

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**THAÍS HOKAMA PALEARI**

**COAGULANTES NATURAIS E COAGULANTE QUÍMICO PARA O  
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2014**

**THAÍS HOKAMA PALEARI**

**COAGULANTES NATURAIS E COAGULANTE QUÍMICO PARA O  
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL**

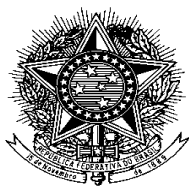
Projeto de pesquisa apresentado à disciplina  
Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso  
Superior de Engenharia Ambiental da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Câmpus Londrina.

Orientador: Prof. Dra. Edilaine Regina Pereira

Co-orientador: Prof. Dr. Joelmir André Borssoi

**LONDRINA**

**2014**



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



## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Coagulantes naturais e coagulante químico para o tratamento de  
efluente de indústria de café solúvel

por

Thaís Hokama Paleari

Monografia apresentada no dia 09 de dezembro 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).

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ricardo Constanzi Nagamine  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. MsC. Joseane D.P.Theodoro  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
(UTFPR)  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

Aos meus avós, Aparecida e Darci, pelos cuidados e amor  
doados.

A minha batian, Mitsuo, pelo exemplo de vida, dedicação e  
alegria.

## **AGRADECIMENTOS**

A jornada da graduação é extensa, por vezes cansativa, mas quando se faz o que ama, não há obstáculos que te impeçam de prosseguir. Eu, que sempre almejei outra área, me encontrei na Engenharia Ambiental, e sempre tive o apoio de pessoas que foram essenciais para o meu crescimento nessa jornada.

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida e por sempre iluminar meus caminhos.

Agradeço aos meus pais, Alice e Eduardo, pela educação, ensinamentos, pelo incentivo e liberdade, e até mesmo pelas broncas, que me fizeram a pessoa que sou hoje. Meus pais, que sempre fizeram o possível, e até mesmo o impossível, para que eu seguisse meus sonhos.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Ambiental pelos ensinamentos transferidos durante minha graduação. Em especial, à minha orientadora Edilaine e co-orientador Joelmir, pelo grande suporte do início ao fim, compartilhando seus conhecimentos, dando segurança e tornando possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço, também, ao Geraldo, pela disposição, dedicação e por tornar este trabalho possível.

E, finalmente, as minhas amigas Andressa e Jéssica, que nunca desistiram de mim, mesmo nos momentos de ausência. A minha amiga Manuela, que sempre esteve ao meu lado, desde o início dessa jornada. A todos os amigos e envolvidos direta e indiretamente na minha formação, muito obrigada.

## RESUMO

PALEARI, Thaís H. **Coagulantes naturais e coagulante químico para o tratamento de efluente de indústria de café solúvel**. 2014. 116 p. Trabalho de Graduação. (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

Detendo um terço da produção mundial de café, e sendo um grande pólo consumidor desses grãos, o Brasil concentra grandes indústrias do ramo de café solúvel. Diante da escassez e consciência ambiental, torna-se necessário o tratamento da água residuária dessa indústria, para que a mesma possa retornar ao ciclo sem comprometer o meio ambiente e os corpos hídricos, verificando novas possibilidades que sigam a tendência da utilização de produtos com preocupação com o meio ambiente e sustentabilidade. Para isso, o presente trabalho teve por objetivos comparar a eficiência de aplicação de coagulantes naturais *Moringa oleífera*, Tanfloc SG e quiabo associado ao cloreto férrico (QCF) e o coagulante químico cloreto férrico no tratamento de efluentes da indústria de café solúvel em processo de coagulação, floculação e sedimentação. Para otimizar os dados, foi utilizado o planejamento experimental Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), em que foram considerados como variáveis independentes a concentração e o tempo, e como variáveis dependentes os parâmetros analisados foram cor aparente, demanda química de oxigênio (DQO), condutividade elétrica, pH e série de sólidos. Com exceção da *Moringa oleífera*, os tratamentos com o coagulante natural Tanfloc SG apresentou resultados tão bons quanto ao se utilizar o coagulante químico cloreto férrico. O coagulante Tanfloc SG possuiu as maiores remoções de cor e DQO, com 50,5% e 27,9%, respectivamente, além de apresentar uma significativa remoção de sólidos voláteis (78,48%). A associação do quiabo ao cloreto férrico torna-se uma alternativa viável já que as eficiências de redução dos parâmetros DQO (27,9%) e sólidos totais (61,1%) mostraram-se superiores ao uso apenas do cloreto férrico. De maneira geral, os coagulantes naturais Tanfloc SG e quiabo associado ao cloreto férrico tornam-se uma opção viável ao tratamento.

**Palavras-chave:** Coagulantes naturais. Indústria de café. DCCR.

## ABSTRACT

PALEARI, Thaís H. **Natural coagulants and chemical coagulant for the treatment of wastewater of the soluble coffee industry.** 2014. 116 p. Final Paper. (Environmental Engineering). Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2014.

Holding one third of the worldwide production of coffee and being a major center consumer of these grains, Brazil concentrates major industries of the soluble coffee business. Given the scarcity and environmental awareness, it is necessary to treat the wastewater of this industry, so that it can return to the cycle without compromising the environment and water bodies, checking new possibilities that will follow the tendency of using products with concern for the environment and sustainability. Thereunto, the present study aimed to compare the efficiency of application of natural coagulants *Moringa Oleifera*, Tanfloc SG and okra associated with ferric chloride (OFC) and the chemical coagulant ferric chloride in the treatment of effluents of the soluble coffee industry in the coagulation process, flocculation and sedimentation. To optimize the data, it has been used the experimental design Composite Rotational Design (RCCD), in which were considered as independent variables the concentration and time, and as dependent variables the analyzed parameters were apparent color, chemical oxygen demand (COD), electrical conductivity, pH and series of solids. Unless the *Moringa oleifera*, the treatments with the natural coagulant Tanfloc SG presented results as good as when using the chemical coagulant ferric chloride. The Tanfloc SG coagulant owns the highest color removal and COD, with 50.5% and 27.9%, respectively, besides presenting a significant removal of volatile solids (78.48%). The association of okra to the ferric chloride becomes a viable alternative since the efficiency of reduction parameters COD (27.9%) and total solids (61.1%) were superior to the use of ferric chloride only. In general, natural coagulants Tanfloc SG and okra associated with ferric chloride become a viable option to the treatment.

**Keywords:** Natural coagulants. Coffee industry. RCCD.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de produção do café solúvel. ....	16
Figura 2 - Planta <i>Moringa oleífera</i> . ....	30
Figura 3 - Localização de Cornélio Procópio no Brasil.....	38
Figura 4 - Fluxograma da estação de tratamento de efluentes. ....	39
Figura 5 - Câmpus da UTFPR/Londrina e laboratório de saneamento. ....	40
Figura 6 - Pré-ensaio com Tanfloc SG: solução e efeito coagulação/floculação. ....	41
Figura 7 - NaCl 1M, sementes de <i>Moringa oleífera</i> e solução salina. ....	42
Figura 8 - Quiabo após 24 horas em estufa 105°C. ....	43
Figura 9 - Quiabo triturado em 'pó'. ....	44
Figura 10 - Equipamento Jar-test. ....	45
Figura 11 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	49
Figura 12 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	50
Figura 13 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção cor (%) para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	51
Figura 14 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor para a <i>Moringa oleífera</i> .....	53
Figura 15 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) para o Tanfloc SG. ....	53
Figura 16 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção cor (%) para o QCF.....	54
Figura 17 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados para o QCF. ....	56
Figura 18 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) para o QCF. ....	56
Figura 19 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção cor (%) para o QCF.....	57
Figura 20 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados para o cloreto férrico. ....	59
Figura 21 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) para o cloreto férrico. ....	59
Figura 22 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção cor (%) para o cloreto férrico.....	60
Figura 23 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO .....	62
Figura 24 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	63
Figura 25 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para.....	63
Figura 26 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO com os fatores ajustados para o Tanfloc SG. ....	65
Figura 27 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o Tanfloc SG.....	66
Figura 28 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção DQO (%) para o Tanfloc SG .....	66



Figura 29 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção da DQO .....	68
Figura 30 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o QCF. ....	69
Figura 31 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o QCF. ....	69
Figura 32 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores ajustados para o cloreto férrico. ....	71
Figura 33 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o cloreto férrico. ....	72
Figura 34 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o cloreto férrico. ....	72
Figura 35 - Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	75
Figura 36 - Gráfico de Pareto para variável resposta condutividade para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	76
Figura 37 - Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados para o Tanfloc SG. ....	78
Figura 38 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade para o Tanfloc SG. ....	78
Figura 39 - Gráfico de Pareto para variável resposta condutividade para o Tanfloc SG. ....	79
Figura 40 - Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados para o QCF. ....	81
Figura 41 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade para o QCF. ....	81
Figura 42 - Gráfico de Pareto para variável resposta condutividade para o QCF. ....	82
Figura 43 - Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados para o cloreto férrico. ....	84
Figura 44 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade para o cloreto férrico. ....	84
Figura 45 - Gráfico de Pareto para variável resposta condutividade para o cloreto férrico. ....	85
Figura 46 - Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	87
Figura 47 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	88
Figura 48 - Gráfico de Pareto para variável resposta pH para a <i>Moringa oleífera</i> . ...	88
Figura 49 - Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para o Tanfloc SG. ....	90
Figura 50 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH para o Tanfloc SG. ....	91
Figura 51 - Gráfico de Pareto para variável resposta pH para o Tanfloc SG. ....	91
Figura 52 - Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para o QCF. ....	93
Figura 53 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH para o QCF. ....	94
Figura 54 - Gráfico de Pareto para variável resposta pH para o QCF. ....	94
Figura 55 - Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para o cloreto férrico. ....	96

Figura 56 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH para o cloreto férrico. ....	97
Figura 57 - Gráfico de Pareto para variável resposta pH para o cloreto férrico.....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição média do efluente de café solúvel. ....	19
Tabela 2 - Condições de lançamento de efluentes. ....	36
Tabela 3 - Padrões de lançamento de efluentes .....	36
Tabela 4 - Padrões para o lançamento de efluentes líquidos em corpos receptores. .....	37
Tabela 5 - Concentrações máxima e mínima das soluções de coagulantes.....	41
Tabela 6 - Parâmetros e seus métodos de análise. ....	46
Tabela 7 - Matriz do delineamento. ....	47
Tabela 8 – Características do efluente .....	48
Tabela 9 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	51
Tabela 10 - Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos .....	52
Tabela 11 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos para o Tanfloc SG. ....	54
Tabela 12 - Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos .....	55
Tabela 13 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos para o QCF. ....	57
Tabela 14- Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos .....	58
Tabela 15 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos para o cloreto férrico. ....	61
Tabela 16 - Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos .....	61
Tabela 17 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	64
Tabela 18 - Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos .....	64
Tabela 19 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos para o Tanfloc SG. ....	67
Tabela 20 - Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos.....	67
Tabela 21 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos para o QCF.....	70
Tabela 22 - Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos.....	70
Tabela 23 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos para o cloreto férrico.....	73
Tabela 24 - Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos.....	74
Tabela 25 - ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	76
Tabela 26 - Valores experimentais de condutividade, previstos pelo modelo e desvios para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	77
Tabela 27 - ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos.....	79
Tabela 28 - Valores experimentais de condutividade, previstos pelo modelo e desvios para.....	80
Tabela 29 - ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos para o QCF. ....	82
Tabela 30 - Valores experimentais de eficiência de remoção de condutividade, previstos pelo modelo e desvios para o QCF.....	83

