

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

DANIELLE MARTINS CASSIANO DE OLIVEIRA

**COAGULANTES QUÍMICOS E NATURAIS PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTES GERADOS EM POSTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA 2014

DANIELLE MARTINS CASSIANO DE OLIVEIRA

**COAGULANTES QUÍMICOS E NATURAIS PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTES GERADOS EM POSTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS**

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi

LONDRINA 2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

COAGULANTES QUÍMICOS E NATURAIS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS EM POSTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS

por

Danielle Martins Cassiano de Oliveira

Monografia apresentada no dia 07 de agosto de 2014 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)
Coorientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pelo dom da vida, pela força e fé.

Aos meus pais e familiares que estiveram sempre ao meu lado, dedicaram todo carinho e atenção nos momentos de alegria e momentos de dificuldade.

Aos orientadores Edilaine Regina Pereira e Ricardo Nagamine Costanzi pela contribuição na produção do trabalho e pelo conhecimento que me passaram.

A professora Joseane Débora Peruço Theodoro pela compreensão e pela atenção.

A Inês e Pedro pela ajuda com a estatística do trabalho.

Aos amigos Aline, Ana Paula, George e Gustavo pela ajuda na execução dos ensaios.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para minha formação.

OLIVEIRA, Danielle M. C.. Coagulantes Químicos e Naturais para Tratamento de Efluentes Gerados em Postos de Lavagem de Veículos. 2014. 123 p. Trabalho de Graduação. (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

RESUMO

O aumento dos problemas relacionados à escassez da água reforça a alternativa de seu reúso. O tratamento de efluentes gerados em postos de lavagem de veículos pode ser um meio eficaz para a sua reutilização. Esta pesquisa procurou testar três coagulantes entre naturais e químicos comparando-os quanto a sua eficácia no ensaio de coagulação/floculação, tais coagulantes como os naturais *Moringa oleifera* e Tanfloc SG e o químico sulfato de alumínio. Utilizou-se um Planejamento experimental de delineamento composto central rotacional (DCCR) para determinar as condições ótimas de melhores remoções de cor, turbidez, DQO, série de sólidos, nitrogênio total e surfactantes, assim como avaliar o pH e condutividade na presença dos coagulantes. As variáveis independentes escolhidas para a aplicação do método foram a concentração e o tempo. As concentrações foram testadas quanto a faixa de coagulação/floculação buscando escolher o intervalo a ser inserido no método do DCCR. Através do DCCR foram especificados as concentrações e os tempos utilizados no ensaio, para a *Moringa oleifera* a concentração variou de 200 a 800 mg/L, para o Tanfloc SG no intervalo de 100 a 400 mg/L e para o sulfato de alumínio de 300 a 800 mg/L. O coagulante considerado de melhor eficiência no panorama geral foi o coagulante natural Tanfloc SG. Este apresentou a melhor clarificação do efluente com remoção de cor de 93,45% e de turbidez de 97,82%, o que propicia uma boa recirculação do efluente para a lavagem de postos e melhor aceitação por parte dos consumidores, além de não possuir problemas com a condutividade e remover grande parte do sabão presente no efluente bruto.

OLIVEIRA, Danielle M. C.. Chemical and Natural Coagulants for Treating Wastewater Generated in Vehicle Wash Stations. 2014. 123 p. Trabalho de Graduação. (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

Abstract

The increase of problems related to water scarcity lead to strengthen the alternative reuse. The treatment of effluents with the purpose of reusing it can be an effective means. This study sought to test three chemical coagulants between natural and comparing them as to their effectiveness in assay of coagulation / flocculation coagulants such as natural and Tanfloc SG, Moringa oleifera, aluminum sulfate chemical. It was used an experimental planning central composite rotational design (CCRD) to determine the optimum conditions for better removal of color, turbidity, COD, solids, total nitrogen and surfactants, as well as evaluate the pH and conductivity in the presence of coagulants. The independent variables chosen for the application of the method were concentration and time. Concentrations were tested for a range of coagulation / flocculation seeking choosing the range to be inserted into the CCRD method. Through the DCCR were specified concentrations and times used in the test for the jug concentration was within 200 to 800 mg / L to SG Tanfloc SG in the range of 100 to 400 mg / L and aluminum sulfate of 300 to 800 mg / L. The coagulant considered as a better efficiency in was the natural coagulant Tanfloc SG. It has shown the best clarification of the effluent, with 93.45% of color removal and 97.82% of turbidity removal, which provides a good recirculated effluent for washing stations and better acceptance by consumers. In addition this method didn't have problems with conductivity and removed much of the soap present in raw wastewater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Caminhos para a coagulação por adsorção-neutralização de carga e por varredura utilizando sulfato de alumínio.	24
Figura 2: Esboço da separação que ocorre na caixa separadora de água e óleo.....	37
Figura 3: Local do experimento - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.....	39
Figura 4: Imagem aérea do posto de combustíveis.....	40
Figura 5: Jar-test Nova Ética.	45
Figura 6: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor	48
Figura 7: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de turbidez.....	50
Figura 8: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO.....	51
Figura 9: Superfície de resposta para a variável resposta condutividade	52
Figura 10: Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados.....	53
Figura 11: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).	54
Figura 12: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).	55
Figura 13: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%).	55
Figura 14: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade.	55
Figura 15: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH.	56
Figura 16: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção cor (%).	57
Figura 17: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).	58
Figura 18: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO.....	59
Figura 19: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor	66
Figura 20: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de turbidez	67
Figura 21: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO	68
Figura 22: Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados.....	69
Figura 23: Superfície de resposta para a variável resposta condutividade	70
Figura 24: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).	71
Figura 25: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).	71
Figura 26: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%)	72
Figura 27: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH.	72
Figura 28: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade.	72
Figura 29: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).	74
Figura 30: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de turbidez(%).	75
Figura 31: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%).	76
Figura 32: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor	83
Figura 33: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de turbidez	84
Figura 34: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO	85
Figura 35: Superfície de resposta para a variável resposta pH.....	86
Figura 36: Superfície de resposta para a variável resposta condutividade	87
Figura 37: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).	88
Figura 38: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).	88
Figura 39: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%).	88
Figura 40: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH.	89
Figura 41: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade.	89
Figura 42: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).	91
Figura 43: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).	92

Figura 44: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%).	92
Figura 45: Comparação de eficiência de remoção do nitrogênio total entre os 3 coagulantes.	99
Figura 46: Comparação de eficiência de remoção de surfactantes entre os 3 coagulantes.	100
Figura 47: Tamanho dos flocos de todas as concentrações dos 3 coagulantes.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos efluentes de postos de lavagem.	32
Tabela 2: Valores codificados e valores reais utilizados no ensaio da Moringa oleifera.	43
Tabela 3: Valores codificados e valores reais utilizados no ensaio do Tanfloc SG.	44
Tabela 4: Valores codificados e valores reais utilizados no ensaio do sulfato de alumínio.	44
Tabela 5: Análises realizadas no efluente	46
Tabela 6: Características do efluente bruto coletado.	47
Tabela 7: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor com os fatores significativos.	59
Tabela 8: Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios.	60
Tabela 9: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%) com os fatores significativos.	60
Tabela 10: Valores experimentais de eficiência de remoção de turbidez, previstos pelo modelo e desvios.	61
Tabela 11: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos.	61
Tabela 12: Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios.	62
Tabela 13: ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos.	62
Tabela 14: Valores experimentais de condutividade, previstos pelo modelo e desvios.	63
Tabela 15: ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos.	63
Tabela 16: Valores experimentais do pH, previstos pelo modelo e desvios.	64
Tabela 17: Valores de eficiência de remoção da série de sólidos utilizando Moringa oleifera.	65
Tabela 18: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos.	76
Tabela 19: Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios.	77
Tabela 20: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de turbidez com os fatores significativos.	77
Tabela 21: Valores experimentais de eficiência de remoção de turbidez, previstos pelo modelo e desvios.	78
Tabela 22: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos.	78
Tabela 23: Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios.	79
Tabela 24: ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos.	79
Tabela 25: Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios.	80
Tabela 26: ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos.	80
Tabela 27: Valores experimentais de condutividade, previstos pelo modelo e desvios.	81
Tabela 28: Valores de eficiência de remoção da série de sólidos utilizando Tanfloc SG SG.	82
Tabela 29: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos.	93
Tabela 30: Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios.	93
Tabela 31: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%) com os fatores significativos.	94
Tabela 32: Valores experimentais de eficiência de remoção de turbidez, previstos pelo modelo e desvios.	94
Tabela 33: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos.	95
Tabela 34: Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios.	95
Tabela 35: ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos.	96
Tabela 36: Valores experimentais de eficiência pH, previstos pelo modelo e desvios.	96
Tabela 37: ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos.	97
Tabela 38: Valores experimentais condutividade, previstos pelo modelo e desvios.	97
Tabela 39: Valores de eficiência de remoção da série de sólidos utilizando Sulfato de Alumínio.	98
Tabela 40: Valores das melhores eficiências atingidas de cada coagulante.	103
Tabela 41: Valores dos R ² dos parâmetros analisados.	103

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL.....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1. IMPORTÂNCIA DA ÁGUA	15
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA.....	15
4.2.1. <i>Características químicas da água</i>	16
4.2.1.1. pH (Potencial Hidrogeniônico).....	16
4.2.1.2. DQO (Demanda Química de Oxigênio)	17
4.2.1.3. Nitrogênio.....	18
4.2.2. <i>Características físicas</i>	18
4.2.2.1. Cor Aparente	19
4.2.2.2. Turbidez	19
4.2.2.3. Série de Sólidos	20
4.3. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	22
4.3.1. <i>Processo de coagulação</i>	22
4.3.1.1. Compressão da dupla camada elétrica	22
4.3.1.2. Adsorção e Neutralização de carga	23
4.3.1.3. Varredura.....	23
4.3.1.4. Adsorção e formação de pontes.....	24
4.3.2. <i>Processo de Floculação</i>	25
4.3.2.1. Floculação pericinética.....	25
4.3.2.2. Floculação ortocinética.....	25
4.3.2.3. Sedimentação diferencial.....	26
4.3.3. <i>Uso de Coagulantes</i>	26
4.3.3.1. Coagulante químico.....	26
4.3.3.2. Coagulante natural.....	27
4.4. REÚSO.....	30
4.5. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	31
4.6. LEGISLAÇÃO APLICADA A POSTOS DE LAVAGEM	33
4.7. SISTEMA DE TRATAMENTO CONVENCIONAL UTILIZADO EM POSTOS DE LAVAGEM.....	36
4.7.1. <i>Decantadores</i>	36
4.7.1.1. <i>Caixa separadora de água e óleo</i>	37
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
5.1. LOCAL DE COLETA	39
5.2. COLETA.....	40
5.3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	40
5.4. ETAPAS DO EXPERIMENTO.....	41
5.4.1. <i>Pré-ensaio</i>	41
5.4.2. <i>Preparação dos coagulantes naturais</i>	41
5.4.3. <i>Preparação do coagulante químico</i>	42
5.7. ENSAIO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO	44
5.8. ANÁLISES LABORATORIAIS	46

5.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	46
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
6.1.MORINGA OLEIFERA OLEIFERA	48
6.1.1. <i>Cor Aparente</i>	48
6.1.2. <i>Turbidez</i>	49
6.1.3. <i>DQO</i>	50
6.1.5. <i>Condutividade Elétrica</i>	52
6.1.6. <i>pH</i>	53
6.1.4. <i>Série de Sólidos</i>	64
6.2.TANFLOC SG SG	65
6.2.1. <i>Cor Aparente</i>	65
6.2.2. <i>Turbidez</i>	66
6.2.3. <i>DQO</i>	67
6.2.5. <i>pH</i>	69
6.2.6. <i>Condutividade Elétrica</i>	70
6.2.4. <i>Série de sólidos</i>	81
6.3.SULFATO DE ALUMÍNIO.....	82
6.3.1. <i>Cor Aparente</i>	82
6.3.2. <i>Turbidez</i>	83
6.3.3. <i>DQO</i>	84
6.3.4. <i>pH</i>	85
6.3.5. <i>Condutividade Elétrica</i>	86
6.3.6. <i>Série de sólidos</i>	97
6.4. ANÁLISE DE SURFACTANTES E NITROGÊNIO TOTAL.....	99
6.5. TAMANHO DOS FLOCOS	100
6.6. COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE COAGULANTES	102
8. REFERÊNCIAS	106

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, associado ao aumento da expectativa de vida da população nos países em desenvolvimento, resulta em uma elevada demanda de consumo sobre os recursos hídricos. Uma grande parcela da população faz uso deste recurso inconsciente dos problemas relacionados aos desperdícios de água para o planeta. Além disso, para milhões de pessoas a água é inadequada ao consumo, em consequência das altas concentrações de poluentes lançados nos corpos hídricos. Desta maneira, existem diversos problemas relacionados à água que deterioram a qualidade de vida dos seres vivos e precisam ser solucionados de forma planejada.

Diante do contexto global, no Brasil há uma alta disponibilidade hídrica. Com uma vazão de água média anual de 179 mil m³/s em seus rios, o país concentra 12% da disponibilidade total de água no mundo. Entretanto, essa quantidade não é distribuída de forma igualitária. A região hidrográfica Amazônica, área onde estão as mais baixas concentrações populacionais, detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais do país (ANA, 2005). Assim, a disponibilidade para suprir a demanda de todo o país fica comprometida, agravada pela qualidade da água resultante da poluição em todo o território nacional.

Devido à pequena disponibilidade de água em boas condições de uso, a lavagem de veículos em postos torna-se um alvo de críticas, pelo grande desperdício que existe nestes locais. No Brasil, de acordo com Leão et al. (2010) cerca de 32.700 postos de lavagem consomem 3,7 milhões de m³/mês, o equivalente ao consumo mensal de uma cidade de 600 mil habitantes. Além disso, são utilizadas águas de abastecimento público, ou mesmo de poços artesianos, e em muitos casos não ocorre a correta destinação para o efluente gerado.

Diante do descarte inadequado de efluentes, a qualidade das águas superficiais fica comprometida. Para que a água de lagos e rios seja consumida com uma qualidade que não danifique a saúde da população, é necessário realizar um tratamento nas estações de tratamento de água (ETA). Nestas, a água passa pelo processo de coagulação, no qual usualmente adicionam-se determinadas concentrações de sulfato

de alumínio na água em fluxo. Além desse coagulante químico, outros como o cloreto férrico, o sulfato férrico, o policloreto de alumínio (PAC) e os coagulantes orgânicos catiônicos também são utilizados frequentemente nas ETA's. Como substitutos destes coagulantes, o processo de purificação a partir de coagulantes naturais tem sido uma alternativa muito estudada atualmente nas estações de tratamento de água e efluentes (ETE's), com destaque para o Tanfloc SG e a semente da *Moringa oleifera*.

Niero, Alves e Skoronski (2012) afirmam que o Tanfloc SG possui uma grande capacidade de remoção de sólidos suspensos no processo de floculação. Outro fator importante é que ele não altera o pH e a condutividade do meio. Já a *Moringa oleifera*, o outro coagulante natural, apresenta uma alta eficiência na remoção de cor e turbidez e uma boa degradabilidade, conforme pesquisas realizadas por Cardoso et al., (2008). Segundo estes autores, o percentual de remoção pode alcançar até 90%, dependendo da concentração utilizada no processo.

O tratamento de efluentes tem por objetivo a minimização da degradação ambiental, principalmente dos recursos hídricos. Desta forma, o reúso da água gerada pelos postos de lavagem de veículos se apresenta como uma alternativa sustentável e racional. As mudanças relacionadas à cobrança pelo uso proporcional da água e pelo lançamento de efluentes em corpos de água reforçam às empresas e indústrias a se planejarem e adotarem o reúso de suas águas para fins menos nobres.

Visando a grande importância ambiental do reúso da água e amenização dos desperdícios gerados, este trabalho tem como propósito avaliar a eficiência do tratamento dos efluentes gerados nos postos de lavagem de veículos a partir do uso dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e o Tanfloc SG e o coagulante químico sulfato de alumínio, para a sua reutilização na lavagem dos veículos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é a utilização de sementes de *Moringa oleífera* e Tanfloc SG como coagulantes naturais e o sulfato de alumínio como coagulante químico para o tratamento do efluente gerado em postos de lavagem de veículos, com a finalidade de viabilizar o reúso da água.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Avaliar os resultados de eficiência de tratamentos convencionais (sulfato de alumínio) com o coagulante Tanfloc SG e a semente de *Moringa oleífera*;
- Analisar os parâmetros: cor aparente, turbidez, pH, condutividade, série de sólidos, DQO, nitrogênio total e surfactantes do efluente e da água de reúso.
- Avaliar os flocos gerados no ensaio de coagulação/floculação dos três produtos utilizados como coagulantes.
- Analisar estatisticamente os resultados obtidos através do método de delineamento composto central rotacional gerado.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. IMPORTÂNCIA DA ÁGUA

De acordo com a OMS (2009), a água é essencial para a vida. A quantidade de água doce em terra é limitada, e a sua qualidade está sob pressão constante. A conservação da qualidade da água doce é importante para o abastecimento de água potável, produção de alimentos e uso recreativo. A qualidade da água pode ser comprometida pela presença de agentes infecciosos, produtos químicos tóxicos ou radiação.

A água constitui-se no recurso natural mais importante para o desenvolvimento da agricultura no mundo, uma vez que as novas tecnologias para aumento de produtividade das áreas agrícolas são dependentes da sua disponibilidade. Apesar de sua importância, esse recurso apresenta-se cada vez mais escasso, representando um problema ambiental de solução complexa (AZEVEDO E OLIVEIRA, 2005).

Com a crescente demanda de água devido ao aumento do contingente populacional das cidades, há uma urgente necessidade de um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos, particularmente quando a exploração de novas fontes hídricas mostra-se dispendiosa e os recursos naturais cada vez mais escassos. A distribuição de água pode ser considerada o primeiro passo importante na obtenção de um sistema de abastecimento eficiente (SOARES, 2003).

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

A caracterização da água consiste na quantificação das impurezas presentes nela de origem física, química, biológica e radiológica. Conhecendo as impurezas,

torna-se possível identificar com segurança a técnica mais adequada para o tratamento (HELLER e PÁDUA, 2006).

4.2.1. Características químicas da água

A água é formada por uma molécula constituída de dois átomos de H ligados a um átomo de O por ligações covalentes (MACEDO, 2007).

Para Heller e Pádua (2006), as características químicas da água são de grande importância do ponto de vista sanitário, pois determinadas substâncias podem inviabilizar o uso de certas tecnologias de tratamento ou exigir tratamentos específicos para sua remoção. Dependendo da forma em que se encontra o contaminante, ele poderá ou não ser removido durante o tratamento.

Algumas características químicas são relevantes para o trabalho em questão como pH, demanda química de oxigênio (DQO) e nitrogênio.

4.2.1.1. pH (Potencial Hidrogeniônico)

O potencial hidrogeniônico (pH) é um parâmetro utilizado para indicar a acidez do meio analisado. Ele é muito importante nos processos de filtração, coagulação, desinfecção e controle de corrosão (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). O pH pode ser definido como:

$$pH = -\log a_{H^+}$$

a_{H^+} representa a atividade do íon hidrogênio (VOGEL, 2002).

O meio é considerado neutro quando o pH está em torno de 7, ácido quando variar de 0 a 7 e básico se o meio apresentar pH entre 7 e 14 (SILVEIRA, 2007). O valor do pH influencia na solubilidade e na toxicidade das substâncias na água. Ele também é muito importante no processo de coagulação durante o seu tratamento.

De acordo com a portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, o padrão de potabilidade da água é definido como sendo potável na faixa de 6,0 a 9,5. Já o padrão de lançamento de efluentes para postos com lavagem de veículos, de acordo com a resolução da SEMA estadual 021/2011, o pH pode variar entre 5 e 9.

4.2.1.2. DQO (Demanda Química de Oxigênio)

A demanda química de oxigênio (DQO) é determinada pela quantidade de oxigênio que é necessário para a oxidação da matéria orgânica (Jordão e Pessoa, 2005). Indica a presença de matéria orgânica na água, sendo um importante parâmetro de qualidade.

A sua determinação é realizada através de titulação química utilizando o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), abrangendo toda a matéria orgânica e pode ocorrer degradação bacteriana, com resultado obtido cerca de 3h depois. A DQO abrange a parte estabilizada quimicamente sendo sempre superior a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (LIBÂNIO, 2010).

Durante a digestão da DQO, a matéria orgânica é convertida em dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O). Esta análise possui uma limitação que é a sua incapacidade de diferir a matéria orgânica biologicamente oxidável da matéria orgânica biologicamente inerte (SCHMITZ, 2004).

Geralmente, os valores de DQO são maiores do que os encontrados na DBO. O poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que a atividade realizada pelos microrganismos na DBO. Nesta somente a fração biodegradável é medida, desta forma se o valor de DBO estiver próximo ao da DQO, denota que o efluente analisado é expressivamente biodegradável (CETESB, 2009).

A SEMA estadual 021/2011 do Paraná define que o padrão de lançamento de efluentes de lavagem de veículos em postos deve obedecer a um valor inferior a 300 mg/L.

4.2.1.3. Nitrogênio

Com o aumento acentuado da população humana, inevitavelmente ocorreu o crescimento da produtividade agrícola para atender a demanda, como o nitrogênio e também o fósforo são limitantes ao crescimento dos vegetais, estes tornaram-se elementos essenciais a constituição de fertilizantes utilizados na agricultura (BRAGA et al., 2005).

O nitrogênio (N_2) é um gás incolor, insípido e inodoro. Este gás é o mais abundante da atmosfera, onde ocupa 78% da mesma (FILHO, 2013). Constitui proteínas, clorofila entre outros compostos biológicos e ainda é muito encontrado em despejos domésticos, industriais, excrementos animais e em fertilizantes (MEDEIROS et al., 2006). Ele pode variar conforme seu estado de oxidação, tais como, nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3 ou NH_4^+) e nitrogênio orgânico (dissolvido ou em suspensão) (MEDEIROS et al., 2006).

O gás nitrogênio não é assimilável pelos seres vivos, sendo estes incapazes de fixá-lo. Desta forma, bactérias do gênero *Nitrobacter*, *Rhizobium* e as algas Cianofíceas conseguem a fixação do N_2 diretamente do ar (LESSA et al., 2007).

O ciclo do nitrogênio se constitui por meio de processos de nitrificação e desnitrificação. A nitrificação ocorre com a oxidação do gás amônio (NH_3) passando a nitrito e em seguida a nitrato, sendo um processo aeróbio realizado pelas bactérias do gênero *Nitrossomonas*, já a desnitrificação é a redução do nitrato a nitrogênio gasoso pelas bactérias do gênero *Nitribacter* na ausência de oxigênio livre (LIBÂNIO, 2010).

4.2.2. Características físicas

As características físicas são observadas quando ocorre alteração no padrão organoléptico da água, o que pode significar uma alteração na qualidade da água (HELLER e PÁDUA, 2006).

Algumas das características físicas que podem ser observados relevantes á pesquisa como cor aparente, turbidez, série de sólidos, condutividade elétrica e surfactantes.

4.2.2.1. Cor Aparente

A existência de partículas coloidais ou em suspensão caracterizam o aparecimento de cor na água. Essas partículas são originadas de substâncias orgânicas em decomposição, de compostos de ferro ou de outros materiais em suspensão ou dissolvidos. Contudo, a cor pode ser classificada em cor real ou cor aparente. A cor real se caracteriza pela presença de matérias orgânicas dissolvidas ou coloidais. Já a cor aparente vem a ser a existência de matérias em suspensão (PEIXOTO, 2007).

Para lançamentos de efluentes de postos de lavagem não é estabelecido nenhum limite de cor. Já o padrão de potabilidade da portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 apresenta um limite de cor de 15 uH.

4.2.2.2. Turbidez

O grau de impedimento que um feixe de luz sofre ao passar pela água determina-se turbidez. Este impedimento da passagem da luz ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão (silte, areia, argila, algas, detritos, etc.). A principal fonte de turbidez é a erosão dos solos, quando na época das chuvas as água pluviais trazem uma quantidade significativa de material sólido para os corpos d'água. Outras atividades que também causam elevação na turbidez são as atividades de mineração, bem como o lançamento de esgotos e de efluentes industriais. A elevada turbidez da água faz com que uma quantidade maior de produtos químicos

(ex: coagulantes) sejam utilizados nas estações de tratamento de águas, fato que faz aumentar os custos de tratamento. Ademais, com esta alta turbidez os organismos aquáticos são afetados, como também o uso industrial e as atividades de recreação (ANA, 2014).

O padrão de potabilidade da portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 estabelece que a turbidez da água tenha um valor máximo de 5 uT. Já para os padrões de lançamento para efluentes de postos de lavagem não é especificado nenhum limite de lançamento.

4.2.2.3. Série de Sólidos

No controle de poluição das águas naturais, a análise das frações de sólidos se encontra inserida para realizar a caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais e também no controle de sistemas de tratamento de esgotos, detectando a distribuição das partículas quanto ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e quanto a natureza química (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) (TRENTIN e BOSTELMANN, 2010).

Os sólidos podem ser classificados em sedimentáveis, em suspensão, colóides e dissolvidos. A classificação geralmente é realizada fazendo a separação apenas em sólidos em suspensão e dissolvidos. Os sólidos suspensos são os colóides e os efetivamente dissolvidos, sua separação é feita por meio de uma membrana filtrante, ficam aderidos à membrana, já os dissolvidos são aqueles que passam pela membrana possuindo um tamanho menor que $2\mu\text{m}$. Na caracterização química, os sólidos se classificam em fixos e voláteis. Os sólidos voláteis se volatilizam a 550°C , que é a fração orgânica mais alguns sais que podem se volatilizar, os fixos são os que persistem a essa temperatura e não se volatilizam (HELLER e PÁDUA, 2006).

4.2.2.4. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade da água em transmitir corrente elétrica, indicando a presença de substâncias dissolvidas se dissociando em ânions e cátions, geralmente íons de ferro e manganês, podendo ainda ser íons de potássio, cloro, sódio, cálcio e magnésio. Quando a condutividade apresenta-se elevada é devido a presença de compostos inorgânicos, enquanto que os compostos orgânicos, que não se dissociam, reduzem a passagem de corrente (LIBÂNIO, 2010).

O limite de condutividade não é estabelecido para o padrão de lançamento de efluentes de postos de lavagem, como também não é estabelecido para o padrão de potabilidade.

4.2.2.5. Surfactantes

Surfactantes são conhecidos por reagirem com o azul de metileno. Possui concentrações relativas ao sulfonato alquil benzeno de cadeia linear (LAS), utilizado como padrão de análise (CETESB, 2009). Os surfactantes, que estão presentes na constituição do sabão, são classificados como iônicos e não iônicos. Os iônicos podem ser aniônicos ou catiônicos. O alquil benzeno sulfonado (ABS) é um típico surfactante aniônico. O ABS de cadeias lineares (LAS) é considerado biodegradável (TEXEIRA, 2003).

A SEMA estadual 021/2011 do Paraná define que os efluentes advindos de postos de lavagem de veículos esteja limitado a lançar 2 mg/L de substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno.

