usados os seguintes equipamentos ilustrados na Tabela 3.

Tabela 3.Equipamentos e materiais usados

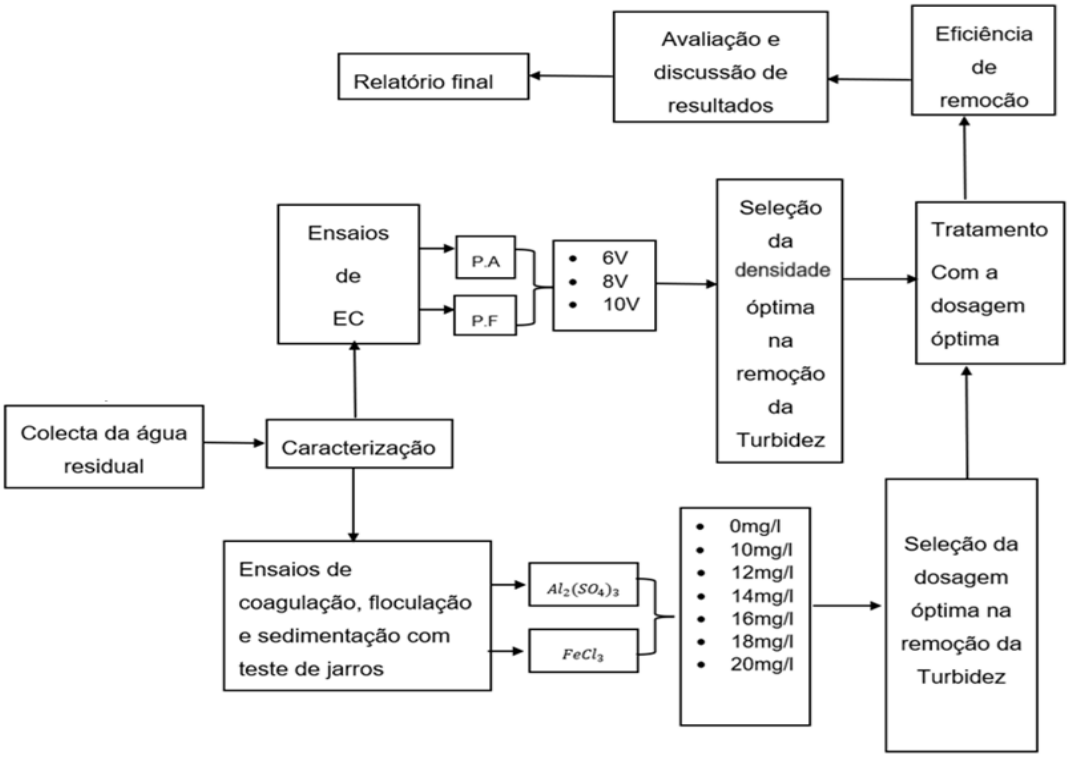
Equipamentos	Aplicação	Local de uso
Sonda multi-parâmetros Hatch hq40d	Medição de temperatura, pH, TDS, condutividade eléctrica, oxigénio dissolvido	In-situ e Laboratório
Turbidímetro (430 T – WTW)	Medição de Turbidez	Laboratório
Incubadora (Aqualytic)	Análises de Demanda Bioquímica de Oxigénio	Laboratório
Espectrofotómetro Stuart SBH200D	Análises de Demanda Química de Oxigénio	Laboratório
Garrafas plásticas	Acondicionamento das amostras	In-situ
Água destilada	Lavagem de recipientes e das sondas dos equipamentos	In-situ e Laboratório
Bloco de notas e esferográfica	Anotação das medições dos parâmetros, condições do meio envolvente e observações relevantes	In-situ e Laboratório

Fonte*:* Adaptado pela autora

4.2. Procedimentos Experimentais

O presente trabalho científico foi elaborado obedecendo as seguintes etapas:

Colecta da água residual proveniente do processo de lavagem de automóveis, caracterização da água residual, realização de ensaios laboratoriais com coagulação, floculação e sedimentação com testes de jarros com coagulantes de sulfato de alumínio e cloreto de ferro III. Foram testadas várias dosagens para determinar a dosagem óptima na remoção da turbidez, e efectuou-se o tratamento com a dosagem óptima. Posteriormente, realizaram-se ensaios de electrocoagulação com placas de alumínio e ferro, e foram variadas as voltagens de corrente e por conseguinte a intensidade de corrente também variou, com o objectivo de seleccionar a densidade de corrente ideal para a remoção da turbidez, e efectuou-se o tratamento com a densidade de corrente óptima. Após os tratamentos analisou-se a eficiência dos métodos de tratamentos aplicados, realizou-se uma avaliação e discutiu-se os resultados com a eficácia dos tratamentos, e por fim elaborou-se o relatório final. Conforme ilustra o Fluxograma1



Fluxograma 1 Metodologia usada para realização do presente relatório

Fonte: Adaptado pela autora

4.2.1 Trabalho de campo e colecta da amostra

O trabalho de campo consistiu em visitas feitas ao local de estudo, com vista a analisar o modo de operação, os detergentes usados, e o descarte da água residual. A colecta do efluente foi realizada no ponto de descarga do efluente e foi acondicionada em garrafas plásticas de 5, 7 e de 12 litros.

4.2.2 Caracterização dos efluentes

A caracterização de efluentes consistiu na análise e descrição das propriedades físicas e químicas da amostra de água residual proveniente do processo de lavagem de automóveis do Dallas Carwash. As análise de caracterização de efluentes foram realizadas no laboratório de Hidráulica Sanitária do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane (FEUEM) com base na adaptação dos métodos contidos no livro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Greenberg, Trussell, & Clesceri, 1985), para a caracterização de efluentes foram feitas as seguintes análises dos parâmetros físicos-químicos: pH, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), condutividade eléctrica, turbidez, Demanda Bioquímica Oxigénio (DBO), e Demanda Química de Oxigénio (DQO), que foram usados os equipamentos e materiais descritos na tabela 2.

4.2.3. Preparação dos coagulantes

Para a preparação dos coagulantes utilizados nos experimentos do presente relatório, foram seguidos os procedimentos específicos descritos nos Anexos 1.

4.2.4 Procedimentos de ensaios

Após a preparação dos coagulantes foram realizados ensaios laboratoriais que consistiram em duas etapas:

I. Etapa: Coagulação, floculação e sedimentação.

I. Fase: Ensaios de coagulação, floculação e sedimentação

A primeira fase da primeira etapa, consistiu na realização de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação usando teste de jarros.

4.2.4.1. Teste de jarros

Para os ensaios de testes de jarros inicialmente foram analisadas as amostras com análises de temperatura, pH e turbidez. Foram colocados 1500ml da amostra copos de 2000ml e foram adicionadas diferentes dosagens predeterminadas de soluções de sulfato de alumínio ($(Al_2SO_4)_3 \cdot 14\ H_2O$) e cloreto de ferro ($FeCl_3 \cdot 6\ H_2O$) em diferentes copos. Os ensaios foram realizados em diferentes copos, onde fez-se a mistura do coagulante e da amostra a uma velocidade de 120rpm durante 3 min e uma mistura lenta a uma velocidade de 40 rpm durante 17 min, observou-se a formação dos flocos e deixou-se sedimentar por 15min para que os flocos possam sedimentar com a gravidade, e por fim fez-se as analises das amostras com medições de temperatura, pH e turbidez, e escolheu-se a dosagem óptima com base na eficiência de remoção da turbidez, conforme ilustram as Figura 9 e 10 do Anexo 2.

II. Fase: Tratamento de coagulação, floculação e sedimentação

A segunda fase da primeira etapa, consistiu na realização do tratamento de coagulação, floculação e sedimentação em escala maior. De modo a analisar a eficiência deste tratamento em termos de remoção dos contaminantes em maior escala.

4.2.4.2. Tratamento de coagulação, floculação e sedimentação

O tratamento foi feito em um tanque de mistura e agitação de fluidos da marca Armfield com um volume de 30l de capacidade, o tipo de agitador usado para esta experiência foi uma turbina. Para a realização do tratamento fez-se o calculo da dosagem necessária com base na para se usar em um tanque de 30l de capacidade usando a dosagem óptima encontrada anteriormente no teste de jarros, para saber a quantidade necessária de coagulante para se adicionar em uma escala maior, adicionado o coagulante no tanque, realizou-se uma agitação rápida a uma velocidade de 120 rpm durante 3 minutos para misturar o coagulante e a amostra, e de seguida uma agitação lenta a 40 rpm por 17min durante esse processo observou-se a formação dos flocos, e deixou-se sedimentar por 30min, permitindo que os flocos sedimentassem com a gravidade, conforme ilustram as Figura 12 e 13 do Anexo 2, por fim analisou-se a amostra com medições de Temperatura, ph, turbidez, DBO, DQO, óleos e gorduras.

II. Etapa: Coagulação, floculação e sedimentação, e electrocoagulação

I. Fase: Ensaios de coagulação, floculação e sedimentação e ensaios de eletrocoagulação

A primeira fase da segunda etapa consiste na realização de ensaio de coagulação, floculação e sedimentação com teste de jarros, e ensaios de electrocoagulação em um reactor electrolitico.

4.2.4.3. Ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com teste de jarros

Para a realização dos ensaios de teste de jarros foram usados os mesmos procedimentos descritos na primeira etapa da primeira fase.

4.2.4.4. Ensaios de eletrocoagulação

Em um reactor electrolítico adaptado com um copo de becker de 2l de capacidade, eléctrodo de arranjo monopolar, fonte continua, placas de alumínio e ferro. O sistema de eléctrodo monopolar foi montado com 4 placas de alumínio, e posteriorimente foram montadas placas de ferro, conectados electricamente em paralelo. As placas de alumínio e ferro tem dimensões de 12.5 cm de altura e 4.5 cm de largura com espessura de 0.2 cm. O eléctrodo teve suas placas conectadas em paralelo fixadas por cabo de madeira para manter a equidistância e facilitar o manuseio. adaptou-se um sistema de “plug” macho-fêmea, para facilitar a retirada e desligamento.

Inicialmente foram analisadas as amostras com análises de temperatura, pH e turbidez, depois foram colocados 1500ml da amostra no copo de 2000ml aplicou-se a corrente eléctrica através de eléctrodos de alumínio, e posteriorimente placas de ferro, e variou-se a intensidade para a determinação da densidade de corrente óptima que tem a melhor remoção de turbidez, e por fim, fez-se as analises das amostras com medições de temperatura, pH e turbidez, e escolheu-se a densidade de corrente óptima com base na eficiência de remoção da turbidez, conforme ilustram as Figura 17 e 18 do Anexo 2.

II. Fase: Tratamento de coagulação, floculação e sedimentação e tratamento de eletrocoagulação

A segunda fase da segunda etapa, consiste na realização de tratamento de coagulação, floculação e sedimentação em menor escala, e tratamento de electrocoagulação em menor. O objectivo desta fase é analisar e comparar a eficiência de remoção destes tratamentos e analisar qual deles oferece melhores resultados.

4.2.4.5. Tratamento de coagulação, floculação e sedimentação

Com a dosagem óptima encontrada anteriormente realizou-se um tratamento em uma escala menor, em um copo de Becker de 2000ml foram adicionados 1500ml da amostra para o tratamento, fez-se uma mistura rápida a uma velocidade de 120 rpm durante 3 minutos, e de seguida uma agitação lenta a 40 rpm por 17min durante esse processo observou-se a formação dos flocos, e deixou-se sedimentar por 15min, permitindo que os flocos sedimentassem com a gravidade, conforme ilustram as Figura 14 e 15 do Anexo 2 e por fim analisou-se a amostra com medições de Temperatura, ph, turbidez, DBO, DQO.

4.2.4.6. Tratamento com electrocoagulação: Com a densidade de corrente óptima encontrada anteriormente, fez-se a o tratamento em um copo de becker de 2000ml e foram adicionados 1500ml da amostra para o tratamento, conforme ilustram as Figura 19 e 20 do Anexo 2, por fim analisou-se a amostra com medições de Temperatura, ph, turbidez, DBO, DQO.

5. Apresentação e discussão de resultados

5.1. Caracterização do efluente

Para a caracterização do efluente foram feitas análises dos parâmetros físico-químicos do efluente de lavagem de automóveis do Dallas Car Wash ilustradas na Tabela 4, em comparação com a Legislação Nacional Decreto nº 52/2023 (Regulamento de padrões de qualidade de água bruta e de descargas de efluentes líquidos e sólidos) e a Legislação Internacional EPA (Tratamento e reaproveitamento de água fora dos EUA).

Tabela 4. Caracterização de efluente

	1ªCAMPANHA 29.04.2024		2ª CAMPANHA 20.05.2024		3ª CAMPANHA 10.06.2024		4ª CAMPANHA 01.07.2024		5ª CAMPANHA 22.07.2024		6ªCAMPANHA 12.08.2024		MÉDIA DAS CAMPANHAS		LEGISLAÇÃO NACIONAL E INTERNACIONAL	
parâmetros	**Média**	**Desvio**	**Média**	**Desvio**	**Média**	**Desvio**	**Média**	**Desvio**	**Média**	**Desvio**	**Média**	**Desvio**	**Média**	**Desvio**	**D nº 52/2023**	**EPA**
pH	7.32	0.025	7.68	0.021	7.86	0.010	7.86	0.010	7.92	0.015	7.67	0.010	7.72	0.015	6-9	6-9
T(°C)	21.50	0.100	22.33	0.058	22.77	0.058	21.43	0.058	21.90	0.100	22.43	0.058	22.06	0.072	-	-
CE (µs/cm)	826.00	4.000	826.67	6.028	804.33	1.528	731.33	0.577	777.00	1.000	731.33	0.577	782.78	2.285	-	-
STD (mg/L)	549.12	0.640	512.21	0.370	487.04	0.640	468.05	0.370	497.28	0.640	481.28	0.640	499.16	0.550	-	-
TURBIDEZ (NTU)	72.43	0.850	152.40	0.985	87.63	0.513	58.23	1.002	87.53	0.666	152.90	0.895	101.86	0.819	-	0.1-30
DBO (mg/L)	113.40	1.311	169.37	0.755	126.30	0.557	103.53	0.945	118.87	0.451	122.40	1.015	125.65	0.839	30	10-45
DQO (mg/L)	189.00	2.186	282.28	1.259	210.50	0.928	172.56	1.575	198.11	0.752	204	1.691	209.41	1.399	150	20-90
ÓLEO E GORDURA (mg/L)	22.23	0.058	26.5	0.100	15.36	0.006							21.37	0.055	10	10

Nota: Para ensaios de Óleo e Gordura só foram possíveis a realização em três campanhas devido a falta de reagentes no laboratório. A média das campanhas foram usadas para efeitos de comparação.

5.1.1. pH e turbidez

Conforme ilustra a Tabela 4, verificou-se que o pH da água residual proveniente do processo de lavagem de automóveis do presente caso de estudo apresentou uma média das campanhas de 7,72, comparando com as normas nacionais e internacionais o pH está dentro dos limites admissíveis, e a turbidez está com uma média de 101,86 NTU está fora dos limites admissíveis máximos pelo Decreto Nacional nº 180/2004 e da Norma Internacional EPA.

Segundo Ferreira et al. (2008), em seu estudo o efluente bruto gerado na estação de lavagem de automóveis apresentou uma média de campanhas de pH de 6,21 e turbidez 46,34 NTU, e Aluiz (2019) apresentou em média um pH de 12 e turbidez de 914 NTU.

O aumento ou a diminuição do pH está directamente relacionado com detergentes utilizados no processo de lavagem dos automóveis, detergentes de caracter alcalinos tendem a aumentar o pH, e detergentes de caracter ácidos tendem a diminuir o pH. Ferreira et al. (2008) apresentou em seu estudo um pH ácido devido ao uso de detergentes de caracter ácido e Aluiz (2019) apresentou um pH alcalino devido ao uso de detergentes de caracter alcalino usados para o processo de lavagem de automoveis. O Dallas Car Wash usa detergentes de caracter neutro para lavagens exteriores e interior, e detergentes de caracter alcalino para lavagens de pneus, chassis e motores por isso apresentou um pH ligeiramente alcalino devido a uso detergentes de caracter neutro e alcalino usados no processo de lavagem de automóveis, conforme ilustram as Figura 26 e 27 do anexo 6.