Tabela 31 - ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos para o cloreto férrico. ....	85
Tabela 32 - Valores experimentais de eficiência de remoção de condutividade, previstos pelo modelo e desvios para o cloreto férrico. ....	86
Tabela 33 - ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	89
Tabela 34 - Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios para a <i>Moringa oleífera</i> . ....	89
Tabela 35 - ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos para o Tanfloc SG. ....	92
Tabela 36 - Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios para o Tanfloc SG. ....	92
Tabela 37 - ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos para o QCF. ....	95
Tabela 38 - Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios para o QCF. ....	95
Tabela 39 - ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos para o cloreto férrico. ....	98
Tabela 40 - Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios. ....	98
Tabela 41 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis utilizando <i>Moringa oleifera</i> . ....	99
Tabela 42 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis utilizando Tanfloc SG. ....	100
Tabela 43 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis utilizando QCF. ....	101
Tabela 44 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis utilizando cloreto férrico. ....	102
Tabela 45- Valores das melhores eficiências atingidas por cada coagulante. ....	102

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
3.1 INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL .....	16
3.1.1 Sistema de tratamento de efluente de indústria de café solúvel .....	17
3.1.2 Efluente de indústria cafeeira .....	18
3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO .....	19
3.2.1 Coagulação .....	19
3.2.2 Floculação .....	23
3.2.3 Sedimentação .....	24
3.3 COAGULANTES .....	26
3.3.1 Coagulantes químicos .....	27
3.3.1.1 Cloreto férrico (FeCl <sub>3</sub> ) .....	27
3.3.2 Coagulantes naturais .....	29
3.3.2.1 <i>Moringa oleífera</i> .....	29
3.3.2.2 Tanfloc SG .....	32
3.3.2.3 <i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench .....	33
3.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL .....	35
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
4.1 LOCAL DA COLETA .....	38
4.2 LOCAL DO ENSAIO .....	39
4.3 ETAPAS DE EXPERIMENTO .....	40
4.3.1 Pré-Ensaio .....	40
4.3.2 Preparo das soluções de coagulantes .....	42
4.3.2.1 Preparo da solução salina do coagulante da <i>Moringa oleífera</i> .....	42
4.3.2.2 Preparo das soluções de Tanfloc SG, QCF e cloreto férrico .....	43
4.3.3 Ensaio Jar Test .....	44
4.4 ANÁLISE DOS PARÂMETROS .....	46
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	46
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>48</b>
5.1 Eficiência de remoção de cor aparente .....	49
5.1.1 <i>Moringa oleífera</i> .....	49
5.1.2 Tanfloc SG .....	52
5.1.3 QCF .....	55
5.1.4 Cloreto férrico .....	58
5.2 Eficiência de remoção de DQO .....	62
5.2.1 <i>Moringa oleífera</i> .....	62
5.2.2 Tanfloc SG .....	65
5.2.3 QCF .....	67
5.2.4 Cloreto férrico .....	71
5.3 Condutividade elétrica .....	74
5.3.1 <i>Moringa oleífera</i> .....	74
5.3.2 Tanfloc SG .....	77
5.3.3 QCF .....	80

5.3.4 Cloreto férrico.....	83
5.4 Alteração do pH.....	86
5.4.1 <i>Moringa oleífera</i> .....	86
5.4.2 Tanfloc SG .....	90
5.4.3 QCF.....	93
5.4.4 Cloreto Férrico.....	96
5.5 Eficiência de remoção de sólidos (totais, fixos e voláteis).....	99
5.5.1 <i>Moringa oleífera</i> .....	99
5.5.2 Tanfloc SG .....	100
5.5.3 QCF.....	101
5.5.4 Cloreto férrico.....	101
5.6 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE OS COAGULANTES .....	102
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>104</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o desenvolvimento urbano e industrial ocorreu ao longo dos rios, devido à disponibilidade de água para o abastecimento e a possibilidade de utilizar o rio como corpo receptor de efluentes. O aumento das atividades industriais, em consequência do crescimento das populações, ocasionou a preocupação com a exacerbada utilização de água nos processos produtivos, que geram efluentes e se despejados no corpo receptor sem o devido tratamento, acabam por alterar a qualidade da água em toda sua extensão.

Segundo a organização Water Footprint Network (2004), na cadeia produtiva do café, estima-se que um total de 140 litros de água é consumido direta e indiretamente para que se possa tomar uma xícara dessa bebida. Por ser um efluente que possui carga orgânica muito alta, derivada do processo de higienização de tanques e linhas de extrato de café nos processos de extração, concentração e secagem, torna-se necessário o tratamento dessa água residuária advinda do processo industrial.

Dados da Associação Brasileira da Indústria de Café – ABIC (2013), juntamente com o Conselho Nacional de Abastecimento – CONAB (2014), retrata o Brasil como responsável por aproximadamente um terço da produção mundial de café, sendo o maior produtor deste grão e o segundo maior mercado consumidor, além de um dos maiores exportadores. A estimativa para 2014 é a produção de 44.566 mil sacas beneficiadas (arábica e robusta), totalizando 23,14 sacas/ha.

O uso antrópico dessa essencial substância é atendido em maior parcela por meio da água corrente nos rios, recurso hídrico que corresponde a apenas 0,01% do total de água no planeta (LEME, 2010). Então, devido a característica finita da água, do aumento anual de demanda em função do crescimento populacional, do desenvolvimento industrial, áreas irrigadas e ampliação de outros usos, surge a necessidade de alternativas que corroborem com a administração quantitativa e qualitativa da água.

O tratamento dos efluentes consiste em uma série de operações e processos unitários, destacando-se a coagulação, processo que envolve aplicação de produtos químicos para a remoção de compostos em solução, desestabilização

de suspensões coloidais e de sólidos dificilmente removidos pela sedimentação ou filtração.

Então, a coagulação muitas vezes é uma etapa dos tratamentos utilizados nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), que visa remover os sólidos suspensos, para clarificar a água, e caso esta etapa de coagulação não seja eficaz, os demais estágios poderão ser prejudicados, configurando-se o lançamento desses efluentes no corpo hídrico fora dos padrões exigidos na legislação.

A definição do coagulante frequentemente pauta-se em fatores de ordem econômica, relacionados à adequabilidade à água bruta, à tecnologia de tratamento, ao custo e à preservação dos tanques e dosadores. Ao longo das últimas décadas diversos sais têm sido utilizados como coagulantes, basicamente sais de ferro e alumínio. É preciso análises atuais para rever o sistema de tratamento usado no Brasil, verificando-se novas possibilidades já apresentadas pelo setor no mercado e que sigam a tendência de produtos com maior preocupação com o meio ambiente e sustentabilidade.

A utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluentes vem apresentando vantagens em relação aos químicos, especialmente em relação à biodegradabilidade do lodo gerado, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos industriais (MATOS, 2004). Combinando-se a melhor concentração do coagulante, é possível maximizar a remoção de sólidos presentes.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo comparar a eficiência do uso de coagulantes naturais e coagulante químico em processos de coagulação/floculação/sedimentação no processo de tratamento de efluente de indústria de café solúvel.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de aplicação de coagulantes naturais, químico e associação do coagulante natural com o químico no processo de coagulação/floculação/sedimentação do tratamento de efluente proveniente de processamento de café solúvel.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar os parâmetros– pH, cor aparente, demanda química de oxigênio, série de sólidos e condutividade elétrica do efluente em questão para cada tipo de tratamento;
- Determinar a eficiência de remoção dos parâmetros citados visando o tratamento do efluente de indústria de café solúvel;
- Determinar a eficiência de aplicação dos coagulantes naturais, químico e associação do coagulante natural com o químico no processo de tratamento do efluente;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL

Compreende-se por café solúvel o produto resultante da desidratação do extrato aquoso de café torrado e moído, o mesmo podendo ser apresentado na forma de pó ou grânulos. O produto deve acatar algumas diretrizes para comercialização em território nacional, de acordo com a resolução CNNPA nº 12 da ANVISA (1978), não sendo toleradas quaisquer adições de conservadores ou demais aditivos.

O processo de produção (Figura 1) inicia-se na etapa de seleção dos mais finos cafés de várias regiões do país, adequando ao tipo de padrão requerido. Selecionados e higienizados, os grãos de café são processados em torreadores, assegurando a máxima retenção de aroma e intensidade de torra, havendo o desenvolvimento integral da qualidade do grão.

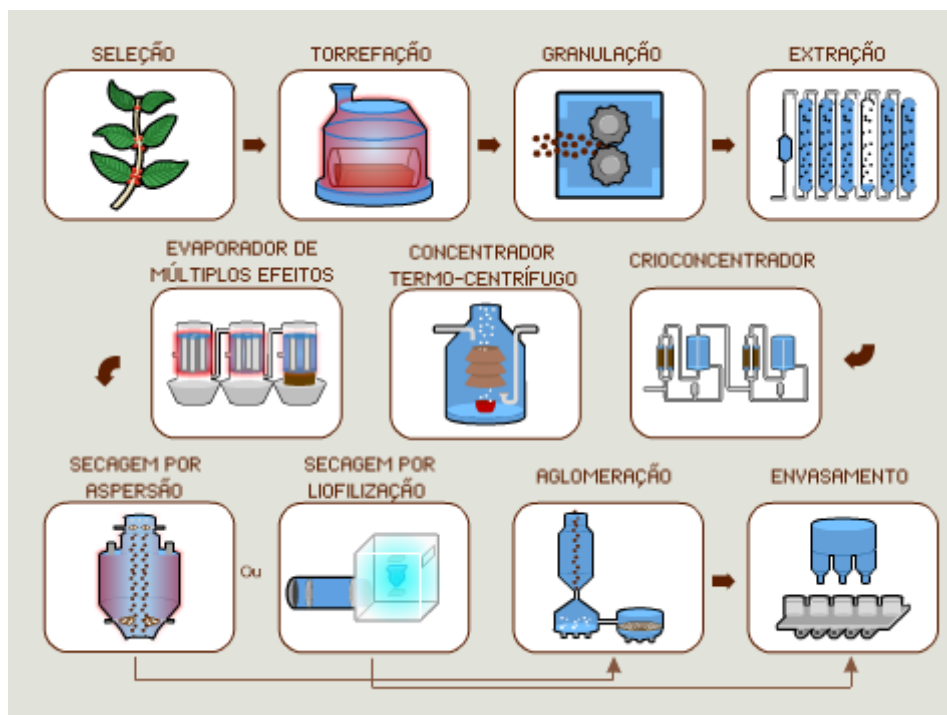


Figura 1 - Processo de produção do café solúvel.  
Fonte: Indústria de Café Solúvel – Norte do Paraná (2014).

Os grãos torrados são fragmentados com pouco calor para manutenção do aroma e distribuição granulométrica uniforme. Na etapa seguinte de extração, os grãos torrados e moídos são percolados por água quente, situação semelhante ao do coador doméstico. A água é o elemento de fundamental importância no preparo de alimentos e bebidas, especialmente o café. Essa água é proveniente de poços semi-artesianos na profundidade de 1000 metros e com temperatura de 50°C, de característica geotermal mineral alcalina.

No processo de concentração, é removida parte da água do extrato de café, sendo empregadas três tecnologias para tal: evaporador de múltiplos efeitos, concentrador termo-centrífugo e crioconcentrador. Na secagem por aspersão, busca-se a maior retenção possível de aroma e sabor, sendo feita a retirada da água do extrato de café. Na secagem por liofilização, a água do extrato é removida através de sublimação, condicionando o extrato a temperatura inferior a -30°C.