4.3. Coagulação/Floculação

4.3.1. Processo de coagulação

Segundo Libânio (2010), a coagulação consiste essencialmente na desestabilização das partículas coloidais e suspensas pela conjunção de ações físicas e reações químicas, com duração de poucos segundos entre o coagulante, a água e as impurezas presentes.

Substâncias húmicas, microrganismos e partículas coloidais apresentam-se com carga negativa na água, as coloidais ainda podem conter polímeros adsorvidos o que impedem sua aproximação. Dessa forma, a força iônica deve ser alterada com a adição de sais de alumínio ou de ferro, ou polímeros sintéticos, ou vegetais catiônicos, ocorrendo assim o fenômeno da coagulação (Di BERNARDO e DANTAS, 2005).

A coagulação pode ser realizada de quatro formas diferentes ou a combinação delas, as quais são: a compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização, varredura e formação de pontes.

4.3.1.1. Compressão da dupla camada elétrica

Os sais simples, como o cloreto de sódio, não provocam hidrólise, nem adsorção, tal fato o denomina como eletrólito indiferente. A desestabilização deste tipo de colóide ocorre através de forças eletrostáticas, ou seja, íons de mesma carga se repelem e íons de cargas distintas são atraídos pelos colóides, sendo que quanto maior a carga do íon positivo, menor será a quantidade necessária de coagulante. Já para os sais com poder de adsorção ou hidrólise, como o sódio, cálcio e alumínio, as quantidades de concentrações molares necessárias para a coagulação são na proporção de $1:10^{-2}:10^{-3}$ (Di BERNARDO e DANTAS, 2005).

Di Bernardo e Dantas (2005), afirma que a introdução de colóide num sistema coloidal causará aumento na densidade de cargas na camada difusa e diminuirá a esfera de influência das partículas, ocorrendo a coagulação por compressão da dupla camada difusa.

Grandes concentrações de íons na água fazem com que a camada difusa aumente sua quantidade de íons, para que continue eletricamente estável, ela tem seu volume reduzido deixando as forças de wan der Walls dominantes, eliminando a estabilização eletrostática.

4.3.1.2. Adsorção e Neutralização de carga

O mecanismo de adsorção e neutralização de carga ocorre logo após a dispersão do coagulante na água. Conforme o valor do pH, ocorre a formação de várias espécies hidrolisadas de carga positiva podendo serem adsorvidas pelas partículas, acontecendo a desestabilização (LIBÂNIO, 2010).

4.3.1.3. Varredura

Precipitados como $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$ poderão ser formados na água dependendo do seu pH de mistura rápida, como mostrado na Figura 1, da quantidade de coagulantes adicionados e da concentração de alguns íons. Este mecanismo de varredura é amplamente utilizado em estações de tratamento, onde se encontra o processo de floculação e sedimentação que antecede a filtração rápida. Flocos obtidos com esse mecanismo são maiores e sedimentam ou flutam mais facilmente do que os flocos obtidos por adsorção e neutralização de cargas (Di BERNARDO e DANTAS, 2005).

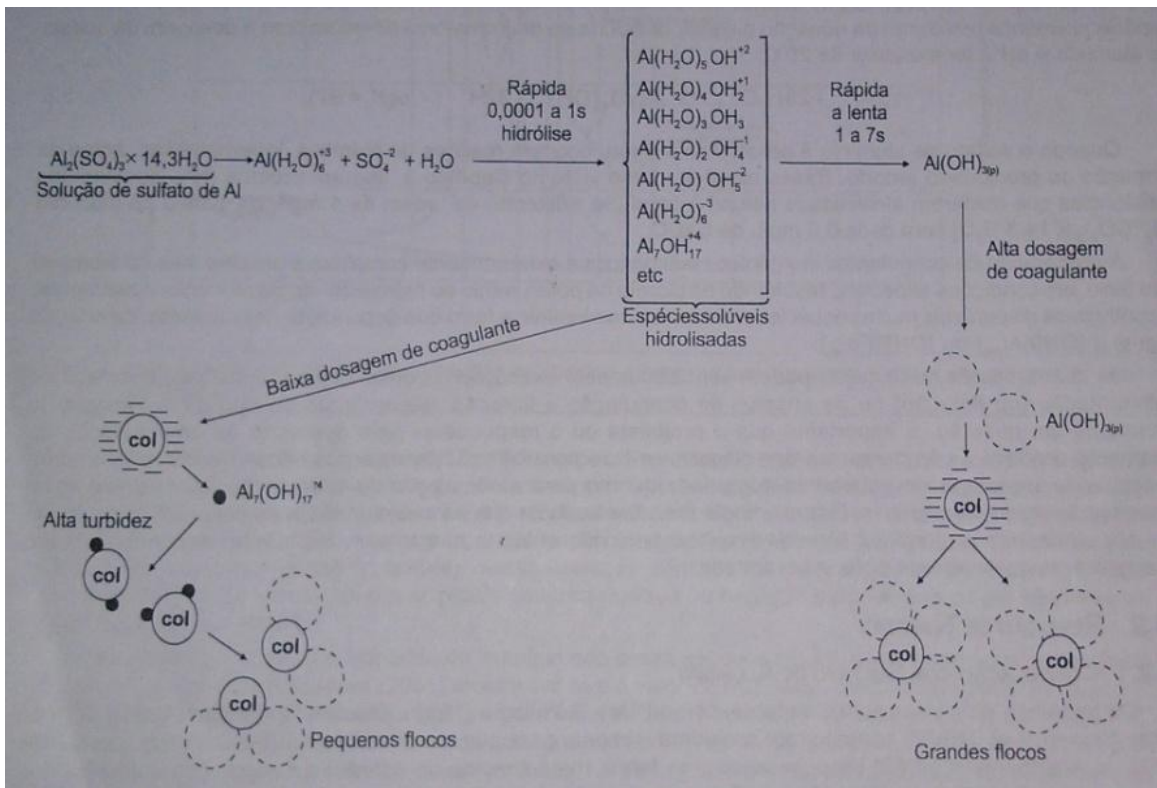


Figura 1: Caminhos para a coagulação por adsorção-neutralização de carga e por varredura utilizando sulfato de alumínio.

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

4.3.1.4. Adsorção e formação de pontes

A adsorção e formação de pontes, envolve o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares, fazendo uma ponte entre a superfície em que estão aderidos e outras partículas (Di BERNARDO e DANTAS, 2005).

4.3.2. Processo de Floculação

Na unidade de mistura rápida, acontecem reações químicas que fazem com que as impurezas se aglomerem, proporcionando a formação de flocos (HELLER e PÁDUA, 2006)

A Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) (1992) define os floculadores como unidades utilizadas para promover a agregação de partículas formadas na mistura rápida.

Para Libânio (2010), a floculação é uma das operações unitárias da clarificação que se constitui um conjunto de fenômenos físicos, nos quais se tenciona em última instância reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida.

A ocorrência do transporte das partículas desestabilizadas para a formação dos flocos se dá por meio de três fenômenos: floculação pericinética (movimento browniano), floculação ortocinética e sedimentação diferencial.

4.3.2.1. Floculação pericinética

Este fenômeno acontece quando as partículas coloidais desestabilizadas se chocam aglomerando-se e ocorrendo a formação de flocos com dimensões com cerca de 1 μm . O possível contato entre as partículas desestabilizadas remanescentes e os flocos já formados é realizado pelo movimento browniano (LIBÂNIO, 2010).

4.3.2.2. Floculação ortocinética

Nesta fase ocorre a introdução de energia externa que alimenta a aglutinação das partículas desestabilizadas e dos microflocos, obtidos pelo movimento browniano, para a formação de flocos maiores e mais pesados. A floculação depende basicamente da velocidade e do tempo de detenção hidráulico, tanto na formação das partículas quanto na erosão dos flocos (LIBÂNIO, 2010).

4.3.2.3. Sedimentação diferencial

A etapa da sedimentação diferencial acontece pela desuniformidade do volume e dos flocos que foram formados, estes possuem velocidades de sedimentação diferentes, concorrendo para que assim, na decantação possam acontecer os choques e a formação dos flocos mais pesados (LIBÂNIO, 2010).

4.3.3. Uso de Coagulantes

Os coagulantes mais empregados em sistemas de tratamentos são os químicos como o sulfato de alumínio. Existem também os naturais que serão adotados neste trabalho como o Tanfloc SG e a *Moringa oleifera*.

4.3.3.1. Coagulante químico

4.3.3.1.1 Sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio é largamente utilizado como coagulante por ser de fácil acesso e grande eficiência. Carvalho (2008) cita a fórmula molecular do sulfato como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{H}_2\text{O}$ ou $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$.

Quando lançado na água, no tanque de mistura rápida, pelo processo de adsorção o sulfato de alumínio é hidrolizado formando dois cátions de Al^{+3} e três ânions de SO_4^{-2} . Quando lançado em agitação intensa e pequeno tempo de detenção tendo o meio neutralizado, os cátions Al^{+3} serão adsorvidos pelos colóides presentes na água bruta, estes por possuírem cargas negativas, com a adsorção, as cargas negativas dos colóides serão neutralizadas, assim os colóides se aproximam para formar os flocos.

4.3.3.2. Coagulante natural

4.3.3.2.1 Semente *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* pertence a família Moringa Oleiferaceae, originária da Índia, adaptou-se ao nordeste brasileiro. Para Gallão et al.¹ (2006) apud Santos² et al. (2011) ela é considerada uma das árvores cultivadas mais úteis para o ser humano, pois, quase todas as suas partes são ditas como sendo de valor alimentar e medicinal.

Além dos benefícios alimentícios, seu uso vem sendo empregado no tratamento de água pelo seu alto poder de clarificação. Seu efeito coagulante deve-se ao fato de as proteínas catiônicas, presentes na composição da sua semente serem solúveis em água e em contato com as partículas de carga negativa atuarem, principalmente, pelo mecanismo de adsorção e neutralização de cargas (RIBEIRO, 2010).

¹ Gallão, M. I., Damasceno, L. F., Brito, E. S. "Avaliação Química e Estrutural da Semente de Moringa Oleifera". Revista Ciência Agronômica, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

De acordo com Cardoso et al. (2008), a coagulação utilizando Moringa, para que seja mais eficiente, é recomendável a utilização de sementes recém-colhidas, uma vez que as propriedades coagulantes podem ter seu efeito diminuído com o tempo. Uma desvantagem na sua utilização, é que a *Moringa oleifera* precisa de um tempo maior para que ocorra a formação dos flocos, os coagulantes químicos precisam de pouco tempo.

Gallão et al. (2006), afirma que a semente de Moringa oleífera possui uma quantidade considerável de lipídeos (cerca de 19%) e apresenta uma quantidade maior de proteínas (40%) na sua constituição estrutural, as proteínas são essenciais no processo de clarificação da água como dito anteriormente.

A semente de Moringa oleífera se mostra eficiente não só para o tratamento de água de rios destinadas ao consumo humano, mas também para tratamento de efluentes. Segundo Ströher et al. (2012), efluentes provenientes da lavagem de jeans tratados com a semente de *Moringa oleifera*, proporcionam bons resultados com relação ao parâmetro cor e turbidez, conseguindo-se remoções de cor de 80,33% e turbidez com 91,10%.

Outro fator em que a semente de Moringa oleífera se destaca é com relação a remoção coliformes termotolerantes. Para Monaco et al. (2010) pode chegar a remoção de 100% em águas para abastecimento, para efluentes do esgoto uma remoção de 95,6 a 94,3% e ainda efluentes originários de suinocultura podem alcançar remoções de 96,5 e 94,8% de coliformes termotolerantes.

O co-produto da produção de óleo de Moringa oleífera, a torta de sementes de Moringa oleífera, também é utilizada no tratamento e clarificação da água. Este deve ser extraído da semente por via química ou mecânica. Para a extração química é utilizado um aparelho de destilação simples, constituído de balão de fundo chato e soxhlet. Já a extração mecânica é realizada através de uma prensa hidráulica. Esta extração, tanto química quanto mecânica, não elimina as proteínas responsáveis pela coagulação constituídas na semente de Moringa oleífera (SANTOS et al., 2011). A extração pode ser feita em meio salino ou aquoso, Santos et al. (2011) afirmam que os extratos produzidos em meio salino apresentam uma maior percentual de remoção de turbidez.

O óleo extraído de maneira mecânica e química com a utilização de solventes hexano e álcool etílico apresenta diferenças em relação as suas propriedades físico-químicas. Estudos realizados por Vasconcelos et al. (2009), mostram que o óleo extraído mecanicamente apresenta elevado índice de saponificação e viscosidade, o que justifica o seu uso na alimentação. Quanto ao óleo extraído quimicamente com álcool etílico, os índices de saponificação e acidez são altos. Este fato caracteriza uma disputa entre a reação de transesterificação e saponificação. A extração com hexano apresenta os menores valores de acidez em comparação com o álcool etílico.

4.3.3.2.2. Tanfloc SG

O Tanfloc SG é um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular, atua como coagulante/floculante e auxilia na coagulação no tratamento de águas em geral. Este tem uma origem crucialmente vegetal (TANAC, 1999).

De acordo com Tanac (1999), ele atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este o processo responsável pela formação de flocos e conseqüente sedimentação, não altera o pH da água tratada, por não consumir a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo em uma faixa de pH de 4,5 – 8,0.

O Tanfloc SG está mais relacionado a pesquisas com águas de rio para abastecimento público agregado ao padrão de potabilidade. Zolett (2012) afirma que o coagulante natural tem um bom desempenho na coagulação da água do rio que abastece Pato Branco-PR, chegando a resultados de turbidez de 1,18 uT, visto que o padrão de potabilidade da portaria 2914, exige turbidez inferior 5 uT.

Para Niero et al. (2012) a coagulação utilizando tanino no tratamento de água para abastecimento promove a obtenção de água com características físico-químicas em conformidade com a Portaria 2914 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Uma outra área em que o Tanfloc SG está em teste é o de coagulação de lixiviados em aterros sanitários. Segundo Máximo (2007), ao fazer uma comparação de coagulantes como o cloreto férrico, sulfato de alumínio e tanino, este apresenta melhores resultados de remoção. Os parâmetros em que o tanino se destaca são em relação à DQO, carbono orgânico total e fósforo total.

4.4. Reúso

Quando a água com a qualidade desejada se torna limitada, algumas ações de suprimento ou repressão de consumo são tomadas, para que seja restabelecido o equilíbrio entre a oferta e a demanda da mesma (ORNELAS, 2004).

O reúso da água é o aproveitamento das águas previamente utilizadas uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original (LAVRADOR FILHO, 1987).

O reúso da água pode ser definido em diferentes classificações, quanto ao reúso planejado, indireto planejado e a reciclagem interna. Desta forma, o reúso planejado da água é aquele em que a mesma será reusada de forma intencional, obtendo um tratamento antes do seu lançamento, para ser captado com os padrões adequados aos fins de utilização. No reúso indireto planejado, o efluente é devidamente tratado e lançado no corpo hídrico para ser captado à jusante de maneira diluída. A reciclagem interna é uma reutilização em que a água é usada internamente sem tratamento prévio em algum outro processo como fonte adicional de abastecimento. (LAVRADOR FILHO, 1987)

Já a Organização Mundial da saúde (OMS) faz uma classificação distinta em diferentes modalidades do reúso da água no qual (Moruzzi, 2008):

Reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída. Trata-se da forma mais difundida onde a autodepuração do corpo de água é utilizada, muitas vezes sem controle, para degradar os poluentes descartados com o esgoto *in natura*;

Reúso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável. Exige a concepção e implantação de tecnologias apropriadas de tratamento para adequação da qualidade do efluente à estação à qualidade definida pelo uso requerido;

Reciclagem interna: é o reúso da água internamente as instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição. É constituído por um sistema em ciclo fechado onde a reposição de água de outra fonte deve-se às perdas e ao consumo de água para manutenção dos processos e operações de tratamento;

Reúso potável direto: ocorre quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. É praticamente inviável devido ao baixo custo de água nas cidades brasileiras, ao elevado custo do tratamento e ao alto risco sanitário associado;

Reúso potável indireto: caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilização como água potável. Compreende o fluxograma onde o tratamento do esgoto é empregado visando adequar a qualidade do efluente à estação aos padrões de emissão e lançamento nos corpos d'água.

4.5. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente que é gerado nas atividades de limpeza de automóveis pode conter quantidades significativas de óleos e graxas, sólidos em suspensão, metais pesados, surfactantes e substâncias orgânicas (TEXEIRA, 2003).

Os principais poluentes envolvidos nas operações realizadas nas atividades automotivas são os óleos e graxas, partículas e sólidos e os produtos coadjuvantes (SECRON, 2006).

O termo óleos e graxas, em águas residuárias, aplica-se a uma variedade de substâncias orgânicas que são extraídas de uma solução aquosa, ou em suspensão, por hexano, ou por 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano, também conhecidos por FREON - 113 e CFC -113. Hidrocarbonetos, ésteres, óleos, gorduras, ceras e ácidos graxos de grande peso molecular compreendem a maioria dos materiais dissolvidos por esses solventes (SAWYER³, 1994 apud SECRON, 2006)

²SAWYER, Clair N. *Chemistry for Environmental Engineering*. 4 ed. Singapura, Mc Graw-Hill, 1994.

Os sólidos e partículas presentes nas águas naturais, ou nos efluentes líquidos, são compostos por substâncias dissolvidas e em suspensão, de composição orgânica e ou inorgânica (GIORDANO⁴, 2004 apud SECRON, 2006).

O termo produtos coadjuvantes compreende a gama de produtos não oleosos utilizados nas atividades automotivas, que contribuem, assim como os óleos e graxas, na formação e composição do efluente final gerado pelos estabelecimentos inseridos neste ramo (SECRON, 2006).

O lançamento de efluentes contendo detergentes se torna um grande problema para o corpo receptor, pois o detergente é composto de nutrientes como fosfato e nitrogênio, nutrientes estes que se lançados em rios podem provocar a proliferação de algas e ainda podem formar espumas irregulares transportando microrganismos, tornando-se um veículo destes. Ele também é constituído de compostos fenólicos que alteram as propriedades organolépticas da água.

Os efluentes brutos gerados em postos de lavagem de veículos apresentam algumas características de valores de parâmetros, definidos na tabela 1 por alguns autores:

Tabela 1: Características dos efluentes de postos de lavagem.

Amostra bruta	Vasconcelos e Gomes (2009)	Dorigon e Tessaro (2010)	Klautau e Goncalves (2007)	Teixeira (2003)	Zimmermann (2008)
DQO (mg/L)	12130	-	-	238	337
Óleos e graxas (mL/L)	164,52	-	59,9	90	22
Ferro (mg/L)	976,1	-	-	-	-
Surfactantes (mg/L)	1,69	-	-	-	-
Amônia (mg/L)	1,04	-	-	-	-
Cor (PtCo)	470	-	48,75	-	-
Turbidez (UNT)	538	972	84,95	-	-

³ GIORDANO, Gandhi. *Tratamento e controle de efluentes industriais*. Apostila de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente/UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004

Temperatura (°C)	-	19,84	-	-	-
pH	-	9,21	7,16	7,4	-
Cloro residual (mg)	-	10,65	-	-	-
cobre (mg)	-	14,94	-	-	-
Zinco (mg)	-	0,45	-	-	-
fosforo (mg/L)	-	-	-	2,8	0,602
Nitrogenio (mg)	-	3,23	-	-	-
Nitrato (mg)	-	126,21	-	-	-
Nitrito (mg)	-	145,15	-	-	-
Óleos minerais (mg/L)	-	177,79	-	-	-
Óleos vegetais e gorduras animais (mg/L)	-	177,79	-	-	-
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	-	-	400,77	-	-
Sólidos Totais Suspensos (mg/L)	-	-	161,23	659	375
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	-	-	266	-	-
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	-	-	320,5	-	-
COT (mg/L)	-	-	-	79	25,9

Fontes: Vasconcelos e Gomes (2009).
Dorigon e Tessaro (2010).
Klautau e Goncalves (2007).
Teixeira (2003).
Zimmermann (2008).

4.6. LEGISLAÇÃO APLICADA A POSTOS DE LAVAGEM

A Resolução CONAMA Nº 273 considera que toda instalação e sistema de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis, configuram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes

ambientais e considerando que os vazamentos de derivados de petróleo e outros combustíveis podem causar contaminação de corpos d'água subterrâneos e superficiais, do solo e do ar.

No estado do Paraná o órgão de fiscalização é o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), de acordo com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente a resolução nº038/09/SEMA determina que os postos com serviço de lavagem de veículos sigam a seguinte regulamentação (SEMA, 2009):

1. Os Postos com lavagem de veículos deverão possuir sistema exclusivo de tratamento primário para as águas residuárias geradas (caixa de separação de material sedimentável, e caixa de separação de óleos e graxas, modelo industrial com placas coalescentes, certificada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).
2. Os Postos com lavagem de veículos pesados (caminhões, tratores e máquinas agrícolas), deverão implantar sistema complementar secundário para o tratamento das águas residuárias.
3. Deverá ser adotado como padrão de lançamento das águas residuárias provenientes dos setores de lavagem de veículos e das áreas de serviços, o estabelecido na Resolução CONAMA 357/05, Art. 34, § 1º, § 4º itens I, II, III, IV, V e VI e § 5º; DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) inferior a 100 (cem) mg/L e DQO (Demanda Química de Oxigênio) inferior a 300 (trezentos) mg/L;
4. Caso necessário, levando-se em consideração a localização do Posto ou do Sistema Retalhista de Combustível e a capacidade de diluição do corpo hídrico, o IAP poderá estabelecer outros padrões de lançamento para as águas residuárias;
5. Fica proibida a infiltração no solo de águas residuárias (águas de lavagem de veículos e do setor de abastecimento), mesmo que tratadas.

O Código Ambiental do município de Londrina estabelece que os estabelecimentos cuja atividade principal seja a de lavagem e polimento de veículos, deverão ainda atender às seguintes condições:

- I - os de pequeno porte, assim considerados os que executam a lavagem de até 300 (trezentos) veículos/mês, deverão canalizar e conduzir os efluentes da atividade às caixas separadoras de retenção e tratamento dos resíduos de areia, óleos

e graxas de três compartimentos, antes de serem lançados na rede pública geral;

II - os de médio porte, assim considerados os que executam a lavagem de 301 (trezentos e um) até 500 (quinhentos) veículos/mês, deverão canalizar e conduzir os efluentes da atividade às caixas separadoras de retenção e tratamento dos resíduos de areia, óleos e graxas de quatro compartimentos, antes de serem lançados na rede pública geral; e

III - os de grande porte, assim considerados os que executam a lavagem de mais de 500 (quinhentos) veículos/mês, deverão canalizar e conduzir os efluentes da atividade às caixas separadoras de retenção e tratamento dos resíduos de areia, óleos e graxas de sete compartimentos, antes de serem lançados na rede pública geral.

§ 1º Os resíduos da caixa separadora deverão ser removidos quando atingirem 80 (oitenta) por cento de sua capacidade de armazenamento.

§ 2º O monitoramento dos despejos de efluentes das atividades descritas no caput este artigo deverá ocorrer anualmente.

O Código de Obras do município de Londrina define que Art. 188. As edificações destinadas a abrigar postos de abastecimento, que possuam serviços de lavagem e lubrificação de veículos, deverão obedecer às seguintes condições:

I - ter área coberta capaz de comportar os veículos em manutenção;

IV - ter os pisos revestidos de material impermeável e resistente a freqüentes lavagens, com sistema de drenagem independente da drenagem pluvial e ou de águas servidas para escoamento das águas residuárias, as quais deverão passar por caixas separadoras de resíduos de combustíveis antes da disposição na rede pública, conforme padrão estabelecido pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e observadas às exigências dos órgãos estaduais e municipais responsáveis pelo licenciamento ambiental; e

V - a área a ser pavimentada, atendendo à taxa de permeabilidade definida na Lei de Uso e Ocupação do Solo, deverá ter declividade máxima de 3% (três por cento), com drenagem que evite o escoamento das águas de lavagem para os logradouros públicos.

Art. 189. As instalações para lavagem de veículos e lava rápidos deverão:

I - estar localizadas em compartimentos cobertos e fechados em 2 (dois) de seus lados, no mínimo, com paredes fechadas em toda a altura ou ter caixilhos fixos sem aberturas;

II - ter as partes internas das paredes revestidas de material impermeável, liso e resistente a frequentes lavagens até a altura de 2,50m (dois metros e cinquenta centímetros), no mínimo; e

III - no caso de construção de parede junto à divisa, esta deverá ter a mesma altura da cobertura.

Parágrafo único. Deverá ser prevista a construção de cisterna para armazenamento das águas de chuva, devendo ser utilizada para lavagem de veículos.

4.7. SISTEMA DE TRATAMENTO CONVENCIONAL UTILIZADO EM POSTOS DE LAVAGEM

Os órgãos ambientais exigem que os postos de lavagem tenham um sistema de tratamento para os efluentes gerados na lavagem de veículos, alguns exemplos destes são os decantadores.

4.7.1. Decantadores

Os decantadores são tanques onde a água tem sua velocidade diminuída para que ocorra a deposição das partículas sólidas no fundo do mesmo.

A etapa da decantação consiste na separação das partículas sólidas em suspensão ou coloidais do líquido, por meio da sedimentação das partículas sólidas. Essas partículas sólidas por serem mais pesadas do que a água, tenderão a cair para o fundo do tanque por ação da gravidade, ocorrendo assim a separação.

Nos postos de lavagem de veículos o decantador utilizado é a caixa separadora de água e óleo, geralmente este é o único tratamento utilizado.

4.7.1.1. Caixa separadora de água e óleo

A concepção básica de um separador de água/óleo como mostra a Figura 2 é um tanque simples que reduz a velocidade do efluente oleoso, de forma a permitir que a gravidade separe o óleo da água. Como o óleo tem uma densidade menor que a densidade da água, ele flutua naturalmente, se tiver tempo, para então se separar fisicamente. A lei de Stokes evidencia a taxa de separação. Os principais fatores que afetam a taxa de separação são: o tamanho da gota de óleo, a densidade do óleo e a temperatura do óleo. Os outros fatores também importantes são: vazão, turbulência e o tamanho das partículas óleo/contaminantes (OLEOFIL, 2012).

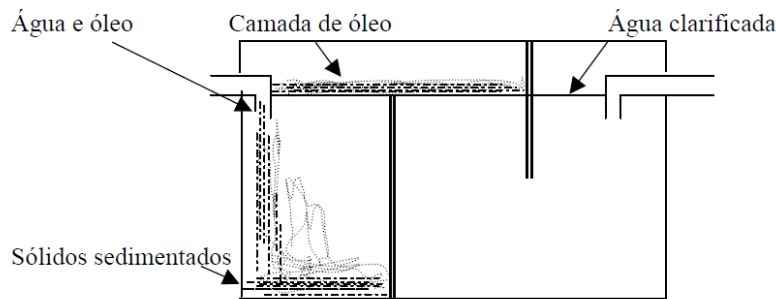


Figura 2: Esboço da separação que ocorre na caixa separadora de água e óleo.