Os resultados de análises de turbidez em estudos de tratamento de água proveniente das estações de lavagem de automóveis, variam devido a diferentes factores. Como a sujidade dos automóveis lavados (automóveis mais sujos podem gerar mais resíduos, aumentando a turbidez da água colectada), os tipos de lavagens aplicadas (sistema que utiliza mais água ou que faz uma lavagem com mais pressão pode gerar uma quantidade maior de resíduos e aumentar a turbidez), o fluxo de lavagem, região. E também podem varia consoante a época do ano, durante períodos chuvosos é possível que haja maior arrasto de sedimentos o que pode aumentar a turbidez da água residual proveniente deste processo.

5.1.2. Temperatura

Radicchi (2014) define a temperatura como a medida da intensidade de calor; e afirma que a mesma é um parâmetro importante, pois, influencia em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido). A temperatura constatada na análise, realizada por Vieira (2003), em águas residuais proveniente de processos de lavagem automóveis apresentou valores entre 26,4 e 28,8°C. E a temperatura do Dallas car wash é em média 22,06 °C conforme ilustra, a temperatura para cada caso de estudo varia consoante a temperatura do ar de cada região e das fontes de descarte das águas residuais proveniente desses processos.

5.1.3. Condutividade eléctrica

Para Peralta et al. (2014) em seu caso de estudo relacionado ao tratamento de efluentes provenientes da lavagem de automóveis, a condutividade foi de 300µS/cm, e para Silva et al. (2017) foi de 614µS/cm. Para o presente caso de estudo a condutividade eléctrica apresentou uma média de 782.77 µS/cm , a condutividade varia para cada caso de estudo devido a concentração de íons (A condutividade eléctrica está directamente proporcional a concentração de íons dissolvidos o que aumenta a condutividade), presença de detergentes (O detergente dissolve-se na água e dissociam-se íons aumentando a condutividade), maiores valores de condutividade tem maior presença de ions dissolvidos tendo por exemplo o caso de estudo.

5.1.4. DBO e DQO

Para análises de DBO e DQO para efluentes brutos provenientes do processo de lavagem de automóveis, Etchepare (2012) apresentou uma média de DBO 525 mg/L e DQO 1608 mg/L, e Peralta et al. (2014) apresentou uma média de DBO 111,4 mg/L e DQO 165,7 mg/L. E o presente caso de estudo apresentou uma média de DBO 125,65 e DQO 209,41mg/l. Para valores apresentados por Etchepare (2012), indica uma carga significativa de matéria orgânica biodegradável, e valores de DQO indica uma carga total de poluentes (biodegradáveis e não biodegradáveis). E para o presente caso de estudo e Peralta et al. (2014), valores de DBO são mais baixo o que indica uma menor quantidade de matéria orgânica biodegradável, enquanto a DQO reflete a presença de uma quantidade menor de poluentes. Com base na caracterização DBO, DQO

apresentam concentrações elevadas e fora dos limites estabelecidos pelo Decreto Nacional 52/2023 e pelo padrão internacional (EPA), conforme ilustra a Tabela 4. Esses efluentes nessas concentrações podem causar impactos negativos ao meio ambiente se descartados sem tratamento prévio. Portanto, é essencial implementar métodos de tratamento adequados para reduzir esses poluentes.

5.1.5. Óleo e gordura

A análise dos dados obtidos em diferentes casos de estudo revela que as concentrações de óleos e gorduras variam significativamente conforme a intensidade e a abrangência do processo de lavagem dos automóveis, particularmente nas áreas do motor e parte inferior. Etchepare (2012) e, Bohn (2014) apresentaram concentrações de 8,8 mg/L e 19,44 mg/L em seus estudos, o que refletem um processo de lavagem com menor incidência nessas zonas, resultando em menores níveis de concentração de óleos e gorduras. Morelli E. B (2005) apresenta uma média de 252 mg/L o que indicam uma maior frequência de lavagem nessas áreas, com consequente aumento nas concentrações de óleos e gorduras. A análise de óleo e gordura para o presente caso de estudo teve uma média das campanhas de 21,37 mg/L, apresenta uma concentração de menor incidência de lavagem de motores, chassis e parte inferior do automóvel, o efluente bruto excede os limites estabelecidos pelo Decreto 52/2023.

5.2. Primeira etapa: Coagulação, floculação e sedimentação

5.2.1. I. Fase ensaios: Ensaios de coagulação, floculação e sedimentação

Nesta primeira fase foram realizados ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com testes de jarros para avaliar a eficiência de remoção da turbidez com diferentes dosagens de coagulantes e identificar a dosagem óptima que proporciona a melhor remoção e eficiência de remoção da turbidez.

5.2.1.1. Determinação da dosagem óptima para ensaios com coagulação, floculação e sedimentação com teste jarros

Com base nas informações obtidas no Gráfico 1, pode-se constatar que a dosagem óptima de sulfato de alumínio foi de 21 mg/L na primeira campanha e 24 mg/L na segunda e terceira campanha.

No gráfico 2 pode-se observar que a dosagem óptima de cloreto de ferro III foi de 24 mg/L na primeira e segunda campanha e 27 mg/L na terceira campanha, estas dosagens apresentaram maior eficiência de remoção da turbidez na amostra de água bruta.

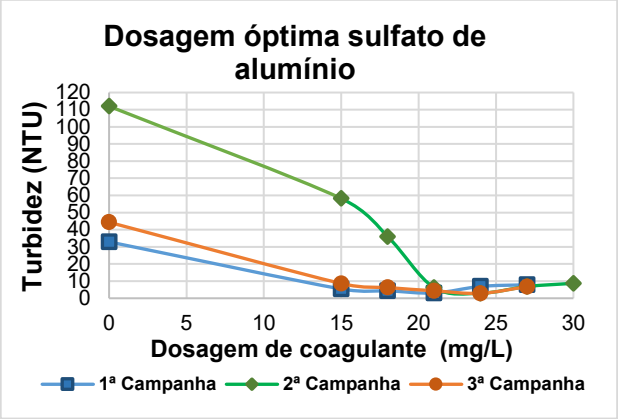


Gráfico 1. Dosagem óptima de sulfato de alumínio em função da turbidez

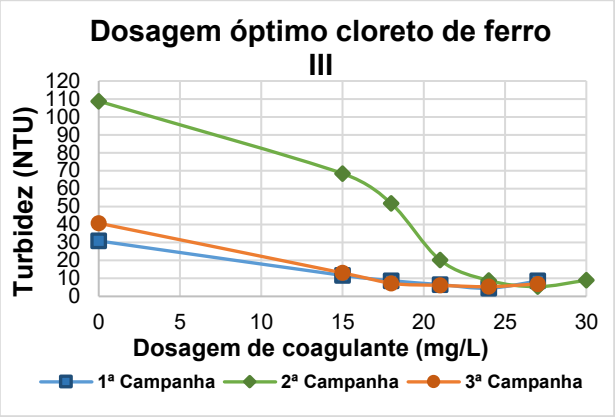


Gráfico 2. Dosagem óptima de cloreto de ferro III em função da turbidez

Essas dosagens apresentaram melhores resultados da remoção da turbidez usando sulfato de alumínio e cloreto de ferro III, valores acima destas dosagens apresentam excesso de coagulante e valores abaixo apresentam menor eficiência de remoção da turbidez.

O sulfato de alumínio apresentou uma óptima eficiência de remoção da turbidez comparado com o cloreto de ferro III. A dosagem óptima de sulfato de alumínio e cloreto de ferro III para as três campanhas variou devido a diferença na qualidade do efluente em cada campanha (temperatura, pH, turbidez, composição das partículas), o que indica que a capacidade de coagulação não só depende da dosagem, mas também das características do efluente.

II. Fase: Tratamento de coagulação, floculação e sedimentação

Nesta fase os tratamentos foram realizados em uma maior escala com coagulação, floculação e sedimentação, com coagulantes de sulfato de alumínio e cloreto de ferro III.

5.2.1.2. Determinação da remoção e eficiência de remoção no tratamento com coagulação, floculação e sedimentação

5.2.1.3. Remoção e Eficiência de remoção da turbidez

Analisando o gráfico 3 e 4, observa-se que o efluente bruto apresenta um nível elevado de turbidez. Na primeira, segunda e terceira campanha os valores de turbidez foram de 72,43; 152,40; e 87,63 NTU. Após o tratamento obteve-se uma remoção da turbidez de 2,95; 3,15; 2,98 NTU e eficiência de remoção de 96, 98, 95% com sulfato de alumínio e 6,09; 7,94; 6,46 NTU e 92, 95, 91% com cloreto de ferro III para a primeira, segunda e terceira campanha.

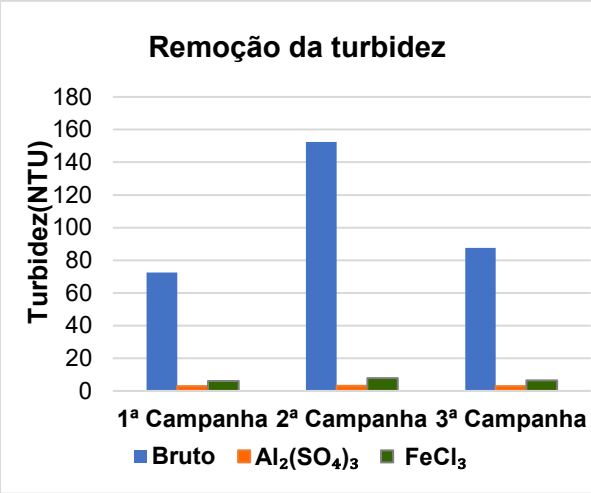


Gráfico 3. Remoção da turbidez

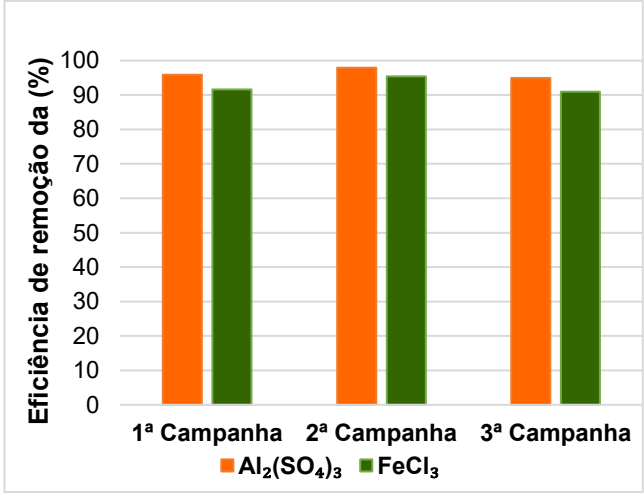


Gráfico 4. Eficiência de remoção da turbidez

Nota: Para efeitos de comparação foram usados alguns estudos de efluentes têxtil para avaliação dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto de ferro III, devido a falta de informação do coagulante cloreto de ferro III para efluente provenientes do processo de lavagem de automóveis.

De acordo com Canezim (2021), em seu estudo relacionado com efluentes têxteis apresentou valores iniciais de turbidez de 618NTU para um pH neutro, 688NTU para um pH acido, 649NTU para um pH alcalino, após tratamento com coagulação, floculação e sedimentação apresentou valores de remoção e eficiência de turbidez é de 263NTU e 57,44% para um pH neutro, 110NTU e 84,01% para um pH acido, e 176NTU e 72,88% para um pH alcalino com sulfato de alumínio. E para cloreto de ferro III apresentou

valores de turbidez de 334NTU e 45,95% para um pH neutro, 68,56 NTU e 90,03% para um pH acido e 289NTU e 55,46% para um pH alcalino.

Canezim (2021), constatou em seu estudo de efluente têxtil que o sulfato de alumínio apresenta melhor eficiência de remoção da turbidez com pH neutro e alcalino e o cloreto de ferro III apresenta melhor remoção para um pH acido.

Segundo Fayed et al (2023), em seu estudo relacionado com efluentes provenientes do processo de lavagem de automóveis apresentou valores iniciais de turbidez de 1526 NTU para efluente bruto, após tratamento com sulfato de alumínio apresentou valores de remoção e eficiência de turbidez de 204,484 NTU e 86,6%.

Analisando o efluente proveniente da lavagem de automóveis do presente caso de estudo, o efluente apresentou uma característica similar ao estudo realizado Canezim (2021), usando o coagulante sulfato de alumínio e cloreto de ferro III. Pode se constatar que o coagulante sulfato de alumínio apresenta melhor remoção e eficiência de remoção da turbidez comparado ao cloreto de ferro III, o efluente apresentou características de um pH ligeiramente alcalino conforme ilustra a Tabela 4. Os tratamentos com sulfato de alumínio com pH alcalinos tendem a ser mais eficientes comparado com cloreto de ferro III.

Apesar do cloreto de ferro III apresentar flocos maiores e mais estáveis comparado com o sulfato de alumínio é menos eficiente na remoção da turbidez devido a oxidação do ferro que pode interferir na turbidez principalmente ao gerar partículas finas de ferro que não sedimentam facilmente e permanecem suspensas na água, aumentando a turbidez.

5.2.1.4. Remoção e eficiência de remoção do DBO e DQO

DBO

Analisando o gráfico 5 e 6 observa-se que o efluente bruto apresenta um nível elevado de DBO. Na primeira, segunda e terceira campanha os valores de DBO foram de 113,40; 169,37; e 126,37 mg/L. Após o tratamento com coagulação, floculação e sedimentação obteve-se uma remoção do DBO de 9,94; 16,32; 13,64 NTU e eficiência de remoção de 92, 90, 91% com sulfato de alumínio e 8,01; 13,64; 11,77 NTU e 96, 95, 96% com cloreto de ferro III para a primeira, segunda e terceira campanha.

DQO

Analisando o gráfico 5 e 6, observa-se que o efluente bruto apresenta um nível elevado de DQO. Na primeira, segunda e terceira campanha os valores de DQO foram de 189; 282,28; e 210,50 mg/L. Após o tratamento com coagulação, floculação e sedimentação obteve-se uma remoção do DQO de 15,90; 27,21; 19,62 NTU e eficiência de remoção de 92, 90, 91% com sulfato de Alumínio e 8,01; 13,64; 11,77 NTU e 93, 92, 94% com Cloreto de Ferro III para a primeira, segunda e terceira campanha.

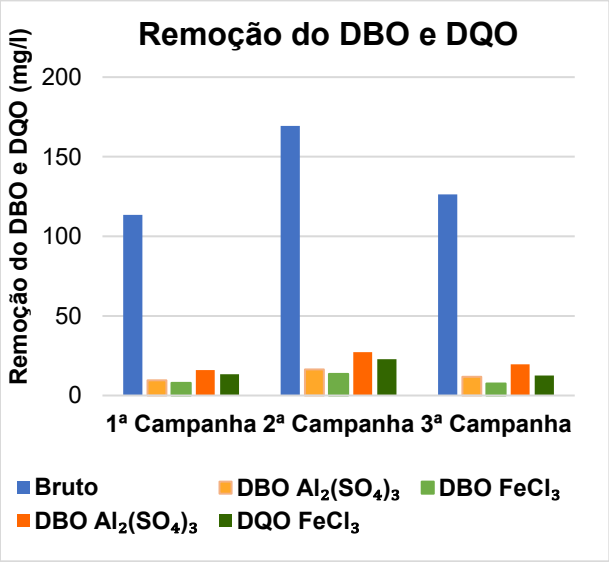


Gráfico 5. Remoção do DBO e DQO

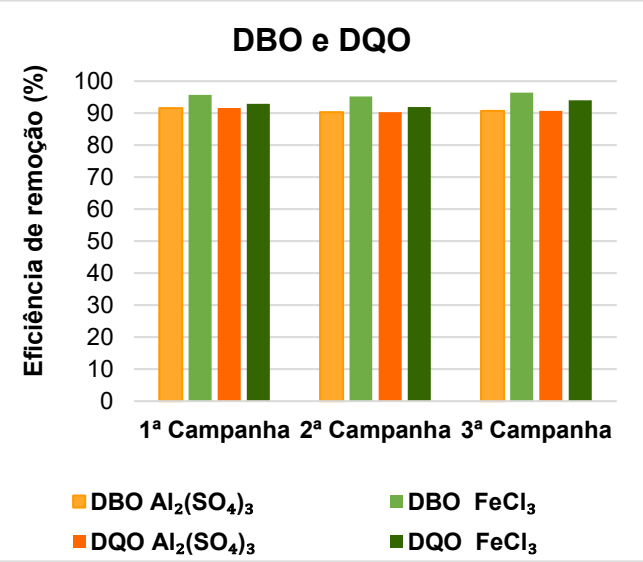


Gráfico 6. Eficiência de remoção do DBO e DQO

DBO e DQO

De acordo com Carvalho, Duarte e Manca (2020) em seus casos de estudo relacionados a efluentes provenientes do processo de lavagem de automóveis apresentaram valores inicias de DBO 17 mg/L e DQO 64 mg/L para efluente bruto, após tratamento com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio apresentou valores de remoção de DBO 11 mg/L e DQO 29 mg/L e de eficiência de remoção de 59% para DBO e 60% para DQO. E Halim & Abu (2013) apresentaram valores iniciais de DBO e DQO 360 mg/L e 600mg/L, após tratamento com coagulação, floculação e sedimentação apresentou valores de remoção e eficiência de DBO 194,4 mg/L, DQO 324 mg/L e 67,67%, 46%, para sulfato de alumínio, e para cloreto de ferro III os valores de remoção e eficiência de remoção de DBO e DQO são 144mg/L, 240mg/L, 76 e 60%.