O processo final é o envasamento do café solúvel, aglomerado ou liofilizado, em embalagens de vidro, latas, sachês e stand up pouches.

### 3.1.1 Sistema de tratamento de efluente de indústria de café solúvel

Frasson (2011) cita que as estações de tratamento de efluentes de indústrias de café solúvel, no Brasil, são variáveis quanto ao processo empregado no tratamento, uma vez que há dependência quanto à configuração da empresa e do que é produzido – café solúvel spray dry, liofilizado, aglomerado ou misturas com café e também quanto ao tipo de equipamento para produção. Observa-se o uso de tratamento por lagoas de estabilização na região Sudeste, de infiltração em solo e aeração prolongada na região Sul e mesmo a combinação desses sistemas anaeróbios e aeróbios (FRASSON, 2011).

Uma das maiores indústrias de café solúvel do mundo está localizada na região sul do Brasil e utiliza em seu processo a tecnologia de tratamento biológico por aeração prolongada e posterior tratamento terciário por meio de um flotador, devido a necessidade de retirada do tanino, operando, assim, em condições para melhoria da cor do efluente líquido.

Os efluentes líquidos são originados devido a utilização da água pela indústria, seja por incorporação ao produto, lavagem de máquinas, tubulações e pisos, águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor, águas utilizadas diretamente nas etapas do processamento industrial ou incorporadas aos produtos e esgotos sanitários dos funcionários. Assim, exceto os volumes de água que são incorporados aos produtos e as perdas por evaporação, a água torna-se contaminada pelos resíduos industriais (GHANDI, 2005).

### 3.1.2 Efluente de indústria cafeeira

Segundo Nunes (2012), o conhecimento das características das águas residuárias constitui o primeiro passo para o estudo preliminar, em que os tipos de tratamentos possíveis serão selecionados a partir dessas características. Assim, é possível reconhecer o potencial poluidor do efluente industrial, uma vez que o efluente é lançado nos corpos d'águas receptores.

Águas residuárias geradas no processamento de produtos de origem vegetal podem conter elevados conteúdos de material orgânico, além de minerais que estão no solo onde a cultura foi colhida, restos de animais e defensivos agrícolas (FRASSON, 2011). É possível que haja grandes variações nos efluentes industriais, até mesmo de indústrias de mesmo ramo de atividade, já que nem sempre as matérias-primas utilizadas são coincidentes (NUNES, 2012).

De acordo com Frasson (2011), o processo de industrialização do café solúvel gera efluentes com alta carga orgânica, como mostra a Tabela 1, uma vez que nessas indústrias são utilizados processos de higienização de tanques e linhas de extrato de café nos processos de extração, concentração e secagem. Além dos processos de lavagens de equipamentos spray dry e aglomeradores de pó.

**Tabela 1 - Composição média do efluente de café solúvel.**

<b>CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE</b>		
	<b>ENTRADA</b>	<b>SAÍDA</b>
<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	60	60
<b>DQO (mg/L)</b>	5700	128
<b>DBO (mg/L)</b>	2850	50
<b>pH</b>	11,5	6,2
<b>Temperatura (°C)</b>	38	Ambiente
<b>Materiais</b>	café e soda cáustica	Geração de lodo + borra: 50 TN/dia 76% umidade

**Fonte: Adaptado de Indústria de Café Solúvel – Norte do Paraná**

## 3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO

### 3.2.1 Coagulação

Originário do latim *coagulare*, o termo “coagulação” significa “manter-se junto”. Trata-se de um processo que descreve o efeito produzido pela adição de um produto químico sobre uma dispersão coloidal, o que resulta na desestabilização das partículas por meio da redução das forças que tendem a manter as mesmas separadas (BAUMANN, 1971).

Pavanelli (2001) define a coagulação como sendo a desestabilização da dispersão coloidal, alcançada através de forças de atração entre partículas por meio da adição de produtos coagulantes apropriados, seguidos por agitação para homogeneização da mistura.

De acordo com Qasim, Motley e Zhu (2000), a coagulação é conhecida como o condicionamento químico de colóides, envolvendo a adição de produtos químicos que visam modificar as propriedades desses colóides, de modo a aumentar a eficiência de remoção.

Brown, LeMay e Bursten (2005), caracterizam a remoção de repulsões eletrostáticas como coagulação, através da adição de eletrólitos que neutralizam as cargas superficiais das partículas, possibilitando que as mesmas se agrupem.

Segundo Feira (2010), a coagulação é o processo químico que tem função de desestabilizar partículas coloidais, o que ocorre devido a adição de um agente químico para geração de íons carregados positivamente na água, e que contêm colóides carregados negativamente, resultando em redução da repulsão existente entre essas partículas.

Através da junção de ações físicas e reações químicas, temos a desestabilização das partículas coloidais, suspensas e dissolvidas, que consiste na coagulação. Assim, entre a água, as impurezas e o coagulante usado, levam frações de segundos para haver a coagulação, e sua eficiência está relacionada ao desempenho das unidades posteriores, no caráter microbiológico do efluente, na redução de custo de metro cúbico de água tratada e na duração de carreiras de filtros (LIBÂNIO, 2010).

A mistura do coagulante e o efluente provoca a hidrólise, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando hidróxidos denominados gel, produzindo, na solução, íons positivos. Estes íons desestabilizarão as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, reduzindo o potencial zeta a ponto próximo de zero, denominado ponto isoelétrico, permitindo a aglomeração das partículas e, conseqüentemente, a formação dos flocos (NUNES, 2012, p.125).

Como afirmam Di Bernardo e Dantas (2005), partículas coloidais são substâncias húmicas e microrganismos que são carregados negativamente quando em água. Devido ao movimento browniano que mantêm as partículas em constante movimento, as mesmas se aproximam, atuando assim forças de atração (forças de Van der Waals) e forças de repulsão (força eletrostática ou dupla camada elétrica).

Borba (2001) assegura que os colóides possuem propriedades elétricas criadora de força repulsiva entre eles, assim impedem a aglomeração e conseqüentemente a sedimentação. Essas cargas superficiais originam um potencial eletrocinético mensurável, o potencial zeta que nada mais é do que a medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compactada desenvolvida ao redor da partícula e o meio líquido a qual está inserida.

Os mecanismos de coagulação podem ser entendidos a partir do conhecimento do potencial zeta, que segundo Silva (1999) “o potencial zeta é conhecido como uma lei fundamental da natureza, e a sua finalidade é controlar a

estabilidade dos colóides existentes na natureza”. Então, essa estabilidade é resultante da adsorção de íons, e o potencial zeta é a medida dessa adsorção.

A literatura apresenta quatro principais formas de desestabilização de partículas coloidais (PAVANELLI, 2001; DI BERNARDO, 1993; SANTOS et al., 2007; LIBÂNIO, 2010): a) compressão da camada difusa, b) adsorção e neutralização de cargas, c) varredura, d) adsorção e formação de pontes.

#### a) Compressão da Camada Difusa

O aumento da densidade de cargas na camada difusa, pela introdução de um eletrólito de carga contrária das partículas coloidais, causa um excesso de íons na camada difusa, fazendo com que se reduza o volume da esfera que a mantém eletricamente neutra. Quanto maior a carga do íon positivo, menor a quantidade requerida para a coagulação. Além disso, a quantidade de eletrólitos para conseguir a coagulação é praticamente independente da concentração de colóides na água e não é possível causar reversão de cargas dos colóides – reestabilização, independente da quantidade de eletrólitos adicionados.

#### b) Adsorção e Neutralização de Cargas

A desestabilização da dispersão coloidal consiste nas interações coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente. Para espécies hidrolisadas de alumínio e ferro ou polímeros sintéticos catiônicos, comumente ocorre a interação coagulante-colóide. Quando o tratamento dispõe de tecnologia de filtração direta, o mecanismo de adsorção-neutralização de carga é muito importante, já que as partículas desestabilizadas são retidas no meio filtrante.

#### c) Varredura

É um mecanismo corriqueiramente utilizado em tecnologias convencionais de tratamento, onde estão incluídas as etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração. Os flocos formados pelo mecanismo de varredura precisam ter densidade suficiente para que haja sedimentação nos decantadores. Dependendo da quantidade de coagulante, do pH da mistura e da concentração de

alguns íons na água, pode haver a formação de precipitados como  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (hidróxidos de alumínio ou ferro, respectivamente.).

#### d) Adsorção e Formação de Pontes

Mecanismo desenvolvido por intermédio da utilização de compostos orgânicos (polímeros) sintéticos ou naturais, reduzindo, assim, as dosagens de coagulantes, e devido o comportamento dos polímeros como coagulantes com base na adsorção à superfície das partículas coloidais, seguida pela redução de carga ou entrelaçamento das partículas nas cadeias do polímero.

Para Ritcher e Azevedo (2003), na coagulação, o agente coagulante é adicionado à água, reduzindo as forças que a mantêm as partículas em suspensão separadas. Na coagulação, a unidade de mistura rápida é quando ocorrem as interações entre o coagulante e a água, formando-se assim, espécies hidrolisadas. Di Bernardo e Dantas (2005) ressaltam que é necessária uma agitação intensa para que o processo de coagulação seja eficiente.

Os fatores principais que influenciam na coagulação são o pH e alcalinidade da água bruta, a natureza das partículas coloidais e o tamanho da partícula que causa turbidez, a uniformidade da dispersão dos produtos químicos e a adequação do coagulante ao efluente. Com menor destaque, também possuem influência na coagulação a concentração e a idade da solução de coagulante, a temperatura e, para o mecanismo de adsorção, o gradiente de velocidade e o tempo de agitação da mistura (LIBÂNIO et al., 1997).

Ainda segundo o autor, independente do mecanismo predominante, quando a coagulação se efetua com sais de alumínio ou ferro, o pH assume relevante papel na prevalência das espécies hidrolisadas do coagulante. Em relação à alcalinidade da água bruta, natural ou artificial, que indica a sua capacidade tampão, que minimiza a queda acentuada do pH de coagulação, tal fato adquire maior relevância quando o coagulante usado é o sulfato de alumínio, devido a um espectro de variação mais restrito do pH de coagulação para formação do hidróxido, se comparado ao cloreto férrico.



### 3.2.2 Floculação

Di Bernardo et al. (2002), caracteriza a floculação como a ação em que são fornecidas condições para as partículas, previamente desestabilizadas na etapa da coagulação, se agregarem para haver a formação de flocos com tamanho e densidade suficientes para remoção por outros processos físicos como a sedimentação.

Em função das forças de Van Der Waals na floculação ocorre a agregação das partículas em suspensão. Desde que o sistema possua energia, decorrente de agitação, a formação dos flocos pode ocorrer de forma espontânea pelos choques sucessivos entre as partículas. Deve se atentar para uma agitação muito intensa, que pode ocasionar a desagregação espontânea dos flocos formados (PAULA, 2004).

Para Magnan (2010) a floculação consiste em agregação de partículas que já foram desestabilizadas na coagulação através do choque entre elas, para formar os microflocos, que são partículas mais densas. O processo ocorre nas circunstâncias de agitação lenta. É importante que os gradientes de velocidade não ultrapassem a capacidade de cisalhamento das partículas.

Após haver a coagulação no tanque de mistura rápida, o efluente passará para a unidade subsequente de mistura lenta, cujo gradiente de velocidade deverá situar-se entre 20 e 80  $s^{-1}$ , objetivando fazer com que os coágulos, que são partículas desestabilizadas, tendam a formar agora partículas maiores denominadas flocos [...]. Além disso é importante salientar que, para haver formação de flocos perfeitamente grandes e com densidade suficiente para boa sedimentação, o tempo de agitação deverá ficar em torno de 30 minutos (NUNES, 2012, p.129).