Fonte: Secron, (2006).

Recomenda-se que a limpeza da caixa seja feita quando a lama acumulada esteja ocupando 50% da caixa, pois a partir deste conteúdo o tratamento perde a eficiência.

A dinâmica do sistema se caracteriza como citado por Lorenzetti e Rossato (2010), os efluentes líquidos gerados nas atividades são tratados em uma caixa separadora de água e óleo em que são removidos da água os resíduos de combustíveis e lubrificantes, restando no final do processo uma água barrenta,

imprópria para reutilização, que é lançada no esgoto comum. Os resíduos retirados da água compõem, agora, uma espécie de lodo tóxico, que é recolhido por uma empresa especializada, que fará a correta disposição final desse resíduo.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consta de uma pesquisa experimental realizada no Laboratório de Saneamento e no Laboratório de Fenômeno dos Transportes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina (Figura 3) localizado sob as coordenadas geográficas de latitude $23^{\circ}18'2854''\text{S}$ e longitude $51^{\circ}06'5066''\text{O}$.



Figura 3: Local do experimento - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Fonte: www.bonde.com.br

5.1. Local de coleta

O efluente utilizado para a realização do experimento foi a água de um posto de combustível que mantém a prática de lavagem de veículos, localizado na Avenida Rio de Janeiro nas coordenadas geográficas de latitude $23^{\circ}19'0648''\text{S}$ e longitude $51^{\circ}09'3186''\text{O}$, centro de Londrina-PR (Figura 4). O efluente foi retirado da caixa de separação de água e óleo do local indicado.



Figura 4: Imagem aérea do posto de combustíveis.
Fonte: Adaptado de Google Earth.

5.2. Coleta

O efluente foi coletado em 3 galões com capacidade de 20 L e mais 6 galões de 5 L, porém os mesmos não foram completados até o gargalo sendo coletados na totalidade aproximadamente 77 L . Este efluente foi coletado da caixa separadora de água e óleo no compartimento onde o efluente originado da lavagem era despejado diretamente, através de um amostrador montado para este tipo de coleta, visto que a caixa separadora se encontra em uma profundidade elevada. Feita a coleta no posto, o galão com o efluente foi levado ao laboratório de saneamento da universidade. Todas as vezes em que o efluente era retirado do galão para as análises, antes desta retirada o mesmo era homogeneizado com uma pá, a fim de conservar as características originais do efluente mantendo os sólidos em evidência.

5.3. Procedimentos experimentais

Foram utilizados para o experimento, os coagulantes naturais *Moringa oleifera* e Tanfloc SG (produto de propriedade da empresa TANAC), juntamente com o coagulante químico sulfato de alumínio. Os experimentos foram conduzidos de forma comparativa para melhor conclusão dos dados obtidos.

5.4. Etapas do experimento

5.4.1. Pré-ensaio

Primeiramente, um pré-ensaio foi realizado utilizando os coagulantes naturais, *Moringa oleifera* e Tanfloc SG, a fim de se determinar as concentrações adequadas dos dois produtos. Foram utilizados de forma comparativa as metodologias descritas por Santos (2011). Com relação ao sulfato de alumínio também foi realizado um pré-ensaio para verificar as concentrações de ocorrência dos processos de coagulação/floculação.

5.4.2. Preparação dos coagulantes naturais

Para que a *Moringa oleifera* seja utilizada foi necessário fazer a extração dos seus componentes ativos na concentração de 1 molar de NaCl.

Para a solução salina foram pesados 54 g de sal, despejadas em balão volumétrico de 1 L e em seguida completado com água destilada. Esta solução foi homogeneizada no agitador magnético.

As sementes da *Moringa oleifera* foram descascadas e levadas ao liquidificador misturados a solução salina. Após ter batido a solução, esta foi levada ao agitador magnético por 10 minutos. Depois desta etapa a solução foi coada em um coador de pano, só a partir de então a solução coagulante estava pronta para ser utilizada.

A preparação do Tanfloc SG foi realizada com a pesagem de 10 mg de Tanfloc SG e a diluição em um balão volumétrico de 1 L (Tanfloc SG 1%), determinando a concentração de 10 mg/L.

5.4.3. Preparação do coagulante químico

A preparação do coagulante químico (sulfato de alumínio) foi realizada pela mistura de 10 mg de $Al_2(SO_4)_3$ em 1 L de água destilada (sulfato de alumínio 1%), em seguida foi levado à agitação magnética para sua mistura completa.

Relevante destacar que as condições de dosagem adotadas para o sulfato de alumínio e o Tanfloc SG foram escolhidas com base em estudos realizados por Franco (2009), Santos (2011), Coral et al. (2009).

5.5. Execução do pré-ensaio

Para o pré-ensaio foram coletados 5 litros do efluente da caixa separadora de água e óleo. Foram utilizados 100 mL da amostra para cada teste, fazendo-se os cálculos proporcionais aos que seriam utilizados no ensaio principal, com o tempo de agitação de 1 minuto.

Com o ensaio de coagulação/floculação, as amostras foram testadas em diferentes concentrações, nas quais foram selecionadas as que obtiveram os melhores resultados para a participação no ensaio principal. Desta forma, o intervalo em que as concentrações ficaram definidas para serem enquadradas no planejamento do DCCR foram para a *Moringa oleifera* de 200 mg/L a 800mg/L, para o Tanfloc SG de 100mg/L a 400 mg/L e para o Sulfato de 300 mg/L a 800 mg/L.

5.6. Planejamento experimental

A metodologia do ensaio foi realizado por meio da estratégia experimental de delineamento composto central rotacional (DCCR). Este procedimento visa reduzir o

número de experiências ou repetições e melhora a qualidade da informação obtida através dos resultados. Para tanto, foram escolhidas como variáveis independentes a concentração dos coagulantes em mg/L e o tempo de sedimentação em minutos, na estratégia 2^2 incluindo 4 ensaios nas condições axiais e 3 repetições no ponto central de acordo com Rodrigues e Lemma (2009), que totalizam 11 ensaios para cada coagulante. A tabela 2, 3 e 4 mostra a organização dos ensaios nas concentrações definidas para cada coagulante na forma codificado e com os valores reais.

Tabela 2: Valores codificados e valores reais utilizados no ensaio da *Moringa oleifera*.

Ensaio	Moringa oleifera			
	Valores Codificados		Valores reais	
	Concentração	Tempo	Concentração (mg/L)	Tempo (min)
1	-1	-1	200	17,5
2	1	-1	287	8,52
3	-1	1	287	26,4
4	1	1	800	17,5
5	-1,41	0	500	5
6	1,41	0	500	17,5
7	0	-1,41	500	17,5
8	0	1,41	500	17,5
9	0	0	500	30
10	0	0	713	8,52
11	0	0	713	26,4

Tabela 3: Valores codificados e valores reais utilizados no ensaio do Tanfloc SG.

TANFLOC SG				
Ensaio	Valores Codificados		Valores reais	
	Concentração	Tempo	Concentração (mg/L)	Tempo (min)
1	-1	-1	100	11
2	1	-1	143,6	4,52
3	-1	1	143,6	17,4
4	1	1	250	2
5	-1,41	0	250	11
6	1,41	0	250	11
7	0	-1,41	250	11
8	0	1,41	250	20
9	0	0	356,4	4,52
10	0	0	356,4	17,4
11	0	0	400	11

Tabela 4: Valores codificados e valores reais utilizados no ensaio do sulfato de alumínio.

SULFATO DE ALUMÍNIO				
Ensaio	Valores Codificados		Valores reais	
	Concentração	Tempo	Concentração (mg/L)	Tempo (min)
1	-1	-1	300	17,5
2	1	-1	372,7	8,52
3	-1	1	372,7	26,4
4	1	1	550	5
5	-1,41	0	550	17,5
6	1,41	0	550	17,5
7	0	-1,41	550	17,5
8	0	1,41	550	30
9	0	0	727,3	8,52
10	0	0	727,3	26,4
11	0	0	800	17,5

5.7. Ensaio de coagulação/floculação/sedimentação

O ensaio de coagulação/floculação/sedimentação foi realizado no aparelho jar-test da marca Nova Ética mostrado na Figura 5, dotado de 6 recipientes graduado com

capacidade de 2 litros cada. Tal equipamento possui um painel digital para controle da velocidade de agitação das pás, geralmente utilizado nas estações de tratamento de água.

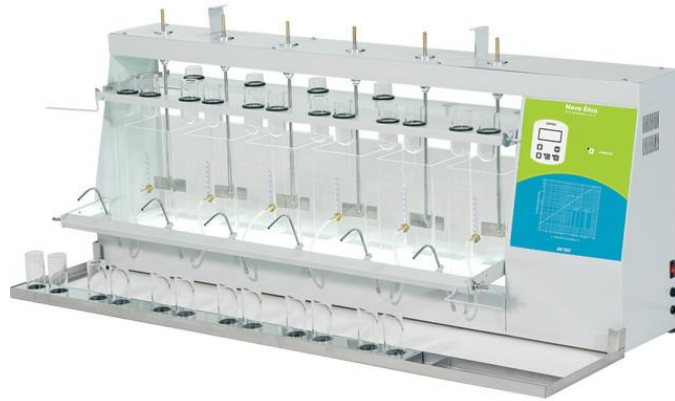


Figura 5: Jar-test Nova Ética.
Fonte: Santos, (2011).

Definidas as concentrações dos coagulantes *Moringa oleifera*, Tanfloc SG e Sulfato de alumínio pelo método do DCCR, estas foram adicionadas ao efluente e levadas ao jar-test para a realização do ensaio.

A primeira agitação no jar-test após a adição de cada coagulante foi em 200 rpm por 15 segundos para sua completa homogeneização, em seguida a rotação foi reduzida para 100 rpm deixando por um período de 3 minutos para dar início ao processo de coagulação e finalmente a rotação foi reduzida a 15 rpm ficando nessa rotação por 10 minutos, período este necessário para que ocorra a formação dos flocos.

Cessada esta etapa, a agitação foi interrompida e as amostras foram coletadas de acordo com os tempos determinados pelo método do DCCR já apresentados nas tabelas 2, 3 e 4. Com as amostras coletadas foram realizadas análises dos parâmetros de cor aparente, turbidez, pH, condutividade, série de sólidos, DQO, nitrogênio total e surfactantes, além da análise de caracterização dos flocos. As análises de nitrogênio total e surfactantes foram realizadas apenas com os pontos ótimos, ou seja, os pontos

que obtiveram melhores remoções nas análises de cor e turbidez, devido à elevada quantidade de amostras e a dificuldade da metodologia dessas análises.

5.8. Análises laboratoriais

As amostras coletadas em cada ensaio durante todo experimento foram submetidas às análises descritas na Tabela 5:

Tabela 5: Análises realizadas no efluente

Parâmetro	Método	Fonte
Cor aparente	2120 C	APHA (2012)
Turbidez	2130 B	APHA (2012)
pH	4500-H+ B	APHA (2012)
Condutividade Elétrica	2510 A	APHA (2012)
Série de sólidos	2540 A	APHA (2012)
Nitrogênio Total	4500-N A	APHA (2012)
Demanda Química de Oxigênio	5220 A	APHA (2012)
Surfactantes	5540 C	APHA (2012)
Tamanho do Floco	Zetâmetro	APHA (2012)

5.9. Análise estatística

Realizou-se a análise estatística dos resultados obtidos dos experimentos realizados com os coagulantes, os resultados obtidos pelo coagulante químico sulfato de alumínio foram comparados aos resultados dos coagulantes naturais *Moringa oleífera* e do Tanfloc SG.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efluente bruto foi caracterizado para efeito de comparação contribuindo para a porcentagem de remoção em relação aos coagulantes utilizados. Os resultados encontrados no efluente bruto podem ser verificados na Tabela 5:

Tabela 6: Características do efluente bruto coletado.

PARÂMETROS	VALOR
pH	5,81
Condutividade ($\mu\text{Sm/cm}$)	276,2
Cor (PtCo)	1330
Turbidez (UNT)	275
DQO (mg/L)	5938,76
Sólidos Totais (mg/L)	447
Sólidos Fixos (mg/L)	253
Sólidos Voláteis (mg/L)	193
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	363
Sólidos Suspensos (mg/L)	83
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	47
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	37
Surfactantes (mg/L)	40,67
Nitrogênio Total (mg/L)	3,08

Alguns resultados diferem em relação aos valores encontrados por Telles e Kopperschmidt (2009) e Peralta et. al.(2012). De acordo com o primeiro autor, valores para o pH variaram de 6,78 a 7,35, para os sólidos totais a variação dos valores foram de 595 a 971 mg/L. Para o segundo autor os valores obtidos de pH foi de 7,5; já a DQO apresentou variação de 111,4 a 165,7 mg/L; a turbidez em média foi de 496 mg/L e a condutividade foi o que se obteve com uma maior semelhança com valor de 300 $\mu\text{S/cm}$, porém Teixeira (2003) encontrou um valor bruto de 12130 mg/L para a DQO.

Para efeito de consulta os dados brutos dos resultados obtidos pelas análises de todos os coagulantes se encontram no apêndice A.

As análises de cor aparente, turbidez, pH, condutividade, série de sólidos, DQO, nitrogênio total e surfactantes, além da análise de caracterização dos flocos foram

realizadas e analisadas para cada um dos três coagulantes a começar pela *Moringa oleifera*, em seguida Tanfloc SG e por conseguinte sulfato de alumínio.

6.1.MORINGA OLEIFERA OLEIFERA

6.1.1.Cor Aparente

Para as diferentes concentrações da *Moringa oleifera* analisadas, pode ser observado que os maiores níveis de remoção da cor ocorrem nos pontos centrais e quanto maior for o tempo de sedimentação dos flocos, melhor a porcentagem de remoção da cor, como pode ser observado na Figura 6.

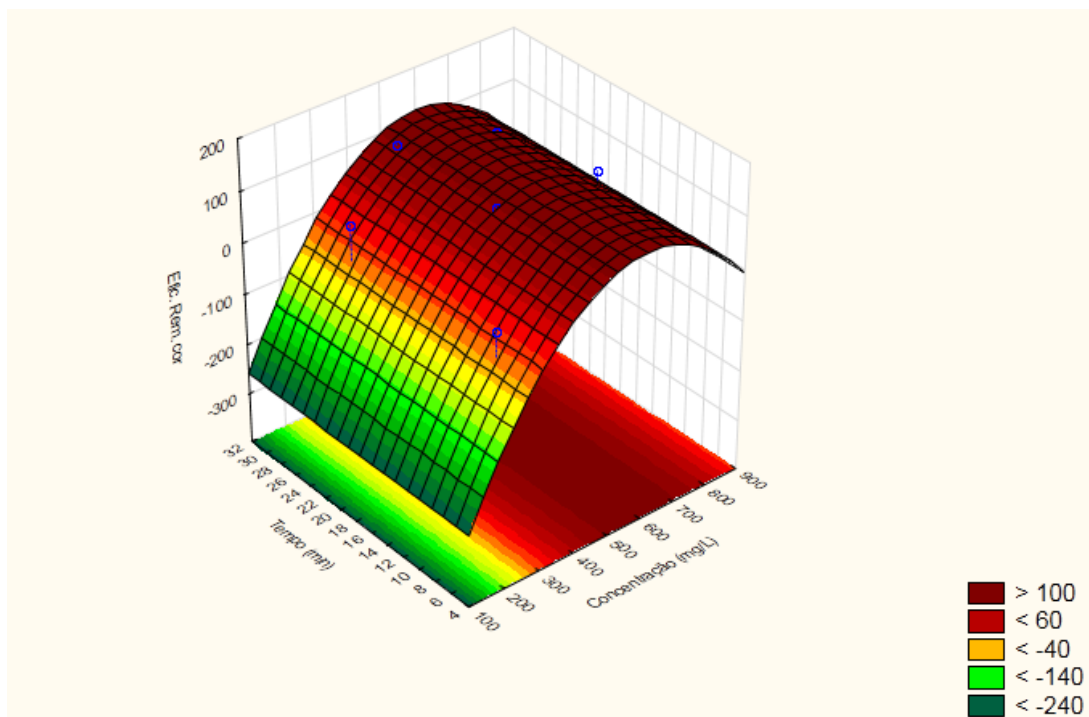


Figura 6: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados.

O maior percentual de remoção atingido foi de 84% na concentração de 500 mg/L para 30 minutos de sedimentação, onde o valor da cor atingida foi 44 PtCo, não diferindo muito dos valores de remoção atingidos com o tempo de 17,5 minutos para esta mesma concentração. Assim, a concentração de 500 mg/L se caracteriza como o ponto ótimo do coagulante natural para o efluente de postos de lavagem quando se analisa o parâmetro cor.

A legislação de lançamento de efluentes originados de postos de lavagem não determina qual o limite da cor para que o lançamento seja permitido.

6.1.2. Turbidez

Assim como a cor, a turbidez também obteve seus melhores resultados de eficiência de remoção de turbidez nos pontos centrais, que se encontram na concentração de 500 mg/L. Pode-se observar também que quanto maior foi o tempo de sedimentação dos flocos, maior foi a remoção da turbidez conforme apresentado na Figura 7.

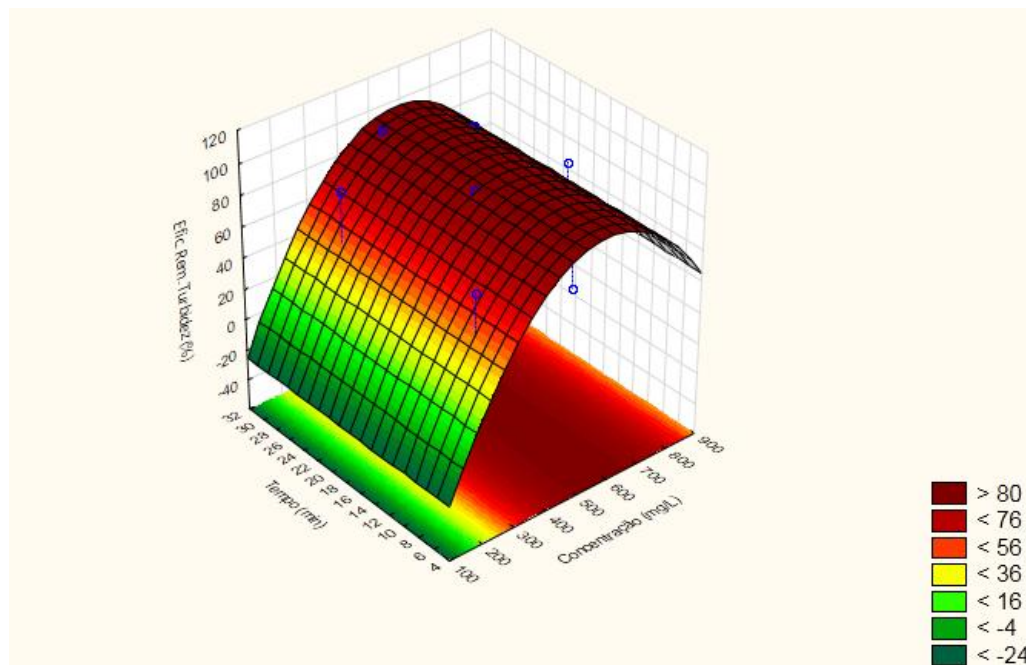


Figura 7: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%) com os fatores ajustados.

A melhor remoção ocorreu na concentração de 500 mg/L aos 30 minutos chegando a 93,45% de remoção e com a turbidez de 18 UNT. Nesta mesma concentração, mas para 17,5 minutos, as 3 repetições dos pontos centrais obtiveram remoções de 92%, 91,64% e 89,45%.

A legislação da SEMA estadual 021/2011 também não fornece o valor limite de lançamento para os efluentes de postos de lavagem, mas para a NBR 13969/97 prevê que para a classificação da Classe 1 para lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes o valor permitido de turbidez é inferior a 5 UNT. A turbidez alcançada pelo tratamento com a *Moringa oleifera*, não seria eficiente em nenhuma das concentrações estudadas, visto que a menor turbidez obtida foi de 18 UNT. O padrão exigido pela NBR 13969/97 é o mesmo determinado pelo padrão de potabilidade da portaria nº 2914/2011.

6.1.3.DQO

De acordo com a Figura 8, pode-se notar que quanto maior é a concentração do coagulante e maior o tempo de sedimentação, acontece uma maior eficiência de remoção de DQO.

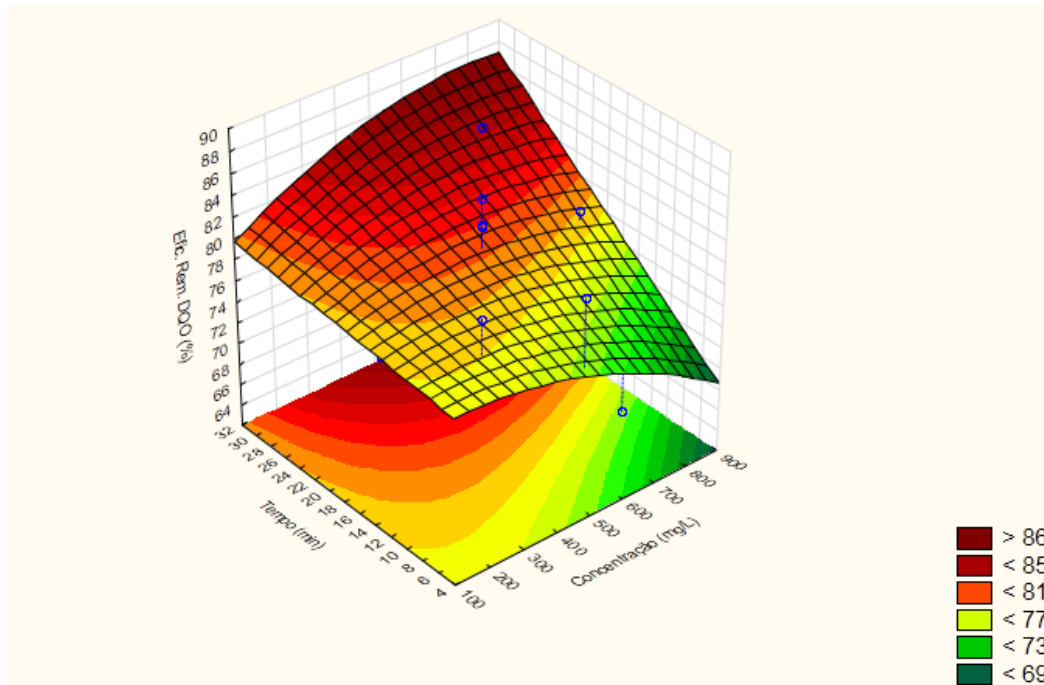


Figura 8: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores ajustados.

A maior remoção ocorreu na concentração de 500 mg/L a 30 minutos de sedimentação. Esta interação obteve 85% de remoção ao valor de 890,11 mg/L. Observa-se que o tempo de sedimentação interfere com bastante intensidade na remoção, pois a concentração de 500 mg/L aos 30 minutos e a concentração de 713 mg/L aos 26,5 minutos obtiveram remoções com valores similares, sendo a primeira de 85% e a segunda de 84,8%.

A SEMA estadual 021/2011 para lançamento de efluentes de postos de lavagem determina que o limite da DQO deve ser de 300 mg/L. Dessa forma, o tratamento realizado somente com o coagulante natural não seria suficiente para alcançar o valor estabelecido, visto que o melhor valor adquirido através da coagulação foi de 890,11 mg/L. Para chegar ao valor estabelecido pela SEMA estadual 021/2011 seria necessário um tratamento complementar para reduzir em 66% o valor de DQO. Com esta pesquisa pretende-se fazer a recirculação da água utilizada na lavagem dos carros, para tanto não é necessário que se chegue ao valor da legislação.

6.1.5. Condutividade Elétrica

A condutividade das amostras apresentou-se bem elevada, variando de 2100 a 9330 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto o efluente bruto obteve um valor de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Houve um aumento de 85% para o menor valor e de 96,78% para o maior valor. Este aumento na condutividade se deve ao preparo da solução de *Moringa oleifera* que utiliza uma grande quantidade de sal, quanto maior é a quantidade de sal, maior é a condutividade do meio, no entanto faz-se necessária a extração com sal, pois a solução salina em contato com a *Moringa oleifera* aumenta a potencialidade da proteína presente nesta, aumentando dessa forma a ação coagulante.

Através da Figura 9 pode-se notar que quanto maior é a concentração do coagulante, maior é a condutividade empregada.

A quantidade elevada de sal pode não favorecer o processo de recirculação proposto, pois o contato do sal com a pintura dos carros causa a corrosão da mesma. Apesar dos melhores resultados encontrados em solução salina, neste caso o ensaio deve ser repetido com o uso apenas da água pura.

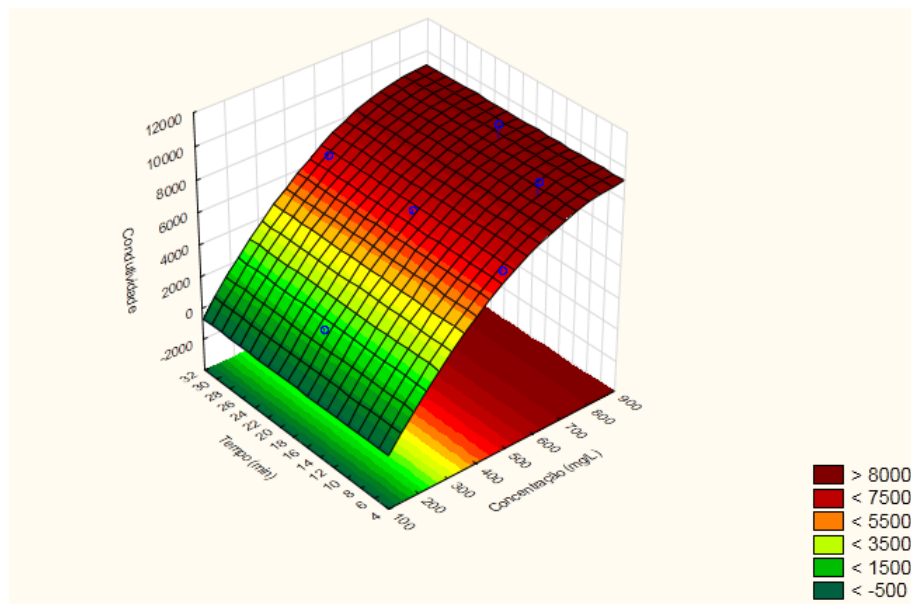


Figura 9: Superfície de resposta para a variável resposta condutividade

com os fatores ajustados.

Essa grande quantidade de sal prejudica a recirculação da água tratada para a lavagem dos carros, pois pode ocorrer a corrosão da pintura dos carros. A água tratada com a *Moringa oleifera* pode ser empregada na lavagem do chão do posto, visto que não prejudicaria o concreto no qual é feito o piso e ainda estaria economizando a água de abastecimento público. Na legislação da SEMA estadual 021/2011 não há restrições quanto à condutividade.

6.1.6.pH

Por meio da Figura 10 pode ser observado que de acordo com o aumento do tempo de sedimentação o pH aumenta, ocorre uma influência apenas do tempo nos valores do pH.