Nota: Para os resultados do caso de estudo de Halim e Abu (2013) de efluentes provenientes da lavagem de automóveis, os autores não apresentaram resultados de DBO, para obtenção de valores de DBO realizou-se uma relação de DBO e DQO.

Observando o gráfico 5 e 6 e relacionando com os estudos apresentados anteriormente pode-se constatar que o cloreto de ferro III é mais eficiente na remoção de DBO e DQO comparando com sulfato de alumínio. Devido a maior capacidade de coagulação do cloreto de ferro III, gerando maiores flocos, mais densos e pesados, que têm maior capacidade de adsorver partículas e matéria orgânica.

5.2.1.5. Eficiência de remoção do óleo e gorduras

Analisando o gráfico 7 e 8, observa-se que o efluente bruto apresenta um nível elevado de óleo e gordura. na primeira, segunda e terceira campanha os valores de óleo e gordura foram de 22,23; 26,5; e 15,36 mg/L. Após o tratamento obteve-se uma remoção da turbidez de 2,17; 2,37; 1,04 mg/L e eficiência de remoção de 90, 91, 93% com sulfato de alumínio e 1,10; 0,93; 0,50 mg/L e 95, 96, 97% com cloreto de ferro para a primeira, segunda e terceira campanha.

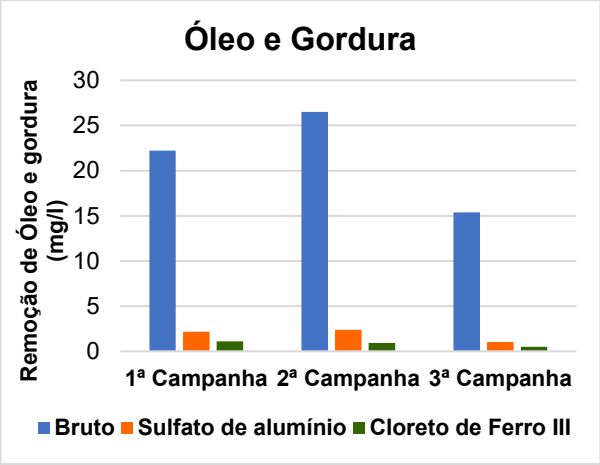


Gráfico 7. Remoção de óleo e Gordura

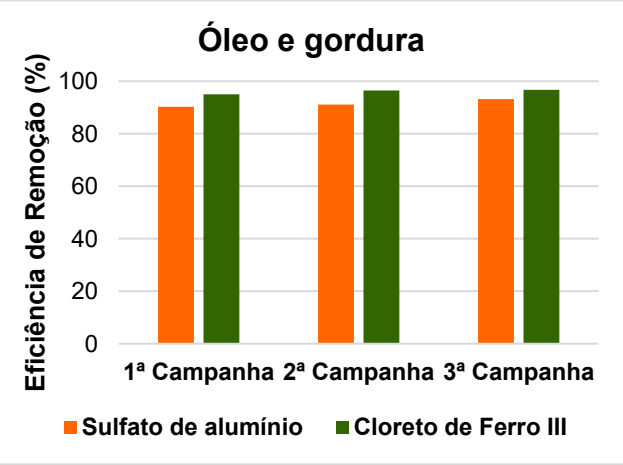


Gráfico 8. Eficiência remoção de óleo e gordura

Carvalho, Duarte e Manca (2020) em seus estudos apresentaram valores de 115 mg/L de óleo e gordura do seu efluente bruto e apos tratamento com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio apresentaram valores de remoção de 4,3 mg/l e de eficiência de remoção 97%.

A quantidade de óleos e gorduras presente em cada caso de estudo varia consoante a

lavagem que é feita nas estações de lavagem de automóveis, se não for efectuada a lavagem do motor ou a parte inferior do motor com muita frequência o nível de óleo e Gordura será menor.

Após o tratamento verificou-se que o cloreto de ferro III apresenta melhores resultados na remoção de óleo e gordura o que demonstra uma maior eficiência comparado ao sulfato de alumínio. Devido a capacidade do cloreto de ferro III formar flocos mais densos e maiores, o que facilita a remoção de partículas e é particularmente eficaz na desestabilização das emulsões de óleo e gordura.

Nota: Só foram possíveis a realização de analises de óleos e gorduras na primeira etapa e primeira fase dos ensaios devido a falta reagentes no laboratório.

5.3. II. Etapa: Coagulação, floculação e sedimentação e electrocoagulação

I. Fase: Ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com testes de jarro e ensaios de electrocoagulação

Nesta fase foram realizados ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com testes de jarros e coagulantes sulfato de alumínio e cloreto de ferro e ensaios de electrocoagulação com placas de alumínio e ferro.

5.3.1. Ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com testes de jarro

Com base nas informações obtidas no gráfico 9, pode-se constatar que a dosagem óptima de sulfato de alumínio foi de 21 mg/l na primeira campanha e segunda e 27mg/l na terceira campanha, estas dosagens apresentaram maior eficiência de remoção da turbidez na amostra de água bruta.

Com base nas informações obtidas no gráfico 10 pode-se constatar que a dosagem óptima de cloreto de ferro foi de 24 e 27 mg/l, onde 24 mg/l na primeira e segunda campanha e 27 mg/l na terceira campanha, apresentaram maior eficiência de remoção da turbidez na amostra de água bruta.

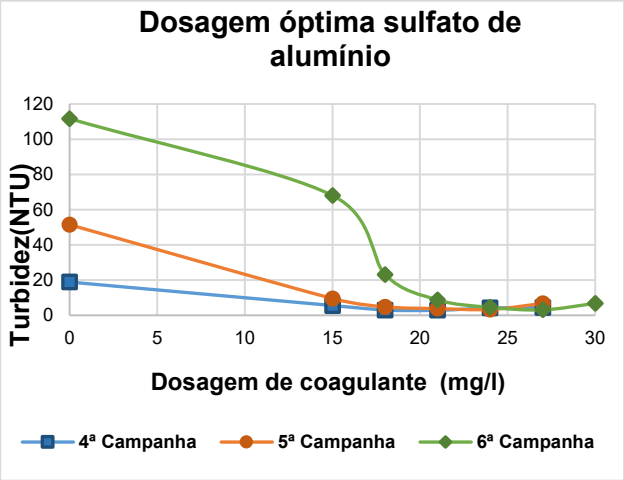


Gráfico 9. Dosagem óptima de sulfato de alumínio em função da turbidez

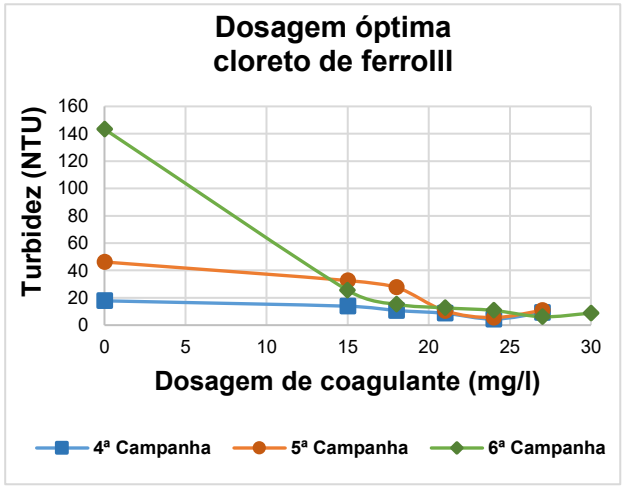


Gráfico 10. Dosagem óptima de cloreto de ferro III em função da turbidez

Nota: A explicação sobre a variação das dosagens óptimas para cada campanha e a dosagem que melhor remove a turbidez do Grafico 1 e 2 aplicam-se igualmente aos Gráficos 9 e 10.

5.3.2. Ensaios de electrocoagulação

Nesta fase foram realizados ensaios de electrocoagulação com placas de alumínio e posteriorimente placas de ferro. Os gráficos 11 e 12 mostram os ensaios realizados para avaliar a remoção e eficácia de remoção da turbidez com diferentes densidades de corrente.

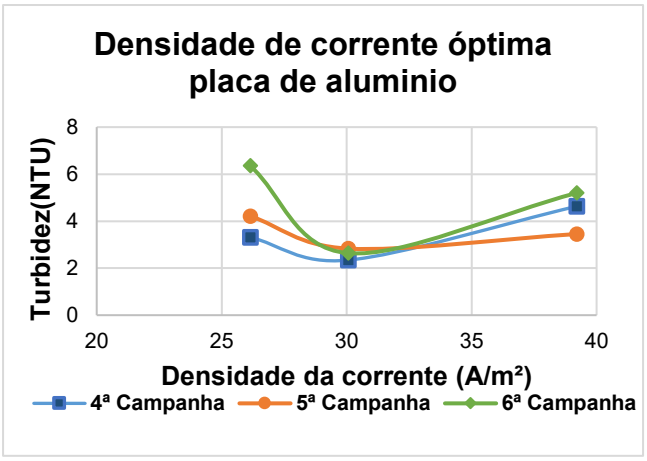


Gráfico 11. Densidade de corrente óptima com placas de alumínio em função da turbidez

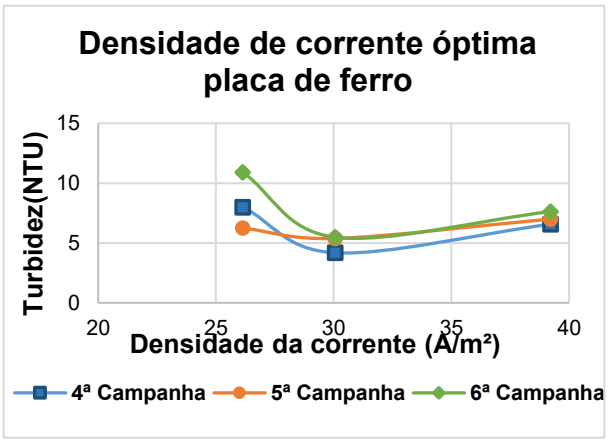


Gráfico 12. Densidade de corrente óptima com placas de ferro em função da turbidez

E permitem identificar a densidade de corrente que proporciona a melhor de remoção da turbidez, valores abaixo da densidade óptima apresentam baixa eficiência de remoção da turbidez, e valores acima da melhor densidade de corrente apresentam a liberação excessiva de coagulante, e consequentemente a geração de uma grande quantidade de flocos mais densos que não sedimentam correctamente e assim o acréscimo da turbidez. Com base nas informações obtidas no gráfico 11 e 12 pode-se constatar que a densidade de corrente óptima, que melhor remove a turbidez é de 30 A/m^2 com placas de alumínio e ferro nas três campanhas.

5.4. II. Fase: Tratamento de coagulação, floculação e sedimentação, e tratamento de electrocoagulação

Nesta fase foram realizados tratamentos de coagulação, floculação e sedimentação em uma escala menor com coagulantes de sulfato de alumínio e cloreto de ferro, e tratamento de electrocoagulação com placas de alumínio e ferro para efeitos de comparação dos tratamentos na remoção e eficiência de contaminantes.

5.4.1. Comportamento do pH no tratamento do efluente com coagulação, floculação e sedimentação e electrocoagulação.

Analisando o gráfico 13, observa-se que um pH ligeiramente alcalino na quarta, quinta e sexta campanha com valores de 7,32; 7,68; 7,86 para o efluente bruto e após o tratamento o efluente apresentou pH de caracter acido com valores de 6,15; 6,74; 6,77 para sulfato de alumínio, e 6,05; 6,80; 6,78 para cloreto de ferro III no tratamento com coagulação, floculação e sedimentação e valores de 8,16; 8,52; 8,37 para sulfato de alumínio e 8,14; 8,41; 8,28 para tratamento com eletrocoagulação.

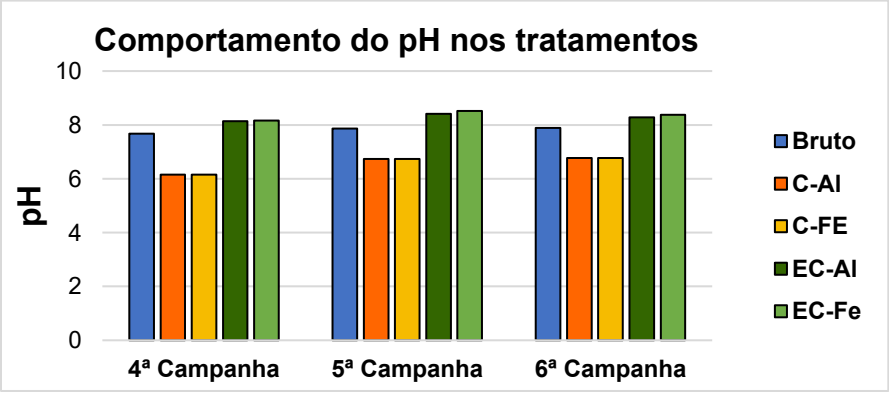


Gráfico 13. Comportamento do pH nos tratamentos.

No tratamento por coagulação, floculação, os coagulantes sulfato de alumínio e cloreto de ferro III ao serem adicionados à água, libertam íons hidrogênio (H^+) durante sua dissolução o que reduz o pH da água tornando a água mais ácida, no tratamento por eletrocoagulação as placas de alumínio e ferro libertam hidróxido, para as placas de alumínio libertam o hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$) e para o caso das Placas de Ferro ($Fe(OH)_2$) hidróxido de ferro o que aumentam o pH.

5.4.2. Remoção e Eficiência de remoção da turbidez

Analisando o gráfico 14 e 15, observa-se que o efluente bruto apresenta um nível elevado de turbidez. Na quarta, quinta e sexta campanha os valores de turbidez foram de 58,23; 87,53; e 152,90 NTU. Após o tratamento com coagulação, floculação e sedimentação usando sulfato de alumínio (C-Al) e cloreto de ferro III (C-Fe) obteve-se uma remoção da turbidez de 1,22; 3,08; 3,50 NTU e 6,75; 9,22; 9,32; NTU e eficiência de remoção de 98; 96; 98% e 88; 89; 93%, apos o tratamento com electrocoagulação usando placas de alumínio (EC-Al) e ferro (EC-Fe) obteve-se uma remoção da turbidez de 1,09; 2,3; 2,2 NTU e 3,57; 4,92; 5,07 NTU e eficiência de remoção de 99; 97; 99% e 94; 94; 97% para a quarta, quinta e sexta campanha.

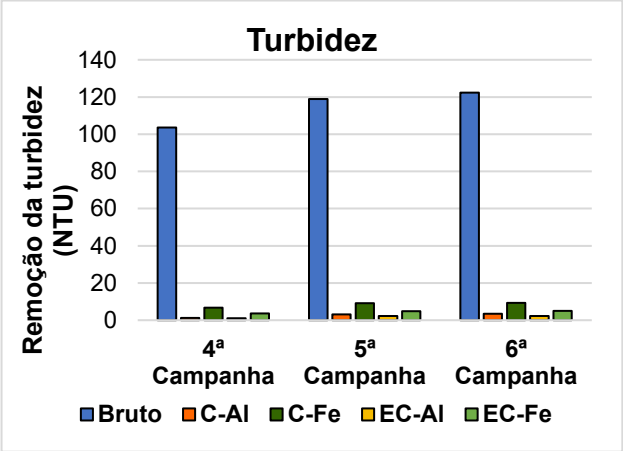


Gráfico 14. Remoção da turbidez

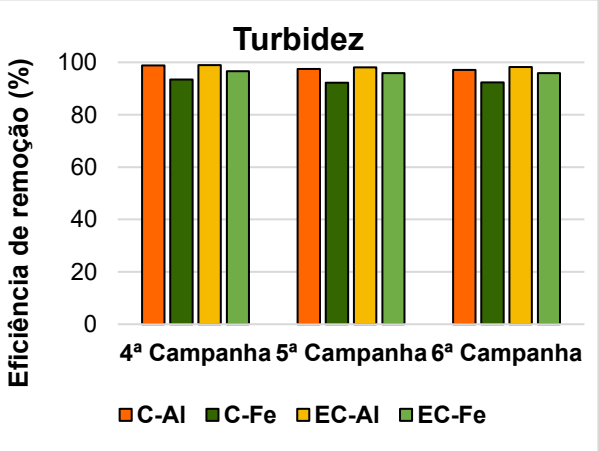


Gráfico 15. Eficiência de remoção da turbidez

De acordo com Peralta et al, (2014), em seus estudos relacionados ao tema apresentaram uma média de turbidez de 496 NTU para o efluente bruto, apos o tratamento com eletrocoagulação com placas de alumínio apresentou uma média remoção da turbidez de 9 NTU e eficiência de remoção de 98,18% e (Piovesan, 2017)

em seu estudo para efluentes industriais apresentou uma média de turbidez de 104,33 NTU para o efluente bruto, apos o tratamento com eletrocoagulação com placas de alumínio e ferro apresentou uma média remoção da turbidez de 28 e 30 NTU e eficiência de remoção de 73,16% e 71%.