Segundo Ayoub (1996), o fenômeno da floculação é afetado por diversas relações, tais como: tipo e concentração do coagulante, pH, alcalinidade, tipo de concentração de íons no meio líquido, o tipo de reator incluindo o grau de mistura e variação na escala e intensidade da turbulência. Então, sabe-se que o pH de floculação do meio líquido é relevante. Para uma floculação com alumínio, por exemplo, um pH entre 6 e 7 está numa variação eficaz, mas se for utilizado sais de

ferro como o cloreto férrico, estes fornecem uma variação muito mais ampla de pH para formação dos flocos (MCCONHACHIE et al., 1999).

A floculação pode ser de dois tipos: mecânica ou hidráulica. Na primeira são utilizados agitadores eletromecânicos e a floculação decorre de sucessivos choques mecânicos. Na floculação hidráulica são utilizadas chicanas, que garantem a energia de agitação, o líquido efetuando movimento e fluxo do tipo pistão, sinuoso horizontal ou vertical, e sua vantagem em relação ao floculador mecânico é não necessitar de equipamento eletromecânico não havendo consumo de energia elétrica (NUNES, 2012).

Segundo Folgosi (2013), em um gradiente de velocidade ideal, através do movimento do fluido, ocorrem choque entre as partículas coloidais e a dos produtos químicos, havendo contato umas com as outras e união, significando no aumento do tamanho físico do floco. Assim, mais facilitada fica sua remoção e eficiência do decantador e processos subsequentes. Para tanto, a variação do gradiente de velocidade deve ser de forma decrescente, da montante para a jusante, iniciando-se com uma agitação 'intensa' e finalizando com uma agitação mais lenta, para consolidação dos flocos.

Ainda de acordo com Folgosi (2013), a agitação mais intensa é caracterizada por maior número de Reynolds e menor tamanho de partículas. Essa variação no gradiente de velocidade é necessária pois os flocos maiores não resistem às forças de cisalhamento geradas pelo gradiente alto de velocidade. Então, deve ser feita gradativamente para a etapa posterior. Em tratamentos convencionais, o tempo de detenção hidráulico é em torno de 20 a 40 minutos.

### 3.2.3 Sedimentação

A sedimentação é definida como a separação de uma suspensão diluída devido à ação da força de gravidade, objetivando a obtenção de um fluido límpido e um resíduo com partes sólidas (RITTER, 2013, p.19). Segundo Di Bernardo et al. (2002), a sedimentação é uma operação seguinte à floculação e é definida como um fenômeno físico de separação de fases sendo sólido-líquido, com as partículas

apresentando um movimento descendente devido à ação da força de gravidade, propício a clarificação do meio líquido.

Para Barbosa (2011, p.37-39) a sedimentação é de caráter físico e aplicado para separação de flocos coesos, que possuem densidade superior à do meio líquido. O resultado dessa separação é a formação de dois efluentes caracterizados por um produto clarificado e um lodo adensado.

Ainda segundo Barbosa (2011), o tipo de sedimentação característica dos flocos formados a partir do processo de coagulação/floculação é a sedimentação floculenta (tipo II), caracterizada pelo aumento progressivo da velocidade de sedimentação do material suspenso, com as partículas interagindo entre si e aglomerando-se, assim aumentando a velocidade de sedimentação. As partículas então sofrem alterações em suas características como forma, tamanho e densidade com o tempo.

No tratamento de efluentes, a sedimentação pode ser usada no tratamento primário, para remoção de variedades de sólidos orgânicos e inorgânicos de pequenas dimensões presente no efluente bruto; no tratamento secundário para remoção de flocos biológicos formados, e remoção de flocos químicos, quando utilizados processos de coagulação (CASSINI, 2008).

Segundo Di Bernardi e Dantas (2005), os flocos apresentam uma velocidade de sedimentação dependente principalmente do tipo de efluente bruto tratado, de características químicas da coagulação e dos parâmetros físicos da floculação. Essa velocidade de sedimentação ainda é um entrave de se prever através de modelagem matemática, portanto, sendo realizados ensaios laboratoriais, na maioria das vezes em aparelhos jar-tests para se encontrar a dosagem apropriada de produtos químicos e valores de pH da coagulação, além das características físicas da mistura rápida e da floculação e sedimentabilidade dos flocos.

Schneider (1991) saliente que apesar do tipo de sedimentador variar conforme sua finalidade, de clarificação ou espessamento, ambos são semelhantes entre si. Porém, o sedimentador para espessamento possui estrutura mais robusta, já que lida com maior concentração de sólidos. Os equipamentos mais comuns de sedimentação são os retangulares e os circulares.

No sedimentador retangular, os sólidos sedimentados no fundo do equipamento são continuamente removidos por pás raspadoras de fundo

(raspagem), sendo que o efluente entra por uma extremidade do equipamento escoando através de seu comprimento até a extremidade oposta (CASSINI, 2008).

No sedimentador circular, a alimentação se dá pelo centro e o fluido escoar lentamente e radialmente na direção das paredes do equipamento, afim de que o tempo de deslocamento seja suficiente para total sedimentação das partículas sólidas. A configuração do sedimentador com fluxo radial faz a remoção das partículas sólidas do fundo do tanque por raspagem, essas partículas sólidas sendo enviadas ao coletor situado no centro da base do tanque, e o efluente clarificado coletado na parte superior do sedimentador (CASSINI, 2008).

Ainda há o sedimentador lamelar, também utilizado nos sistemas de tratamento de efluentes, que possui fluxo ascendente, permitindo assim, maior contato entre as partículas e proporcionando melhor segregação dos sólidos, o que torna possível uma menor área superficial (SCHNEIDER, 1991).

### 3.3 COAGULANTES

De acordo com Magnan (2010), a escolha do coagulante e sua aplicabilidade são fatores importantes para o tratamento de efluentes industriais. Os coagulantes mais empregados são os inorgânicos (sais de alumínio e ferro), havendo também a utilização dos coagulantes orgânicos com densidade de carga positiva chamados de polímeros catiônicos, podendo ser sintéticos ou naturais. Sua diferença está na reação hidrolítica com a água, sendo que nos polieletrólitos as cadeias polimerizadas são formadas quando adicionados no meio líquido.

Através de estudos, Ghebremichael (2004) testemunha que a utilização de coagulantes naturais não requer ajustes de pH e alcalinidade, não causam problemas de corrosão, além de ser uma alternativa barata. Há geração de pouco lodo, e este é biodegradável. Metcalf & Edy (2003) estabelece que coagulante é o produto adicionado para desestabilizar partículas coloidais, formando flocos.

Segundo Borba (2001), polieletrólitos são constituídos de complexos de grandes cadeias moleculares, que exibem sítios com cargas positivas ou negativas, com capacidade de adsorção de partículas ao seu redor. Por isso que quando a coagulação/floculação é realizada por eletrólitos, não existem reações de

neutralização entre o coagulante e a água para formar complexos gelatinosos, como ocorre com os coagulantes derivados de sais de alumínio e ferro. Portanto, a coagulação/floculação por eletrólitos praticamente independe da alcalinidade da água, podendo também ocorrer numa grande faixa de valores de pH entre 4,0 e 12,0.

### 3.3.1 Coagulantes químicos

São compostos, geralmente de ferro ou alumínio, que através da produção de hidróxidos gelatinosos, conseguem aglomerar as impurezas e produzir íons trivalentes de carga positiva que atraem e neutralizam as cargas negativas dos colóides (COVENTYA, 2014, p.3).

A desestabilização das partículas coloidais através do emprego de coagulantes faz com que o crescimento da partícula ocorra em consequência das colisões entre elas (METCALF & EDDY, 2003), por isso, a função do coagulante é reduzir as forças atrativas da suspensão coloidal para que a barreira de energia diminua e permita que as partículas se associem.

#### 3.3.1.1 Cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ )

Trata-se de um coagulante metálico e diferente dos coagulantes sintéticos ou naturais, possui reação eletrolítica com a água, e as cadeias polimerizadas são formadas quando adicionadas em meio líquido (MAGNAN, 2010, p.18). Segundo Pavanelli (2011), a reação a quente do ácido clorídrico concentrado com minério de ferro, a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), seguido de resfriamento e filtração proporciona a produção do cloreto férrico com alto índice de pureza e a concentração final do produto é em torno de 40% em peso de  $\text{FeCl}_3$ . Sua utilização reduz essencialmente a turbidez, cor, quantidade de sólidos suspensos, demanda bioquímica de oxigênio e elimina fosfatos.

A empresa Comércio e Indústria de Minérios Ltda. (CIMIL, 2010) informa que o cloreto férrico pode ser designado como Percloroeto de Ferro, Tricloroeto Férrico ou

Cloreto de Ferro (III). A hidrólise do cloreto férrico tem como formação, além do hidróxido de ferro, o ácido clorídrico (HCl). Estes possuem características irritantes e corrosivas, podendo ocasionar efeitos adversos à saúde humana, como a inalação de vapores irritantes aos olhos, nariz e garganta; o prolongado contato com os olhos ocasiona descoloração na conjuntiva e sua ingestão provoca irritação da boca e estômago, além de dores abdominais, vômito, diarreia, pulsação rápida e fraca e baixa da pressão sanguínea. Os sintomas aparecem aproximadamente entre 10 a 60 minutos após a ingestão e variam de acordo com a porcentagem de cloreto férrico ingerido ou em contato.

Segundo a mesma, o cloreto férrico pode trazer efeitos ambientais degradantes, estes de grande importância. Em contato com o ar e em altas temperaturas causa o lançamento de cloreto de hidrogênio e ácido clorídrico; na água causa desequilíbrio do pH, com consequências de alteração na fauna local, além de deixar a água com características ácidas, acrescidas de íons cloreto e ferro, que poderão ultrapassar os limites estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA N° 430 (2011); quanto ao solo, o mesmo tem efeito de alteração do pH, ocasionando a queima da flora local devido sua condição ácida. Apesar de não ser inflamável, pode-se destacar sua alta corrosividade e reação com substâncias alcalinas.

Os sais de ferro são comumente usados como coagulantes, no entanto têm a desvantagem de apresentar um difícil manuseio apesar de possuir um retorno econômico, demonstrando menores custos financeiros por metro cúbico de efluente tratado com base em dosagens ótimas (MAGNAN, 2010, p.3).