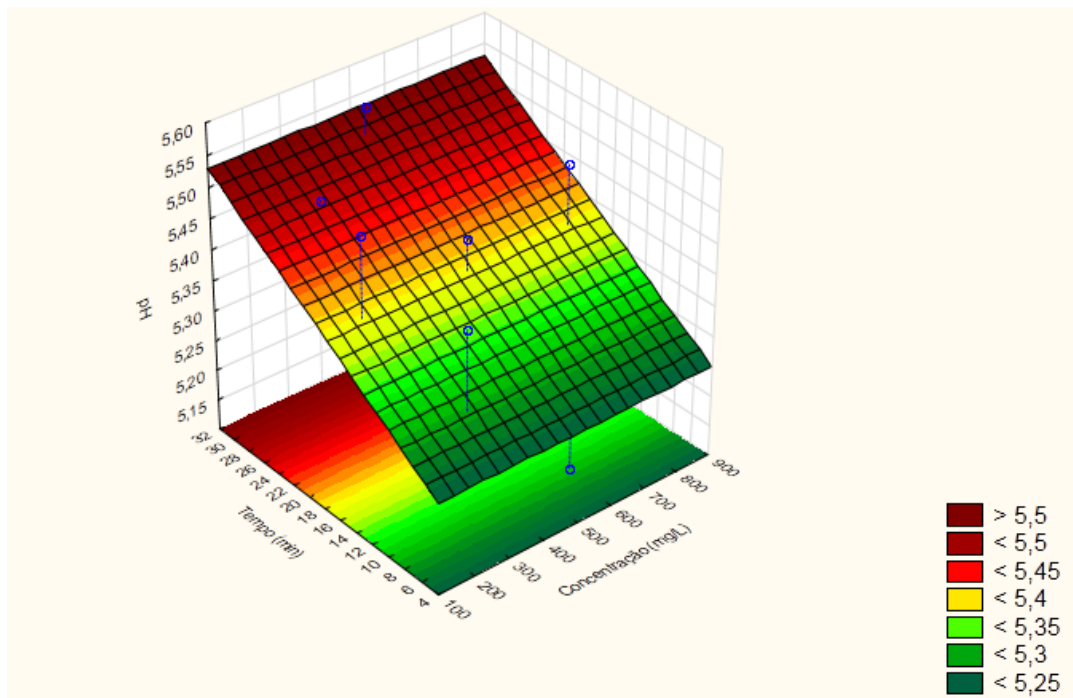


Figura 10: Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados.

O pH das amostras variou de 5,12 a 5,55, diferindo pouco do efluente bruto que ficou com um pH de 5,81, concordando com pesquisas realizadas por Santos et al. (2009) com a utilização da *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento do efluente de uma indústria de laticínios, onde este relata que o pH variou muito pouco em relação ao seu efluente bruto que estava com 6,7 e depois do tratamento ficou em 6,6.

A legislação da SEMA estadual estabelece que o pH deve estar entre 5 e 9, então esta água tratada com *Moringa oleifera* se enquadra nesta lei.

Através dos dados experimentais foi realizada a análise estatística dos resultados obtidos, por meio dos efeitos das variáveis independentes definidas, concentração e tempo para as variáveis resposta cor, turbidez, DQO, pH e condutividade representadas da figura 11 a 15. Em virtude de ser um processo da área de saneamento admitiu-se um nível de significância de 10%, ou seja, o p-valor < 0,10.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	88,095	29,64772	2,97138	0,031108	28,353	147,8363	88,0947	29,64772	28,353	147,8363
(1)Concentração (mg/L)(L)	133,871	36,38815	3,67898	0,014309	60,547	207,1952	66,9357	18,19407	30,274	103,5976
Concentração (mg/L)(Q)	-124,948	43,41373	-2,87807	0,034666	-212,429	-37,4670	-62,4739	21,70686	-106,214	-18,7335
(2)Tempo (min)(L)	7,804	36,52018	0,21368	0,839236	-65,786	81,3936	3,9018	18,26009	-32,893	40,6968
Tempo (min)(Q)	28,034	43,93280	0,63810	0,551481	-60,493	116,5604	14,0168	21,96640	-30,247	58,2802
1L by 2L	-8,142	51,35536	-0,15853	0,880241	-111,625	95,3420	-4,0708	25,67768	-55,813	47,6710

Figura 11: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).
(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Os parâmetros considerados significativos, ou que obtiveram o p-valor < 0,10 para a remoção de cor foram as variáveis Concentração linear e Concentração quadrática. Assim, o Tempo linear e o Tempo quadrático não interferiram significativamente para que ocorresse a remoção de cor do coagulante natural *Moringa oleifera*.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	90,7380	15,12598	5,99882	0,001848	60,2584	121,2176	90,7380	15,12598	60,2584	121,2176
(1)Concentração (mg/L)(L)	37,6737	18,56488	2,02930	0,098199	0,2646	75,0828	18,8368	9,28244	0,1323	37,5414
Concentração (mg/L)(Q)	-45,5911	22,14926	-2,05836	0,094631	-90,2229	-0,9592	-22,7955	11,07463	-45,1115	-0,4796
(2)Tempo (min)(L)	13,6365	18,63224	0,73188	0,497090	-23,9083	51,1814	6,8183	9,31612	-11,9542	25,5907
Tempo (min)(Q)	2,6704	22,41409	0,11914	0,909805	-42,4951	47,8358	1,3352	11,20705	-21,2476	23,9179
1L by 2L	1,6040	26,20101	0,06122	0,953556	-51,1923	54,4003	0,8020	13,10050	-25,5961	27,2002

Figura 12: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%). (L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Com o p-valor < 0,10, as variáveis significativas para a variável resposta eficiência de remoção de turbidez foram a concentração linear e a concentração quadrática, não ocorrendo significância a 10% para as variáveis Tempo linear, o Tempo quadrático e a interação concentração/tempo, ou seja, estas variáveis não interferiram na remoção de turbidez.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	83,41240	1,929813	43,22304	0,000000	79,5237	87,30106	83,41240	1,929813	79,52373	87,30106
(1)Concentração (mg/L)(L)	0,34200	2,368557	0,14439	0,890832	-4,4308	5,11475	0,17100	1,184279	-2,21538	2,55738
Concentração (mg/L)(Q)	-7,70574	2,825862	-2,72686	0,041435	-13,4000	-2,01149	-3,85287	1,412931	-6,70000	-1,00575
(2)Tempo (min)(L)	3,79997	2,377151	1,59854	0,170816	-0,9901	8,59005	1,89999	1,188576	-0,49505	4,29502
Tempo (min)(Q)	-2,29788	2,859649	-0,80355	0,458138	-8,0602	3,46446	-1,14894	1,429825	-4,03010	1,73223
1L by 2L	12,10460	3,342794	3,62110	0,015202	5,3687	18,84049	6,05230	1,671397	2,68435	9,42024

Figura 13: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%). (L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

As variáveis que apresentaram significância a 10% quanto ao modelo são a Concentração quadrática e a interação entre a variável Concentração e tempo. As variáveis concentração linear, tempo linear e tempo quadrático não influenciaram na remoção de DQO.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	6942,81	879,802	7,89133	0,000526	5169,96	8715,65	6942,81	879,8018	5169,96	8715,651
(1)Concentração (mg/L)(L)	2808,12	1079,825	2,60053	0,048219	632,22	4984,02	1404,06	539,9126	316,11	2492,008
Concentração (mg/L)(Q)	-4144,24	1288,311	-3,21680	0,023549	-6740,25	-1548,23	-2072,12	644,1553	-3370,12	-774,116
(2)Tempo (min)(L)	-705,80	1083,743	-0,65126	0,543622	-2889,59	1478,00	-352,90	541,8717	-1444,80	739,000
Tempo (min)(Q)	267,69	1303,714	0,20533	0,845415	-2359,36	2894,73	133,84	651,8571	-1179,68	1447,367
1L by 2L	-1553,25	1523,980	-1,01920	0,354861	-4624,14	1517,65	-776,62	761,9900	-2312,07	758,823

Figura 14: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade.

(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Os parâmetros considerados significativos com o p-valor < 0,10 foram a Concentração linear e Concentração quadrática. O Tempo linear, o Tempo quadrático e a interação Concentração/Tempo não influenciaram significativamente no modelo gerado.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	5,293026	0,069337	76,33819	0,000000	5,153310	5,432743	5,293026	0,069337	5,153310	5,432743
(1)Concentração (mg/L)(L)	-0,063422	0,085100	-0,74526	0,489644	-0,234903	0,108060	-0,031711	0,042550	-0,117451	0,054030
Concentração (mg/L)(Q)	0,196303	0,101531	1,93343	0,111001	-0,008286	0,400893	0,098152	0,050765	-0,004143	0,200446
(2)Tempo (min)(L)	0,178674	0,085409	2,09198	0,090671	0,006571	0,350778	0,089337	0,042705	0,003286	0,175389
Tempo (min)(Q)	0,056104	0,102745	0,54605	0,608502	-0,150932	0,263140	0,028052	0,051372	-0,075466	0,131570
1L by 2L	0,045186	0,120104	0,37622	0,722185	-0,196829	0,287201	0,022593	0,060052	-0,098414	0,143600

Figura 15: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH.

(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Considerando o nível de significância a 10%, a variável significativa foi o tempo linear. As demais variáveis não obtiveram p-valor < 0,10, portanto não foram significativas.

Através dos coeficientes de regressão dos fatores significativos foi gerado um modelo matemático para cada parâmetro analisado, no qual a variável resposta representa a variável eficiência de remoção de cor na equação 1, eficiência de remoção de turbidez na equação 2, eficiência de remoção de DQO na equação 3, pH na equação 4 e condutividade na equação 5. As variáveis estão representadas de forma codificada. Vale ressaltar que ao retirar os coeficientes não significativos o modelo é recalculado e os coeficientes sofrem pequenas alterações em seus valores.

$$\text{Efic. Rem. Cor} = 101,0661 + 66,9266C_1 - 66,4212C_1^2. \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Efic. Rem. Turbidez} = 91,9957 + 18,8386C_1 - 23,1796C_1^2. \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Efic. Rem. DQO} = 82,35677 - 3,52866C_1^2 + 6,05306C_1T_2. \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{Condutividade} = 7065,33 + 1402,33C_1 - 2109,78C_1^2. \quad \text{Equação 4}$$

$$\text{pH} = 5,384291 + 0,089382T_2. \quad \text{Equação 5}$$

O gráfico de Pareto mostra em ordem decrescente a interferência das variáveis no modelo, este representa a razão entre o valor estimado do efeito e seu erro padrão. As variáveis que ultrapassam a linha vermelha são consideradas significativas. Este gráfico foi gerado para mostrar com clareza as variáveis consideradas significativas para as variáveis resposta eficiência de remoção de cor (Figura 16), eficiência de remoção de turbidez (Figura 17), eficiência de remoção de DQO (Figura 18).

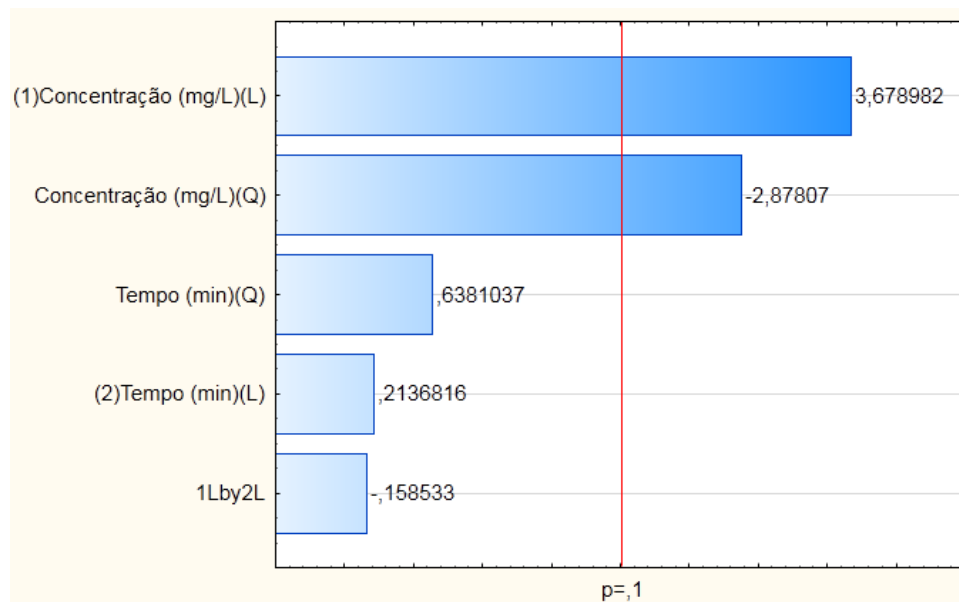


Figura 16: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção cor (%).

A Figura 16 mostra que o termo linear da concentração e o termo quadrático da concentração foram as variáveis que influenciaram significativamente o modelo gerado para a variável resposta eficiência de remoção de cor.

Através da Figura 17 é possível perceber a interferência da concentração linear e da concentração quadrática na remoção de turbidez, variáveis que ultrapassaram a linha vermelha do gráfico.

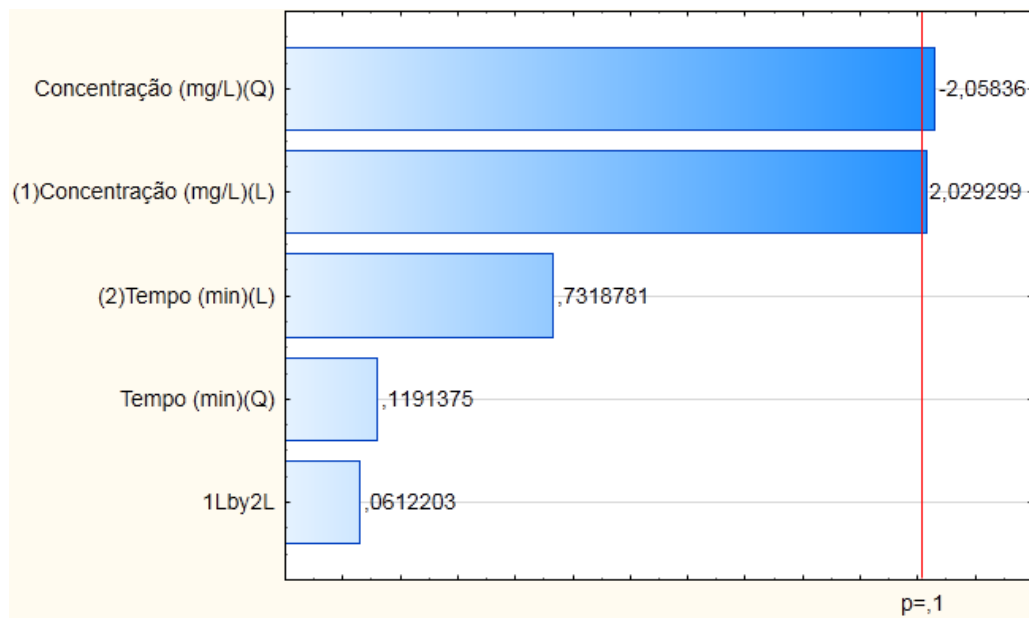


Figura 17: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).

A Figura 18 apresenta de forma decrescente a influência da concentração quadrática e da interação entre concentração e tempo no modelo gerado para a variável resposta eficiência de remoção de DQO, variáveis que ultrapassaram a linha vermelha do p-valor < 0,10.

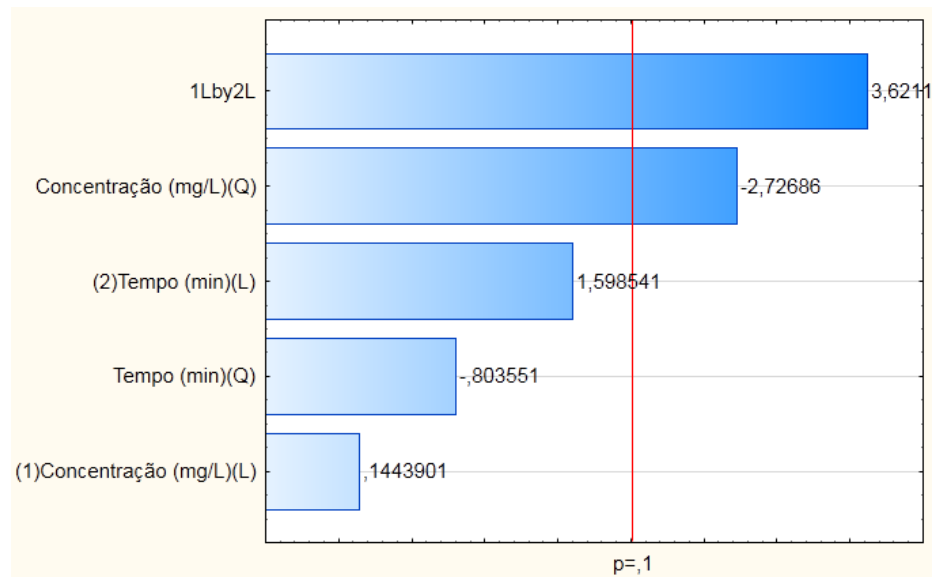


Figura 18: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%).

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para a remoção de cor, remoção de turbidez, remoção de DQO, pH e condutividade elétrica com a Moringa oleifera Oleifera, foi avaliado pelo teste de análise de variância (ANOVA) ao nível de confiança de 90% mostrado na Tabela 7 para a eficiência de remoção de cor.

Tabela 7: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	2	62672,87	31336,43	17,41	3,11
Resíduo	8	14399,15	1799,89		
Total	10	77072,01			

Através da análise estatística, nota-se que o modelo matemático se apresenta de forma significativa, ao nível de significância de 10%, pois o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que o F_{tabelado} . O modelo gerado de regressão quadrática para a eficiência de remoção de cor, representado pela equação 1, possui um R^2 ajustado de 0,8125. Dessa maneira, conclui-se que os dados experimentais se ajustam ao modelo.

Os dados dos valores experimentais e valores previstos, bem como os erros de ajuste e os erros relativos previstos pelo modelo de eficiência de remoção de cor estão representados na Tabela 8.

Tabela 8: Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
-200	-125,23	-74,77	37,38
18,91	-32,22	51,13	270,38
37,97	-32,22	70,19	184,85
88,87	101,06	-12,19	-13,72
90,9	101,06	-10,16	-11,18
78,57	101,06	-22,49	-28,62
96,24	101,06	-4,82	-5,01
96,39	101,06	-4,67	-4,85
94,51	101,60	-7,09	-7,50
96,69	101,60	-4,91	-5,08
83,23	63,45	19,78	23,77

A tabela 9 mostra o teste da ANOVA para a análise de remoção de turbidez.

Tabela 9: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%) com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	2	6112,63	3056,32	6,43	3,11
Resíduo	8	3805,23	475,65		
Total	10	9917,86			

Por meio da análise estatística, é possível constatar que o modelo matemático se mostra de maneira significativa ao nível de significância de 10%, visto que o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que F_{tabelado} . O modelo da regressão quadrática gerado para a variável resposta eficiência de remoção de turbidez, obteve um R^2 ajustado de 0,61554. O

modelo explica 61% da variação em relação a variável resposta, ou seja, o modelo se ajusta de forma moderada aos dados experimentais.

A Tabela 10 apresenta os valores experimentais e os valores previstos em relação aos erros de ajuste e seus erros relativos.

Tabela 10: Valores experimentais de eficiência de remoção de turbidez, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
-16,73	19,40	-36,13	215,96
74,91	50,00	24,91	33,25
83,27	50,00	33,27	39,95
68,73	92,00	-23,27	-33,85
92	92,00	0,00	0,00
91,64	92,00	-0,36	-0,39
89,45	92,00	-2,55	-2,85
93,45	92,00	1,45	1,56
77,82	87,68	-9,86	-12,67
89,09	87,68	1,41	1,58
83,64	72,52	11,12	13,29

A tabela 11 mostra a análise de variância (ANOVA) para a eficiência de remoção de turbidez.

Tabela 11: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	2	222,00	111,00	9,63	3,11
Resíduo	8	92,26	11,53		
Total	10	314,26			

Pelo teste estatístico observa-se que ao nível de significância de 10% o modelo matemático é significativo, no qual o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que o F_{tabelado} . O modelo

representado pela equação obteve um R^2 ajustado de 0,70804. Desta forma, o constata-se que os dados experimentais se ajustam ao modelo.

Os valores experimentais e os previstos, assim como os erros de ajuste e erros relativos do modelo são apresentados pela Tabela 12.

Tabela 12: Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
74,61	75,36	-0,75	-1,00
81,28	84,88	-3,60	-4,43
75,63	72,79	2,84	3,76
81,89	82,35	-0,46	-0,57
82,51	82,35	0,16	0,19
82,63	82,35	0,28	0,34
85,01	82,35	2,66	3,13
83,38	82,35	1,03	1,23
66,27	72,79	-6,52	-9,84
84,80	84,88	-0,08	-0,09
79,80	75,36	4,44	5,57

A tabela 13 representa o teste da ANOVA para a análise de condutividade elétrica.

Tabela 13: ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	2	42817445,94	21408722,97	11,34	3,11
Resíduo	8	15106079,70	1888259,96		
Total	10	57923525,64			

Através da análise estatística realizada, nota-se que o modelo foi significativo, pois o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que o F_{tabelado} . O modelo matemático representa 74% dos resultados obtidos. Portanto, o modelo se ajusta aos dados experimentais.

O valor experimental e o Valor previsto, assim como o erro de ajuste e o erro relativo para a variável resposta condutividade estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Valores experimentais de condutividade, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
2100	901,36	1198,64	57,08
2800	3557,17	-757,17	-27,04
2827	3557,17	-730,17	-25,83
6800	7064,61	-264,61	-3,89
6920	7064,61	-144,61	-2,09
6950	7064,61	-114,61	-1,65
6980	7064,61	-84,61	-1,21
6980	7064,61	-84,61	-1,21
9330	6359,09	2970,91	31,84
6270	6359,09	-89,09	-1,42
9850	4852,06	-1900,06	-19,29

A tabela 15 mostra a análise da ANOVA para a análise de pH.

Tabela 15: ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	1	0,06	0,06	4,21	3,36
Resíduo	9	0,14	0,02		
Total	10	0,20			

Através da análise estatística, é possível perceber que o modelo foi significativo, pois o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que o F_{tabelado} . O modelo de regressão quadrática, que é representado pela equação 5, possui um R^2 ajustado de 0,31713. Constatou-se que os dados experimentais ajustam-se pouco ao modelo matemático, visto que este representa 32% dos dados.

A Tabela 16 apresenta os valores experimentais, valores previstos, os erros de ajuste e os erros relativos para a variável resposta pH.

Tabela 16: Valores experimentais do pH, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
5,52	5,38	0,14	2,45
5,43	5,30	0,13	2,48
5,48	5,47	0,01	0,11
5,18	5,26	-0,08	-1,52
5,12	5,38	-0,26	-5,17
5,32	5,38	-0,06	-1,21
5,44	5,38	0,06	1,02
5,55	5,51	0,04	0,71
5,28	5,30	-0,02	-0,29
5,42	5,47	-0,05	-0,99
5,49	5,38	0,11	1,92

6.1.4.Série de Sólidos

Quanto a série de sólidos, houve remoção dos sólidos voláteis para as concentrações 287, 500 e 800 mg/L e para os sólidos suspensos voláteis para as concentrações 287, 500 e 713 mg/L. Para as demais concentrações e para os outros sólidos como os totais, fixos, suspensos, suspensos fixos e dissolvidos houve um acréscimo de sólidos nas amostras.

O fato de haver remoção nos sólidos voláteis e suspensos voláteis do efluente se remete ao fato da existência de substâncias orgânicas. Podem ter sido removidas as substâncias orgânicas contidas no efluente e os sólidos do coagulante adicionados nas amostras. É importante ressaltar que o coagulante em questão é orgânico.

O aumento de sólidos totais corroboram com estudos realizados por Arantes (2014) que verificou que após a adição do coagulante pó de Moringa oleifera confinados em sachês, ocorreu aumento na concentração de sólidos totais com maiores percentuais de elevação da concentração na ordem de 73,6% e 77,2%

Tabela 17: Valores de eficiência de remoção da série de sólidos utilizando Moringa oleifera.

Concentração (mg/L)	Tempo (min)	Efc. Rem. Sól. Totais	Efic. Rem. Sól Fixos	Efic. Rem. Sól. Voláteis	Efic. Rem. Sól. Suspensos	Efic. Rem. Sól. Susp. Fixos	Efic. Rem. Sól. Susp. Voláteis	Efic. Rem. Sól. Dissolvidos
200	17,5	-217,91	-380,26	-5,17	-156	-257,14	-27,27	-232,11
287	8,52	-268,66	-506,58	43,1	-128	-235,71	9,09	-300,92
287	26,4	-268,66	-514,47	53,45	-144	-207,14	-63,64	-297,25
500	5	-510,45	-934,21	44,83	-172	-207,14	-127,27	-588,07
500	17,5	-530,6	-939,47	5,17	-88	-178,57	27,27	-632,11
500	17,5	-536,57	-951,32	6,9	-304	-385,71	-200	-589,91
500	17,5	-535,82	-940,79	-5,17	-144	-307,14	63,64	-625,69
500	30	-552,99	-961,84	-17,24	-144	-242,86	-18,18	-646,79
713	8,52	-801,49	-1356,58	-74,14	-200	-285,71	-90,91	-939,45
713	26,4	-761,19	-1306,58	-46,55	-144	-271,43	18,18	-902,75
800	17,5	-301,49	-567,11	46,55	-24	0	-54,55	-365,14

Os valores negativos indicam o acréscimo de sólidos.

6.2.TANFLOC SG SG

6.2.1.Cor Aparente

O uso do Tanfloc SG como coagulante natural apresentou apresentando maiores porcentagens de remoção, com seu maior índice de eficiência em 93,45% e chegando a um valor de cor de 18 PtCo. As melhores remoções ocorreram nos pontos centrais com as concentrações de 250 mg/L nos tempos de sedimentação 11 e 20 minutos. As porcentagens de remoção atingidas nesta mesma concentração aos 11 minutos foram de 84,36%, 88,73% e 86,91%. A Figura 19 mostra os picos de remoção da cor nos pontos centrais com a influência do tempo.