Nota: Devido a falta de informação deste tratamento usando as duas placas, fez-se uma substituição com diferentes temas para avaliar o comportamento das placas de alumínio e ferro.

Para análises de coagulação, floculação e sedimentação fez-se uma relação com estudos anteriores como Canezim (2021) e Fayed et al, (2023), mencionados anteriormente no tratamento com coagulação, floculação e sedimentação na fase 1.

Segundo Canezim (2021), no seu estudo de tratamento de efluente têxtil apresentou uma eficiência de remoção da turbidez de 72,88 e 55,46 % com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III e Piovesan (2017) no seu estudo de tratamento de efluente industriais apresentou uma eficiência de 73,16% e 71% com tratamento de electrocoagulação com placas de alumínio e Ferro.

Fayed et al, (2023), em seu estudo relacionado com o presente tema apresentou uma eficiência de remoção da turbidez foi de 86,6% com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e Peralta et al, (2014) em seus estudos relacionados ao tema apresentou uma eficiência de remoção da turbidez foi de 98,18% com eletrocoagulação com placas de alumínio.

Analisando estes casos de estudo pode-se constar que o tratamento por eletrocoagulação com placas de alumínio e ferro apresentaram melhor eficiência comparado com o tratamento com coagulação, floculação e sedimentação com o coagulante químico sulfato de alumínio e cloreto de ferro III.

Analisando o Gráfico 14 e 15 dos estudos acima citados, os tratamentos com eletrocoagulação com placas de alumínio e ferro foram mais eficientes que os tratamentos com coagulação, floculação, sedimentação com o coagulante químico sulfato de alumínio e cloreto de ferro III.

Os tratamentos com eletrocoagulação com placas de alumínio e ferro tiveram uma melhor remoção e eficiência de remoção da turbidez devido a sua capacidade de formar flocos maiores, mais estáveis e aglutinar partículas de menor peso e finas o que contribui para melhor remoção da turbidez, o tratamento com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio apesar de apresentar bons resultados e formar flocos maiores, estáveis não aglutina partículas de menor peso e finas, o que acaba por tornar o tratamento com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio menos eficiente comparado com o tratamento com electrocoagulação com placas de alumínio. A electrocoagulação com placas de ferro apresentou melhores resultados na remoção e eficiência de remoção da turbidez devido a capacidade deste tratamento aglutinar partículas fina e de menor peso, comparando coagulação, floculação e sedimentação comparado ao cloreto de ferro III que tem baixa capacidade de aglutinar partículas finas e de menor peso, apesar de ambos formarem flocos mais densos e de maior peso acabam sendo menos eficientes na remoção da turbidez comparado com electrocoagulação e coagulação, floculação e sedimentação com placas de alumínio e sulfato de alumínio, devido a oxidação do ferro o que interfere na turbidez, ao gerar partículas finas de ferro que não sedimentam facilmente e permanecem suspensas, aumentando a turbidez.

5.4.3. Remoção e eficiência de remoção do DBO e DQO

Para análises de DBO e DQO com o método de tratamento com coagulação, floculação e sedimentação fez-se uma relação com estudos anteriores como Carvalho, Duarte e Manca (2020) e Halim & Abu (2013), mencionados anteriormente no tratamento com coagulação, floculação e sedimentação na fase I.

DBO

Analisando o gráfico 16 e 17 observa-se que o efluente bruto apresenta um nível elevado de DBO. Na quarta, quinta e sexta campanha os valores de DBO foram de 103,53; 118,87; e 122,4 mg/L. Após o tratamento com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III obteve-se uma remoção e eficiência de remoção do DBO de 23,41; 30,02; 33,76 mg/L e 19,46; 24,57; 28,37 mg/L e eficiência de remoção de 77; 75; 72% e 81; 79; 77%, para tratamento usando electrocoagulação

com placas de alumínio e ferro os valores encontrados para a remoção de DBO foram 17,62; 23,21; 21,57 mg/L e 14,84; 21,57; 20,46 mg/L e eficiência de remoção 83; 80; 82% e 86; 82; 88% para a quarta, quinta e sexta campanha.

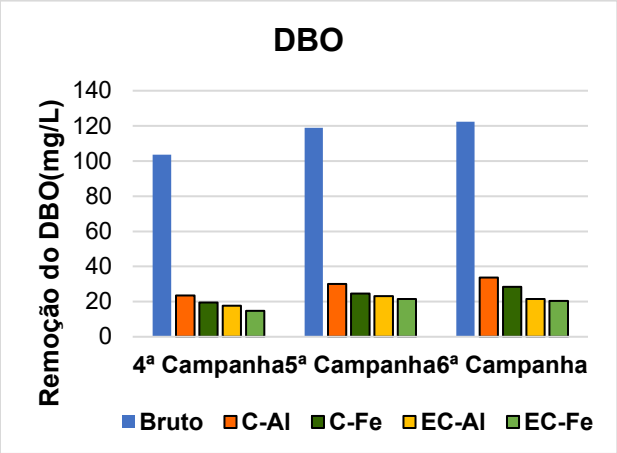


Gráfico 16. Remoção de DBO

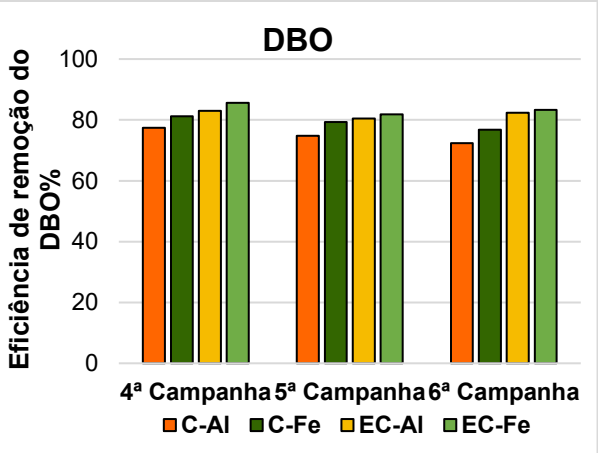


Gráfico 17. Eficiência de remoção de DBO

Segundo Carvalho, Duarte e Manca (2020), no seu estudo relacionado a efluentes proveniente do processo de lavagem de automóveis apresentou uma eficiência de remoção do DBO 59% com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio, Halim & Abu (2013) uma eficiência de remoção do DBO de 54 % com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e Kasman et al (2023) apresentou uma eficiência de remoção de DBO de 74,64% com electrocoagulação com placas de alumínio.

Halim & Abu (2013) apresentou uma eficiência de 46% e 67,67% com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III e Mohammadium, et al (2017) apresentou uma eficiência de 88% e 94% com electrocoagulação com placas de alumínio e ferro ambos estudos estão relacionados com o tema em estudo.

Nota: Para os resultados do caso de estudo de Halim e Abu (2013) e Mohammadium, et al (2017) de efluentes provenientes da lavagem de automóveis, os autores não apresentaram resultados de DBO, para obtenção de valores de DBO realizou-se uma relação de DBO e DQO.

DQO

Analisando o gráfico 18 e 19 observa-se que o efluente bruto apresenta um nível elevado de DQO. Na quarta, quinta e sexta campanha os valores de DQO foram de 172,55; 198,11; e 204 mg/L. Após o tratamento com coagulação, floculação e sedimentação usando sulfato de alumínio e cloreto de ferro III, obteve-se uma remoção e eficiência de remoção do DQO de 39,01; 50,03; 56,26 mg/L e 32,43; 40,95; 47,28 mg/L eficiência de remoção de 77; 75; 72% e 81; 79; 77 usando tratamento de electrocoagulação com placas de alumínio e ferro os valores encontrados para a remoção de DQO foram 29,36; 38,68; 35,95 mg/L e 24,73; 35,95; 34,01 mg/L e eficiência de remoção 81, 79, 77% e 86; 82; 88% para a quarta, quinta e sexta campanha.

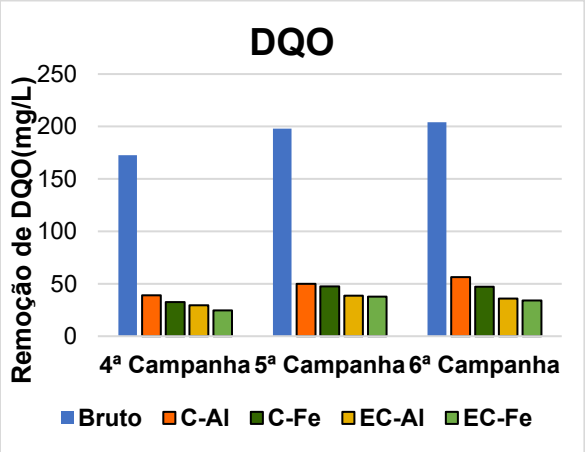


Gráfico 18. *R*emoção de DQO

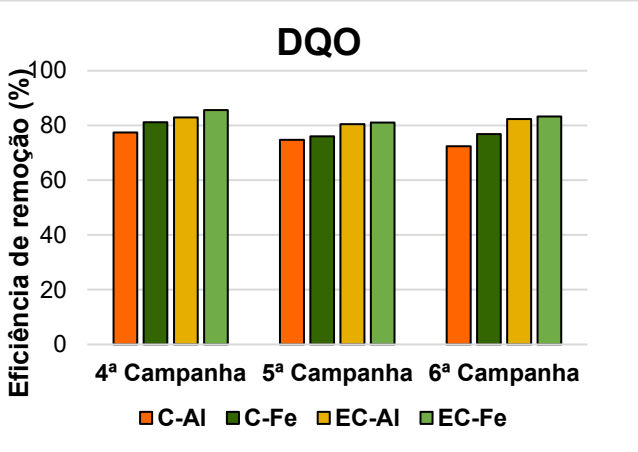


Gráfico 19. Eficiência de remoção de DBO

Nota: Não foi possível a realização de ensaios de DQO devido a falta de reagente, para obtenção de valores de DQO fez-se uma relação DBO e DQO conforme ilustra o Anexo1**.**

Segundo Carvalho, Duarte e Manca (2020), no seu estudo relacionado a efluentes proveniente do processo de lavagem de automóveis apresentou uma eficiência de remoção do DQO 60 % com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e Kasman et al,. (2023), apresentou uma eficiência de remoção de DBO de 74,64% com electrocoagulação com placas de alumínio.

Halim & Abu (2013) apresentou uma eficiência de 67,67 % e 46% com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III e Mohammadium, et al (2017) apresentou uma eficiência de 88% e 94% com

electrocoagulação com placas de alumínio e ferro ambos estudos estão relacionados com o tema em estudo.

DBO e DQO

Analisando o gráfico 16, 17, 18 e 19 a electrocoagulação com placas de alumínio e ferro apresentaram uma melhor remoção e eficiência de remoção do DBO e DQO comparando com o processos de coagulação, floculação e sedimentação com coagulantes químicos sulfato de alumínio e cloreto de ferro III, o processo de eletrocoagulação é mais eficiente devido a capacidade de formar flocos maiores, mais estáveis e aglutinar partículas de menor peso e finas e matérias orgânicas o que torna mais fácil a degradação da matéria orgânica por microorganismos.

As placas de ferro favorecem a formação de flocos maiores e mais densos capazes de remover compostos orgânicos mais solúveis presentes na água, responsáveis por grande parte da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO). Além disso, os flocos gerados durante os processos de coagulação, floculação e sedimentação com cloreto de ferro III bem como na eletrocoagulação com placas de ferro, tendem a incorporar materiais orgânicos biodegradáveis e não biodegradáveis contribuindo significativamente para a redução dos valores de DBO e DQO.

5.5. Comparação dos resultados com a legislação nacional e internacional

Neste subcapítulo são comparados os resultados dos tratamentos do efluente bruto proveniente da lavagem de automóveis no Dallas CarWash com os limites estabelecidos pelos padrões nacionais e internacionais.

A Tabela 5 abaixo representa as cores utilizadas para a determinação de conformidade e não conformidade com os limites estabelecidos pelos padrões nacionais e internacionais.

Tabela 5. Cores usadas para determinação de limites nacionais e internacionais

DECRETO Nº 52/2023		**EPA**	
Conformidade	**Não conformidade**	**Conformidade**	**Não conformidade**

5.5.1. Comparação dos resultados com os Limites estabelecidos pelo padrão nacional (Decreto n.º 52/2023)

O efluente tratado com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III, apresentou conformidade com o Decreto n° 52/2023, em todas as análises realizadas nas presentes campanhas, conforme ilustra a Tabela 6.

Tabela 6. Comparação de resultados do tratamento com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III e limites estabelecidos pelo Decreto n° 52/2023

	1ª Campanha 29.04.2024		**2ª Campanha 20.05.2024**		**3ªCampanha 10.06.2024**		**Legislação Nacional**
Parâmetros	**$Al_2(SO_4)_3$**	**$FeCl_3$**	**$Al_2(SO_4)_3$**	**$FeCl_3$**	**$Al_2(SO_4)_3$**	**$FeCl_3$**	**D nº 52/2023**
pH	6.67±0.015	6.78±0,026	6.71±0.010	6.76±0.015	6.55±0.010	6.67±0.010	6-9
CE (µs/cm)	889.7±1.528	901±1.528	911.3±0.577	936.6±1.527	861.6±1.527	876±1.00	-
Turbidez (NTU)	2.95±0.042	8.01±0.144	3.15±0.062	7.94±0.025	2.98±0.028	7.50±0.300	-
DBO (mg/L)	9.50±0.386	8.01±0.144	16.32±0.262	13.64±0.183	11.77±1.962	7.50±0.300	30
DQO (mg/L)	24.73±0.371	15.90±0.643	27.20±0.437	22.73±0.305	19.62±1.993	12.511±0.500	50
Óleos e gorduras (mg/L)	2.16±0.057	1.10±0.141	2.36±0.057	0.93±0.057	1.04±0.025	0.50±0.248	10

Analisando a Tabela 7, o efluente tratado com sulfato de alumínio e placas de alumínio apresentou conformidade com o presente Decreto para as análises de pH, DBO (excepto para o sulfato de alumínio que esta acima do limite máximo admissível), DQO.

Tabela 7. Comparação de resultados do tratamento com sulfato de alumínio e placas de alumínio e limites estabelecidos pelo Decreto n° 52/2023

	4ª Campanha 01.07.2024		**5ª Campanha 22.07.2024**		**5ªCampanha 12.08.2024**		Legislação Nacional
Parâmetros	C.Al	EC.Al	C.Al	EC.Al	C.Al	EC.Al	D nº 52/2023
pH	6.05±0.007	8.17±0,010	6.8-±0.010	8.50±0.010	6.77±0.010	8.37±0.015	6-9
CE (µs/cm)	757±1.00	621±1.00	778±1.00	662±1.00	805.3±2.081	641±0.058	-
Turbidez (NTU)	1.22±0.047	1.10±0.032	3.08±0.035	2.30±0.091	3.50±0.062	2.20±0.110	-
DBO (mg/L)	23.41±0.386	17.62±0.266	30.02±0.504	23.21±0.205	33.76±0.462	21.57±0.103	30
DQO (mg/L)	39.01±0.643	29.37±0.444	50.04±0.504	38.68±0.342	56.27±0.770	35.95±0.171	50

O efluente tratado com cloreto de ferro III e placas de ferro, apresentou conformidade com o Decreto n° 52/2023, em todas as análises realizadas nas presentes campanhas conforme ilustra a Tabela 8.