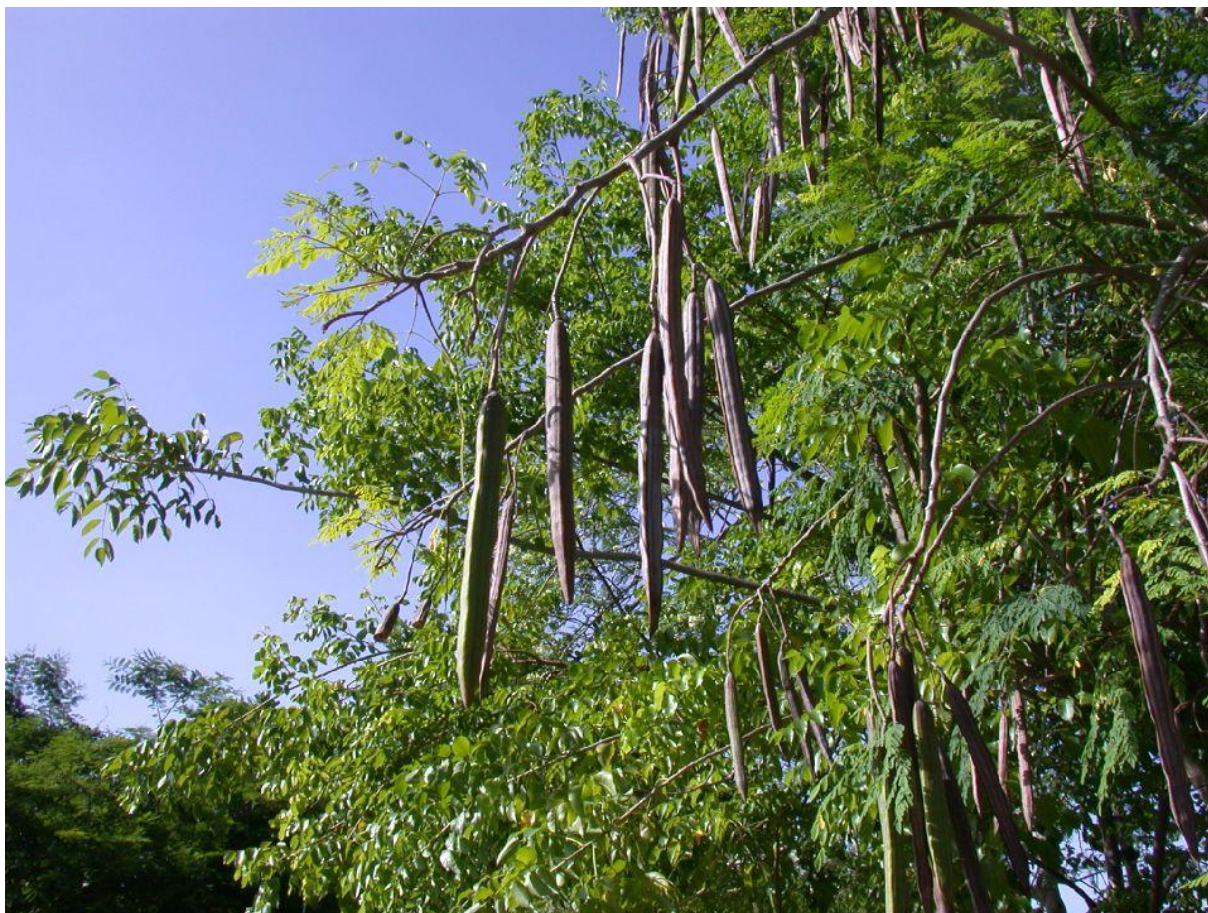
Através da hidrólise, o cloreto férrico libera calor por meio de uma reação exotérmica resultando em uma solução ácida e corrosiva que é utilizada como coagulante no tratamento de águas residuárias e na potabilização de água. É utilizado no acondicionamento de lamas orgânicas antes de serem desidratadas, como em filtros prensa e também em tratamentos terciários de águas residuárias, para eliminação de fósforo. Assim, é um coagulante químico utilizado na indústria para clarificar águas residuais (DEL CINCA, 1998).

### 3.3.2 Coagulantes naturais

Os coagulantes naturais atuam em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos (GRAHAM et al., 2008). Os coagulantes naturais tem funcionalidade semelhante a dos coagulantes químicos, porém, segundo Kawamura (1991) apresentam vantagem por serem biodegradáveis e não apresentarem toxicidade, além de formarem lodos em quantidades reduzidas se comparadas com os coagulantes químicos, e com menores teores de metais. Os coagulantes naturais mais comumente utilizados são o Tanfloc SG, a *Moringa oleífera*, além de estudos quanto à funcionalidade do *Abelmoschus esculentus*, ou como comumente conhecido quiabo.

#### 3.3.2.1 Moringa oleífera

A *Moringa oleífera* é um polímero natural que vem se destacando no tratamento de águas residuais, pois atua como agente clarificante pela presença de uma proteína catiônica que desestabiliza as partículas contidas na água em meio líquido. É pertencente à família Moringaceae, sendo composta de apenas um gênero *Moringa oleífera* e 14 espécies. Trata-se de uma árvore de pequeno porte, nativa do Norte da Índia, tolerante à seca e de crescimento rápido, além de se adaptar a uma ampla faixa de solos (Figura 2) (Cardoso et al., 2008).



**Figura 2 - Planta *Moringa oleífera*.**  
**Fonte: ideiaweb.org**

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

Além de sua utilização no tratamento de águas, a planta possui outras diversas aplicações, como fonte de alimentação e função medicinal, uso industrial para obtenção de óleo biodiesel e uso agrônômico (RANGEL, 1999).

Para Bongiovani et. al (2013), vários países estão adotando a implementação do uso de coagulantes naturais, sendo a *Moringa oleífera* um polímero de maior utilização e destaque. Sua utilização está atrelada a purificação da água, por um custo reduzido se comparado a um tratamento químico convencional, por isso sendo uma alternativa de alta relevância.



Segundo Jahn (1989), ao se isolar o produto coagulante presente nas sementes da *Moringa oleífera*, é identificável seis tipos de polipeptídios, formadores por unidades de aminoácidos. Sua ação coagulante é devido a esta fração presente de proteína catiônica com alto peso molecular, que causa desestabilização das partículas contidas na água e posterior coagulação dos colóides (NDABIGENGESERE et al., 1995).

De acordo com Rangel (1999), a quantidade necessária de semente varia conforme a quantidade de impureza contida nas águas residuárias. Quando a coagulação/floculação é realizada por polieletrólitos, não há reações de neutralização entre o coagulante e a água para formar complexos gelatinosos, como ocorre com os coagulantes derivados de sais de ferro (CARDOSO et al., 2008).

Para Borba (2001), esse fenômeno ocorre porque os polieletrólitos são constituídos de complexos de grandes cadeias moleculares, que apresentam sítios com cargas positivas ou negativas, com grande capacidade de adsorção de partículas ao seu redor. Assim, esse tipo de coagulação/floculação praticamente independe da alcalinidade da água, podendo ocorrer numa grande faixa de valores de pH, entre 4,0 e 12,0.

Estudos de toxicidade, mutagenicidade e carcinogenicidade foram conduzidos para determinar o potencial de risco associado com o uso da *Moringa oleífera* em tratamentos de água. Foi isolado um composto com efeito tóxico nos organismos testados; entretanto, em todos os estudos realizados, foi concluído que não havia evidência para sugerir que a toxina poderia ter um efeito agudo ou tóxico crônico ou carcinogênico em humanos, particularmente nas doses baixas requeridas para o tratamento de água (BERGER et al., 1984<sup>1</sup>; GRABOW et al., 1985<sup>2</sup> apud RANGEL, 1999).

Sutherland et al. (1994) realizou experimentos quanto a utilização da *Moringa oleífera* em tratamento de grandes volumes de água. Os mesmos foram conduzidos em um sistema de tratamento de Malawi, país da África Oriental, e

---

<sup>1</sup> BERGER, M. R.; et al. Toxicological assessment of seeds from *Moringa oleífera* and *Moringa stenopetala*, two highly efficient primary coagulants for domestic water treatment of tropical raw waters. **East African Medical Journal**, v.61, p.712 - 716, 1984.

<sup>2</sup> GRABOW, Westin O. K. et al. **Toxicity and mutagenicity evaluation of water coagulated with *Moringa oleífera* seed preparation using fish protozoan, bacterial coliphage, enzyme and salmonella assay.** 1985.

demonstraram que as sementes podem produzir uma água tratada de qualidade similar à produzida se utilizado coagulantes químicos, nesse caso o sulfato de alumínio. A solução da semente da *Moringa oleífera* tem mostrado eficácia como agente coagulante e na remoção de patógenos de águas brutas (SILVA et al., 2007, p.179).

Então, Arantes et al. (2012) relata que a *Moringa oleífera* é uma diversidade de planta que possui substâncias contribuintes para a melhoria da qualidade da água, tendo ação coagulante e agente de remoção de impurezas e microrganismo presentes em meio aquoso, destacando-se as proteínas que dela são extraídas.

### 3.3.2.2 Tanfloc SG

Vários são os estudos realizados na utilização de coagulantes poliméricos alternativos aos coagulantes químicos, estes empregados para potabilidade das águas, visando uma melhoria do processo e permitindo a redução de lodos gerados e ausência de metais no mesmo (MORAES, 2004). Segundo Castro-Silva et al. (2004), destaca-se entre os coagulantes poliméricos os compostos derivados de taninos vegetais, que têm mostrado eficientes tratamentos de efluentes e águas para consumo humano. Os taninos são caracterizados como moléculas fenólicas biodegradáveis capazes de formar complexos proteicos e outras macromoléculas e minerais, sendo eficiente na remoção de partículas presentes na água.

O coagulante Tanfloc SG é um tanino extraído da casca de vegetais como a Acácia Negra, espécie arbórea *Acacia mearnsii* De Wild (PEDROSO et al., 2012) e atua em sistemas coloidais neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação dos flocos e consequente sedimentação. É caracterizado como um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular, apresentando coloração escura e elevada viscosidade (TANAC, 2013). Possui origem essencialmente vegetal e se mostra competitiva com os tradicionais produtos empregados no tratamento de águas, por ser completamente biodegradável, permitindo sua total digestão nas etapas biológicas do processo, e por apresentar ação efetiva sobre variados tipos de água, assim como diversos tipos de efluentes industriais (CORAL et al., 2009).

O tanino possui propriedades que não alteram o pH da água tratada, já que não consome a alcalinidade do meio, sendo efetivo em uma ampla faixa de pH de 4,5 – 8,0 (MARTINEZ, 1996; MARTINEZ et al.,1997). O Brasil é o país com maior concentração de árvores tanantes do mundo, segundo Silva (1999) e, apesar disso, ainda há um déficit das empresas que o utilizam na fabricação de produtos voltados ao tratamento de água residual.

As vantagens do uso de taninos vegetais como o Tanfloc SG decaem sobre as propriedades de adsorção dos metais dissolvidos na água, aglutinando-os por precipitação no meio, permitindo, dessa forma, sua remoção. Além disso, permite a eliminação ou redução da toxidez existente na água oriunda de fontes contendo cianofíceas ou bactérias clorofiladas, por exemplo. Também, o fato de serem moléculas biodegradáveis faz com que sejam destruídas no próprio tratamento, não persistindo na água tratada ou no lodo gerado (SILVA, 1999).

Segundo Silva et al. (2004), a utilização de biopolímeros da extração de vegetais no processo de coagulação apresenta vantagens em comparação aos sais químicos, tais como: a natureza da alcalinidade da água não é consumida durante o processo de tratamento; o lodo gerado após o tratamento apresenta menor volume e com menor concentração de metais pesados em comparação ao lodo gerado proveniente da utilização de constituintes químicos, e os biopolímeros podem ser provenientes de plantas locais e fácil processamento.

Castro-Silva et al. (2004) destaca que apesar de benéfica, a fácil biodegradabilidade pode beneficiar o crescimento excessivo de microrganismos presentes na estação de tratamento. Apesar de ser um estímulo útil em sistemas de tratamento, o crescimento da flora microbiana pode ocasionar em manutenções mais frequentes e elevação do custo do tratamento, devido à colmatação dos diferentes compartimentos da estação. Assim, o uso de coagulantes orgânicos deve ser utilizado levando-se em consideração a identificação e controle de microrganismo presentes na estação.

### 3.3.2.3 *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench

O quiabo, ou nome científico *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench, é datado desde 1216 a.C. Seus frutos são usados como legumes, tendo sua cultura se

espalhado por diversos países tropicais em diversos continentes, tendo como principais produtores a Índia, os Estados Unidos e o Egito, com algumas milhões de toneladas (Camciuc e Gaset, 1997). É uma hortaliça anual, amplamente cultivada nos trópicos e subtropicais, sendo os frutos imaturos consumidos como salada, refogado, cozido ou assado.