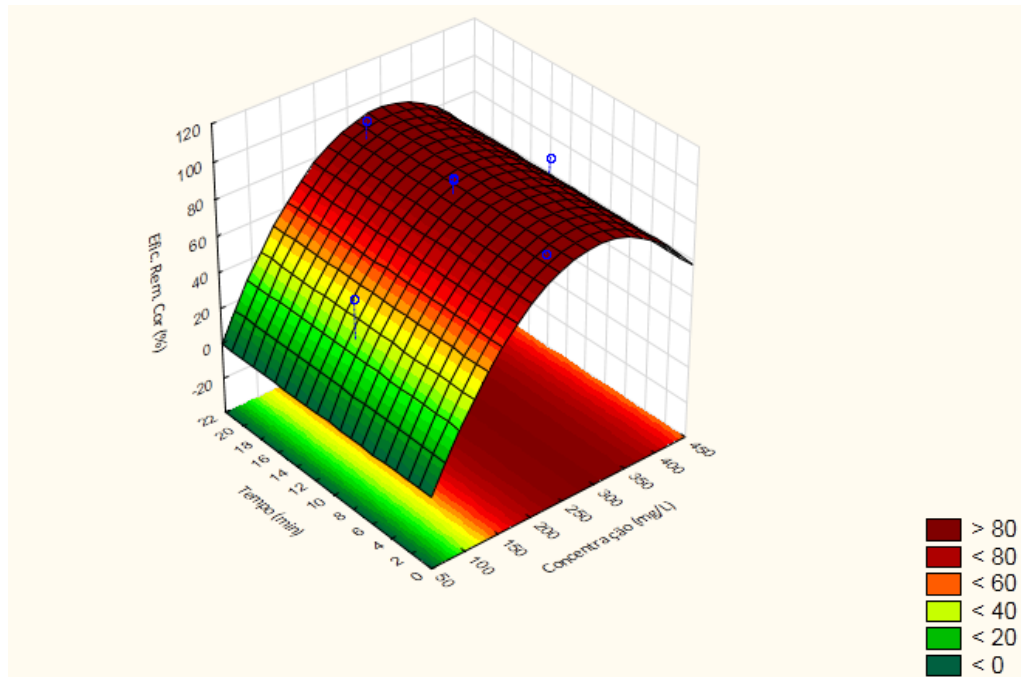


Figura 19: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados.

Para a legislação da SEMA estadual 021 não existe limite para cor.

6.2.2. Turbidez

A turbidez com a utilização do Tanfloc SG obteve um bom resultado, chegando a uma remoção de 97,82% na concentração de 250 mg/L a 20 minutos. Os melhores resultados foram no ponto central nos maiores tempos de sedimentação, como pode ser observado na Figura 20.

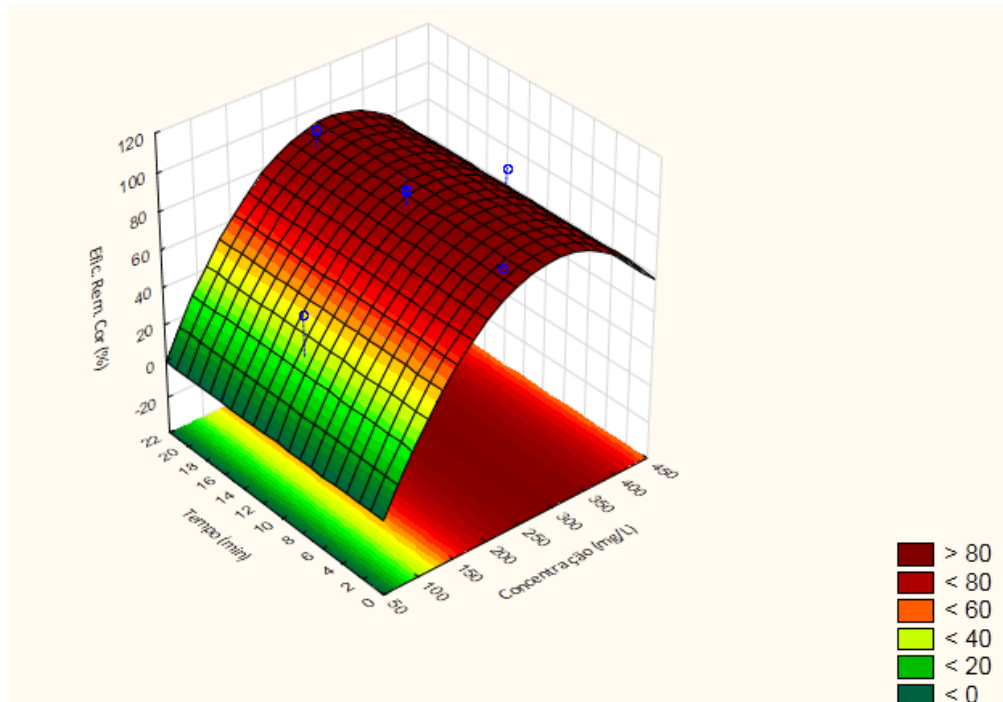


Figura 20: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção turbidez(%) com os fatores ajustados.

A turbidez nos melhores pontos variou de 12 a 6 UNT na concentração de 250 mg/L aos 11 e 20 minutos. Estes resultados foram satisfatórios e condizentes com a pesquisa de Silva (2012) que alcançou uma remoção de 99,43%, utilizando a concentração de 60 mg/L com um tempo de sedimentação de 60 minutos.

A legislação da SEMA estadual também não delimita o valor de lançamento da turbidez para os efluentes de postos de lavagem, porém a NBR 13969/97 prevê que para a classificação da classe 1 para lavagem de carros o valor permitido de turbidez é inferior a 5 UNT. O menor valor de turbidez do Tanfloc SG foi de 6 UNT, muito próximo ao valor exigido pela NBR, portanto viabilizando o seu reúso.

6.2.3.DQO

A demanda química de oxigênio se comportou de forma inversamente proporcional, à medida que sua concentração era diminuída, sua eficiência de remoção de DQO era aumentada, isso pode ser observado na Figura 21.

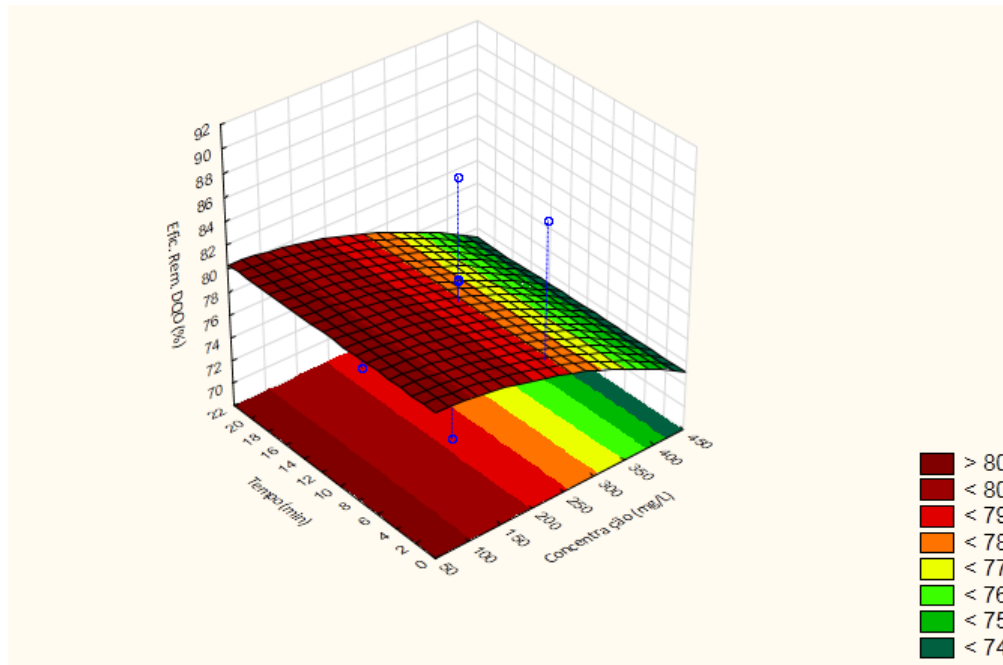


Figura 21: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores ajustados.

A maior porcentagem de remoção foi de 89,6% na concentração de 250 mg/L aos 2 minutos. No ponto central, esta mesma concentração aos 11 minutos obteve um percentual similar de remoção de 88,63%. O valor da DQO para o maior percentual de remoção foi de 617,83 mg/L.

O valor limite de DQO é previsto na SEMA estadual 021, este valor é de 300 mg/L. Assim como a *Moringa oleifera*, o valor obtido com o tratamento utilizando o Tanfloc SG também ultrapassou o valor permitido, mas o Tanfloc SG superou a legislação em 51,44%. Para atingir a legislação é necessário que se tenha um tratamento complementar. Como a pretensão é de se fazer a recirculação da água para a lavagem de carros, é um valor aceitável.

6.2.5.pH

O pH do coagulante natural Tanfloc SG SG obteve uma variação de 4,35 a 5,27, havendo uma variação do pH do efluente bruto para o efluente tratado. Geralmente nos tratamentos com a utilização do Tanfloc SG SG, o pH não é alterado como descrito por Niero (2012). Nesta pesquisa ocorreu uma leve queda no valor do pH em relação ao efluente bruto. Porém, segundo a TANAC (2008) o pH se encontra dentro da faixa de atuação do Tanfloc SG no intervalo de 4,5 a 8,0. A figura 22 mostra o comportamento inversamente proporcional da concentração em relação ao pH, quanto maior é a concentração do coagulante, menor é o valor do pH.

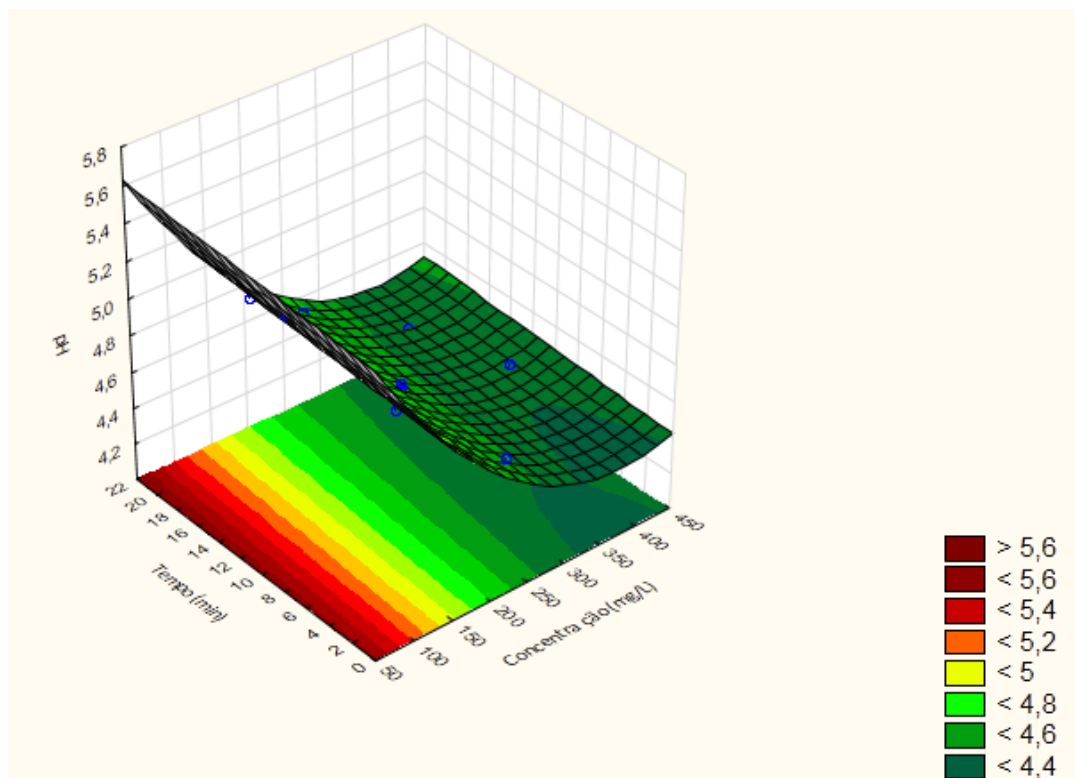


Figura 22: Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados.

6.2.6. Condutividade Elétrica

A condutividade variou no intervalo de 271,8 a 303 $\mu\text{S}/\text{cm}$. É importante destacar que os valores de condutividade apresentados pelo Tanfloc SG quase não se alteraram em relação ao valor do efluente bruto de 276,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Na Figura 23 observa-se que quanto maior é a concentração do coagulante natural, maior é a condutividade empregada.

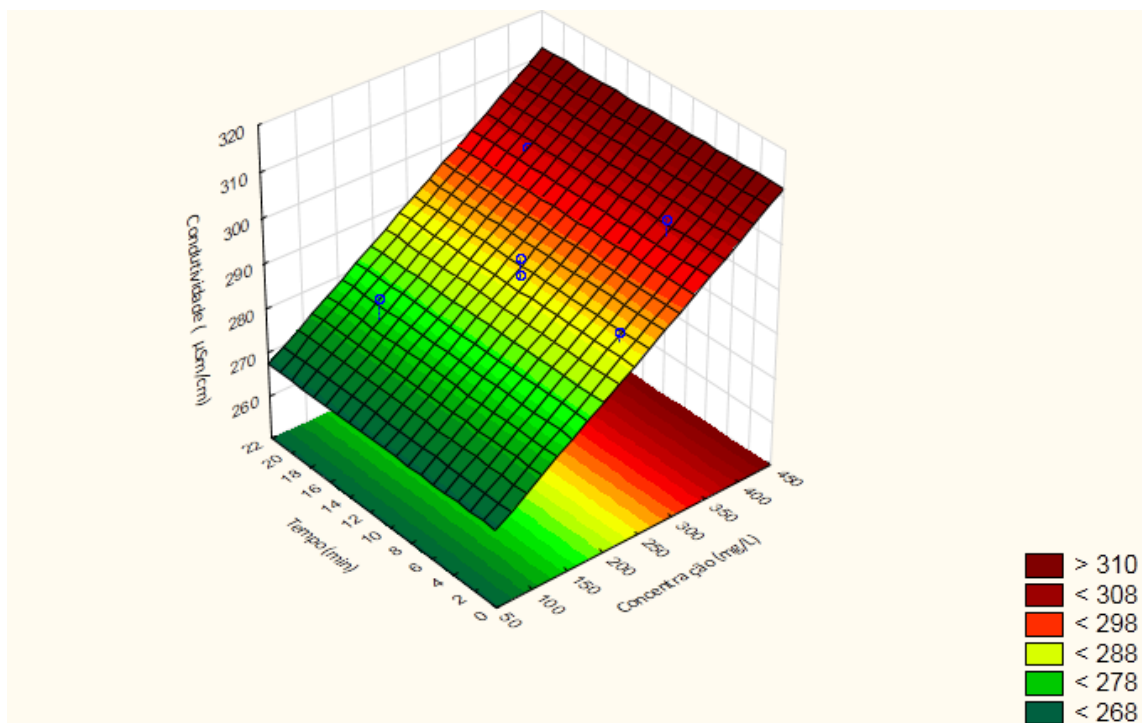


Figura 23: Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados.

A SEMA estadual 021/2011 não delimita o valor de condutividade para os efluentes.

A análise estatística foi realizada por meios dos dados experimentais, com os efeitos das variáveis independentes concentração e tempo para a variável resposta eficiência de remoção cor, eficiência de remoção de turbidez, eficiência de remoção de

DQO, pH e condutividade pelo coagulante natural Tanfloc SG apresentadas nas figuras 24, 25, 26, 27, e 28. Destaca-se que foi utilizado um nível de significância de 10% com p-valor < 0,10, adotado em análises na área de saneamento.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt
Mean/Interc.	97,4848	10,26488	9,49692	0,000219	76,8006	118,1690	97,4848	10,26488	76,8006	118,1690
(1)Concentração (mg/L)(L)	30,2775	12,59275	2,40436	0,061290	4,9025	55,6525	15,1387	6,29637	2,4512	27,8262
Concentração (mg/L)(Q)	-39,5135	15,00889	-2,63267	0,046384	-69,7572	-9,2699	-19,7568	7,50445	-34,8786	-4,6349
(2)Tempo (min)(L)	7,8321	12,64748	0,61926	0,562866	-17,6532	33,3174	3,9161	6,32374	-8,8266	16,6587
Tempo (min)(Q)	-18,0827	15,22384	-1,18779	0,288260	-48,7595	12,5941	-9,0413	7,61192	-24,3797	6,2970
1L by 2L	3,8167	17,78057	0,21466	0,838516	-32,0120	39,6454	1,9083	8,89028	-16,0060	19,8227

Figura 24: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).
(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

De acordo com a Figura 24, ao nível de significância de 10% (p-valor < 0,10), as variáveis significativas foram a Concentração linear e a Concentração quadrática. Contudo, as variáveis Tempo linear, Tempo quadrático e a interação Concentração/Tempo não contribuíram significativamente para a remoção de cor com o coagulante natural Tanfloc SG.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt
Mean/Interc.	94,6042	6,25773	15,11798	0,000023	81,9946	107,2138	94,6042	6,257728	81,9946	107,2138
(1)Concentração (mg/L)(L)	3,3500	7,67685	0,43637	0,680765	-12,1193	18,8192	1,6750	3,838427	-6,0596	9,4096
Concentração (mg/L)(Q)	-40,1568	9,14979	-4,38882	0,007096	-58,5941	-21,7196	-20,0784	4,574897	-29,2971	-10,8598
(2)Tempo (min)(L)	13,0088	7,71022	1,68722	0,152366	-2,5276	28,5453	6,5044	3,855110	-1,2638	14,2727
Tempo (min)(Q)	-20,0712	9,28083	-2,16265	0,082909	-38,7725	-1,3699	-10,0356	4,640415	-19,3862	-0,6849
1L by 2L	1,1045	10,83948	0,10190	0,922797	-20,7375	22,9466	0,5523	5,419738	-10,3688	11,4733

Figura 25: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).
(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Para o nível de significância de 10%, as variáveis significativas foram a Concentração quadrática e o Tempo quadrático, não obtendo significância as variáveis Concentração linear, Tempo linear e a interação concentração/tempo para a variável resposta eficiência de remoção de turbidez.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt
Mean/Interc.	83,0119	3,203313	25,91439	0,000002	76,5571	89,46676	83,01193	3,203313	76,5571	89,46676
(1)Concentração (mg/L)(L)	-2,3391	3,929760	-0,59523	0,577605	-10,2578	5,57955	-1,16955	1,964880	-5,1289	2,78977
Concentração (mg/L)(Q)	-10,8085	4,683754	-2,30766	0,069108	-20,2465	-1,37053	-5,40426	2,341877	-10,1233	-0,68527
(2)Tempo (min)(L)	-5,3912	3,946840	-1,36595	0,230186	-13,3443	2,56187	-2,69560	1,973420	-6,6721	1,28094
Tempo (min)(Q)	-3,4087	4,750830	-0,71750	0,505177	-12,9819	6,16441	-1,70437	2,375415	-6,4909	3,08221
1L by 2L	-4,1664	5,548698	-0,75088	0,486541	-15,3473	7,01450	-2,08320	2,774349	-7,6736	3,50725

Figura 26: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%). (L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Com o nível de significância de 10% e p-valor < 0,10 a única variável que se apresentou de forma significativa foi a Concentração quadrática para a variável resposta eficiência de remoção de DQO.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt
Mean/Interc.	4,596989	0,019391	237,0638	0,000000	4,557915	4,636064	4,596989	0,019391	4,557915	4,636064
(1)Concentração (mg/L)(L)	-0,584421	0,023789	-24,5670	0,000002	-0,632357	-0,536486	-0,292211	0,011894	-0,316179	-0,268243
Concentração (mg/L)(Q)	0,239122	0,028353	8,4337	0,000385	0,181989	0,296255	0,119561	0,014177	0,090994	0,148128
(2)Tempo (min)(L)	0,063355	0,023892	2,6517	0,045334	0,015211	0,111499	0,031678	0,011946	0,007606	0,055750
Tempo (min)(Q)	-0,002973	0,028759	-0,1034	0,921694	-0,060924	0,054979	-0,001486	0,014380	-0,030462	0,027489
1L by 2L	0,019973	0,033589	0,5946	0,577987	-0,047711	0,087656	0,009986	0,016795	-0,023856	0,043828

Figura 27: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH. (L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Ao nível de significância de 10%, as variáveis significativas, ou seja, variáveis que obtiveram um p-valor < 0,10 foram a Concentração linear, a Concentração quadrática e o Tempo linear. O Tempo quadrático e a interação entre a concentração e o tempo não foram significativas para a variável resposta pH.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt
Mean/Interc.	290,2898	2,375506	122,2013	0,000000	285,5030	295,0766	290,2898	2,375506	285,5030	295,0766
(1)Concentração (mg/L)(L)	23,6644	2,914222	8,1203	0,000460	17,7921	29,5367	11,8322	1,457111	8,8961	14,7684
Concentração (mg/L)(Q)	-1,4141	3,473367	-0,4071	0,700754	-8,4131	5,5849	-0,7071	1,736684	-4,2066	2,7924
(2)Tempo (min)(L)	-0,8533	2,926888	-0,2915	0,782349	-6,7511	5,0445	-0,4266	1,463444	-3,3756	2,5223
Tempo (min)(Q)	-0,2607	3,523110	-0,0740	0,943888	-7,3599	6,8386	-0,1303	1,761555	-3,6800	3,4193
1L by 2L	-6,1592	4,114790	-1,4969	0,194689	-14,4507	2,1323	-3,0796	2,057395	-7,2254	1,0661

Figura 28: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade. (L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Ao nível de significância de 10% a variável que foi considerada significativa com o p-valor < 0,10 foi apenas a Concentração linear. As demais variáveis não se apresentaram de forma significativa ao nível de 10% para a variável resposta condutividade elétrica.

O modelo gerado pelos coeficientes de regressão dos fatores significativos do delineamento estatístico é representado pela equação 6 para a variável resposta eficiência de remoção de cor, eficiência de remoção de turbidez na equação 7, eficiência de remoção de DQO na equação 8, pH na equação 9 e condutividade elétrica na equação 10. Vale ressaltar que as variáveis se apresentam de forma codificada.

$$\text{Efic. Rem. Cor} = 89,1494 - 15,1446C_1 - 17,2018C_1^2. \quad \text{Equação 6}$$

$$\text{Efic. Rem. Turbidez} = 94,5916 - 20,0723C_1^2 - 9,9884T_2^2. \quad \text{Equação 7}$$

$$\text{Efic. Rem. DQO} = 81,42427 - 4,91879C_1^2. \quad \text{Equação 8}$$

$$\text{pH} = 4,595616 - 0,292180C_1 + 0,119982C_1^2 - 0,031670T_2. \quad \text{Equação 9}$$

$$\text{Condutividade} = 289,6818 + 11,8227C_1. \quad \text{Equação 10}$$

Na figura 29, 30 e 31, o gráfico de Pareto mostra como ocorre a influência da concentração quadrática, da Concentração linear, do tempo quadrático, do tempo linear e da interação entre concentração e tempo no modelo em ordem decrescente para as variáveis resposta eficiência de remoção de cor, turbidez e DQO.

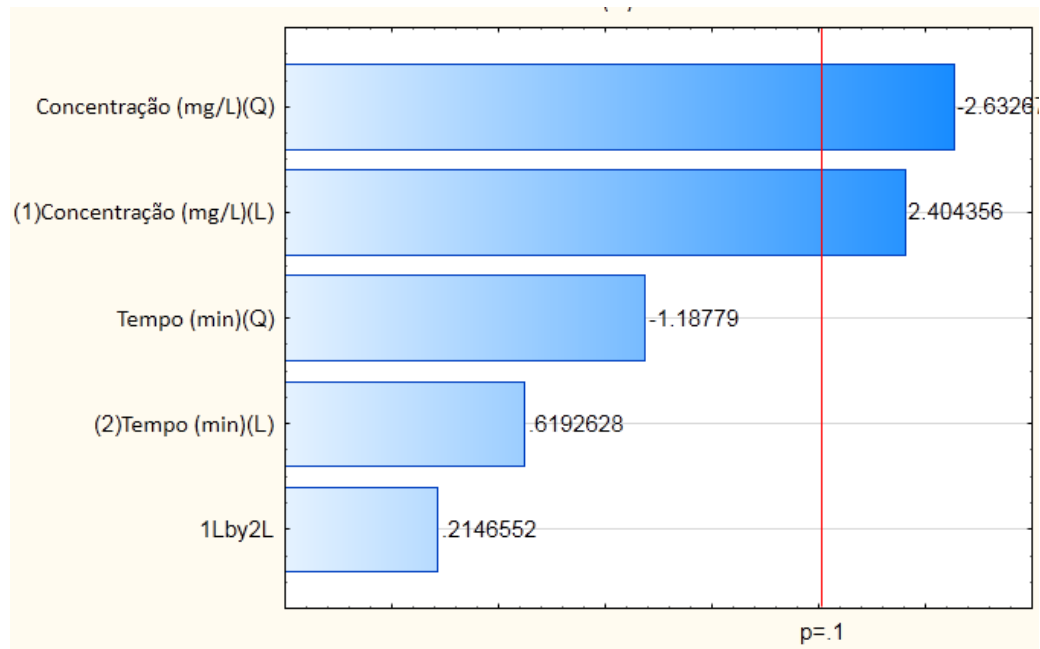


Figura 29: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).

Para a análise de eficiência de remoção de cor as variáveis significativas, segundo o gráfico de Pareto (Figura 29) foram concentração quadrática e concentração linear.

O gráfico de Pareto (Figura 30) para a variável resposta eficiência de remoção de turbidez, mostra a influência da variável Concentração quadrática e o tempo quadrático, que ultrapassam a linha vermelha do gráfico, sobre o modelo.

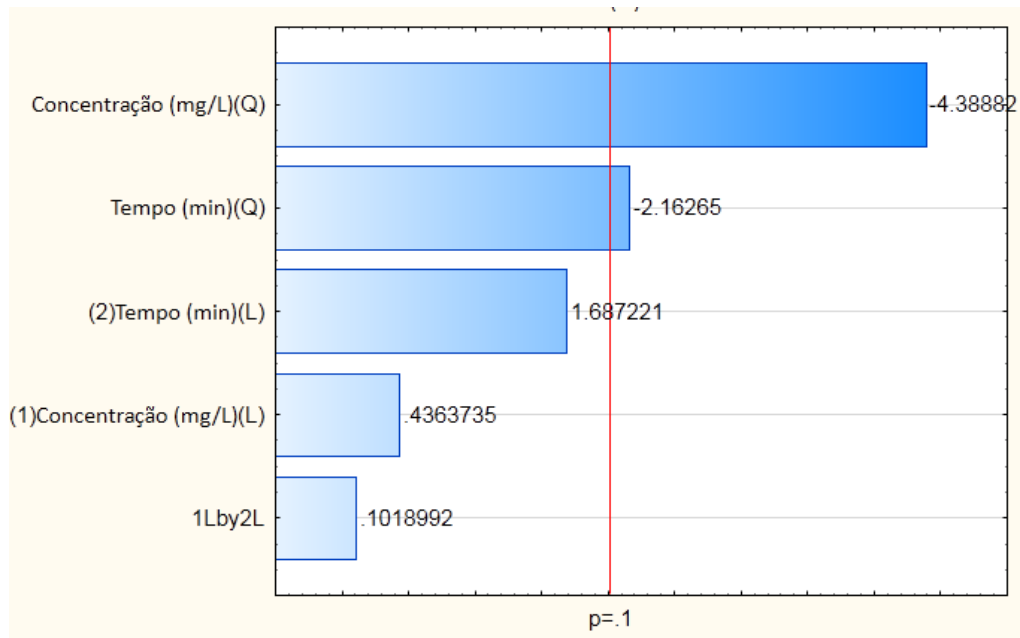


Figura 30: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).