Tabela 8. Comparação de resultados do tratamento com cloreto de ferro III e placas de ferro e limites estabelecidos pelo Decreto n° 52/2023

	4ª Campanha 01.07.2024		5ª Campanha 22.07.2024		6ª Campanha 12.08.2024		Legislação Nacional
Parâmetros	**C.Fe**	**EC.Fe**	**C.Fe**	**EC.Fe**	**C.Fe**	**EC.Fe**	**D nº 52/2023**
pH	6.15±0.010	8.37±0.364	6.76±0.010	8.40±0,006	6.91±0.010	8.28±0.015	6-9
CE (µs/cm)	762±1.00	647.3±0.577	766±1.00	636.3±1.528	755.6±4.041	641±1.00	-
Turbidez (NTU)	6.75±0.066	3.57±0.329	9.23±0.640	4.92±0.978	9.32±0.125	5.0±0.047	-
DBO (mg/L)	19.47±0.262	14.84±0.223	28.46±0.057	22.57±0.249	28.37±0.355	20.47±0.306	30
DQO (mg/L)	32.44±0.437	24.73±0.371	47.43±0.491	37.61±0.415	47.29±0.592	34.11±0.509	50

5.5.2. Comparação dos resultados com os Limites estabelecidos pelo padrão internacional (EPA)

O efluente tratado com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III apresentou conformidades com os limites estabelecidos pelo presente Decreto para as análises de pH, DBO (excepto na primeira campanha para ambos e terceira campanha usando cloreto de ferro III), DQO (excepto na primeira campanha usando cloreto de ferro III e na terceira usando ambos), óleos e gorduras, conforme ilustra a Tabela 9.

Tabela 9. Comparação de resultados do tratamento com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III e limites estabelecidos pelo padrão internacional (EPA)

	1ª Campanha 29.04.2024		2ªCampanha 20.05.2024		3ªCampanha 10.06.2024		Legislação Nacional
Parâmetros	**$Al_2(SO_4)_3$**	**$FeCl_3$**	**$Al_2(SO_4)_3$**	**$FeCl_3$**	**$Al_2(SO_4)_3$**	**$FeCl_3$**	**EPA**
pH	6.67±0.015	6.78±0,026	6.71±0.010	6.76±0.015	6.55±0.010	6.67±0.010	6-9
CE (µs/cm)	889.7±1.528	901±1.528	911.3±0.577	936.6±1.527	861.6±1.527	876±1.00	-
Turbidez (NTU)	2.95±0.042	8.01±0.144	3.15±0.062	7.94±0.025	2.98±0.028	7.50±0.300	-
DBO (mg/L)	9.50±0.386	8.01±0.144	16.32±0.262	13.64±0.183	11.77±1.962	7.50±0.300	<10-45
DQO (mg/L)	24.73±0.371	15.90±0.643	27.20±0.437	22.73±0.305	19.62±1.993	12.511±0.500	<20-90
Óleos e gorduras (mg/L)	2.16±0.057	1.10±0.141	2.36±0.057	0.93±0.057	1.04±0.025	0.50±0.248	10

Após a realização dos tratamentos com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III e placas de alumínio e ferro, verificou-se conformidade com os limites estabelecidos pelo padrão internacional conforme ilustra a Tabela 10 e 11.

Tabela 10. Comparação de resultados do tratamento com sulfato de alumínio e placas de alumínio e limites estabelecidos pelo padrão internacional (EPA)

	4ª Campanha 01.07.2024		**5ª Campanha 22.07.2024**		**6ªCampanha 12.08.2024**		**Legislação Nacional**
Parâmetros	**C.Al**	**EC.Al**	**C.Al**	**EC.Al**	**C.Al**	**EC.Al**	**EPA**
pH	6.05±0.007	8.17±0,010	6.8-±0.010	8.50±0.010	6.77±0.010	8.37±0.015	6-9
CE (µs/cm)	757±1.00	621±1.00	778±1.00	662±1.00	805.3±2.081	641±0.058	-
Turbidez (NTU)	1.22±0.047	1.10±0.032	3.08±0.035	2.30±0.091	3.50±0.062	2.20±0.110	-
DBO (mg/L)	23.41±0.386	17.62±0.266	30.02±0.504	23.21±0.205	33.76±0.462	21.57±0.103	<10-45
DQO (mg/L)	39.01±0.643	29.37±0.444	50.04±0.504	38.68±0.342	56.27±0.770	35.95±0.171	<20-90

Tabela 11. Comparação de resultados do tratamento com cloreto ferro III e placas de ferro e limites estabelecidos pelo padrão internacional (EPA)

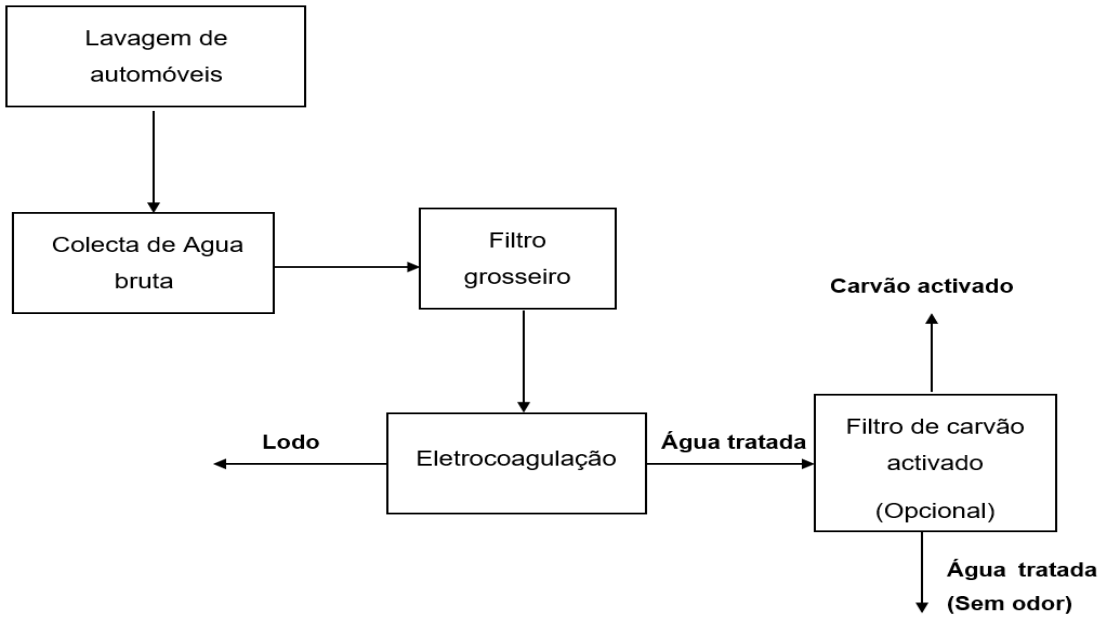
	4ª Campanha 01.07.2024		**5ª Campanha 22.07.2024**		**6ª Campanha 12.08.2024**		**Legislação Nacional**
Parâmetros	**C.Fe**	**EC.Fe**	**C.Fe**	**EC.Fe**	**C.Fe**	**EC.Fe**	**D nº 180/2004**
pH	6.15±0.010	8.37±0.364	6.76±0.010	8.40±0,006	6.91±0.010	8.28±0.015	6-9
CE (µs/cm)	762±1.00	647.3±0.577	766±1.00	636.3±1.528	755.6±4.041	641±1.00	-
Turbidez (NTU)	6.75±0.066	3.57±0.329	9.23±0.640	4.92±0.978	9.32±0.125	5.0±0.047	-
DBO (mg/L)	19.47±0.262	14.84±0.223	28.46±0.057	22.57±0.249	28.37±0.355	20.47±0.306	<10-45
DQO (mg/L)	32.44±0.437	24.73±0.371	47.43±0.491	37.61±0.415	47.29±0.592	34.11±0.509	<20-90

5.6. Proposta de um sistema de tratamento

O método convencional (coagulação, floculação e sedimentação) apresenta uma boa eficiência de remoção dos contaminantes, mas a sua implementação não seria viável, visto que o empreendimento já foi construído e este método requer uma área de ocupação maior e tem maior geração de lodo. A proposta para o presente estudo seria o método avançado (electrocoagulação) que seria tecnicamente viável pois requer uma área de ocupação menor, tem melhor eficiência de remoção dos poluentes e tem menor geração de lodos.

Sistema de tratamento

O sistema de tratamento proposto para o presente caso de estudo consiste na lavagem de automóveis e posteriormente a colecta da água bruta, seguida de uma filtração grosseira para remoção de sólidos, posterior tratamento por eletrocoagulação e a obtenção de água tratada e a eliminação do lodo gerado, por fim filtro de carvão activado (opcional) apenas para eliminação de odores, conforme ilustra o Fluxograma 2.



Fluxograma 2. Sistema de tratamento proposto para o presente caso de estudo

5.7. Custo de implementação e de um sistema de tratamento nestes empreendimentos

Custo inicial

A presente Tabela 12 apresenta o custo de implementação que seria necessário para realizar um tratamento do efluente proveniente do processo de lavagem de automóveis, usando as equações do Anexo 8.

Tabela 12. Custo de implementação tratamento de efluente do Dallas Car Wash

Componente	Descricção	Custo estimado em (Meticais)
Tanque de electrocoagulação	Tanque em aço inoxidável, capacidade de 500 litros	60.000
Eléctrodos	Eléctrodo de alumínio (10 Eléctrodos)	20.000
Fonte de corrente	Fonte continua de 20 V (Regulável)	12000
Filtro	Filtro grosseiro tipo peneira 0,5 mm e 2 mm (Para reter área, pedras e folhas)	10000

Custo Mensal

A presente Tabela 13 apresenta o custo de implementação que seria necessário para fazer um tratamento do efluente proveniente do processo de lavagem de automóveis

Tabela 13. Custo de mensal tratamento de efluente do Dallas Car Wash

Custo de manutenção	Manutenção dos eléctrodos e do equipamento por batelada	10000
Monitoria de qualidade	Analises de qualidade da água por batelada	15000
Monitoria	Monitoria do equipamento 5-5meses	15000

Consumo de energia	Consumo mensal	5000

6. Conclusão e recomendação

Conclusão

O efluente bruto apresentou características elevadas de concentração de contaminantes e fora dos limites estabelecidos pela legislação nacional e internacional, entretanto há uma necessidade de tratar-se esses efluentes antes de se descarta ao meio ambiente. A coagulação, floculação e sedimentação são métodos convencionais no tratamento de água proveniente da lavagem de automóveis e é uma solução eficaz pois apresentou bons resultados para remoção da turbidez com sulfato de alumínio com uma eficiência de remoção de (96%) e bons resultados na remoção do DBO, DQO com cloreto de ferro III (79%). A electrocoagulação ofereceu uma maior eficiência na remoção de turbidez com placas de alumínio com uma eficiência de remocao de (98%), DBO e DQO com placas de ferro com uma eficiência de remoção de (86%). Pode se concluir que o método de tratamento de electrocoagulação é mais viável para este empreendimento alem da melhor eficiência que a eletrocoagulação oferece, tem uma área de ocupação menor e para um empreendimento já construído como é o caso do Dallas Car wash a electrocoagulação oferece melhor solução para o tratamento do efluente gerado neste empreendimento.

Recomendações

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- A conscientizacao das entidades regulamentais para a regulamentação para o tratamento de água nestes empreendimentos;
- Conscientização dos proprietários destes empreendimentos para o tratamento destes efluentes para um meio ambiente melhor alem dos gastos e danos que o descarte e desperdicio de agua pode causar ao meio ambiente
- Para trabalhos futuros recomendo a variacao de pH com vista a encontrar o pH optimo usando os presentes coagulantes.

- A implementacao de outras tecnologias para esta tematica
- A ultilizacao de outros coagulantes .

7. Referencias Bibliográfica

Aluiz, V. (2019). *Tratamento da água residuária da lavagem de veículos por coluna de sedimentação, combinado com processo oxidativo avançado.* Dissertação (mestre em engenharia ambiental e sanitária) - universidade estadual de ponta grossa.

Alves, L. D. (2021). *Análise Da Eficiência Da Eletrocoagulação Como Pré Tratamento De Um Efluente Vinícola Simula.* Curitiba.

Borba, I. R. (2001). Viabilidade do uso da moringa oleifera lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades. Em I. R. Borba, *Dissertação (PósGraduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente).* Dissertação (PósGraduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências exatas e da Natureza, Universidade Federal .

Canezim, R. A. (2021). Eficiência Da Ação Do Coagulante Sulfato De Alumínio E Cloreto Férrico No Tratamento De Efluente Têxtil. Londrina.

Carvalho, R., Duarte, P., & Manca, R. d. (2020). Tratamento Da Água Para Reuso Na Lavagem Automotiva . *Revista Prospectus,*, v. 2, n. 2, p. 248 .

Conselho de Ministros, 2. (2007).

Coradi, P., Fia, R., & Ramirez, P. (2009). Em P. Coradi, R. Fia, & P. Ramirez, *Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos de água do município de Pelotas-RS* (pp. v. 4, n. 2, p. 46-56). Taubaté: Ambi-Água.

Costa & Perin. (2004). Em T. P. Costa, & A. C. Perin, *A gestão dos recursos hídricos no Brasil.* Revista da Faculdade de Direito de São Bernardo do Campov. 1, p. 344-380.

EPA. (2001). *Parameters of Water Quality : Interpretation and Standards.* Ireland.

Etchepare, R. (2012). Integração de processos de tratamento de efluentes de lavagem de veículos para reciclagem de água. Em R. Etchepare, *Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e de Materiais,* (pp. p.1728-1736). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Gidde, M. R., Bhalerao, A. .., & Malusare, C. N. (2012). Comparative study of diferente forms of Moringa oleifera extracts for turbidity removal. International Journal of Engineering Research and Development, v. 2, n.1, p. 14-21, jul. 2012.

Gomes, A. S., & Etiene, C. (2005). *Propriedades Fisico-Quimicas da Agua .* Universidade Federal Fluminense.

Halim,A. F., & Abu, A. A. (27 de Novembro de 2013). Treatment of automotive wastewater by coagulation.

Hashim, N. H., & Zayadi, N. (2016). Pollutants Characterization of Car Wash WastewatHAS. Em N. H. Hashim, & N. Zayadi, *Matec Web Of Conferences* (pp. p.1-6). EDP Sciences. http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20164705008.

Holt, P. K. (2002). Quantitative Comparison Between Chemical Dosing and Electrocoagulation. . Colloids and Surfaces: Physico Chemicals Engineering Aspects. n. 211.

Howe et al. (2016). Princípios de tratamento de água. Em K. J. Howe, *Cengage Learning* (p. 624 p).

Jurgensen, D., M. G., Carraro, A., ., G. V., M. S., & A. H. (2005). Tratamento Biológico Anaeróbio. Em D. M. Jurgensen, *Tratamento Biológico Anaeróbio.*

Kasman, M., Sy, S., Riyanti, A., Matalata, H., & Firfansyah, I. (2023). The treatment of automotive workshop wastewater using electrocoagulation process. *Sejarah artikel*.

Kawamura, S. (1991). Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. Journal American Water Works Association, v. 83, n. 10, p. 88-91, 1991 .

King, J., Tharme, R., & Villiers, M. (2008). Em J. King, R. Tharme, & M. Villiers, *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block*

Kunz, A., Steinmetz, & Bortoli. (2010). Separação sólido– líquido em efluentes da suinocultura. Em A. Kunz, Steinmetz, & Bortoli, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* (pp. v. 14, n. 11, p.1220-1225). Campina Grande.

Kuokkanen, V., Kuokkanen, T., Rämö, J., & Lassi, U. (2013). Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater—A Review. *Green Sustain*, 89–121.

Lemos, E. C., & Sandes, S. R. (2018). Análise ambiental de tratamento dos resíduos oleosos de uma oficina mecânica no município de Nova Venécia -ES. Em E. C. Lemos, & S. R. Sandes. Revista Educação Ambiental em Acção.

Luizi, R. P. (2012). Luizi, R. P. Em O. d. Lamas, *Operação de Sistemas de Tratamento de Águas Residuais por Lamas.*

Luz, V. S. (2017). Reúso de água: estudo de caso em um lava-jato em Cuiabá. Em V. S. Luz, *TCC (Tecnologia em Gestão Ambiental). Instituto Federal de Educação* (p.

Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Em *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.* 4th edition.

Metcalf & Eddy. (2016). Em L. Metcalf, & H. P. Eddy, *P. Tratamento de Efluente e Recuperação de Recursos.* Porto Alegre: Tradução de Hespanhol, I.; Mierzwa, J. C. - 5. ed. Porto Alegre.

Ministério da Administração Estadal. (2005). Perfil do Distrito da Matola, Provincia de Maputo.