As sementes maduras são ricas em óleo e proteína e as partes utilizadas são as folhas e frutos. Por ser uma hortaliça de clima quente, é adaptada ao clima tropical brasileiro. Conforme o formato dos frutos é dividido em cilíndricos ou quinados, sendo a parte externa dos frutos cilíndrica lisa e nos quinados compostas por saliências; podem ser de coloração verde, roxo ou amarelo (LIMA, 2007).

Ainda segundo Lima (2007), o quiabo é um fruto que maduro, é estável e apropriado para utilização em tratamentos de água e efluentes, por ser um polímero catiônico. Assim, vem a ser um auxiliar na coagulação/floculação, por possuir propriedades para tornar os flocos mais densos, maiores e mais resistentes às forças que provocam ruptura.

Pode-se utilizar o quiabo na forma de mucilagem extraída da vagem (baba de quiabo) ou como solução feita a partir do pó seco da vagem pulverizada. Quando moído, é feita uma solução através desse pó, dosada conjuntamente com os outros coagulantes primários ou secundários, de forma a melhorar a eficiência de coagulação e interferindo positivamente nas etapas posteriores desse tratamento – sedimentação ou flotação, filtração e desinfecção (NOGUEIRA et al., 2010).

Como polímero natural, seu desempenho e possibilidade de utilização é elevado, já que na comercialização deste vegetal, é rejeitado o fruto maduro pelos consumidores, o sendo assim utilizável no tratamento de efluentes (LIMA, 2007).

No tratamento de águas e efluentes, o uso do quiabo é de caráter coadjuvante da coagulação química e possui apelo ambiental, especialmente quando associado ao uso de material renovável, com baixo potencial de toxidez e potencialmente sustentável através da agricultura familiar. É eficiente em situações para remoção de microrganismos patogênicos e redução de possíveis contaminações bacterianas, agregando eficiência aos processos de sedimentação ou flotação e da filtração (LIMA, 2007). Para Ritter (2013), através da utilização do quiabo, foram encontrados resultados eficazes na redução de cor e turbidez.

Segundo testes feitos nos laboratórios da Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso (SOUZA e LIMA, 1993), o quiabo pode ser empregado na

reabilitação de estações de tratamento que operam com sobrecarga de vazão e na economia de coagulante primário. Tem sido aplicado como auxiliar de coagulação/floculação desde 1993 nesses testes laboratoriais.

Obtida das sementes do quiabo, sua mucilagem possui composição idêntica a de um polissacarídeo aniônico, designado como um polímero natural de caráter floculante e virtualmente biodegradável. Não possui toxicidade e sendo estável, tende a ser intensivamente usado no tratamento de águas de abastecimento, e esgoto doméstico, de acordo com Agarwal (2001 e 2003).

### 3.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A legislação brasileira, de acordo com a Resolução N° 430/2011 do CONAMA dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução N° 357/2005 do CONAMA, o qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Devido a isso, para cumprimento da legislação vigente é necessário tratar os efluentes, enquadrando os mesmos nos padrões previstos.

As águas residuárias, após tratamento e lançamento nos corpos d'águas receptores, devem atender aos limites máximos ou mínimos da Resolução N° 430/2011 do CONAMA, que estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados no corpo receptor se obedecidas às condições e padrões (resguardadas outras exigências cabíveis), de acordo com a Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

Tabela 2 - Condições de lançamento de efluentes.

Condições de lançamento de efluentes	
Potencial Hidrogeniônico (pH)	entre 5 e 9
Temperatura	inferior a 40°C
Materias sedimentáveis	até 1 mL/L
Regime de lançamento	vazão máxima de 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor
Óleos e graxas	óleos minerais: até 20 mg/L
	óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L
Materiais flutuantes	Ausente
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	remoção mínima de 60%

Fonte: Adaptado de CONAMA 430 (2011).

Tabela 3 - Padrões de lançamento de efluentes

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (não se aplica a lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr <sup>+6</sup>
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr <sup>+3</sup>
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L

**(continuação)**

<b>Parâmetros inorgânicos</b>	<b>Valores máximos</b>
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

**Fonte: CONAMA 430 (2011).**

No Paraná, temos ainda o Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA N° 70/2009 (com as alterações da Resolução CEMA N° 72/2009) que dispõe sobre o licenciamento ambiental e estabelece condições e critérios, além de outras providências, para empreendimentos industriais. Em seu Anexo 7 estão as Condições e Padrões de Lançamentos de Efluentes Líquidos Industriais, detalhadas na Tabela 4.

**Tabela 4 - Padrões para o lançamento de efluentes líquidos em corpos receptores.**

<b>OUTRAS ATIVIDADES</b>	
DBO <sub>5</sub>	50 mg/L
DQO	200 mg/L
Toxicidade aguda	FTd para <i>Daphnia magna</i> : 8
	FTbl para <i>Vibrio fischeri</i> : 8

Outros parâmetros de acordo com a atividade

OBS.: Os limites estabelecidos para os parâmetros DBO<sub>5</sub> e DQO poderão ser alterados a critério do IAP e de acordo com as características da atividade

**Fonte: CEMA 70 (Anexo 7).**

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 LOCAL DA COLETA

O efluente requerido para a parte experimental do estudo advém da ETE de uma empresa de café solúvel, localizada em Cornélio Procópio, município brasileiro do Estado do Paraná, o qual faz parte do Norte Pioneiro paranaense (Figura 3).



**Figura 3 - Localização de Cornélio Procópio no Brasil e Paraná.**

**Fonte:** <http://noticias.bol.uol.com.br/brasil>

O efluente foi captado na saída do decantador secundário da estação de tratamento e anterior a etapa de clarificação, pois no processo de tratamento de efluente da empresa esta é a operação unitária onde é adicionado o coagulante. O local de coleta está ilustrado na Figura 4, demonstrado pela linha vermelha.



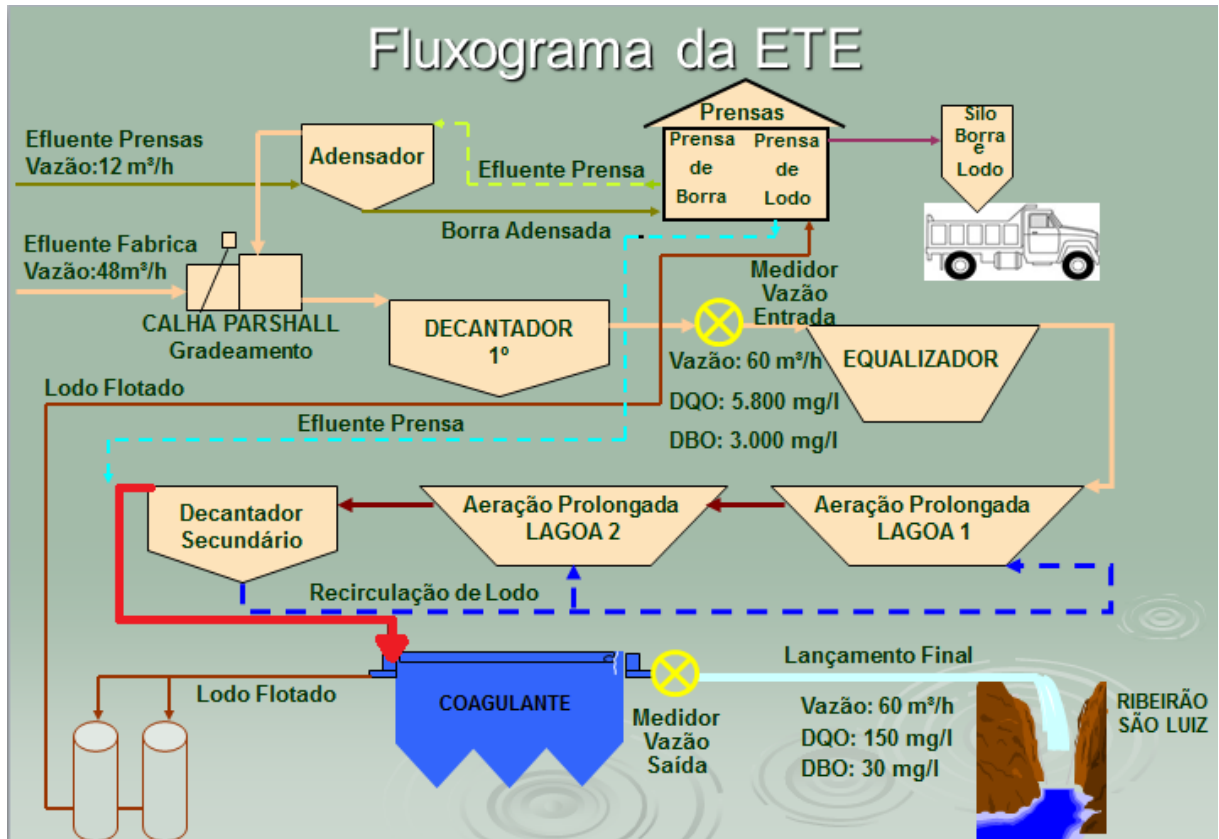


Figura 4 - Fluxograma da Estação de Tratamento de Efluentes.  
 Fonte: Adaptado de Indústria de Café Solúvel – Norte do Paraná.

Foram coletados, aproximadamente, 100 litros de efluente, o qual foi armazenado em recipientes de polietileno (bombonas) com capacidade para 30 L e 10 L, preservado em refrigeração.

#### 4.2 LOCAL DO ENSAIO

O ensaio foi realizado no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina (Figura 5). Suas coordenadas geográficas são latitude 23°18'2854''S e longitude 51°06'5066''O.



Figura 5 - Câmpus da UTFPR/Londrina e laboratório de saneamento.  
Fonte: (A) Adaptado de <http://www.jornaldelondrina.com.br>  
(B) Autoria Própria.

## 4.3 ETAPAS DE EXPERIMENTO

### 4.3.1 Pré-Ensaio

O pré-ensaio foi realizado para todos os coagulantes envolvidos, tanto os naturais (*Moringa oleífera*, Tanfloc SG e QCF) como para o químico (cloreto férrico).

Foi necessária a execução de um pré-ensaio para quantificar as soluções limites de concentrações de coagulantes necessárias na análise. Foram utilizadas diferentes concentrações dos coagulantes em um béquer contendo o efluente e assim verificadas o momento da coagulação para as concentrações em teste (Figura 6).



**Figura 6 - Pré-ensaio com Tanfloc SG: solução e efeito coagulação/floculação.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Assim, as concentrações que obtiveram melhor eficiência com certo grau de coagulação/floculação foram utilizadas posteriormente (Tabela 5).

**Tabela 5 - Concentrações máxima e mínima das soluções de coagulantes.**

Coagulante	Concentração (mg/L)	
	mínima	máxima
<i>Moringa oleífera</i>	1300	1800
Tanfloc SG	80	800
QCF + Cloreto férrico	400	900
Cloreto férrico	100	300

**Fonte: Autoria própria.**

Já para determinação da concentração ideal bem como as concentrações intermediárias, foram definidas através do método do DCCR para complementação

do ensaio. Portanto, nessa etapa têm-se cinco diferentes concentrações para cada categoria de coagulante.