A concentração quadrática, de acordo com o gráfico de Pareto (Figura 31), foi a variável que influenciou no modelo gerado para a eficiência de remoção de DQO.

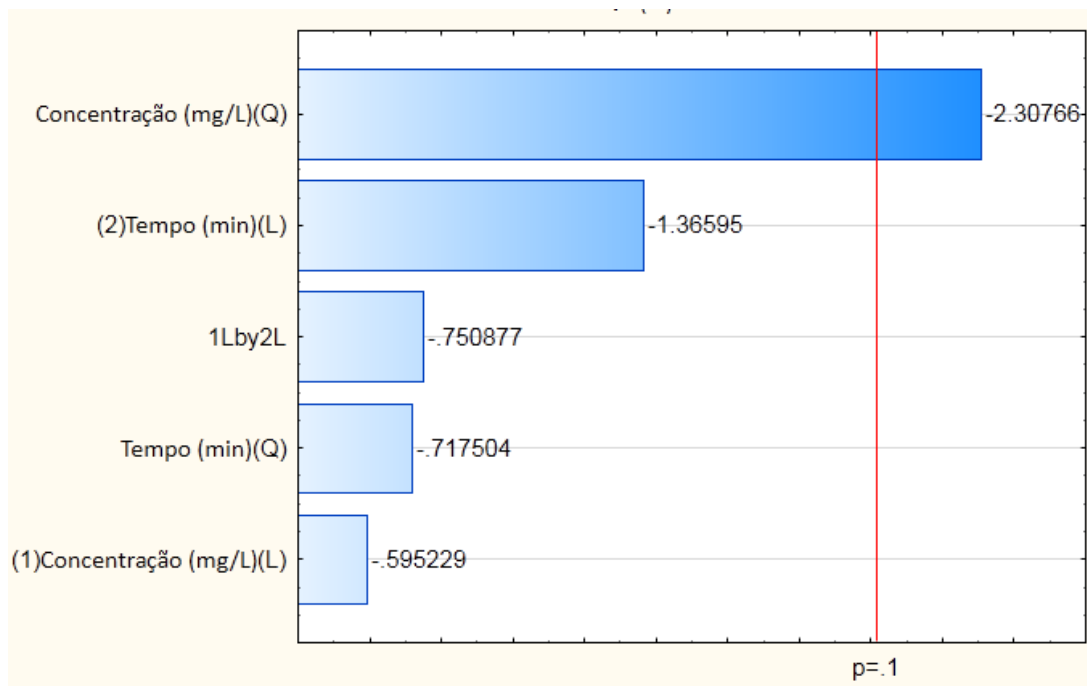


Figura 31: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%).

O teste de análise de variância (ANOVA) foi realizado através dos dados experimentais ao nível de confiança de 90% para a variável resposta eficiência de remoção de cor, eficiência de remoção de turbidez, eficiência de remoção de DQO, pH e condutividade utilizando o coagulante natural Tanfloc SG. São mostrados na Tabela 18, 20, 22, 24 e 26.

Tabela 18: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	2	3638,71	1819,36	6,74	3,11
Resíduo	8	2160,66	270,08		
Total	10	5799,37			

O modelo matemático se apresenta de forma significativa ao nível de significância de 10%, uma vez que o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que o F_{tabelado} (Tabela x). O R^2 ajustado para o modelo gerado pela regressão quadrada gerou um valor de 0,62757. Os dados experimentais ajustam-se ligeiramente ao modelo.

A Tabela 19 apresenta os dados dos valores experimentais e valores previstos, bem como os erros de ajuste e os erros relativos previstos pelo modelo de eficiência de remoção de cor.

Tabela 19: Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
56,77	33,61	23,16	40,79
33,83	56,81	-22,98	-67,92
37,59	56,81	-19,22	-51,13
87,97	89,15	-1,18	-1,34
96,77	89,15	7,62	7,88
97,67	89,15	8,52	8,73
97,29	89,15	8,14	8,37
98,65	89,15	9,50	9,63
69,62	87,09	-17,47	-25,10
81,13	87,09	-5,96	-7,35
86,17	76,31	9,86	11,44

Tabela 20: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de turbidez com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F_{calculado}	F_{tabelado}
Regressão	2	2364,81	1182,41	10,01	3,11
Resíduo	8	944,67	118,08		
Total	10	3309,48			

Através da ANOVA (Tabela 20) é possível observar que o modelo obteve significância de 10%, pois o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que F_{tabelado} . O R^2 ajustado do modelo gerado pela regressão quadrática é de 0,71428. Por isso, pode - se inferir que o modelo se ajusta aos dados experimentais da pesquisa.

Os valores experimentais e os previstos, tanto como os erros de ajuste e os erros relativos são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21: Valores experimentais de eficiência de remoção de turbidez, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
58,18	54,61	3,57	6,13
55,64	64,62	-8,98	-16,13
57,82	64,62	-6,80	-11,76
66,18	74,98	-8,80	-13,29
91,64	94,60	-2,96	-3,23
95,64	94,60	1,04	1,08
96,36	94,60	1,76	1,82
97,82	74,98	22,84	23,35
56,36	64,62	-8,26	-14,65
60,73	64,62	-3,89	-6,40
65,09	54,61	10,48	16,10

Tabela 22: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	1	147,99	147,99	5,20	3,36
Resíduo	9	256,04	28,45		
Total	10	404,02			

A análise estatística (Tabela 22) demonstrou que o modelo matemático foi significativo, ao passo que o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que F_{tabelado} . O R^2 ajustado representa 0,36369 do modelo gerado pela regressão quadrática para a variável resposta eficiência de remoção de DQO. O modelo gerado pouco se ajusta aos dados experimentais.

A Tabela 23 mostra os valores experimentais, os valores previstos, os erros de ajuste e os erros relativos previstos pelo matemático gerado.

Tabela 23: Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
76,28	71,65	4,63	6,07
72,94	76,51	-3,57	-4,89
76,28	76,51	-0,23	-0,30
89,6	81,42	8,18	9,13
80,13	81,42	-1,29	-1,61
88,63	81,42	7,21	8,13
80	81,42	-1,42	-1,78
75,43	81,42	-5,99	-7,95
74,19	76,51	-2,32	-3,12
69,19	76,51	-7,32	-10,57
73,77	71,65	2,12	2,88

Tabela 24: ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	3	0,78	0,26	296,72	3,07
Resíduo	7	0,01	0,00		
Total	10	0,78			

Através do teste estatístico (Tabela 24), foi possível perceber que o modelo matemático se apresentou de forma significativa, uma vez que o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que o F_{tabelado} . O modelo de regressão quadrática para a variável resposta pH possui um R^2 ajustado de 0,99227. Conclui-se que os dados experimentais se ajustam ao modelo matemático gerado.

Os valores experimentais e os valores previstos, bem como os erros de ajuste e o erro relativo estão descritos na Tabela 25 para a variável resposta pH.

Tabela 25: Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
5,27	5,25	0,02	0,45
4,95	4,98	-0,03	-0,53
5,02	5,04	-0,02	-0,38
4,59	4,55	0,04	0,84
4,62	4,60	0,02	0,52
4,58	4,60	-0,02	-0,34
4,59	4,60	-0,01	-0,13
4,64	4,64	0,00	0,00
4,35	4,39	-0,04	-0,97
4,46	4,45	0,01	0,11
4,44	4,42	0,02	0,40

Tabela 26: ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	1	1114,69	1114,69	79,06	3,36
Resíduo	9	126,89	14,10		
Total	10	1241,58			

Pela análise estatística (Tabela 26) realizada foi possível verificar que o modelo matemático foi significativo, pois o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que F_{tabelado} . O modelo matemático gerado de regressão quadrática possui um R^2 de 0,89781. Dessa maneira, constata-se que o modelo se ajusta aos dados experimentais.

Os valores experimentais, os valores previstos, os erros de ajuste e os erros relativos para a variável resposta condutividade estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27: Valores experimentais de condutividade, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
271,8	273,01	-1,21	-0,45
273,7	277,86	-4,16	-1,52
283	277,86	5,14	1,82
292	289,68	2,32	0,79
286,3	289,68	-3,38	-1,18
290,5	289,68	0,82	0,28
294,1	289,68	4,42	1,50
285,1	289,68	-4,58	-1,61
305	301,50	3,50	1,15
302	301,50	0,50	0,16
303	306,35	-3,35	-1,11

6.2.4.Série de sólidos

A série de sólidos do Tanfloc SG foi a que apresentou melhores remoções em relação aos demais coagulantes, nos sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, sólidos suspensos fixos e sólidos dissolvidos, as maiores remoções ocorreram para a concentração de 250 mg/L, presente na Tabela 28, chegando a 100% de remoção nos sólidos suspensos fixos. Pelo fato dos flocos formados com a coagulação/floculação utilizando Tanfloc SG terem uma tendência de formar os maiores flocos em relação aos outros coagulantes, conclui-se que sua sedimentação ocorre de forma mais rápida, o que favorece sua maior remoção.

Tabela 28: Valores de eficiência de remoção da série de sólidos utilizando Tanfloc SG SG.

Concentrações (mg/L)	Tempo (min)	efic. Rem. Sol. Tot.	efic. Rem. Sól fixos	efic.rem. Sól. Vol	efic.rem.sól. Susp	efic.rem.sól.susp. Fixos	efic.rem.sól. susp.vol.	efic.rem. sól.dissolv.
100	11	9.70	27.63	-13.79	-160	-271.43	-18.18	48.62
143,6	4.52	26.87	26.32	27.59	-148	-235.71	-36.36	66.97
143,6	17.4	14.93	23.68	3.45	-140	-221.43	-36.36	50.46
250	2	17.91	38.16	-8.62	-96	-185.71	18.18	44.04
250	11	41.04	42.11	39.66	-60	92.86	-254.55	64.22
250	11	26.12	36.84	12.07	-12	100	-154.55	34.86
250	11	29.85	35.53	22.41	-80	50	-245.45	55.05
250	20	25.37	32.89	15.52	-260	-350	-145.45	90.83
356,4	4.52	14.18	27.63	-3.45	-212	-414.29	45.45	66.06
356,4	17.4	10.45	2.63	20.69	-8	28.57	-54.55	14.68
400	11	20.15	72.37	-48.28	12	21.43	0	22.02

Os valores negativos indicam o acréscimo de sólidos.

Na maior parte das concentrações testadas, houve aumento dos sólidos nas amostras de sólidos voláteis, suspensos, suspensos fixos e suspensos voláteis. Esse acréscimo de sólidos também pode ser explicado por se tratar de um composto orgânico, que pode ter adicionado uma alta carga orgânica as amostras.

6.3.SULFATO DE ALUMÍNIO

6.3.1.Cor Aparente

A remoção de cor utilizando o coagulante químico sulfato de alumínio atuou de forma eficiente. O seu maior índice de eficiência de remoção foi 53,76% na concentração de 800 mg/L a 17,5 minutos. O ponto central com a concentração de 550 mg/L obteve uma porcentagem de remoção similar de 53% aos 17,5 minutos,

observados na Figura 32. Os valores obtidos para as concentrações de maior remoção foram de 615 e 625 Pt/Co.

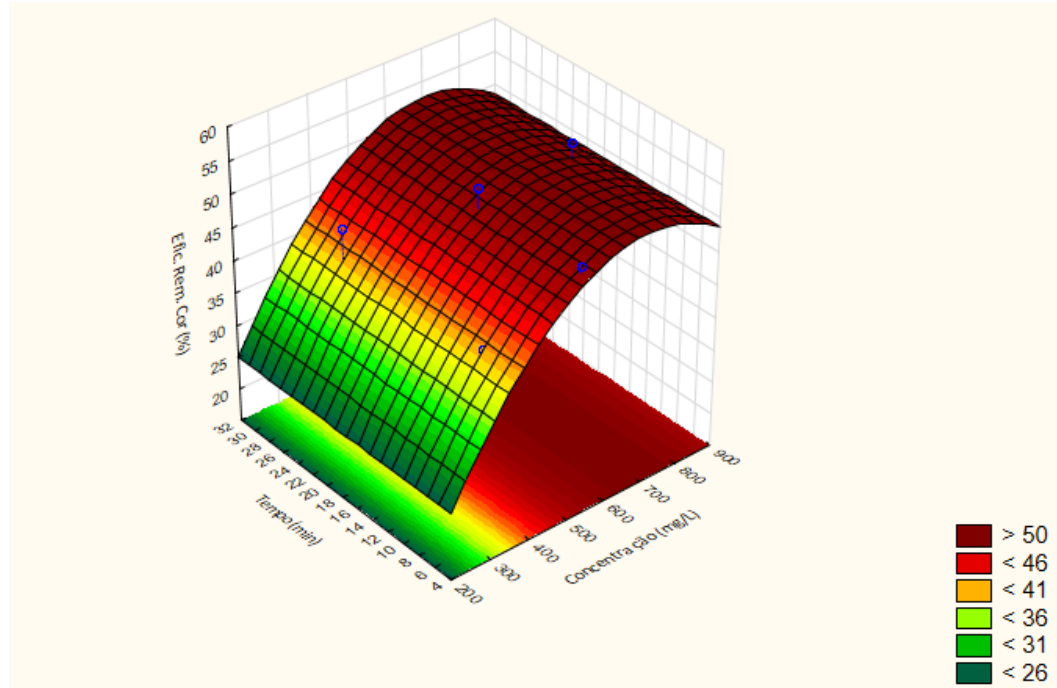


Figura 32: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados.

6.3.2. Turbidez

A remoção na turbidez utilizando o sulfato de alumínio não alcançou bons resultados, com o melhor alcance de remoção em 10,55% na concentração de 372,7 mg/L aos 26,4 minutos. A Figura 33 mostra que nos pontos extremos ocorre um aumento na remoção, ou seja, nas menores e nas maiores concentrações escolhidas para o ensaio.

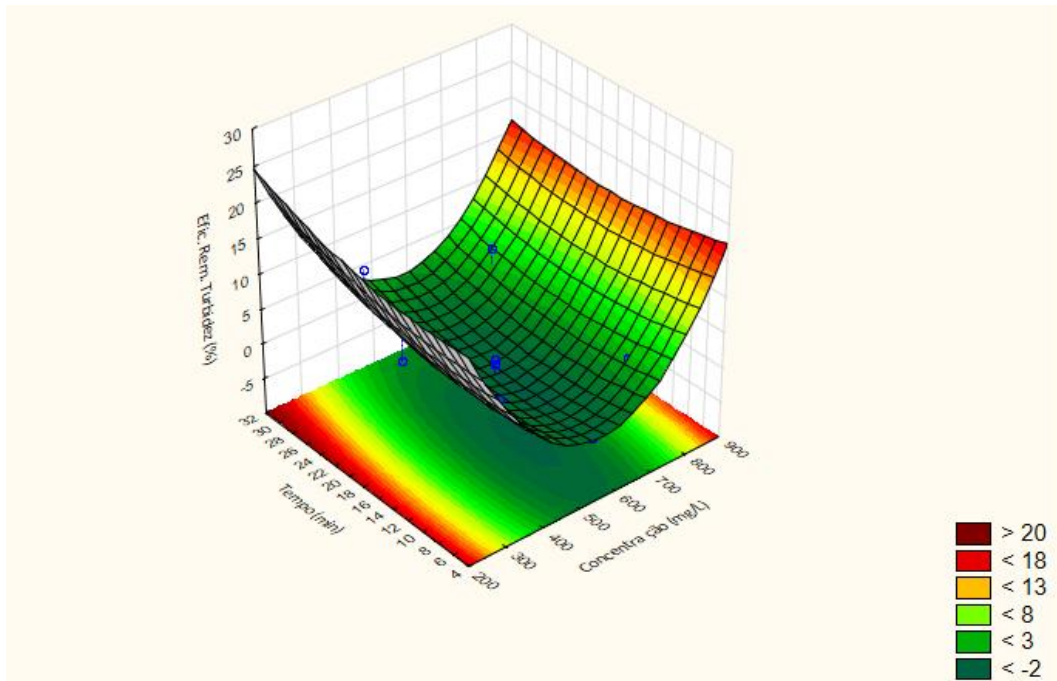


Figura 33: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%) com os fatores ajustados.

Os valores encontrados para o sulfato não estão de acordo com a pesquisa de Silva (2012), que apresentou um percentual de remoção da turbidez de 99,18% em uma concentração de 60 mg/L em 60 minutos de sedimentação.

Pode ter ocorrido uma superdosagem do coagulante adicionado ao efluente, desta forma acontece a inversão nas cargas do sulfato e ao invés de atrair os colóides pelo processo de adsorção, ocorre a repulsão em relação as impurezas do efluente.

6.3.3.DQO

Em relação à DQO, o coagulante químico obteve bons resultados. A eficiência de remoção de DQO chegou a 93,36% na concentração de 300 mg/L aos 17,5 minutos. Nesta concentração de 300 mg/L a DQO apresentou o valor de 394,05 mg/L e obteve melhores resultados que a Moringa oleifera Oleifera Oleifera com 85% e Tanfloc SG SG com 89,6%.

O comportamento do coagulante foi o de aumentar a eficiência nas concentrações extremas, tanto na menor concentração quanto na maior delas, isso pode ser observado na Figura 34.

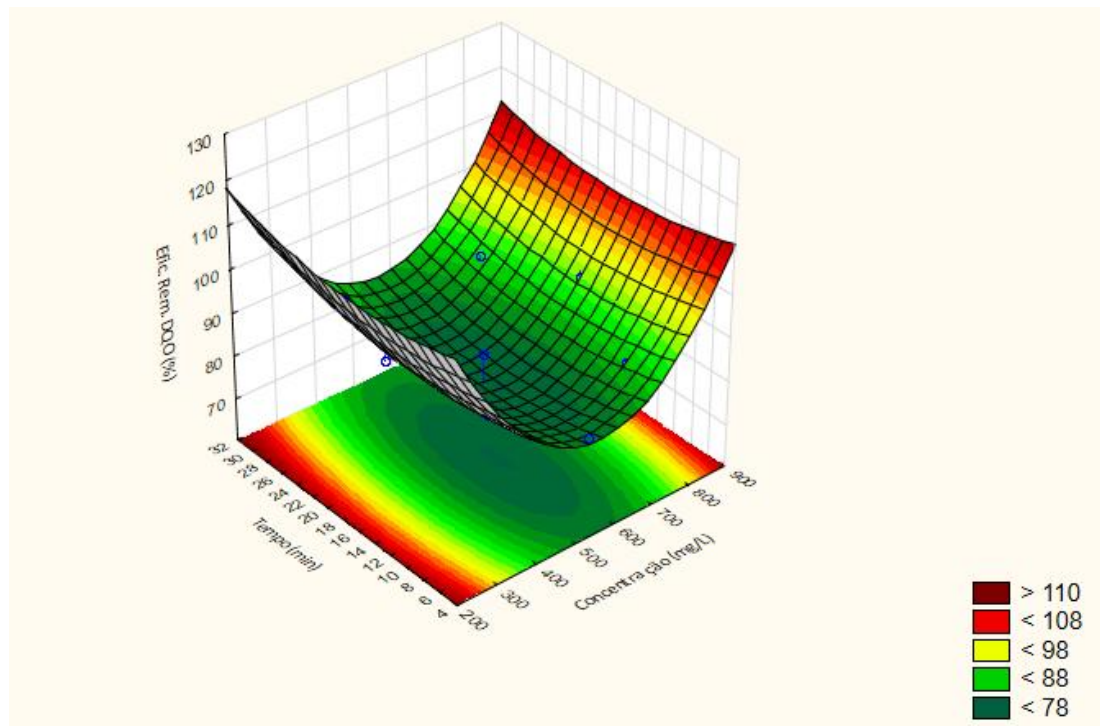


Figura 34: Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores ajustados.

A DQO da melhor eficiência de remoção do sulfato de alumínio chegou a um resultado próximo ao valor limite estipulado pela resolução SEMA estadual 021 de 300 mg/L.

6.3.4.pH

A medida do pH variou de 4,09 a 4,74, o sulfato de alumínio provocou um ambiente mais ácido. Para Vaz (2009) o intervalo de atuação do sulfato de alumínio foi de 5 a 8, portanto o meio sofreu uma alteração. É comum que ele provoque essa

acidez, geralmente quando é utilizado nas estações de tratamento, há a correção de cal ao final do tratamento o pH. Em relação ao bruto o meio foi acidificado em 29,60% para o menor valor e 18,42% para o maior pH apresentado. A partir da Figura 35, pode ser observado que quanto maior é a concentração do coagulante menor é o pH.

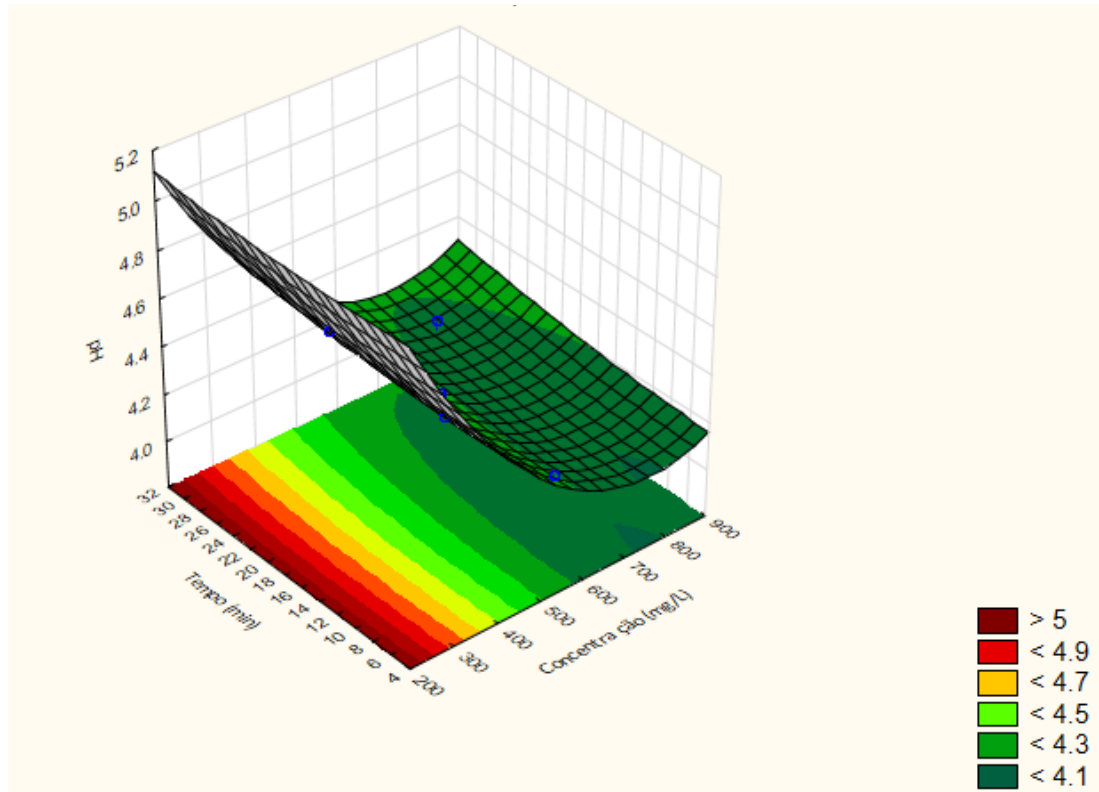


Figura 35: Superfície de resposta para a variável resposta PH com os fatores ajustados.

6.3.5. Condutividade Elétrica

A condutividade variou no intervalo de 389 a 646 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Neste caso ocorreu uma alteração na condutividade do efluente tratado com o sulfato de alumínio em relação ao efluente bruto. Na Figura 36 é possível notar que quando aumenta-se a concentração do coagulante químico, a condutividade é elevada diretamente.

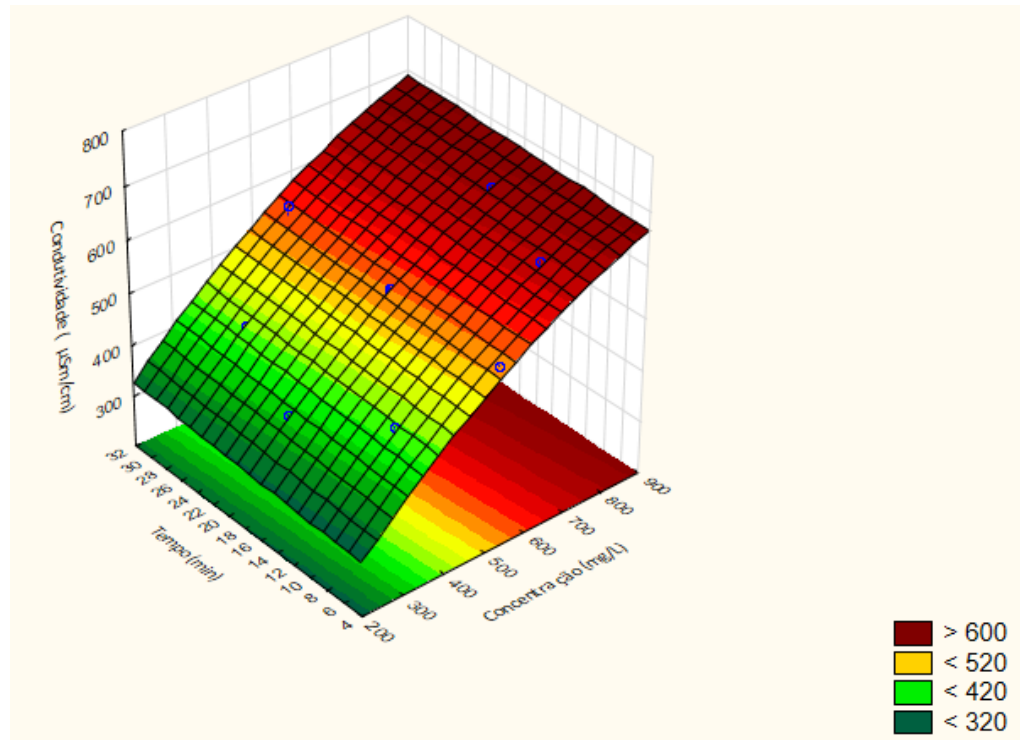


Figura 36: Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados.

Esse aumento da condutividade prejudica a recirculação da água para a lavagem dos carros, no entanto, como no caso da *Moringa oleífera* é possível utilizar a água para lavagem do piso do posto.