Moazzem. (2018). Performance of ceramic ultrafiltration and reverse osmosis membranes in treating car wash wastewater for reuse. Em S. W. Moazzem, L. Fan, F. Roddick, & V. Jegatheesan, *Environmental Science and Pollution Research* (pp. v. 25, n. 9, p. 8654–8668).

Mohammadium, M. J., Salaric, J., Takdastane, A., Farhadic, M., Javanmardie, P., Yarie, A. R., . . . Rahimi, S. (Março de 2017). Remoção de turbidez e matéria orgânica

de águas residuais de lavagem de automóveis. *Dessalinização e Tratamento de Águas*.

Mollah, M. a., Morkovsky, P., Gomes, J. a., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. (2001). Electrocoagulation (EC): science and applications. . *Journal of Hazardous Materials, Amsterdã, v. 84,n. 1*, p. 29-41.

Silva, A. A., Camara, C. A., Ilza Lobo, I. S., & Alves, J. C. (2017). Otimização dos parâmetros operacionais de eletrocoagulação aplicada à recuperação de efluentes de lavagem de veículos. *Scielo*.

Silva, A. L. (2002). Processo eletrolítico: Uma alternativa para o tratamento de águas residuárias. Rio de Janeiro: Monografia (Especialização em Química Ambiental) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Silva, D., Galvíncio, J. D., & Almeida, H. R. (2010). Em D. Silva, J. D. Galvíncio, & H. R. Almeida, *Variabilidade da Qualidade de água na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e Atividades Antrópicas Relacionadas.* Qualitas Revista Eletrônica, v. 9. N. 3. 2010.

Subtil, E. L. (2016). Potencial de reúso de água na lavagem de caminhões utilizando Contator Biológico Rotativo. Em *Ambiente & Água* (p. vol. 11n).

UNO. (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.* New York, NY, USA,.

USEPA. (1980). Treatability Manual. Em *Treatability data* (p. Vol.1). ORD, USEPA, EPA.

USEPA. (1999). *Discharges of Vehicle.*

Varela, E. S. (2015). Contribuição para o Estudo dos Subprodutos de uma ETAR – Gradados e Areias. Em E. S. Varela.

Vieira, J. (2003). Gestão da Água em Portugal. Os Desafios do Plano Nacional da Água. Departamento de Engenharia Civil, nº 16.

Von Sperling. (2005). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Em M. Von Sperling. 3ºed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG,2005.

Weber et al. (2010). Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado. Em C. C. Weber, *Engenharia Sanitária e Ambiental* (pp. v.15, n.3, p.291-300.).

Anexo 1 – Procedimentos Experimentais

Determinação dos Parâmetros Físicos-químicos

Parâmetros Físicos

As análises de **pH, temperatura, conductividade e STD,** foram feitas com recurso ao equipamento HQ40D Multi-Medidor Portátil conforme ilustra a Figura 1, por onde as sondas foram mantidas em contacto directo com as amostras colhidas e por fim efectuou-se a leitura dos parâmetros na amostra de água.

Figura. 1 Equipamento HQ40D Multi-Medidor Portátil

Turbidez

As análises de turbidez foi o parâmetro físico analisado em separado aos demais parâmetros a partir do equipamento Turbidímetro Portátil 430 T-WTW. O turbidímetro mede a quantidade de luz dispersa por partículas suspensas em uma amostra de água. A intensidade da luz dispersa é directamente proporcional à turbidez.

Materiais Usados

- Turbidímetro
- Soluções padrão de calibração
- Cubeta
- Água destilada
- Papel laboratório

Procedimentos

1. Realizou-se a calibração do turbidímetro como as soluções padrao de calibração para garantir a precisão na medição da turbidez;
2. Realizou-se o preenchimento da cubeta com a amostra e limpou-se a cubeta por fora com papel para que os resíduos da amostra não interferissem nos resultados da medição;

1. Inseriu-se a cubeta dentro do turbidímetro e realizou-se a medição da turbidez Premiu-se a tecla < Star/Enter>. manteve-se a tecla premida e na sequência girou-se lentamente a cubeta no sentido horário e foram-se verificando os menores valores de turbidez, ainda com a tecla premida girou-se a cubeta no sentindo anti-horário ate a posição com o menor valor encontrado anteriormente e por fim soltou-se a tecla e fez –se a leitura do valor.

Figura. 17 *Turbidímetro Portátil 430 T-WTW*

Parâmetros Químicos

DBO

O método é realizado utilizando a incubação das amostras a 20 ± 1°C por 5 dias e a medição do oxigênio dissolvido (OD) nos dias iniciais (OD_i) e finais (OD_5). Aqui está uma explicação detalhada do procedimento e dos materiais envolvidos:

Materiais e Equipamentos Utilizados

1. Frascos de Incubação 250 ml
2. Incubadora Aqualytic
3. Sonda HQ40D Multi-Medidor (medição de oxigénio dissolvido)

Reagentes usados

- Solução Tampão Fosfato
- Solução de Sulfato de Magnésio ($MgSO_4$)
- Solução de Cloreto de Cálcio ($CaCl_2$)
- Solução de Cloreto Férrico ($FeCl_3$)

Procedimento

1. **Ajuste de Temperatura**: Amostras e o ambiente devem ser ajustados para 20 ± 1°C antes de iniciar a análise. Isso pode ser feito incubando as amostras e a água de diluição, além de ajustar a temperatura do ambiente da incubadora.
2. **Preparação da água de diluição**: Para preparação da água de diluição adicionam-se as soluções de diluição (solução tampão fosfato, $MgSO_4$, $CaCl_2$, e $FeCl_3$), para cada 1L de água destilada está para 1ml de soluções de diluição.
3. **Diluição da amostra**: Para águas residuais brutas, utilizou-se uma diluição de 1-5% com auxílio uma pipeta volumétrica para adicionou-se a amostra desejada nas garrafas de DBO de capacidade 250-300 ml, preencheu-se as garrafas de DBO com água de diluição suficiente para que o volume final seja adequado. E mediu-se o oxigênio dissolvido inicial (ODi) usando a sonda HQ40D Multi-Medidor e fechou-se as garrafas de DBO.

4. **Incubação**: Foram colocadas as garrafas de DBO na incubadora ajustada a uma temperatura 20 ± 1°C por um período de 5 dias. Durante a incubação, o oxigênio é consumido pelos microorganismos na água à medida que eles decompõem a matéria orgânica presente.
5. **Medição do Oxigênio Dissolvido (OD)**: Após 5 dias de incubação, realizou-se a medição do oxigênio dissolvido final (OD_5) usando a sonda HQ40D Multi-Medidor.
6. **Cálculo da DBO:**

$$DBO_5 = (OD_i - OD_5) \times \frac{\text{Vfrasco}}{\text{V amostra}}$$

Onde:

DBO_5 – Demanda bioquímica de oxigénio.

OD_i – Oxigénio dissolvido no primeiro dia.

OD_5 – Oxigénio dissolvido no quinto dia.

V amostra – Volume da amostra.

V frasco – Volume do frasco.

DQO

Não foi possível realizar a medição experimentalmente do DQO. Sua determinação foi feita a partir da correlação com a DBO.

DBO=0.6xDQO

Preparação dos coagulantes químicos sulfato de alumínio e cloreto de ferro III

Preparação do coagulante sulfato de alumínio

Para a preparação de uma solução de coagulante de sulfato de alumínio, usou-se o sulfato de alumínio solido com uma concentração de 1,5g/l, conforme ilustra a figura 3.

Modo de preparo

- **Cálculo:** Calculou-se a quantidade de sulfato de alumínio para preparação de uma solução de sulfato de alumínio, feito o cálculo obteve-se um valor de 16.51 g da quantidade necessária de sulfato de alumínio solido. Calculou-se a Massa Molar de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, de seguida calcula-se quantos gramas de sulfato de alumínio são necessários para fornecer o Al^{3+} com uma concentração de 1.5g/l.
- **Medição**: Utilizou-se uma balança analítica e pesou-se o copo de becker de 300ml vazio e zerou-se o peso do copo na balança para permitir que apenas o peso do sólido seja considerado e com a ajuda de uma espátula foram adicionadas 16.51 g de sulfato de alumínio solido calculados anteriormente, conforme ilustra a Figura 4.
- **Mistura e armazenamento:** Após a pesagem, foram adicionados ao copo de Becker 100 ml de água destilada. Com a ajuda de um agitador, foi realizada uma mistura para garantir uma dissolução completa do sulfato de alumínio na água, conforme ilustra a Figura 5. A solução produzida foi transferida para um balão de 1 l de capacidade e foram adicionadas 900 ml de água destilada de modo a obter-se uma solução de 1.65 g/l. Por fim armazenou-se a solução em um recipiente bem fechado e protegido da luz.

Figura 3. Sulfato de alumínio

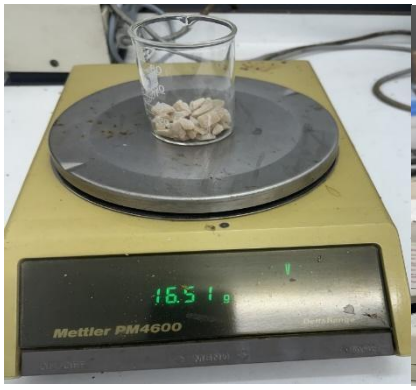


Figura 4. Medição do sulfato de alumínio

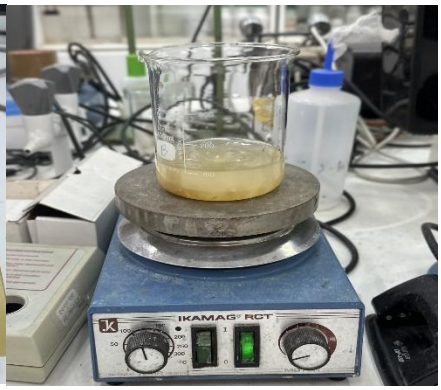


Figura 5. Dissolução do sulfato de alumínio

Preparação do coagulante cloreto de ferro $(\mathbf{FeCl_3.6H_2O})$

Para a preparação de uma solução de coagulante de cloreto de ferro, usou-se o cloreto de ferro em solido cristalino com uma concentração de 1.5 g/l.

Modo de preparo

- **Cálculo:** Calculou-se a quantidade de cloreto de ferro III para preparação de uma solução de cloreto de ferro III, feito o cálculo obteve-se um valor de 7.27 g da quantidade necessária de cloreto de ferro III sólido cristalino. Calculou-se a Massa Molar de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, de seguida calcula-se quantos gramas de cloreto de ferro III, são necessários para fornecer o Fe^{3+} com uma concentração de 1.5g/l
- **Medição**: Utilizando uma balança analítica pesou-se o copo de becker de 300 ml vazio e zerou-se o peso do copo na balança para permitir que apenas o peso do solido seja considerado e com a ajuda de uma espátula foram adicionadas 7.27 g de cloreto de ferro solido cristalino calculados anteriormente. Conforme ilustra a figura 4
- **Mistura e armazenamento:** Após a pesagem, foram adicionados ao copo de Becker 100 ml de água destilada. Com a ajuda de um agitador, foi realizada uma mistura para garantir uma dissolução completa do cloreto de ferro na água. A solução produzida foi transferida para um balão de 1 l de capacidade e foram adicionadas 900 ml de água destilada de modo a obter-se uma solução de 1.07 g/l. Por fim armazenou-se a solução em um recipiente bem fechado e protegido da luz.

Figura 6. Cloreto de ferro III

Figura 7. Medição do cloreto de ferro III

Figura 8. Dissolução do cloreto de ferro III

Anexo 2- Procedimentos de ensaios

Ensaios de coagulação, floculação e sedimentação (Testes de jarros)

Figura 9. Ensaios de cogulação

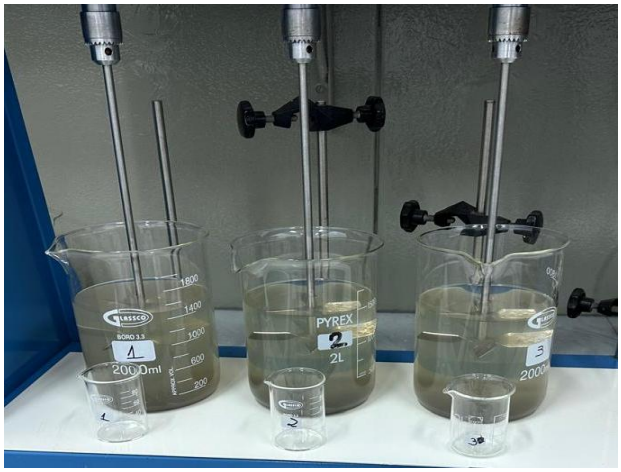


Figura 10. Ensaios de floculação

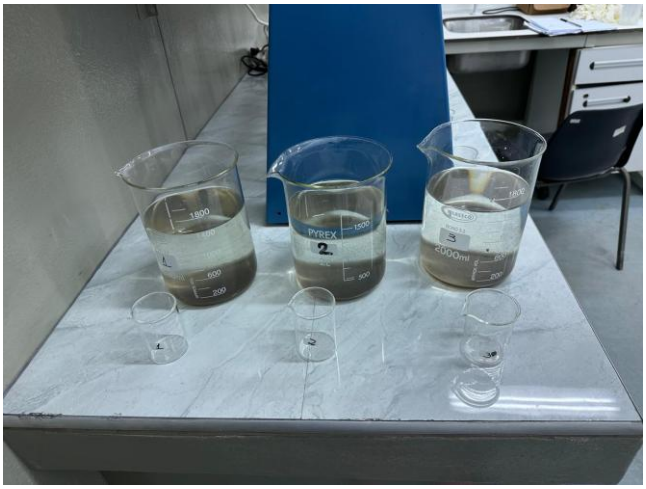


Figura 11. Sedimentação

Tratamento com coagulação, floculação e sedimentação

Tratamento com coagulação, floculação e sedimentação em maior escala

Figura 12. Tratamento (coagulação) em maior escala

Figura 13. Sedimentação em maior escala

Tratamento com coagulação, floculação e sedimentação em menor escala

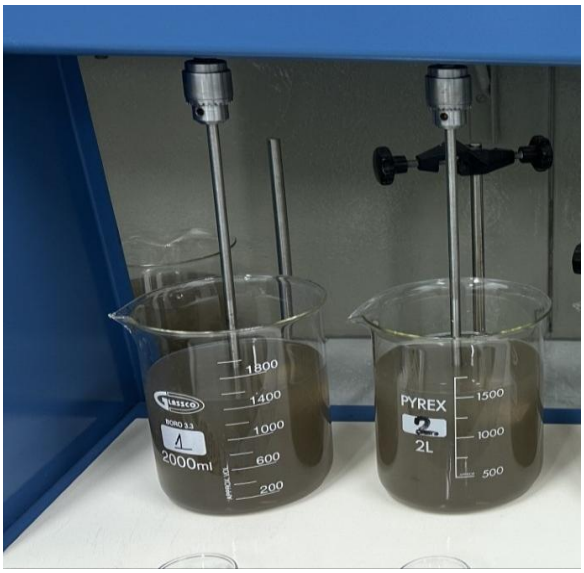


Figura 14. Tratamento (coagulação) em menor escala

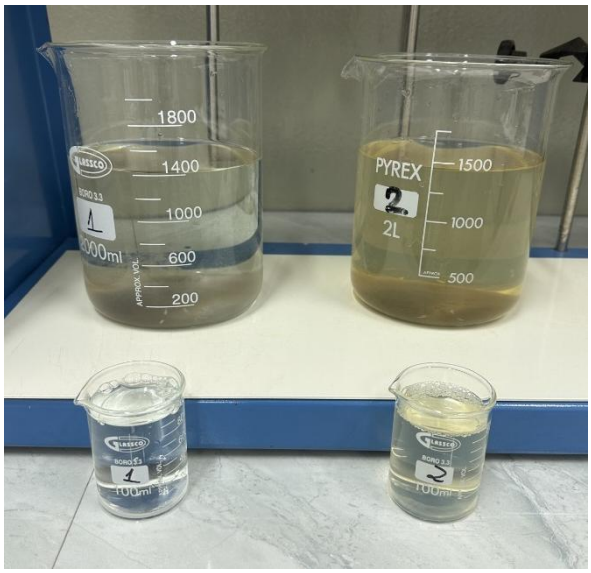


Figura 15. Sedimentação em menor escala

Efluente tratado com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de aluminio e cloreto de ferro III