#### 4.3.2 Preparo das soluções de coagulantes

##### 4.3.2.1 Preparo da solução salina do coagulante da *Moringa oleífera*

Através da utilização de solução salina de NaCl na concentração de 1 M, foi feita a extração dos componentes ativos do coagulante natural. Para tanto, foram triturados 50 g da semente da *Moringa oleífera*, juntamente com 1 litro de solução salina (água destilada + NaCl 1 M) em um liquidificador. Após, foi feita a filtração da solução em coador de pano (Figura 7).



Figura 7 - NaCl 1M, sementes de *Moringa oleífera* e solução salina.

Fonte: (A) Autoria Própria.

(B) Autoria Própria.

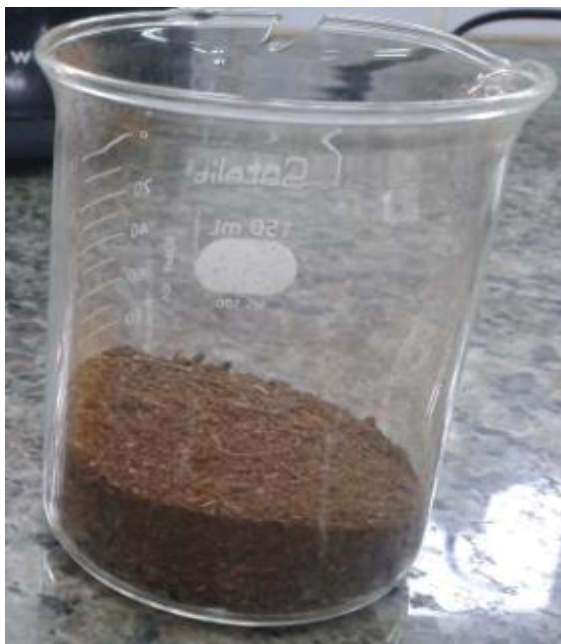
#### 4.3.2.2 Preparo das soluções de Tanfloc SG, QCF e cloreto férrico

Para o coagulante natural Tanfloc SG, pesou-se 100 g do mesmo e diluiu-se em um béquer de 250 mL com 100 mL de água destilada. Após isso, essa solução foi transferida para um balão volumétrico de 1000 mL e completada com água destilada até sua marca d'água.

O coagulante natural quiabo foi utilizado como auxiliar de coagulação juntamente com o cloreto férrico. Para o quiabo, o mesmo ficou 24 horas em estufa 105°C para desidratação, segundo adaptação da metodologia de Assis (2011). Esta faz o indicativo de que o aumento na temperatura é inversamente proporcional ao tempo necessário para o quiabo perder toda sua umidade. Em seguida foi triturado em liquidificador (Figuras 8 e 9).



**Figura 8 - Quiabo após 24 horas em estufa 105°C.  
Fonte: Autoria Própria.**



**Figura 9 - Quiabo triturado em 'pó'.  
Fonte: Autoria Própria.**

Assim, 25 g do quiabo triturado foi misturado com solução de cloreto férrico (1 L de água destilada + 25 g de cloreto férrico) sendo batido em liquidificador logo em seguida. Após isso, a solução foi coada em coador de pano.

O coagulante químico cloreto férrico também foi testado sem o auxílio do QCF para atingir o processo de coagulação, e para isso foi pesado 100 g do mesmo e acrescido 1 L de água destilada, havendo mistura em liquidificador.

#### 4.3.3 Ensaio Jar Test

Para os ensaios de variações de dosagens de coagulantes, estes foram realizados em escala de laboratório através do uso do equipamento jar test Nova Ética - Modelo 218 LDB (Figura 10). Este aparelho possui seis jarros, contendo 2 litros cada prova, além do controle digital da velocidade de agitação das pás.



**Figura 10 - Equipamento Jar-test.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Adicionando a concentração definida no pré-ensaio ao volume de efluente contido no jarro do equipamento, para se atingir os efeitos esperados, adotamos uma agitação inicial intensa, equivalente a 1 minuto com gradiente de velocidade de  $130 \text{ s}^{-1}$  o que propicia uma mistura rápida entre os reagentes para que se abrevie o início de formação dos flocos. Logo a seguir, a velocidade deve ser lenta para boa constituição dos flocos e agregação das impurezas. Nessa etapa, tem-se a redução da velocidade para  $15 \text{ s}^{-1}$  com duração de 10 minutos, adaptando a metodologia de Theodoro (2012).

Ao final, o equipamento é desligado e é iniciado o processo de sedimentação. A partir daí a coleta do material foi realizada no tempo total de 40 minutos com os intervalos de coleta determinados através do método do DCCR.

Com o término dos ensaios e análises laboratoriais de cor aparente, DQO, condutividade e pH, foi realizada a análise de variância gerando a ANOVA para as variáveis respostas e feitas curvas de superfície para avaliar os parâmetros utilizados e eficiências de remoção dos parâmetros.

#### 4.4 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

A metodologia analítica para determinação dos parâmetros químicos e físicos (Tabela 6) devem atender as especificações contidas no Standard Methods of Examination and Water and Wastewater (APHA, 2012).

**Tabela 6 - Parâmetros e seus métodos de análise.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Equipamento (modelo)</b>	<b>Metodologia</b>
Potencial hidrogeniônico (pH)	pHmetro de bancada Tecnopon mPA 210	4500-H+ B
Cor aparente	Espectofotômetro Hach 4000	2120 C
Demanda química de oxigênio	Bancada	5220 A
Série de sólidos	Bancada	2540 A
Condutividade elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 A

**Fonte: APHA (2012).**

#### 4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises dos dados foram realizadas por meio do programa Statistica, os quais foram obtidos por meio do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), cujo resultado nos fornece uma análise comparativa dos dados e uso de análise de gráficos de superfície. Além disso, este procedimento reduz o número de experiências ou repetições e melhora a qualidade da informação obtida pelos resultados.

Foram consideradas como variáveis independentes a Concentração (mg/L) e o Tempo de sedimentação (min), considerando o esquema fatorial  $2^2$ , incluindo 4 ensaios nas condições axiais e 3 repetições no ponto central de acordo com Rodrigues e Lemma (2009), que totalizaram 11 ensaios para cada coagulante. A Tabela 7 mostra a organização dos ensaios nas concentrações definidas para cada coagulante na forma codificada e com os valores reais.



Tabela 7 - Matriz do delineamento.

Ensaio	Valores Codificados		Valores Reais				Tempo de coleta (min)
	Concentração	Tempo de coleta	Concentração (mg/L)				
			Moringa	Tanfloc SG	QCF	Cloreto férrico	
1	-1	-1	1372,7	184,7	472,7	129,1	8,38
2	1	-1	1727,3	695,3	827,3	270,9	8,38
3	-1	1	1372,7	184,7	472,7	129,1	34,62
4	1	1	1727,3	695,3	827,3	270,9	34,62
5	-1,41	0	1300	80	400	100	21,5
6	1,41	0	1800	800	900	300	21,5
7	0	-1,41	1550	440	650	200	3
8	0	1,41	1550	440	650	200	40
9	0	0	1550	440	650	200	21,5
10	0	0	1550	440	650	200	21,5
11	0	0	1550	440	650	200	21,5

Fonte: Autoria própria.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para efeitos de comparação e determinação da porcentagem de remoção dos coagulantes utilizados, foi feita a caracterização do efluente bruto (Tabela 8) e os dados dos resultados obtidos pelas análises de todos os coagulantes se encontram no Apêndice A.

**Tabela 8 – Características do efluente bruto coletado.**

PARÂMETROS	VALOR
pH	7,76
Cor (mg/L)	4690
Condutividade (mS/cm)	3,06
DQO (mg/L)	1488,5
Sólidos Totais (mg/L)	5600
Sólidos Fixos (mg/L)	1650
Sólidos Voláteis (mg/L)	3950

**Fonte: Autoria própria.**

Foi realizada a análise estatística dos dados obtidos pelos quatro tipos de coagulantes utilizados – cloreto férrico, *Moringa oleífera*, Tanfloc SG e QCF, através dos efeitos das variáveis independentes – concentração e tempo, para as variáveis respostas cor aparente, condutividade elétrica, DQO e pH. Admitiu-se um nível de significância de 10%, ou seja, um p-valor < 0,10, pois se trata de um processo da área de saneamento.

O modelo matemático foi gerado através dos coeficientes de regressão das variáveis significativas, ressaltando-se que estão representados de forma codificada e que ao eliminar os coeficientes não significativos, o modelo é reajustado e há pequenas alterações nos valores dos coeficientes.

Para avaliar se o modelo matemático ajustado é significativo foi utilizado o teste F, obtido por meio da análise de variância (ANOVA), considerando-se um nível de 90% de significância.

## 5.1 Eficiência de remoção de cor aparente

### 5.1.1 *Moringa oleífera*

Para as diferentes concentrações de *Moringa oleífera* utilizadas, a que obteve maior eficiência de remoção de cor foi a concentração mínima de 1372,7 mg/L e tempo de sedimentação de aproximadamente 9 minutos. Isso significa 27,5% de eficiência de remoção de cor neste caso.

Comparando com a mesma concentração mínima, porém com tempo de sedimentação maior, houve apenas 7,9% de eficiência de remoção de cor. Para a concentração máxima de 1800 mg/L também obteve-se uma porcentagem de eficiência de remoção de cor próxima de 25,6%, porém com tempo de sedimentação médio de 21 minutos (Figura 11).

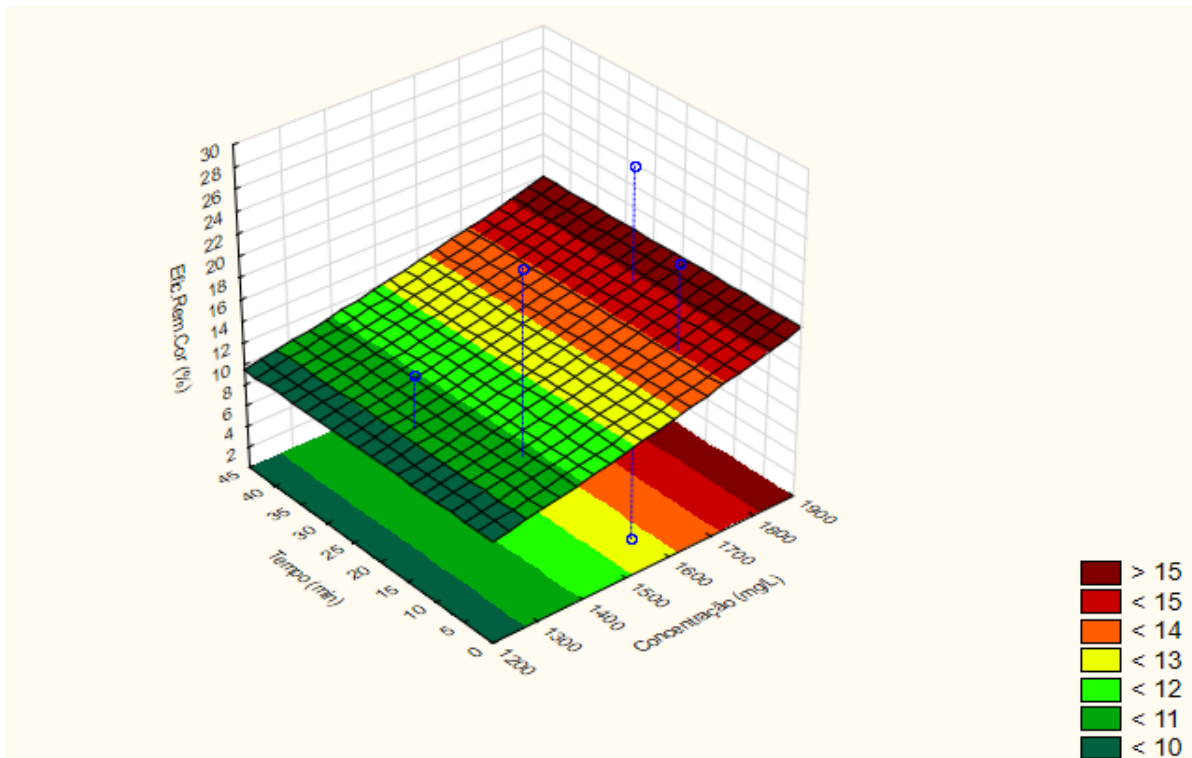


Figura 11 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados para a *Moringa oleífera*.