Pelos dados experimentais foi possível realizar a análise estatística da eficiência de remoção de cor, eficiência de remoção de turbidez, eficiência de DQO, condutividade elétrica e pH nas figuras 37, 38, 39, 40 e 41 com a utilização do coagulante químico sulfato de alumínio, por meio dos efeitos e das variáveis independentes, concentração e tempo. Admitiu-se o nível de significância a 10%.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt
Mean/Interc.	50.50034	2.270595	22.24101	0.000003	45.9250	55.07570	50.50034	2.270595	45.92498	55.07570
(1)Concentração (mg/L)(L)	11.95553	2.785220	4.29249	0.007771	6.3432	17.56789	5.97777	1.392610	3.17159	8.78394
Concentração (mg/L)(Q)	-7.05677	3.319256	-2.12601	0.086842	-13.7452	-0.36830	-3.52838	1.659628	-6.87261	-0.18415
(2)Tempo (min)(L)	-0.73560	2.796897	-0.26301	0.803040	-6.3715	4.90028	-0.36780	1.398448	-3.18574	2.45014
Tempo (min)(Q)	-1.01852	3.365157	-0.30267	0.774330	-7.7995	5.76243	-0.50926	1.682579	-3.89974	2.88121
1L by 2L	-2.04934	3.933048	-0.52106	0.624573	-9.9746	5.87594	-1.02467	1.966524	-4.98731	2.93797

Figura 37: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).
(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Ao nível de significância de 10%, as variáveis Concentração linear e Concentração quadrática obtiveram o p – valor < 0,10, ou seja, foram as variáveis significativas. Já o tempo linear, o Tempo quadrático e a interação concentração/tempo não foram significativos para o modelo.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt
Mean/Interc.	-2.09910	2.305188	-0.910596	0.404269	-6.74416	2.54597	-2.09910	2.305188	-6.74416	2.545970
(1)Concentração (mg/L)(L)	-2.26157	2.827654	-0.799804	0.460118	-7.95943	3.43629	-1.13078	1.413827	-3.97971	1.718145
Concentração (mg/L)(Q)	9.90540	3.369826	2.939441	0.032278	3.11504	16.69577	4.95270	1.684913	1.55752	8.347883
(2)Tempo (min)(L)	1.36136	2.839508	0.479436	0.651864	-4.36038	7.08311	0.68068	1.419754	-2.18019	3.541555
Tempo (min)(Q)	1.72788	3.416426	0.505758	0.634529	-5.15638	8.61215	0.86394	1.708213	-2.57819	4.306074
1L by 2L	-1.09222	3.992969	-0.273536	0.795380	-9.13825	6.95380	-0.54611	1.996485	-4.56912	3.476902

Figura 38: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).

(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

A variável que se apresentou significativa ao nível de significância de 10 % foi Concentração linear, as demais não alcançaram um p-valor < 0,10 com o coagulante químico sulfato de alumínio.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90. % Cnf.Limt	+90. % Cnf.Limt
Mean/Interc.	77.91845	2.626728	29.66369	0.000001	72.62547	83.21144	77.91845	2.626728	72.62547	83.21144
(1)Concentração (mg/L)(L)	-2.46651	3.222070	-0.76551	0.478528	-8.95914	4.02611	-1.23326	1.611035	-4.47957	2.01306
Concentração (mg/L)(Q)	16.22545	3.839867	4.22553	0.008284	8.48794	23.96297	8.11273	1.919933	4.24397	11.98148
(2)Tempo (min)(L)	0.86290	3.235578	0.26669	0.800356	-5.65694	7.38275	0.43145	1.617789	-2.82847	3.69137
Tempo (min)(Q)	3.72509	3.892967	0.95688	0.382574	-4.11943	11.56961	1.86255	1.946484	-2.05971	5.78480
1L by 2L	-0.41426	4.549930	-0.09105	0.930990	-9.58259	8.75407	-0.20713	2.274965	-4.79129	4.37704

Figura 39: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%).
(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Ao nível de significância de 10%, a variável significativa foi a Concentração quadrática. As demais variáveis não se apresentaram de forma significativa a esse nível ou seja, não contribuíram para a remoção de DQO.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90.% Cnf.Limt	+90.% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90.% Cnf.Limt	+90.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	4.249702	0.029886	142.1987	0.000000	4.189481	4.309923	4.249702	0.029886	4.189481	4.309923
(1)Concentração (mg/L)(L)	-0.444912	0.036659	-12.1364	0.000067	-0.518782	-0.371042	-0.222456	0.018330	-0.259391	-0.185521
Concentração (mg/L)(Q)	0.201063	0.043688	4.6022	0.005829	0.113029	0.289097	0.100532	0.021844	0.056515	0.144548
(2)Tempo (min)(L)	0.048377	0.036813	1.3141	0.245862	-0.025803	0.122556	0.024188	0.018406	-0.012902	0.061278
Tempo (min)(Q)	0.020390	0.044292	0.4603	0.664596	-0.068861	0.109641	0.010195	0.022146	-0.034431	0.054820
1L by 2L	0.020023	0.051767	0.3868	0.714828	-0.084290	0.124336	0.010011	0.025883	-0.042145	0.062168

Figura 40: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH.

(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Os parâmetros considerados significativos ao nível de significância de 10% foram a variável Concentração linear e a Concentração quadrática. Já o Tempo linear e o Tempo quadrático não apresentaram o p-valor < 0,10, portanto, não foram significativas.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90.% Cnf.Limt	+90.% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90.% Cnf.Limt	+90.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	534.9583	5.756328	92.93396	0.000000	523.3591	546.5576	534.9583	5.756328	523.3591	546.5576
(1)Concentração (mg/L)(L)	183.1325	7.060986	25.93583	0.000002	168.9043	197.3608	91.5663	3.530493	84.4522	98.6804
Concentração (mg/L)(Q)	-19.5205	8.414854	-2.31977	0.068073	-36.4768	-2.5642	-9.7603	4.207427	-18.2384	-1.2821
(2)Tempo (min)(L)	14.8020	7.090588	2.08756	0.091182	0.5141	29.0899	7.4010	3.545294	0.2571	14.5449
Tempo (min)(Q)	12.4090	8.531221	1.45454	0.205549	-4.7818	29.5998	6.2045	4.265610	-2.3909	14.7999
1L by 2L	0.9961	9.970917	0.09990	0.924304	-19.0958	21.0880	0.4981	4.985458	-9.5479	10.5440

Figura 41: Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade.

(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

As variáveis consideradas significativas ao nível de significância de 10% (p-valor < 0,10) foram a Concentração linear, Concentração quadrática e o tempo linear. As variáveis que não se enquadraram no p-valor < 0,10 são o Tempo quadrático e a interação tempo/concentração.

O modelo matemático gerado pelos coeficientes de regressão dos fatores significativos do delineamento estatístico apresenta-se pela equação 11 para a variável resposta eficiência de remoção de cor, pela equação 12 para a eficiência de remoção de turbidez, pela equação 13 para a eficiência de remoção de DQO, pela equação 14 para o pH e pela equação 15 a condutividade elétrica:

$$\text{Efic. Rem. Cor} = 50,028116 + 5,97548 C_1 - 3,38370C_1^2. \quad \text{Equação 11}$$

$$\text{Efic. Rem. Turbidez} = - 1,29787 + 4,70720C_1^2. \quad \text{Equação 12}$$

$$\text{Efic. Rem. DQO} = 79,64223 + 7,58429C_1^2. \quad \text{Equação 13}$$

$$\text{pH} = 4,259212 - 0,222434C_1 + 0,097622C_1^2. \quad \text{Equação 14}$$

$$\text{Condutividade} = 540,6956 + 91,5674C_1 - 11,5194C_1^2 + 7,4234T_2. \quad \text{Equação 15}$$

O gráfico de Pareto nas figuras 42, 43 e 44 mostram a influência das variáveis independentes em ordem decrescente no modelo matemático gerado.

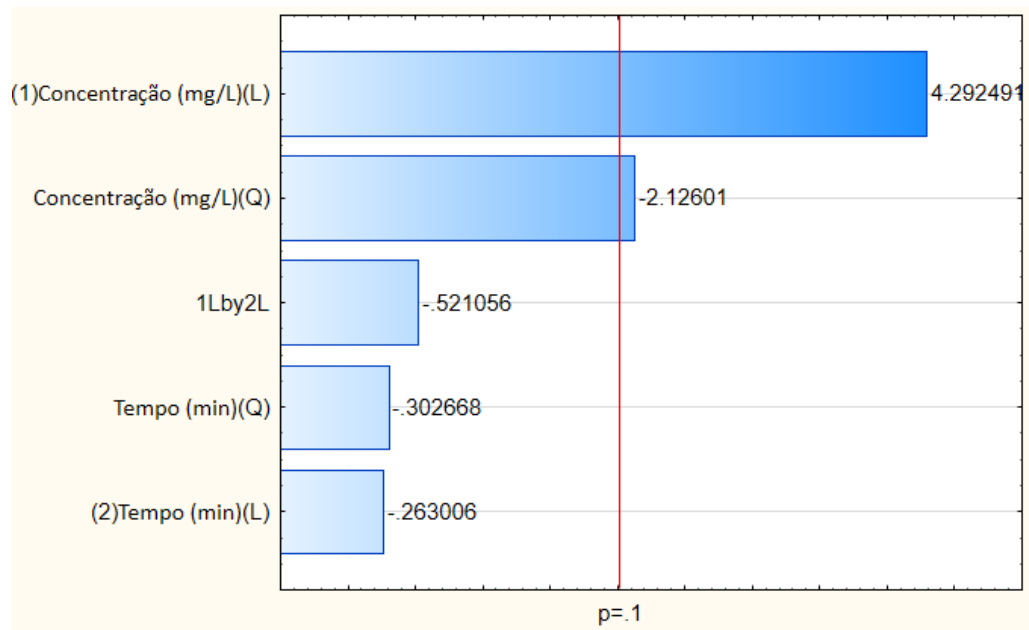


Figura 42: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de cor (%).

A concentração linear e a concentração quadrática se apresentaram de forma significativa (Figura 42) para a variável resposta eficiência de remoção de cor.

A concentração quadrática foi a única variável que interferiu no modelo matemático gerado a eficiência de remoção de turbidez, ou seja, a variável ultrapassou a linha vermelha com $p\text{-valor} < 0,10$, como mostra o gráfico de Pareto (Figura 43).

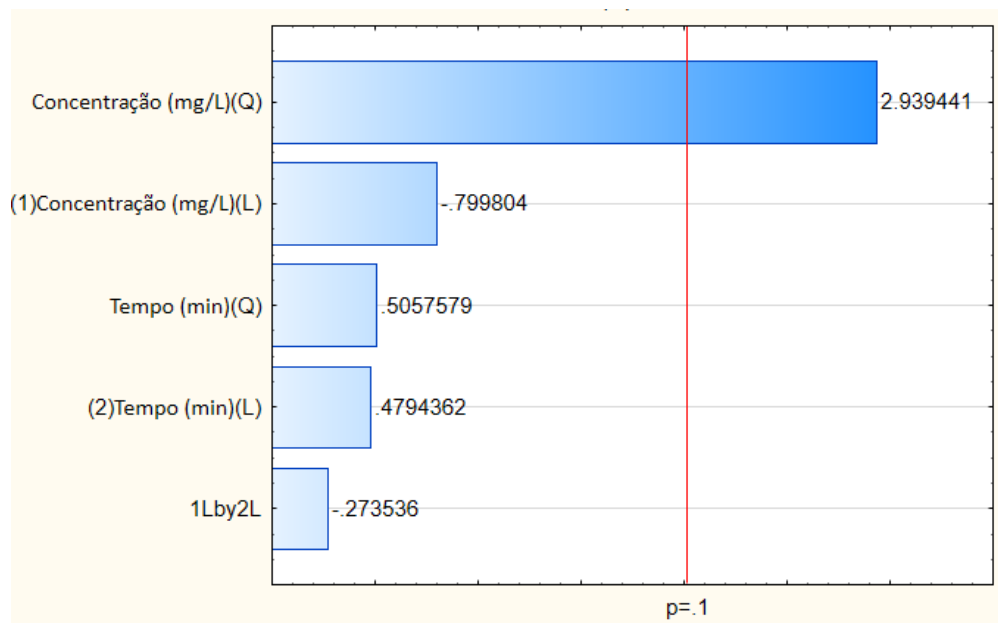


Figura 43: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%).

O gráfico de Pareto (Figura 44) mostra a variável concentração quadrática interferindo no modelo significativamente com o p-valor $< 0,10$.

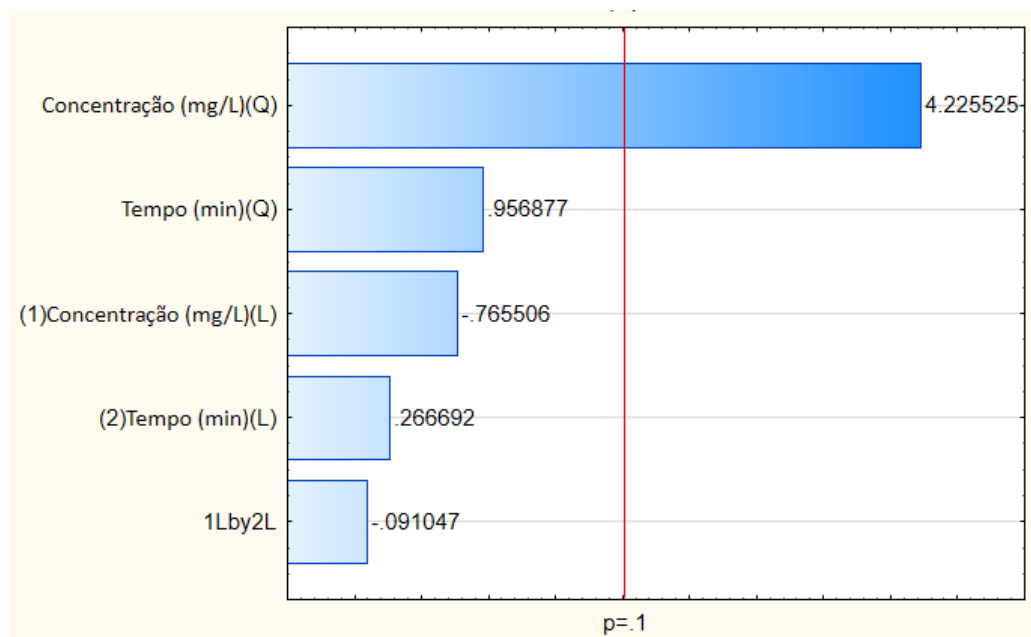


Figura 44: Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%).

O teste da ANOVA foi aplicado aos dados experimentais para a variável resposta eficiência de remoção de cor, eficiência de remoção de turbidez, eficiência de remoção de DQO, pH e condutividade elétrica, ao nível de confiança de 90%, destacados nas Tabelas 29, 31, 33, 35 e 37.

Tabela 29: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	2	354,90	177,45	16,89	3,11
Resíduo	8	84,05	10,51		
Total	10	438,95			

Por meio da análise estatística, é possível afirmar que o modelo matemático se apresenta de forma significativa, pois o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que o F_{tabelado} . O modelo matemático gerado, representado pela equação 11, possui um R^2 de 0,80853. Dessa forma, constata-se que o modelo se ajusta aos dados experimentais.

Os valores experimentais e valores previstos, bem como os erros de ajuste e erros relativos são descritos pela Tabela 30.

Tabela 30: Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
31,95	34,88	-2,93	-9,16
40,98	40,67	0,31	0,76
44,74	40,67	4,07	9,10
51,13	50,03	1,10	2,15
53,01	50,03	2,98	5,62
53,01	50,03	2,98	5,62
45,49	50,03	-4,54	-9,98
46,62	50,03	-3,41	-7,31
51,5	52,62	-1,12	-2,17
51,13	52,62	-1,49	-2,91
53,76	51,73	2,03	3,78

Tabela 31: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de turbidez (%) com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	1	135,66	135,66	12,34	3,36
Resíduo	9	98,91	10,99		
Total	10	234,56			

Através do teste estatístico, foi verificado que o modelo matemático foi significativo, visto que o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que F_{tabelado} . O modelo matemático gerado possui um R^2 ajustado de 0,57832 para a eficiência de remoção de turbidez. O modelo se ajusta apenas satisfatoriamente aos dados experimentais.

Na Tabela 32, são indicados os valores experimentais, os valores previstos, os erros de ajuste e os erros relativos.

Tabela 32: Valores experimentais de eficiência de remoção de turbidez, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
5,82	8,06	-2,24	-38,51
5,45	3,41	2,04	37,44
10,55	3,41	7,14	67,68
-1,82	-1,30	-0,52	28,68
0	-1,30	1,30	0,00
-0,73	-1,30	0,57	-77,81
-5,45	-1,30	-4,15	76,18
-3,64	-1,30	-2,34	64,34
2,55	3,41	-0,86	-33,71
5,45	3,41	2,04	37,44
5,09	8,06	-2,97	-58,37

Tabela 33: ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	1	352,16	352,16	23,26	3,36
Resíduo	9	136,29	15,14		
Total	10	488,44			

Pela análise estatística da ANOVA, nota-se que o modelo gerado é significativo, uma vez que o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que o F_{tabelado} . O modelo matemático de regressão quadrática para a eficiência de remoção de DQO, obteve um R^2 ajustado de 0,72096. Conclui-se que o modelo matemático se ajusta aos dados experimentais.

Os valores experimentais, os valores previstos, os erros de ajuste e os erros relativos são indicados na Tabela 34.

Tabela 34: Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
93,36	94,72	-1,36	-1,46
89,61	87,23	2,38	2,66
92,95	87,23	5,72	6,16
80,86	79,64	1,22	1,51
77,53	79,64	-2,11	-2,72
72,11	79,64	-7,53	-10,45
84,19	79,64	4,55	5,40
79,19	79,64	-0,45	-0,57
86,28	87,23	-0,95	-1,10
88,78	87,23	1,55	1,75
91,7	94,72	-3,02	-3,29

Tabela 35: ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	2	0,45	0,23	95,32	3,11
Resíduo	8	0,02	0,00		
Total	10	0,47			

Com a análise estatística realizada, pode-se observar que o modelo é significativo, visto que o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que F_{tabelado} . O modelo matemático de regressão quadrática possui um R^2 ajustado de 0,94966. Desta forma, conclui-se que o modelo se ajusta aos dados experimentais.

Os valores experimentais e valores previstos, assim como os erros de ajuste e os erros relativos para a variável resposta pH estão apresentados na Tabela 36.

Tabela 36: Valores experimentais de eficiência pH, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
4,74	4,77	-0,03	-0,57
4,56	4,58	-0,02	-0,42
4,65	4,58	0,07	1,52
4,26	4,26	0,00	0,02
4,28	4,26	0,02	0,49
4,26	4,26	0,00	0,02
4,21	4,26	-0,05	-1,17
4,24	4,26	-0,02	-0,45
4,09	4,13	-0,04	-1,09
4,22	4,13	0,09	2,03
4,12	4,14	-0,02	-0,48

Tabela 37: ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	3	68131,90	22710,63	225,61	3,07
Resíduo	7	704,64	100,66		
Total	10	68836,55			

Pela análise estatística, notou-se que o modelo matemático foi significativo, pois o $F_{\text{calculado}}$ é maior do que o F_{tabelado} . O modelo matemático de regressão quadrática possui um R^2 de 0,98971. Desta forma, conclui-se que o modelo se ajusta aos dados experimentais.

Os valores experimentais, os valores previstos, os erros de ajuste e os erros relativos são apresentados na Tabela 38 que tem a variável resposta condutividade.

Tabela 38: Valores experimentais condutividade, previstos pelo modelo e desvios.

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
389	388,69	0,31	0,08
438	430,20	7,80	1,78
437	445,05	-8,05	-1,84
528	530,25	-2,25	-0,43
533	540,72	-7,72	-1,45
539	540,72	-1,72	-0,32
533	540,72	-7,72	-1,45
570	551,19	18,81	3,30
621	613,34	7,66	1,23
622	628,19	-6,19	-0,99
646	646,92	-0,92	-0,14

6.3.6.Série de sólidos

A série de sólidos do sulfato de alumínio em sua grande maioria houve um acréscimo de sólidos, salvo os sólidos dissolvidos, visto que ocorreram remoções da

ordem de 86% na concentração de 727,6 mg/L. Como observado na Tabela 39, quanto maior a concentração, maior foi o acréscimo de sólidos, ou seja, quanto mais solução de sulfato era adicionada a amostra, mais sólidos foram arrastados para a coleta do efluente tratado.

Tabela 39: Valores de eficiência de remoção da série de sólidos utilizando Sulfato de Alumínio.

Concentração (mg/L)	Tempo (min)	Efic. Rem. Sól. Totais (mg/L)	Efic. Rem. Sól. Fixos (mg/L)	Efic. Rem. Sól. Voláteis (mg/L)	Efic. Rem. Sól. Suspensos (mg/L)	Efic. Rem. Sól. Susp. Fixos (mg/L)	Efic. Rem. Sól. Susp. Voláteis (mg/L)	Efic. Rem. Sól. Dissolvidos (mg/L)
300	17.5	-11.94	1.32	-29.31	-16.00	0	-36.36	73.39
372.7	8.52	-41.04	-5.26	-87.93	-20.00	-7.14	-36.36	70.51
372.7	26.4	-31.34	-19.74	-46.55	-36.00	-35.71	-36.36	58.98
550	5	-58.96	-26.32	-101.72	-4.00	-28.57	27.27	68.28
550	17.5	-55.22	-27.63	-91.38	-8.00	-21.43	9.09	69.33
550	17.5	-67.16	-61.84	-74.14	-20.00	-7.14	-36.36	70.51
550	17.5	-72.39	-38.16	-117.24	-16.00	0	-36.36	73.39
550	30	-71.64	-39.47	-113.79	-20.00	-7.14	-36.36	70.51
727.3	8.52	-78.36	-18.42	-156.9	-12.00	42.86	-81.82	86.11
727.3	26.4	-117.91	-44.74	-213.79	-32.00	-28.57	-36.36	61.86
800	17.5	-85.82	0	-198.28	8.00	0	18.18	78.9

Os valores negativos indicam o acréscimo de sólidos.

Pode-se concluir também que a formação dos flocos no ensaio de coagulação/floculação do sulfato de alumínio obteve uma tendência de menores flocos em relação aos outros coagulantes, indicando que este necessita de um tempo maior para a sedimentação de seus flocos e no momento em que houve a coleta, parte de seus flocos foram arrastados juntamente com a amostra, o que conseqüentemente aumentou os sólidos destas.

6.4. ANÁLISE DE SURFACTANTES E NITROGÊNIO TOTAL

A análise de surfactantes e nitrogênio total foram realizadas a partir dos pontos ótimos indicados de cada um dos 3 coagulantes. Os pontos ótimos de acordo com o método do DCCR são os pontos centrais, os pontos em que são obtidos os melhores resultados, neste caso baseados na melhor cor e turbidez. Desta forma, foram escolhidos para o coagulante *Moringa oleifera* o ponto de 500 mg/L aos 17,5 minutos, para o Tanfloc SG o ponto 250 mg/L aos 11 minutos e para o Sulfato de Alumínio o ponto de 550 mg/L aos 17,5 minutos. A Figura 46 mostra os resultados comparativos de eficiência de remoção de nitrogênio total.

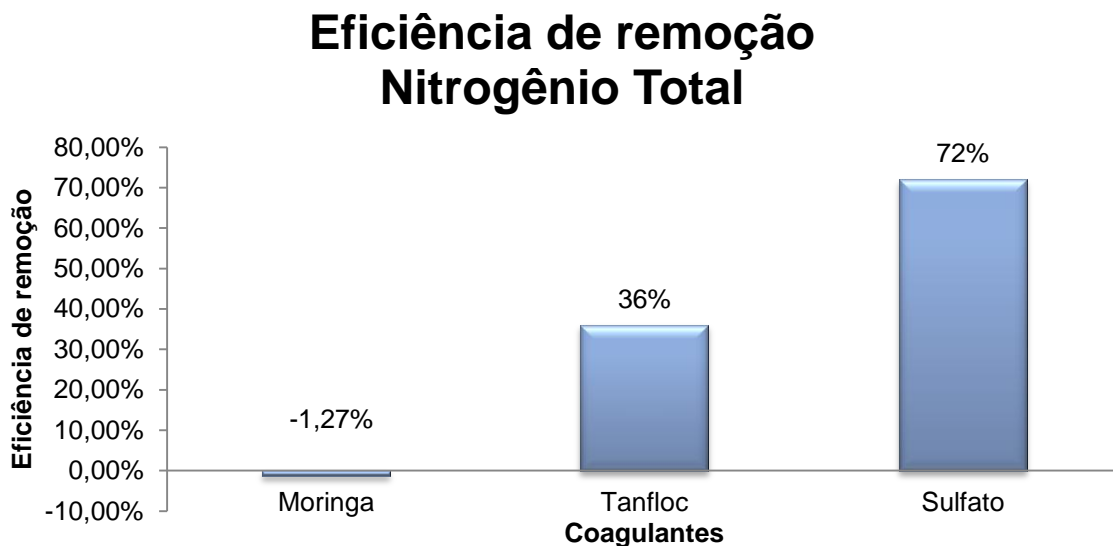


Figura 45: Comparação de eficiência de remoção do nitrogênio total entre os 3 coagulantes.

O coagulante químico sulfato de alumínio foi o coagulante que mais conseguiu remover o nitrogênio presente no efluente com uma eficiência de 72%, seguido pelo Tanfloc SG que obteve uma percentual de 36% de remoção. O coagulante natural *Moringa oleifera* não foi capaz de remover o nitrogênio presente na amostra, ele fez o efeito inverso, adicionou nitrogênio. Diante deste indicativo da possível presença de

nitrogênio na *Moringa oleifera*, foi realizado o ensaio de nitrogênio com a solução salina de *Moringa oleifera*.

Após ser feito o ensaio, foi indicada a presença de 546 mg/L na solução salina de *Moringa oleifera* 1%, este fato implica que na solução de 500 mg/L havia 27,3 mg/L de nitrogênio total.

No caso dos surfactantes, a Figura 46 mostra que a melhor ação coagulante foi da *Moringa oleifera*, que conseguiu remover 86% deles, seguido do Tanfloc SG com 77% de eficiência de remoção e finalmente o sulfato de alumínio com 34% de remoção.

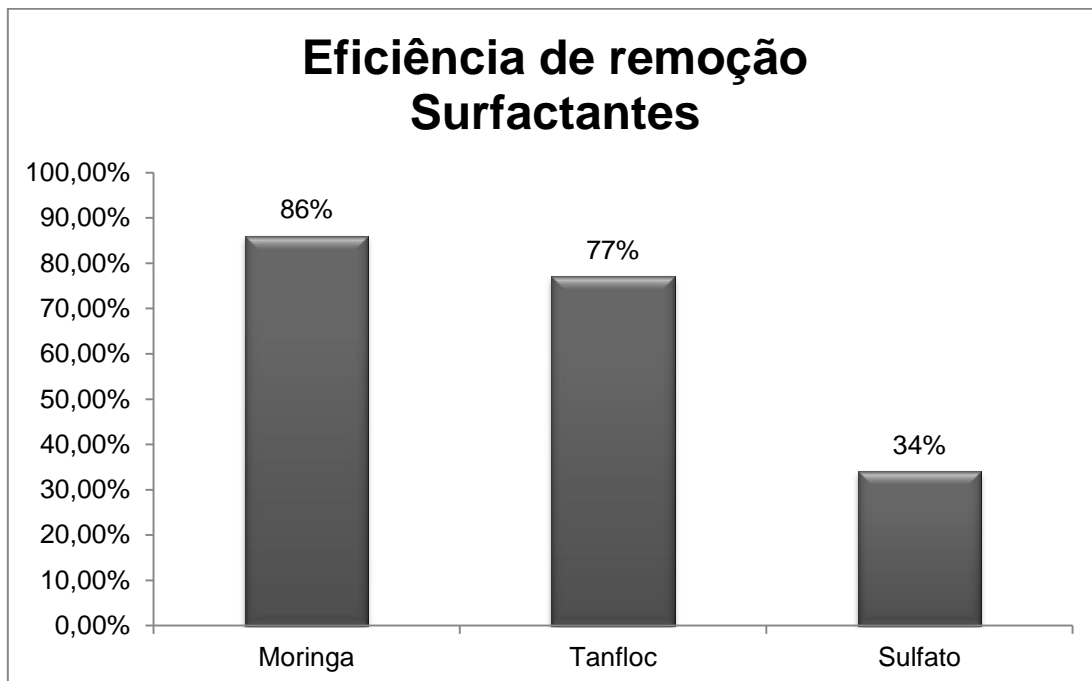


Figura 46: Comparação de eficiência de remoção de surfactantes entre os 3 coagulantes.