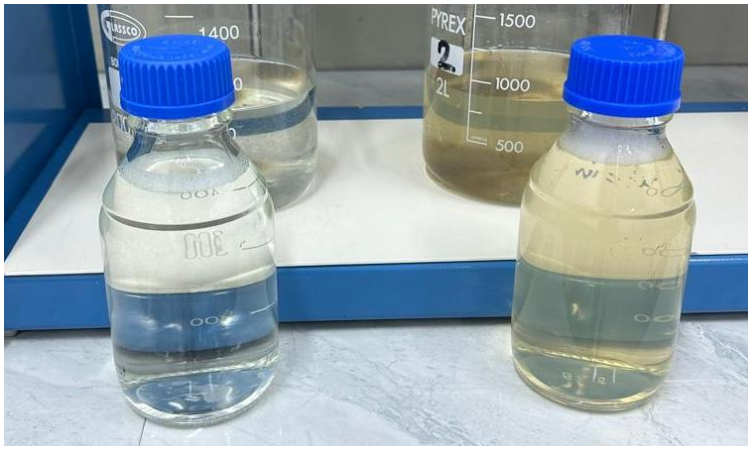


Figura 16. Efluente tratado com sulfato de aluminio e cloreto de ferro III

Ensaios de electrocoagulação (reactor eletrolítico)

Figura 17. Electrocoagulação e floculação com placas de alumínio

Figura 18. Electrocoagulação e floculação com placas de ferro

Tratamento com electrocoagulação

Figura 19. Tratamento com eletrocoagulação e floculação com placas de alumínio

Figura 20. Tratamento com eletrocoagulação e floculação com placas de alumínio

Sedimentação

Figura 21. Sedimentação com placas de alumínio e ferro

Efluente tratado com electrocoagulação

Figura 22. Efluente tratado com placas de alumínio

Anexo 3- Análise de dados laboratoriais

3.1 .Medições de campo

Tabela. 1 Análises de campo

Parâmetros De Campo	1ª Campanha 29.04.2024		2ª Campanha 20.05.2024		3ª Campanha 10.06.2024		4ª Campanha 01.07.2024		5ª Campanha 22.07.2024		6ª Campanha 12.08.2024	
	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$
pH	7,07	7,08±0,010	7,2	7,23±0,058	7,87	7,86±0,010	7,8	7,78±0,015	7,99	7,98±0,010	7,76	7,75±0,10
	7,08		7,2		7,86		7,78		7,98		7,75	
	7,09		7,3		7,85		7,77		7,97		7,74	
T°C	22,6	22,5±0,100	22	22,13±0,153	22,7	22,63±0,058	21,2	21,1±0,100	21,8	21,9±0,100	21,3	21,4±0,100
	22,5		22,1		22,6		21,1		21,9		21,4	
	22,4		22,3		22,6		21		22		21,5	
(CE) µs/cm	867	868,33±1,528	803	806,67±3,512	768	767±1,00	734	735,33±1,528	781	780,33±0,577	734	735±1,00
	868		807		767		737		780		735	
	870		810		766		735		780		736	
STD	1,28	1,256±0,021	1,08	1,07±0,010	2,1	2,17±0,115	2,27	2,25±0,020	2,8	2,78±0,015	1,81	1,80±0,006
	1,25		1,06		2,3		2,26		2,78		1,8	
	1,24		1,07		2,1		2,23		2,77		1,8	

3.2. Medições de caracterização do efluente

Tabela. 2. Análises de caracterização

	1ª Campanha 29.04.2024		2ª Campanha 20.05.2024		3ª Campanha 10.06.2024		4ª Campanha 01.07.2024		5ª Campanha 22.07.2024		6ª Campanha 12.08.2024	
Parâmetros	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**
pH	7,30	7,32±0,025	7,70	7,68±0,020	7,87	7,86±0,010	7,85	7,86±0,010	7,90	7,92±0,015 3	7,68	7,67±0,010
	7,32		7,67		7,86		7,86		7,92		7,67	
	7,35		7,66		7,85		7,87		7,93		7,66	
T°C	21,60	21,5±0,100	22,30	22,33±0,057	22,80	22,77±0,058	21,40	21,43±0,058	21,80	21,90±0,100	22,5	22,43±0,058
	21,50		22,40		22,80		21,40		21,90		22,4	
	21,40		22,30		22,70		21,50		22,00		22,4	
(CE) µs/cm	859,00	858±1,00	801,00	800±0,577	762,00	761±1,00	732,00	731,33±0,57 7	778,00	777±1,00	753	752±1,00
	858,00		800,00		761,00		731,00		777,00		751	
	857,00		800,00		760,00		731,00		776,00		752	
Turbidez	73,40	72,43±0,850	153,20	152,40±0,98 5	88,20	87,63±0,513	57,20	58,23±1,002	87,10	87,53±0,665	152,01	152,90±0,89 5
	72,10		152,70		87,50		58,30		87,20		152,9	
	71,80		151,30		87,20		59,20		88,30		153,8	
DBO	114,60	113,40±1,311	168,60	169,37±0,755	125,70	126,30±0,557	102,80	103,53±0,945	118,40	118,87±0,450	121,5	122,40±1,015
	112,00		169,40		126,40		103,20		118,90		122,2	
	113,60		170,11		126,80		104,60		119,30		123,5	
DQO	191,00	189±2,186	281,00	282,28±1,25 9	209,50	210,5±0,928	171,33	172,56±1,57 5	197,33	198,11±0,75 1	202,5	204±1,691
	186,67		282,33		210,67		172,00		198,17		203,66667	
	189,33		283,52		211,33		174,33		198,83		205,83333	
Óleo e Gordura %	18,20	18,00±0,020	20,60	20,47±0,153	15,36	15,36±0,006						
	18,00		20,50		15,36							
	17,80		20,30		15,37							

3.2. Medições de ensaios de teste de jarros com sulfato de alumínio

Tabela. 3. Análises de teste de jarro com sulfato de alumínio

Dosagem mg/L	1ªCampanha - 29.04.2024				2ª Campanha- 20.05.2024				3ª Campanha- 10.06.2024			
	pH		Turbidez		pH		Turbidez		pH		Turbidez	
	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$
0	7,89	7,87±0,015	32,2	32,9±1,044	7,6	7,57±0,020	113,2	112±1,058	7,37	7,35±0,015	45,2	44.3±0,960
	7,87		32,4		7,57		111,6		7,35		44,5	
	7,86		34,1		7,56		111,2		7,34		43,3	
10	7,38	7,37±0,010	5,26	5,42±0,181	7,28	7,21±0,055	58,2	57,8±0,351	7,18	7,16±0,015	8,41	8,61±0,262
	7,37		5,4		7,19		57,9		7,16		8,52	
	7,36		5,62		7,18		57,5		7,15		8,91	
12	7,2	7,17±0,025	3,1	4,37±0,036	7,14	7,11±0,030	16,3	15,7±0,551	7,01	6,99±0,026	6,18	6,25±0,067
	7,18		3,15		7,11		15,7		7		6,27	
	7,15		3,17		7,08		15,2		6,96		6,31	
14	7,03	7,0±0,026	3,03	2,98±0,062	6,96	6,93±0,030	6,32	6,22±0,095	6,79	6,77±0,015	4,3	4,35±0,070
	6,99		3		6,93		6,21		6,77		4,32	
	6,98		2,91		6,9		6,13		6,76		4,43	
16	6,86	6,85±0,010	6,86	6,87±0,037	6,88	6,86±0,020	3,02	2,94±0,100	6,52	6,5±0,015	2,82	2,87±0,110
	6,85		6,85		6,86		2,98		6,51		2,8	
	6,84		6,92		6,84		2,83		6,49		3	
18	6,76	6,75±0,010	7,82	7,87±0,055	6,78	6,76±0,015	7,92	7,85±0,077	6,44	6,42±0,015	6,72	6,80±0,080
	6,75		7,88		6,77		7,88		6,42		6,81	
	6,74		7,93		6,75		7,77		6,41		6,88	
20					6,68	6,66±0,020	8,77	8,73±0,041				
					6,66		8,75					
					6,64		8,69					

3.4. Medições de ensaios de teste de jarros com cloreto de ferro III

Tabela. 4. Análises de teste de jarro com cloreto de ferro III

Dose (mg/L)	1ªCampanha - 29.04.2024				2ª Campanha- 20.05.2024				3ª Campanha- 10.06.2024			
	pH		Turbidez		pH		Turbidez		pH		Turbidez	
	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$
0	7,6	7,58±0,015	31,2	30,9±0,352	7,6	7,58±0,015	110	108,76±1,069	7,76	7,75±0,015	41,6	40,76±0,907
	7,58		30,98		7,58		108,2		7,75		40,9	
	7,57		30,51		7,57		108,1		7,73		39,8	
10	7,45	7,43±0,015	12,3	11,67±0,568	7,45	7,43±0,015	72,4	68,46±3,682	7,44	7,42±0,015	12,38	13,06±0,591
	7,44		11,5		7,44		67,9		7,42		13,39	
	7,42		11,2		7,42		65,1		7,41		13,42	
12	7,31	7,30±0,017	8,8	8,73±0,061	7,31	7,29±0,017	49,9	51,73±4,724	7,34	7,33±0,015	7,18	7,23±0,051
	7,28		8,72		7,28		48,2		7,35		7,25	
	7,28		8,68		7,28		57,1		7,32		7,28	
14	7,09	7,04±0,041	6,72	6,58±0,131	7,09	7,04±0,041	24,8	20,24±7,533	7,23	7,21±0,015	6,04	6,14±0,087
	7,03		6,56		7,03		23,7		7,21		6,18	
	7,01		6,46		7,01		23,51		7,2		6,2	
16	6,82	6,81±0,005	4,56	4,52±0,072	6,82	6,81±0,005	8,98	8,87±0,147	7,12	7,10±0,015	5,38	5,41±0,036
	6,81		4,57		6,81		8,92		7,1		5,4	
	6,81		4,44		6,81		8,7		7,09		5,45	
18	6,75	6,72±0,020	8,73	8,66±0,117	6,75	6,72±0,020	5,3	5,4±0,264	6,92	6,90±0,015	6,92	6,90±0,015
	6,72		8,55		6,72		5,7		6,9		6,9	
	6,71		8,51		6,71		5,2		6,89		6,89	
20					6,67	6,61±0,066	7,3	8,96±1,877				
					6,63		8,6					
					6,54		11					

3.5. Medições de tratamento com coagulação floculação e sedimentação (Sulfato de alumínio e cloreto de ferro III)

Tabela. 5. Análises de tratamento com coagulação floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III

Parâmetros	1ª Campanha - 29.04.2024				2ª Campanha - 20.05.2024				3ª Campanha-10.06.2024			
	Sulfato de Alumínio		Cloreto de Ferro III		Sulfato de Alumínio		Cloreto de Ferro III		Sulfato de Alumínio		Cloreto de Ferro III	
	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$
pH	6,68	6,67±0,015	6,80	6,78±0,015	6,70	6,71±0,010	6,75	6,76±0,015	6,56	6,55±0,010	6,68	6,67±0,010
	6,67		6,78		6,71		6,78		6,55		6,67	
	6,65		6,77		6,72		6,77		6,54		6,66	
T°C	21,60	21,5±0,100	21,40	21,13±0,231	21,20	21,3±0,100	21,00	21,1±0,100	21,70	21,73±0,057	21,90	21,96±0,057
	21,50		21,00		21,30		21,10		21,80		22,00	
	21,40		21,00		21,40		21,20		21,70		22,00	
(CE) µs/cm	891,00	889,67±1,528	938,00	936,66±1,528	912,00	911,33±0,577	938,00	936,67±1,527	863,00	861,67±1,527	877,00	876±1,00
	890,00		937,00		911,00		937,00		862,00		876,00	
	888,00		935,00		911,00		935,00		860,00		875,00	
STD	570,24	569,38±0,977	600,32	599,46±0,978	547,20	546,8±0,346	600,32	599,46±0,977	552,32	551,46±0,977	561,28	560,64±0,640
	569,60		599,68		546,60		599,68		551,68		560,64	
	568,32		598,40		546,60		598,40		550,40		560,00	
Turbidez	2,98	2,95±0,042	6,11	6,08±0,020	3,20	3,15±0,062	7,92	7,94±0,025	3,01	2,98±0,030	6,30	6,46±0,194
	2.95		6,08		3,17		7,97		2,98		6,42	
	2,92		6,07		3,08		7,94		2,95		6,68	
DBO	9,12	9,54±0,386	7,84	8,06±0,144	16,12	16,32±0,262	13,80	13,64±0,183	12,84	11,77±1,196	7,20	7,50±0,300
	9,62		8,08		16,23		13,44		12,00		7,80	
	9,88		8,10		16,62		13,68		10,48		7,52	
DQO	15,20	15,9±0,643	13,07	13,34±0,241	26,87	27,20±0,437	23,00	22,73±	21,40	19,62±1,993	12,00	12,51±0,500
	16,03		13,47		27,05		22,40		20,00		13,00	
	16,47		13,50		27,70		22,80		17,47		12,53	
Óleos e Gorduras	2,10	2,16±0,057	1,20	1,1±0,141	2,40	2,36±0,057	1,00	0,93±0,057	1,05	1,04±0,010	0,60	0,5±0,100
	2,20		1.1		2,40		0,90		1,04		0,50	
	2,20		1,00		2,30		0,90		1,03		0,40	

3.6. Medições de ensaios de teste de jarros com sulfato de alumínio

Tabela. 6. Análises de teste de jarro com sulfato de alumínio

Dose (mg/L)	4ªCampanha - 01.07.2024				5ª Campanha- 22.07.2024				6ª Campanha- 12.08.2024			
	pH		Turbidez		pH		Turbidez		pH		Turbidez	
	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$
0	7.89	7,87±0,015	19.2	18,86±0,295	7.80	7,81±0,010	50.2	51,43±1,365	7.65	7,64±0,010	111.3	111,65±0,677
	7.86		18.7		7.81		51.2		7.64		111.22	
	7.87		18.68		7.82		52.9		7.63		112.43	
10	7.38	7,37±0,010	5.62	5,55±0,089	7.57	7,56±0,010	9.5	9,55±0,068	7.10	7,09±0,010	68.43	68,05±0,528
	7.37		5.58		7.56		9.63		7.09		68.28	
	7.36		5.45		7.55		9.53		7.08		67.45	
12	7.2	7,17±0,025	3.1	3,14±0,036	7.11	7,10±0,010	4.88	4,79±0,079	7.02	7,01±0,010	22.22	23,12±0,881
	7.18		3.15		7.10		4.76		7.01		23.18	
	7.15		3.17		7.09		4.7		7.00		24.0	
14	7.09	7,08±0,006	2.88	2,84±0,040		6,97±0,010	3.82	3,82±0,030	6.89	6,87±0,015	8.68	8,76±0,114
	7.09		2.85				3.79		6.88		8.71	
	7.08		2.8				3.85		6.86		8.89	
16	6.86	6,85±0,010	4.01	4,15±0,129		6,88±0,010	3.32	3,31±0,031	6.83	6,82±0,010	4.31	4,50±0,186
	6.85		4.21				3.28		6.82		4.52	
	6.84		4.25				3.34		6.81		4.68	
18	6.76	6,76±0,015	4.35	4,40±0,044		6,67±0,010	6.7	6,74±0,057	6.70	6,69±0,010	3.01	3,09±0,085
	6.75		4.42				6.73		6.69		3.09	
	6.78		4.43				6.81		6.68		3.18	
20									6.60	6,58±0,015	6.68	6,73±0,074
									6.58		6.71	
									6.57		6.82	

3.7. Medições de ensaios de teste de jarros com cloreto de ferro III

Tabela. 7 Análises de teste de jarro com cloreto de ferro III

Dosagem (mg/L)	1ªCampanha - 01.07.2024			2ª Campanha- 22.07.2024				3ª Campanha- 12.08.2024			
	pH		Turbidez	pH		Turbidez		pH		Turbidez	
	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$
0	7.82	7,81±0,010	17.88	7.74	7,73±0,010	47.1	46,20±0,954	7.63	7,62±0,015	140	143,3±4,163
	7.81		17.78	7.73		46.3		7.62		142	
	7.8		17.71	7.72		45.2		7.60		148	
10	7.46	7,45±0,010	13.98	7.52	7,51±0,010	32.4	32,60±0,265	7.25	7,22±0,026	24.9	25,43±0,473
	7.45		13.8	7.51		32.5		7.21		25.6	
	7.44		13.77	7.50		32.9		7.20		25.8	
12	7.28	7,27±0,010	10.4	7.22	7,21±0,010	27.2	27,40±0,458	7.13	7,12±0,010	14.7	15,27±0,603
	7.27		10.8	7.21		27.8		7.12		15.2	
	7.26		10.9	7.20		28.1		7.11		15.9	
14	7.12	7,11±0,010	8.75	7.18	7,17±0,010	10.3	10,46±0,442	7.05	7,04±0,010	12.1	12,63±0,681
	7.11		8.72	7.17		10.12		7.04		12.4	
	7.1		8.5	7.16		10.96		7.03		13.4	
16	7.01	6,99±0,015	4.32	7.10	7,08±0,025	5.6	5,53±0,096	7.02	7,02±0,006	10.2	10,77±0,513
	6.99		4.35	7.08		5.57		7.02		10.9	
	6.98		4.45	7.05		5.42		7.01		11.2	
18	6.82	6,81±0,010	8.6	6.87	6,86±0,006	10.87	10,90±0,067	6.98	6,96±0,015	6.02	6,12±0,100
	6.81		9.1	6.86		10.86		6.96		6.11	
	6.8		9.8	6.86		10.98		6.95		6.22	
20								6.81	6,81±0,010	8.72	8,77±0,046
								6.82		8.78	
								6.80		8.81	

3.8. Medições de ensaios de electrocoagulação com placas de alumínio e placas de ferro

Tabela. 8 Ensaios de electrocoagulação com placas de alumínio

Voltagens (V)	4ªCampanha - 01.07.2024				5ªCampanha - 22.07.2024				6ªCampanha - 12.08.2024			
	pH		Turbidez		pH		Turbidez		pH		Turbidez	
	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$
6V	7.82	7,83±0,010	3.21	3,31±0,101	8.06	8,05±0,010	4.16	4,21±0,060	8.51	8,52±0,015	6.28	6,35±0,067
	7.83		3.33		8.05		4.21		8.53		6.39	
	7.84		3.41		8.04		4.28		8.54		6.4	
8V	8.03	8,04±0,015	2.35	2,34±0,031	8.08	8,08±0,006	2.87	2,83±0,047	8.58	8,57±0,010	2.67	2,64±0,036
	8.04		2.37		8.09		2.85		8.57		2.65	
	8.06		2.31		8.09		2.78		8.56		2.6	
10V	8.16	8,17±0,010	4.55	4,63±0,072	8.11	8,12±0,010	3.41	3,45±0,060	8.62	8,63±0,015	5.31	5,2±0,110
	8.17		4.67		8.12		3.43		8.64		5.2	
	8.18		4.68		8.13		3.52		8.65		5.09	

Tabela. 9 Ensaios de electrocoagulação com placas de ferro

Voltagens (V)	4ªCampanha - 01.07.2024				5ªCampanha - 22.07.2024				6ªCampanha - 12.08.2024			
	pH		Turbidez		pH		Turbidez		pH		Turbidez	
	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$
6V	7.28	7,27±0,010	7.72	8,00±0,026	8.22	8,23±0,010	9.8	9,80±0,030	8.04	8,05±0,010	10.81	10,91±0,100
	7.27		7.68		8.23		9.83		8.05		10.92	
	7.26		7.67		8.24		9.77		8.06		11.01	
8V	7.51	7,53±0,015	4.28	4,19±0,086	8.32	8,31±0,012	4.52	4,49±0,049	8.10	8,10±0,006	5.45	5,48±0,035
	7.53		4.17		8.3		4.51		8.10		5.48	
	7.54		4.11		8.3		4.43		8.11		5.52	
10V	8.37	8,3±0,010	6.2	6,57±0,329	8.4	8,41±0,006	6.12	6,23±0,136	8.66	8,68±0,015	7.99	7,63±0,529
	8.38		6.7		8.41		6.18		8.68		7.87	
	8.39		6.82		8.41		6.38		8.69		7.02	

3.9. Medições de tratamento com coagulação, floculação e sedimentação e electrocoagulação

Tabela. 10 Ensaios de tratamento com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e electrocoagulação com placas de alumínio

	4ª Campanha - 01.07.2024				5ª Campanha - 22.07.2024				6ª Campanha - 12.08.2024			
	C-Al		EC-Al		C-Al		EC-Al		C-Al		EC-Al	
Parâmetros	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**	**Medições**	**$\bar{x} \pm s$**
pH	6.02	6.03±0.015	8.16	8.17±0.010	6.81	6.8±0.010	8.11	8.125±0.01	6.78	6.77±0.01	8.66	8.68±0.014
	6.05		8,17		6.80		8.12		6.77		8,67	
	6.04		8,18		6.79		8.13		6.76		8,69	
T°C	22.3	22.36±0.057	21,90	21.8±0.100	22.7	22.667±0.061	22.6	22.7±0.100	21.7	21.8±0.100	21,90	21,93
	22.4		21,80		22.7		22.7		21.8		21,90	
	22.4		21,70		22.6		22.8		21.9		22,00	
(CE) µs/cm	758,00	757±1.00	620,00	621±1.000	779	778±1.00	662	662±1.000	807	805.332±2.082	642,00	641,00
	757,00		621,00		778		661		808		641,00	
	756,00		622,00		777		663		807		640,00	
STD	485.12	484.48±0.640	396,80	397.44±0.640	498.56	497.920±0.642	423.02	423.68±0.640	516.48	515.41±1.332	410,88	410,24
	484.48		397,44		497.92		423.2		515.84		410,24	
	483.84		398,08		497.28		424.32		513.92		409,60	
Turbidez	1.21	1.22±0.047	1,06	1.097±0.032	3.05	3.083±0.035	2.20	2.3±0.092	3.45	3.503±0.068	2,09	2,20
	1.19		1,11		3.08		2.32		3.48		2,20	
	1.28		1,12		3.12		2.38		3.58		2,31	
DBO	24.24	23.41±0.719	17,40	17.627±0.266	29.92	30.027±0.151	23.04	23.213±0.205	33.48	33.776±0.462	21,48	21,57
	22.96		17,56		29.96		23.16		33.52		21,56	
	23.03		17,92		30.2		23.44		34.3		21,68	
DQO	40.4	39.01±1.199	29,00	29.378±0.444	29.92	50.044±0.252	38.40	38.689±0.342	55.8	56,287±0.771	35,79	35,95
	38.27		29,27		29.96		38.60		55.678		35,93	
	38.40		29,87		30.2		39.07		57.167		36,13	

Tabela. 11 Ensaios de tratamento com coagulação, floculação e sedimentação com cloreto de ferro III e electrocoagulação com placas de ferro

Parâmetros	1ª Campanha 01.07.2024				2ª Campanha 22.07.2024				3ª Campanha 12.08.2024			
	C-Fe		EC-Fe		C-Fe		EC-Fe		C-Fe		EC-Fe	
	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$	Medições	$\bar{x} \pm s$
pH	6,16	6,15±0,010	8,74	8,77±0,026	6,77	6,76±0,010	8,40	8,40±0,006	6,90	6,91±0,015	8,66	8,67±0,015
	6,15		8,78		6,76		8,41		6,92		8,68	
	6,14		8,79		6,75		8,41		6,93		8,69	
T°C	22,40	22,33±0,057	22,90	22,8±0,100	21,5	21,467±0,058	22,30	22,367±0.115	21,30	21,4±0,100	21,2	21,2±0,100
	22,30		22,80		21,5		22,30		21,40		21,1	
	22,30		22,70		21,4		22,50		21,50		21,3	
(CE) µs/cm	763,00	762±1,0	648,00	647,3±0,577	765	766±1,00	638,00	636,3±1,528	751,00	755,6±4,042	642	641±1,00
	762,00		647,00		766		636,00		758,00		641	
	761,00		647,00		767		635,00		758,00		640	
STD	488,32	487,68±0,640	414,72	414,3±0,370	489,6	490,24±0,640	408,32	407,253±0,978	480,64	483,62±2,586	410,88	410,24±0,640
	487,68		414,08		490,24		407,04		485,12		410,24	
	487,04		414,08		490,88		406,40		485,12		409,6	
Turbidez	6,68	6,753±0,066	3,20	3,573±0,330	9,18	9,226±0,057	4,87	4,923±0,055	9,20	9,32±0,125	5,09	5,073±0,047
	6,77		3,70		9,21		4,92		9,31		5,02	
	6,81		3,82		9,29		4,98		9,45		5,11	
DBO	19,52	19,467±0,166	14,60	14,84±0,223	28,2	28,46±0,295	22,35	22,57±0,249	28,72	28,376±0,355	20,8	20,467±0,306
	19,28		14,88		28,4		22,84		28,40		20,4	
	19,60		15,04		28,78		22,52		28,01		20,2	
DQO	32,53	32,44±0,277	24,33	24,73±0,371	47,00	47,43±0,491	37,25	37,61±0,415	47,87	47,29±0,593	34,666667	34,11±0,509
	32,13		24,80		47,33		38,07		47,33		34	
	32,67		25,07		47,97		37,53		46,68		33,666667	

Anexo 4 – Padrões estabelecidos pela legislação nacional e internacional

Decreto n° 52/2023 que aprova o Regulamento de padrões de qualidade de água bruta e de descargas de efluentes Líquidos e Sólidos.

Tabela. 13 Parâmetros estabelecidos pelo Decreto n° 52/2023

Oficinas e estações de serviço

Parâmetro	Valor	MS
DBO_5	30	
DQO	80	
Óleos e gorduras	10	
Cromo (total)	10	
Fósforo (Zn)	2	
Aumento de Temperatura	$<= 3^0$ C	

EPA tratamento e reaproveitamento de água fora EUA

Tabela. 14 Parâmetros estabelecidos pelo Decreto n° 52/2023

Table 8-3. Summary of Water Quality Parameters of Concern for Water Reuse

Parameter	Significance for Water Reuse	Range in Secondary Effluents	Treatment Goal in Reclaimed Water
Suspended solids	Measures of particles. Can be related to microbial contamination. Can interfere with disinfection. Clogging of irrigation systems. Deposition.	5 mg/L - 50 mg/L	<5 mg SS/L - 30 mg SS/L
Turbidity		1 NTU - 30 NTU	<0.1 NTU - 30 NTU
BOD_5	Organic substrate for microbial growth. Can favor bacterial regrowth in distribution systems and microbial fouling.	10 mg/L - 30 mg/L	<10 mg BOD/L - 45 mg BOD/L
COD		50 mg/L -150 mg/L	<20 mg COD/L - 90 mg COD/L
TOC		5 mg/L - 20 mg/L	<1 mg C/L - 10 mg C/L
Total coliforms	Measure of risk of infection due to potential presence of pathogens. Can favor biofouling in cooling systems.	<10 cfu/100mL -10^7 cfu/100mL	<1 cfu/100mL - 200 cfu/100mL
Fecal coliforms		<1-10^6 cfu/100mL	<1 cfu/100mL - 10^3 cfu/100mL
Helminth eggs		<1/L - 10/L	<0.1/L - 5/L
Viruses		<1/L - 100/L	<1/50L
Heavy metals	Specific elements (Cd, Ni, Hg, Zn, etc) are toxic to plants and maximum concentration limits exist for irrigation	---	<0.001 mg Hg/L <0.01 mg Cd/L <0.1 mg Ni/L - 0.02 mg Ni/L
Inorganics	High salinity and boron (>1mg/L) are harmful for irrigation	---	>450 mg TDS/L
Chlorine residual	To prevent bacterial regrowth. Excessive amount of free chlorine (>0.05) can damage some sensitive crops	---	0.5 mg Cl/L - >1 mg Cl/L
Nitrogen	Fertilizer for irrigation. Can contribute to algal growth, corrosion (N-NH4) and scale formation (P).	10 mg N/L - 30 mg N/L	<1 mg N - 30mgN/L
Phosphorus		0.1 mg P/L - 30 mg P/L	<1 mg P/L - 20 mg P/L

Anexo 5 – Lavagens realizadas e detergentes usados no presente caso de estudo

Lavagens realizadas no presente caso de estudo

Figura 23. Lavagem exterior do automóvel

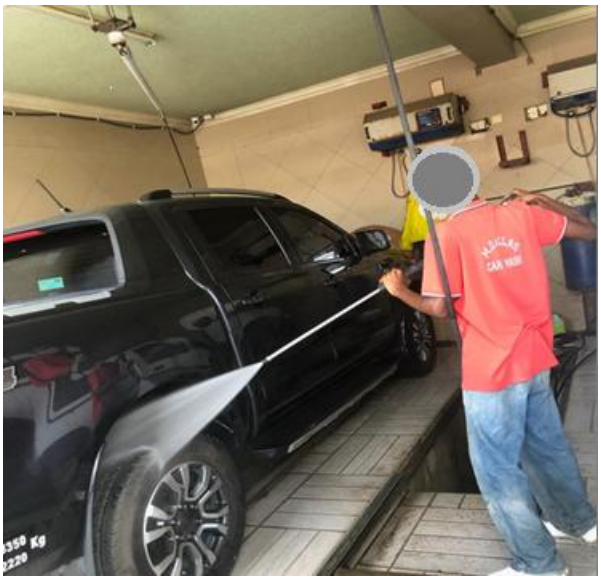


Figura 24. Lavagem de pneus do automóvel

Figura 25. Lavagem carpete do automóvel

Anexo 6 - Detergentes usados no presente caso de estudo

Figura 26. Detergente usado para o interior e exterior

Figura 27. Detergente usado para os pneus e motor

Figura 25. Lavagem do pneu com o detergente

Anexo 7- Factores que influenciam a eletrocoagulação

Factores	Descrição	Referência
Corrente eléctrica	A corrente influencia diretamente a quantidade de metal oxidado. Correntes muito altas podem causar perda de eficiência devido ao efeito Joule e aumentar a frequência de manutenção dos eletrodos.	**Crespilho & Rezende (2004)**
Agitação e Mistura	Promove a homogeneidade da solução no reator, aumentando a eficiência da remoção dos poluentes.	**Mollah et al., (2004)**
Distância entre eletrodos	Distâncias menores entre os electrodos reduzem o consumo de energia sem prejudicar o desempenho da separação.	**Koren & Syversen (1995)**
Consumo de energia	Depende da tensão elétrica, corrente, tempo de processo, volume de efluente e preço da energia.	**Wiendl (1998)**
Passivação dos eletrodos	Formação de filme de óxido no cátodo pode reduzir a eficiência do processo e exigir substituição dos electrodos.	**Mollah et al., (2001)**
Densidade de corrente	Representa a corrente aplicada por unidade de área dos electrodos e afeta diretamente a eficiência do processo de eletrocoagulação.	**Mollah et al., (2004)**
Desgaste do eletrodo	O electrodo se desgasta conforme libera íons metálicos no meio. A massa consumida é calculada pela equação	**Mollah et al., (2004)**

Anexo 8 - Equações do custo deo processo de eletrocoagulação

Custo operacional

$$C_o = C_{energia} + C_{eléctrodo} \quad (\textbf{Equacção 1})$$

C_o – custo operacional;

$C_{energia}$ – custo de energia eléctrica;

$C_{eléctrodo}$ – custo do eléctrodo.

Custo de energia eléctrica

$$C_{energia} = \frac{U.\ i\ .\ t}{Vefl} \ x\ P_{EE} \quad (\textbf{Equacção 2})$$

$C_{energia}$ – custo energia eléctrica em Mt/m^3;

i – Corrente eléctrica aplicada, em A;

u –Tensão aplicada, em V;

t –Tempo de processo, em horas;

V – Volume do efluente em m^3;

PEE – Preço de energia electrica

O custo do material

$$C_{eléctrodo} = \frac{M.i.t}{n..F.V} \ x\ P_{ME} \quad (\textbf{Equacção 3})$$

$C_{electrodo}$ – custo do eléctrodo, em Mt/m^3;

i – Corrente eléctrica aplicada, em A;

t – Tempo de funcionamento, em segundos

M – Massa molar relativa do alumínio, em g/mol;

P_{ME} – preço do material da placa de aluminio em Mt /g;

n – Número de electrões envolvidos na reacção de oxidação/redução;

F – Constante de Faraday (96500 C/mol);

V – Volume do efluente tratado em m^3.

Desgaste do electrodo

$$m_{el} = \frac{i.t.M}{F.N} \qquad \textit{(Equacção 4)}$$

i - Corrente (em A);

t - Tempo (em s) tempo de processo;

M - Massa molar do elemento predominante do electrodo (em gmo/l);

N - Número de eléctrons envolvidos na reacção de oxidação do ânodo;

F- Constante de Faraday ($F = 9{,}65 \times 10^4\,\mathrm{Cmol}^{-1}$).

Densidade de corrente

$$\delta = \frac{I}{A} \quad \textit{((Equacção 5)}$$

Onde:

δ - Densidade de corrente (A/m^2);

I - Corrente eléctrica (A);

A - área total dos ânodos (m^2).