6.5. TAMANHO DOS FLOCOS

Analizou-se também o tamanho dos flocos de todos os coagulantes em todas as concentrações determinadas para o ensaio. A Figura 47 mostra o tamanho dos flocos em função da concentração de cada coagulante.

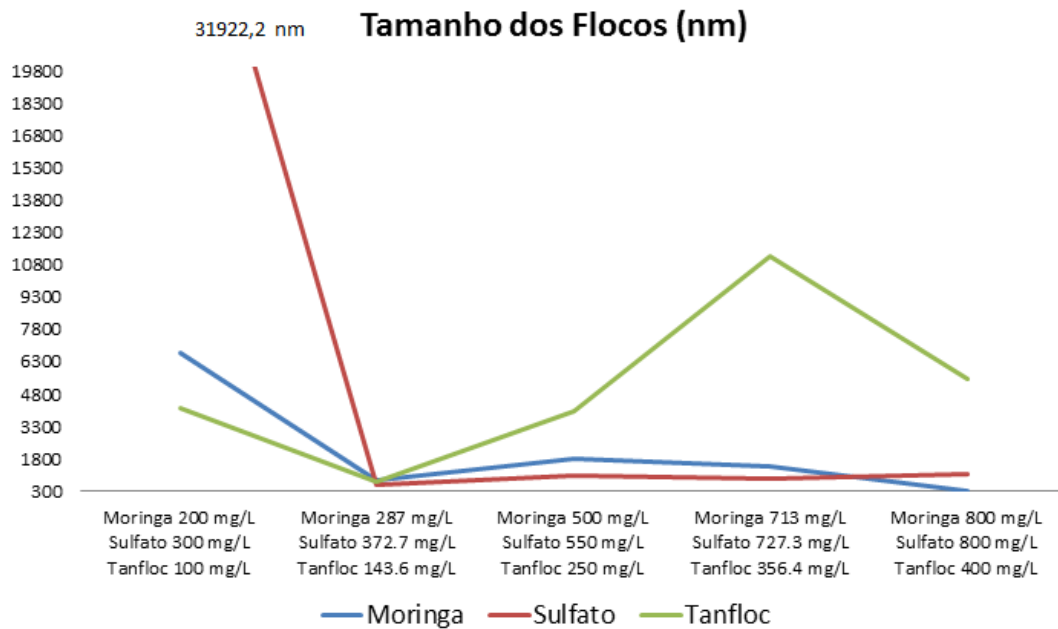


Figura 47: Tamanho dos flocos de todas as concentrações dos 3 coagulantes.

O tamanho do floco demonstra qual coagulante conseguiu ter o melhor processo de sedimentação. O maior tamanho de partícula obtido foi com o sulfato de alumínio na concentração de 300 mg/L com o diâmetro de 31.922 nanômetros. O menor floco encontrado foi o do Tanfloc SG na concentração de 315,3 nanômetros. Ao analisar a Figura 48 é possível observar que o Tanfloc SG possui uma tendência a obter maiores flocos nas suas variadas concentrações, em segundo lugar aparece a *Moringa oleifera* que possui os flocos um pouco maiores que o sulfato, este com menores flocos, salvo um dos seus flocos que apresentou o maior diâmetro de todos. Portanto, o melhor processo de sedimentação ocorre para o Tanfloc SG, que possui a tendência dos maiores flocos, necessitando de um tempo para que seus flocos sedimentem.

6.6.COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE COAGULANTES

Para efeito comparativo da ação dos coagulantes, montou-se uma tabela no qual foi realizada a comparação da eficiência de remoção dos parâmetros analisados com os melhores resultados obtidos por cada coagulante.

A Tabela 40 mostra as maiores remoções de eficiência de cor e turbidez do Tanfloc SG com 93,45% e 97,82% de remoção, em segundo lugar vem a *Moringa oleifera* com 84% e 93,45% de remoção e em terceiro o sulfato com 53,76% e 10,55% de remoção. Já na DQO o coagulante químico obteve maior êxito com 93,36% de remoção, seguido pelo Tanfloc SG com 89,6% e *Moringa oleifera* com 85% de remoção. Outro parâmetro em que o sulfato obteve um resultado melhor foi na remoção de nitrogênio total com 72% de remoção, o Tanfloc SG removeu 36% do nitrogênio e a solução de *Moringa oleifera* adicionou 1,27% de nitrogênio à amostra. Para a remoção dos surfactantes, a *Moringa oleifera* removeu 86% destes, o Tanfloc SG 77% e o sulfato 34%. Portanto, para a recirculação do efluente recomenda-se o uso do coagulante natural Tanfloc SG por obter a maior clarificação, a *Moringa oleifera* também obteve boa clarificação, porém possui problemas com a condutividade prejudicando a pintura dos carros, no entanto pode ser utilizado para outro fim como a lavagem do chão. Já o sulfato com a clarificação não se mostrou muito eficiente, mas obteve bons resultados de remoção de DQO e nitrogênio total.

Tabela 40: Valores das melhores eficiências atingidas de cada coagulante.

Coagulantes	Parâmetros				pH (médio)	Condutividade (média)	Efic. Rem. Nitrogenio Total	Efic. Rem. Surfactantes
	Efic. Rem. Cor Aparente	Efic. Rem. Turbidez	Efic Rem. DQO					
<i>Moringa oleifera</i>	84% - 500 mg/L 30 min	93,45% - 500 mg/L - 30 min	85% - 500mg/L - 17,5 min		5,38	6164,27	-1,27%	86%
Tanfloc SG	93,45% - 250 mg/L 20 min	97,82% - 250 mg/L - 20 min	89,6% - 250 mg/L - 2 min		4,68	289,68	36%	77%
Sulfato de Alumínio	53,76% - 800 mg/L 17,5 min	10,55% - 372,7 mg/L - 26,4 min	93,36% - 300 mg/L - 17,5 min		4,33	532,36	72%	34%

A Tabela 41 apresenta os valores de R^2 ajustado dos parâmetros analisados estatisticamente.

Tabela 41: Valores dos R^2 dos parâmetros analisados.

Coagulantes	Parâmetros R^2 ajustado				pH (médio)	Condutividade (média)
	Efic. Rem. Cor	Efic. Rem. Turbidez	Efic Rem. DQO			
<i>Moringa oleifera</i>	0,81250	0,61554	0,70804		0,31713	0,74000
Tanfloc SG	0,62757	0,71428	0,36369		0,99227	0,89781
Sulfato de Alumínio	0,80853	0,57832	0,72096		0,94966	0,98971

7.CONCLUSÃO

A pesquisa buscou fazer uma comparação entre a ação de coagulantes naturais e coagulantes químicos. Os coagulantes naturais *Moringa oleifera* e Tanfloc SG, o coagulante químico sulfato de alumínio. Estes foram testados no efluente originado de postos de lavagem de veículos, no qual aplicou-se o planejamento estatístico do DCCR procurando a melhor eficiência para as remoções de cor, turbidez, DQO, série de sólidos, nitrogênio total e surfactantes, bem como a avaliação do pH e condutividade com a presença dos coagulantes.

Com relação à cor e turbidez os coagulantes naturais mostraram-se mais eficazes. Tanto a cor quanto a turbidez a melhor remoção ocorreu com o Tanfloc SG obtendo 93,45% de remoção de cor na concentração de 250 mg/L aos 20 minutos e na mesma concentração e tempo a maior remoção de turbidez foi de 97,32%.

Quanto a DQO a melhor remoção ocorreu com o coagulante químico sulfato de alumínio na concentração de 300 mg/L aos 17,5 minutos com 93,36% de remoção, não muito distante dos resultados dos coagulantes naturais que obtiveram 89,6% com o Tanfloc SG e 85% com a *Moringa oleifera*.

A série de sólidos obteve resultados aquém do esperado para todos os coagulantes, nas amostras analisadas na maioria das amostras houve acréscimo de sólidos para todos os coagulantes.

Na análise de nitrogênio total e surfactantes foram escolhidos os pontos ótimos de cada coagulante com relação a cor e turbidez, assim a melhor remoção de nitrogênio total ocorreu com o sulfato de alumínio obtendo a eficiência de 72% seguido pelo Tanfloc SG com 36%. A *Moringa oleifera* foi a melhor na remoção dos surfactantes com 86% de remoção seguido pelo Tanfloc SG com 77% remoção.

Para pH e condutividade, a *Moringa oleifera* obteve um pH mais próximo do 5 exigido pela legislação da Sema estadual, porém o pH é de fácil controle, podendo adicionar hidróxido de sódio para que o mesmo fique dentro do padrão. Já a condutividade a mais estável e próxima da condutividade inicial do efluente bruto foi obtida pelo Tanfloc SG, a *Moringa oleifera* obteve condutividades muito elevadas,

provocadas pela presença do sal, não sendo aconselhável para recirculação da lavagem de carros para não prejudicar a pintura dos automóveis.

Os modelos matemáticos gerados em sua grande maioria apresentaram-se de forma significativa.

Portanto, o coagulante que se adequa melhor à recirculação da lavagem de veículos em postos pelas variáveis analisadas foi o Tanfloc SG, seguido da *Moringa oleifera* e do sulfato de alumínio. O Tanfloc SG conseguiu a melhor clarificação de cor e turbidez que são os parâmetros visuais que podem ser aprovados pelos clientes dos postos, na DQO não obteve a melhor remoção, mas ficou muito próxima desta, removeu nitrogênio e no caso dos surfactantes removeu próximo ao valor obtido pela *Moringa oleifera*, que foi a melhor e não teve problemas com a condutividade.

8. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público - Procedimento: **NBR 12216**, 18p.1992.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Índice de qualidade das águas IQA**. 2009. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>>.

ARANTES, C.C. Aplicação de coagulante a base de pó de sementes de Moringa oleífera confiando em sachês no tratamento de água. 2014. 222f. Tese (Doutorado). Departamento de Água e Solo, Universidade Estadual de Campinas. 2014.

ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S. Processamento de sementes de *Moringa oleífera* utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina grande, v.16, n.6, p.661–666, abr. 2012.

AZEVEDO, Leonardo P. de; OLIVEIRA, Eduardo L. de. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v. 25, n. 1, Abr. 2005.

BRAGA, B. et. al. **Introdução a Engenharia Ambiental**.;Pretice Hall, São Paulo, 2005, 305 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005.

BRASIL. Agência Nacional das Águas - ANA (2005). **Cadernos de Recursos Hídricos. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, mai. 2005. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

BRASIL. **Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em 15 de junho de 2014.

BRASIL. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – **SEMA** (2009). Resolução nº 38 de 19 de agosto de 2009. Poder Executivo, Curitiba, PR, 19 ago. 2009. Disponível em:

<http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RES_OLUCOES/RESOLUCAO_38_POSTOS_DE_COMBUSTIVEIS.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2014.

CARDOSO, K.C.; BERGAMASCO, S.; COSSICH, E.S.; MORAES, L.C.K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleífera* Lam. **Acta Sci. Tech.** Maringá, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CARVALHO, Maria J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável.** 2008. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CETESB COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, **Secretaria do Meio Ambiente**, 43p., 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>>.

CONAMA. Resoluções: resolução nº 273 de 29 de novembro de 2000. [s.l.]: CONAMA, 2000. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Poder Executivo, Brasília, DF, 29 nov. 2000. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27300.html>>. Acesso em: 25 de dezembro de 2013.

CORAL L. A. et al. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC SG) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo Humano. In: **INTERCIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change.** Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20Bassetti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2 ed. São Carlos: Editora Rima, 2005.

DORIGON, E. B.; TESSARO, P. Caracterização dos efluentes da lavagem automotiva em postos de atividade exclusiva na região AMAI – Oeste catarinense. **Unoesc & Ciência – ACBS**. Joaçaba, v. 1, n. 1, p. 13-22, jan./jun. 2010.

FRANCO, Elton S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**. 2009. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

HELLER, Léo; PÁDUA, Válter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 1 ed. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2006.

KLAUTAU, J. P. von.; GONÇALVES, M. F. Reuso de água: Um projeto e sua viabilidade aplicada a lava-jatos. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo, 2007.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. 1987.198f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1987.

LEÃO, E. A. S.; MATTA, M. A. S.; CAVALCANTE, I. N.; MARTINS, J. A. C.; DINIZ, C. G.; VASCONCELOS, Y. B.; CARMONA, K. M., VANZIN, M. M. O reuso da água: um estudo de caso na lavagem de veículos em lava-jato de Belém/PA. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS, 16., 2011, São Luís. ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 17.** 2011, São Luís. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/22987/15104>>. Acesso em 20 de dezembro de 2014.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LORENZETT, D. B.; ROSSATO, M. V. A gestão de resíduos em postos de abastecimento de combustível. **Revista Gestão Industrial**. Ponta Grossa v. 6, n. 2, p.110-125, 2010.

LVQ – LABORATÓRIO VIRTUAL DE QUÍMICA. Tabela Periódica Online, **Unesp Bauru Laboratório virtual de química**, 2014. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/lvq/tabela.html>>.

LVQ – LABORATÓRIO VIRTUAL DE QUÍMICA. Nitrogênio, **Unesp Bauru Laboratório virtual de química**, 2014. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ_tabela/007_nitrogenio.html>.

MACEDO, Jorge A. B. de. **Águas e águas**. 3 ed. Belo Horizonte: Editora: CRG, 2007.

MACARTHY, V. F.; LEITE C. C.; OLIVEIRA, B. Ciclo do Nitrogênio. **Instituto de química e geociências**. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, setembro de 2007.

MÁXIMO, Vivian A. **Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis**. 2007. 187f. (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MONACO, P. A.V. lo.; MATOS. A. T. de.; RIBEIRO, I. C. A.; NASCIMENTO, F.S. de.; SARMENTO, A. P. Utilização de extratos de semente de Moringa oleifera como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Revista Ambiente e Água**. Taubaté, v. 5, n. 3, p.222-231. 2010.

MORUZZI, R. B. Reuso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: Impacto, tecnologias e desafios. **Olam – Ciência e Tecnologia**. Rio Claro, v. 8, n. 3, p. 271, dez. 2008.

NIERO, B.; ALVES, M. V.; SKORONSKI, E. Avaliação do potencial de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no Rio Tubarão. **Cadernos Acadêmicos**. Palhoça, v. 4, n. 2, ago./ dez. 2012.

OLEOFIL. **Manual de instalação e utilização da caixa separadora de água e óleo OLEOFIL**. 10p. 2012. Disponível em: <<http://www.oleofil.com.br/manuais/caixa-separadora.pdf>>. Acesso em 20 de dezembro de 2013.

PEIXOTO, J. Análises Físico-Químicas Cor, turbidez, pH, temperatura, alcalinidade e dureza. **Laboratório de Tecnologias Ambientais, 16p., 2008. Disponível em:** <<http://www.biologica.eng.uminho.pt/TAEL/downloads/analises/cor%20turbidez%20ph%20t%20alcalinidade%20e%20dureza.pdf>>.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Temas de Saúde.** 2014. Disponível em: <<http://www.who.int/topics/water/es/>>. Acesso em 13 de janeiro de 2014.

ORNELAS, Pedro A. M. **Reuso de água em edifícios públicos: o caso da escola Politécnica da UFBA.** 2004. 164f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2004.

PERALTA, A. H. Tratamento de Efluentes de Lavagem de Veículos por Eletrocoagulação e Eletroflotação. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer.** Goiânia, v.10, n.18; p. 2014.

PESSOA, C.A.; JORDÃO, E.P. Tratamento de esgotos domésticos: concepções clássicas de tratamento de esgotos. 2. ed. Rio de Janeiro: **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental: BNH,** 1982. 536 p.

RIBEIRO, Ana T. A. **Aplicação de Moringa oleifera no tratamento de água para consumo humano.** 2010. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto- Porto, Portugal.

SANTOS, W. R.; MATOS, D. B.; OLIVEIRA B. M.; SANTANA, T. M.; SANTANA, M. M.; SILVA, G. F. Estudo do tratamento e clarificação de água com torta de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais.** Campina Grande, v.13, n.3, p.295-299, 2011.

SANTOS, Nayane A. P. dos. **Avaliação do desempenho de produtos químicos na coagulação da água produzida na ETA do aeroporto internacional do Rio de Janeiro com vistas à redução de custos.** 2011. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SCHMITZ, A. C. Avaliação comparativa de metodologia de análise de demanda química de oxigênio-DQO. 2004. 144 p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)**-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEMA.
Resolução SEMA nº 021/2011. Disponível em:
<http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RES_OLUCOES/resolucaoSema021.pdf>.

SECRON, Marcelo B. **Avaliação de sistemas separadores água e óleo do tratamento de efluentes de lavagem, abastecimento e manutenção de veículos automotores.** 2006. 329f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, L. C. Estudo da remoção de turbidez do efluente de posto de lavagem de veículos através do processo de coagulação/floculação. 2012. 74p. **Trabalho de conclusão de curso Processos Químicos** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo PR, 2012.

SILVEIRA, T. Análise físico-química da água da bacia do rio cabelo – João Pessoa – PB. **II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica,** João Pessoa - PB, 2007. Disponível em:
<http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080212_092019_MEIO-028.pdf>.

SOARES, A.K. (2003). **Calibração de Modelos de Redes de Distribuição de Água Para Abastecimento Considerando Vazamentos e Demandas Dirigidas pela Pressão.** Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

STRÖHER, A. P.; JUNIOR, O. M.; MENEZES, M. L.; BERGAMASCO, R.; PEREIRA, N. C. Aplicação de *Moringa oleifera* lam no tratamento de efluente proveniente da lavagem de jeans. **E-xacta.** Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 61-66. 2012.

TANAC. **Boletim Informativo.** Montenegro. Brasil, 2008, 57 p.

TANAC. Tanfloc SG 1500. **Informação do Produto.** Agosto. 2010. Disponível em:
<http://www.tanac.com.br/sites/default/files/CT_TANFLOC_SG_SG_1500_PT_0.pdf>. Acesso em 20 de dezembro de 2013.

TEIXEIRA, Priscila, C. **Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água.** 2003.199f. Dissertação (Mestrado em Concentração de Saneamento e Meio Ambiente) –

Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

TELLES, F. F. G., KOPPERSCHIMIDT, M. E. Tratamento do Efluente Gerado na Lavagem de Veículos para Reciclagem da Água. **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. Uberlândia, Minas Gerais, Julho, 2009.

TRENTIN, P. S.; BOSTELMANN, E. Programa laboratorial para sólidos totais, dissolvidos e em suspensão em amostras de água. **Metrologia e Instrumentação**. Dez. 2010. Disponível em: <<http://banasmetrologia.com.br/wp-content/uploads/2012/01/Programa-Interlaboratorial.pdf>>.

VASCONCELOS, D. V.; GOMES, A. Tratamento de efluentes de postos de combustíveis para o reúso usando processos oxidativos avançados. Cadernos Unifoa. Volta Redona, 11ed., p. 35-46, 2009.

VASCONCELOS, V.M.; SILVA, P.C.G.; VIEIRA, A.C.; SOUSA, M. F. C. SILVA,G.F. Caracterização físico-química do óleo de Moringa oleifera lam por diferentes solventes. **Encontro nacional de Moringa oleifera**. Aracaju, Sergipe, Setembro, 4p. 2009.

VAZ, Luiz G. de L.. **Performance do Processo de Coagulação/Floculação no Tratamento do Efluente Líquido Gerado na Galvanoplastia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química com ênfase em Desenvolvimento de Processos) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste Paraná, Toledo, PR, 2009.

VOGEL, Arthur Israel; MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.. **Análise química quantitativa**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 462p.

ZIMMERMANN, Valmir E. **Desenvolvimento de tecnologia alternativa para tratamento de efluentes visando a reutilização da água de postos de lavagem de veículos**. (Mestrado em Engenharia Química)- Centro de Engenharias e Ciências Exatas. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

ZOLETT, E. R. Uso de polímero natural a base de tanino (Tanfloc SG) para o tratamento de água para o consumo humano. **Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**. Pato Branco, 2012.

Apêndice

Tabela A-1. Dados brutos de pH, cor, turbidez, condutividade e DQO do ensaio da *Moringa oleifera*

Ensaio	pH	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	DQO (mg/L)
1	5,52	825	321	2100	1507,95
2	5,43	223	69	2800	1111,90
3	5,48	148	46	2827	1447,06
4	5,42	63	30	6270	1199,53
5	5,18	285	86	6800	1075,76
6	5,12	50	22	6920	1038,63
7	5,32	48	23	6950	1031,61
8	5,44	73	29	6980	890,12
9	5,55	44	18	6980	987,05
10	5,28	208	61	9330	2003,01
11	5,49	121	45	9850	902,49

Tabela A-2. Dados brutos dos sólidos totais, fixos e voláteis da *Moringa oleifera*

Ensaio	sólidos totais(mg/L)	sólidos fixos (mg/L)	sólidos voláteis (mg/L)
1	1420,00	1216,67	203,33
2	1646,67	1536,67	110,00
3	1646,67	1556,67	90,00
4	1793,33	1690,00	103,33
5	2726,67	2620,00	106,67
6	2816,67	2633,33	183,33
7	2843,33	2663,33	180,00
8	2840,00	2636,67	203,33
9	2916,67	2690,00	226,67
10	4026,67	3690,00	336,67
11	3846,67	3563,33	283,33

Tabela A-3. Dados brutos dos sólidos suspensos, suspensos fixos e suspensos voláteis da *Moringa oleifera*.

Ensaio	sólidos suspensos (mg/L)	sólidos suspensos fixos (mg/L)	sólidos suspensos voláteis (mg/L)	sólidos dissolvidos (mg/L)
1	213,33	166,67	46,67	1206,67
2	190,00	156,67	33,33	1456,67
3	203,33	143,33	60,00	1443,33
4	103,33	46,67	56,67	1690,00
5	226,67	143,33	83,33	2500,00
6	156,67	130,00	26,67	2660,00
7	336,67	226,67	110,00	2506,67
8	203,33	190,00	13,33	2636,67
9	203,33	160,00	43,33	2713,33
10	250,00	180,00	70,00	3776,67
11	203,33	173,33	30,00	3643,33

Tabela A-4. Dados brutos de pH, cor, turbidez, condutividade e DQO do ensaio da Tanfloc SG

Ensaio	pH	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Condutividade (μS/cm)	DQO (mg/L)
1	5,27	575	115	271,8	1408,93
2	4,95	880	122	273,7	1606,96
3	5,02	830	116	283	1408,93
4	4,59	160	93	292	617,83
5	4,62	43	23	286,3	1180,13
6	4,58	31	12	290,5	675,16
7	4,59	36	10	294,1	1187,55
8	4,64	18	6	285,1	1459,44
9	4,35	404	120	305	1532,70
10	4,46	251	108	302	1829,74
11	4,44	184	96	303	1557,45

Tabela A-5. Dados brutos dos sólidos totais, fixos e voláteis do Tanfloc SG.

Ensaio	sólidos totais(mg/L)	sólidos fixos (mg/L)	sólidos voláteis
1	403,33	183,33	220,00
2	326,67	186,67	140,00
3	380,00	193,33	186,67
4	366,67	156,67	210,00
5	263,33	146,67	116,67
6	330,00	160,00	170,00
7	313,33	163,33	150,00
8	333,33	170,00	163,33
9	383,33	183,33	200,00
10	400,00	246,67	153,33
11	356,67	70,00	286,67

Tabela A-6. Dados brutos dos sólidos suspensos, suspensos fixos e suspensos voláteis da Tanfloc SG

Ensaio	sólidos suspensos(mg/L)	sólidos suspensos fixos (mg/L)	sólidos suspensos voláteis (mg/L)	sólidos dissolvidos (mg/L)
1	216,67	173,33	43,33	186,67
2	206,67	156,67	50,00	120,00
3	200,00	150,00	50,00	180,00
4	163,33	133,33	30,00	203,33
5	133,33	3,33	130,00	130,00
6	93,33	0,00	93,33	236,67
7	150,00	23,33	126,67	163,33
8	300,00	210,00	90,00	33,33
9	260,00	240,00	20,00	123,33
10	90,00	33,33	56,67	310,00
11	73,33	36,67	36,67	283,33

Tabela A-7. Dados brutos de pH, cor, turbidez, condutividade e DQO do ensaio do Sulfato de Alumínio

Ensaio	pH	Cor (PtCo)	Turbidez (UNT)	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	DQO (mg/L)
1	4,74	905	259	389	394,05
2	4,56	785	260	438	616,83
3	4,65	735	246	437	418,81
4	4,26	650	280	528	1136,65
5	4,28	625	275	533	1334,67
6	4,26	625	277	539	1656,47
7	4,21	725	290	533	938,62
8	4,24	710	285	570	1235,66
9	4,09	645	268	621	814,86
10	4,22	650	260	622	666,34
11	4,12	615	261	646	493,07

Tabela A-8. Dados brutos dos sólidos totais, fixos e voláteis do Sulfato de Alumínio.

Ensaio	sólidos		
	sólidos totais(mg/L)	fixos (mg/L)	sólidos voláteis
1	500,00	250,00	250,00
2	630,00	266,67	363,33
3	586,67	303,33	283,33
4	710,00	320,00	390,00
5	693,33	323,33	370,00
6	746,67	410,00	336,67
7	770,00	350,00	420,00
8	766,67	353,33	413,33
9	796,67	300,00	496,67
10	973,33	366,67	606,67
11	830,00	253,33	576,67

Tabela A-9. Dados brutos dos sólidos suspensos, suspensos fixos e suspensos voláteis do Sulfato de Alumínio.

Ensaio	sólidos suspensos (mg/L)	sólidos suspensos fixos(mg/L)	sólidos suspensos voláteis	sólidos dissolvidos
1	96,67	46,67	50,00	403,33
2	100,00	50,00	50,00	530,00
3	113,33	63,33	50,00	473,33
4	86,67	60,00	26,67	623,33
5	90,00	56,67	33,33	603,33
6	100,00	50,00	50,00	646,67
7	96,67	46,67	50,00	673,33
8	100,00	50,00	50,00	666,67
9	93,33	26,67	66,67	703,33
10	110,00	60,00	50,00	863,33
11	76,67	46,67	30,00	753,33