As baixas porcentagens de eficiência de remoção deste parâmetro podem estar relacionadas a grande quantidade de matéria orgânica que contém o efluente, além de, o extrato da *Moringa oleífera* ser rico em matéria orgânica que pode interferir no processo de coagulação/floculação, aumentando a carga orgânica. A matéria orgânica em excesso pode ser considerada uma fonte de cor (OKUDA et al., 2001).

Na legislação CONAMA 357/05, que faz o enquadramento dos corpos hídricos, tem-se que para o corpo receptor enquadrado na Classe II não é permitido a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais; o mesmo não estabelece um valor para a cor aparente para o lançamento desse efluente tratado no rio. Pelo CONAMA 430/11 os efluentes não podem conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias do seu enquadramento.

Para o modelo estatístico, a variável significativa foi a Concentração quadrática, pois p-valor < 0,10, e a variável resposta não foi influenciada pelas demais variáveis Concentração linear, Tempo linear e quadrático a interação Concentração e Tempo (Figura 12).

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90,% Cnf.Limt	+90,% Cnf.Limt
<b>Mean/Interc.</b>	<b>7,79871</b>	4,337378	1,79802	0,132093	-0,9413	16,53874	7,79871	4,337378	-0,94132	16,53874
(1)Concentração (mg/L)(L)	2,57111	5,320089	0,48328	0,649314	-8,1491	13,29135	1,28556	2,660044	-4,07456	6,64567
Concentração (mg/L)(Q)	<b>15,12019</b>	<b>6,348114</b>	<b>2,38184</b>	<b>0,063021</b>	<b>2,3284</b>	<b>27,91195</b>	<b>7,56009</b>	<b>3,174057</b>	<b>1,16422</b>	<b>13,95597</b>
(2)Tempo (min)(L)	-7,35041	5,320048	-1,38164	0,225629	-18,0706	3,36975	-3,67520	2,660024	-9,03528	1,68487
Tempo (min)(Q)	-2,46749	6,347956	-0,38871	0,713495	-15,2589	10,32395	-1,23374	3,173978	-7,62946	5,16198
1L by 2L	3,30490	7,512647	0,43991	0,678366	-11,8334	18,44325	1,65245	3,756323	-5,91672	9,22163

**Figura 12 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) para a *Moringa oleífera*.**

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

Foi realizado um novo ajuste, excluindo-se os parâmetros menos significativos, mas mesmo assim os coeficientes restantes não foram considerados significativos. A Figura 13 mostra em ordem decrescente da interferência das variáveis no modelo.

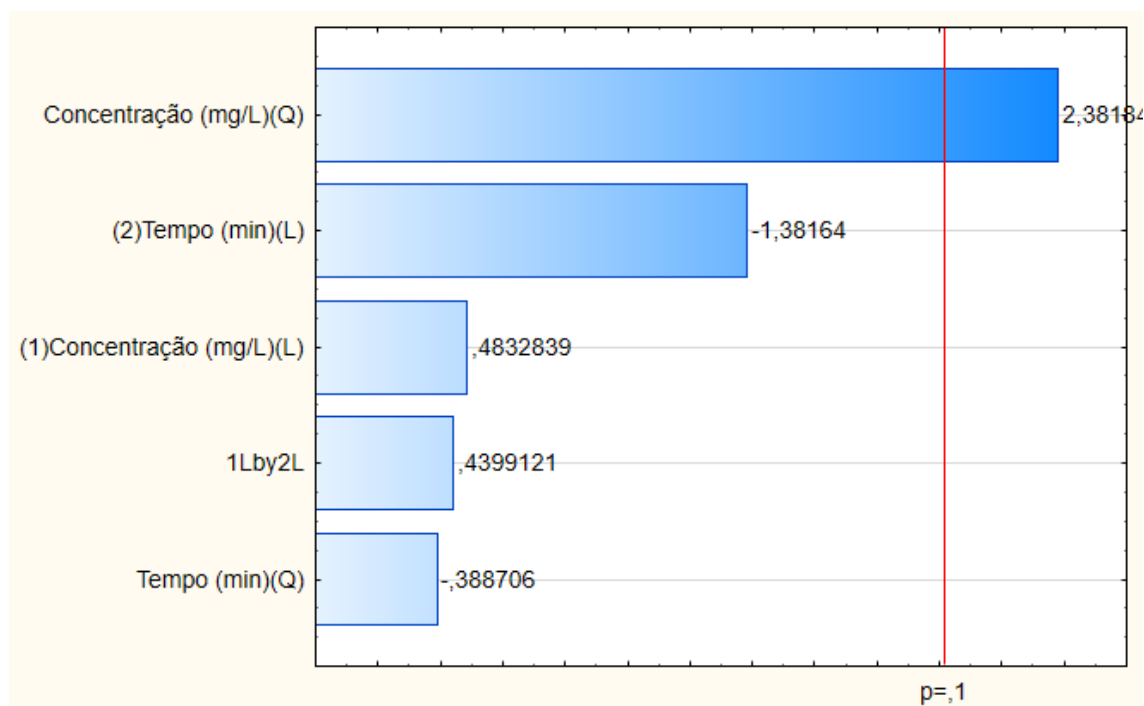


Figura 13 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) para a *Moringa oleífera*.

O modelo matemático gerado através dos coeficientes de regressão dos fatores significativos é representada pela Equação (1), de forma codificada, em que  $C_1^2$  representa a Concentração quadrática.

$$\text{Efic. Rem. Cor} = 6,64337 + 15,83924C_1^2 \quad (1)$$

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para a remoção de cor foi avaliado pelo teste de análise de variância (ANOVA) ao nível de 10% de significância, mostrado na Tabela 9. Esta demonstrou que o modelo matemático não foi significativo, pois o  $F_{\text{calculado}}$  é menor do que  $F_{\text{tabelado}}$ .

Tabela 9 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos para a *Moringa oleífera*.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	1	21,2227	21,22267023	0,243216461	3,36
Resíduo	9	785,3253	87,25836304		
Total	10	806,5479			

Para a Equação (2), temos um  $R^2$  ajustado de 0,47607, assim o modelo explica, aproximadamente, 48% da variação em relação a variável resposta, ajustando-se de forma moderada aos dados experimentais.

Na Tabela 10 temos os dados dos valores experimentais e valores previstos pelo modelo, assim como os erros de ajuste e erros relativos preditos para a eficiência de remoção de cor.

**Tabela 10 - Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios para a *Moringa oleífera*.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
27,5053	10,7826	16,7227	0,6080
21,9616	14,0408	7,9208	0,3607
7,8891	10,7826	-2,8935	-0,3668
8,9552	14,0408	-5,0856	-0,5679
15,1386	10,2067	4,9319	0,3258
25,5864	14,8009	10,7854	0,4215
1,7058	12,3186	-10,6128	-6,2218
4,0512	12,3186	-8,2674	-2,0407
4,2644	12,3186	-8,0542	-1,8887
11,5139	12,3186	-0,8047	-0,0699
7,6759	12,3186	-4,6427	-0,6048

### 5.1.2 Tanfloc SG

O coagulante natural Tanfloc SG apresentou porcentagens de remoção que variaram de 18 e 52%, sendo o maior índice de eficiência em 51,5% para a concentração de aproximadamente 453 mg/L e 36 minutos. A cor aparente para a maior eficiência foi de 2320 PtCo mg/L, sabendo que a do efluente bruto foi de 4690 PtCo mg/L. O efluente da indústria de café solúvel possui uma cor semelhante a do café e com alta carga orgânica.

A Figura 14 mostra que a remoção da cor é influenciada pela interação da concentração de coagulante usada e o tempo de sedimentação.

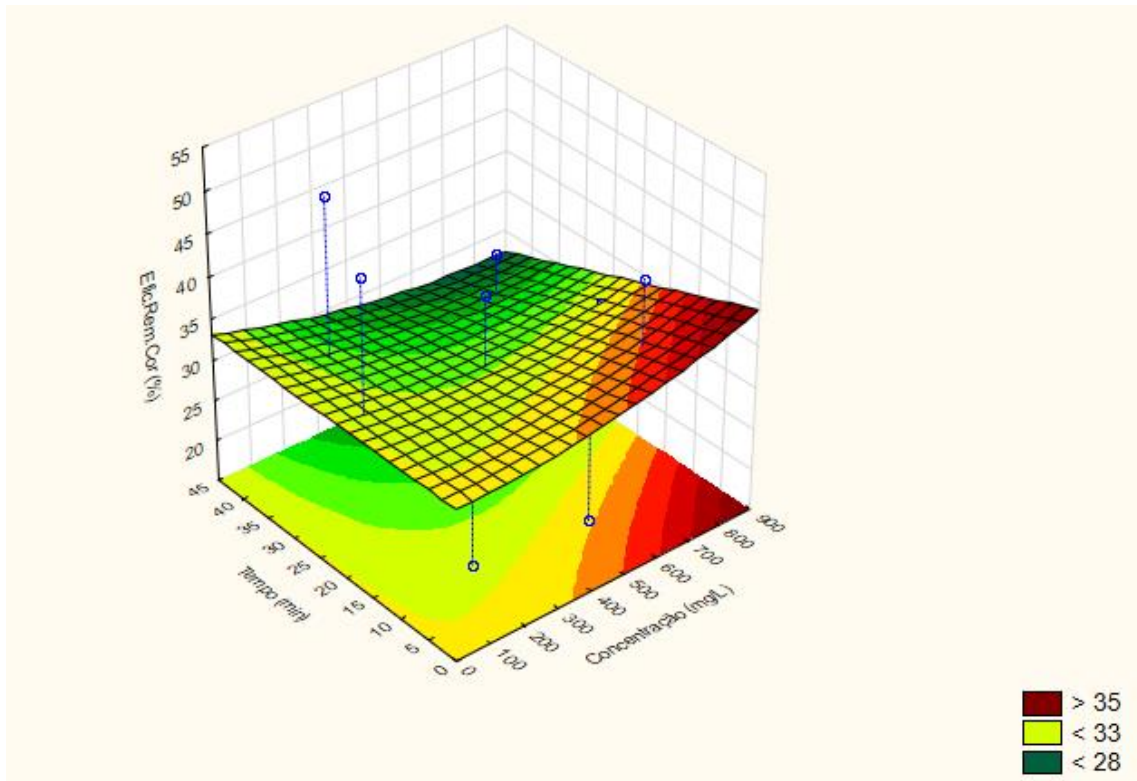


Figura 14 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados para o Tanfloc SG.

Como já citado, não há na legislação vigente um valor de cor aparente necessário para o lançamento do efluente nos corpos hídricos, apenas que esse lançamento não altere o enquadramento do corpo hídrico.

Por meio dos dados experimentais, foi feita a análise estatística, com os efeitos das variáveis independentes Concentração e Tempo para a variável resposta eficiência de remoção cor. Pela Figura 15, temos que nenhuma variável foi significativa. Porém, a interação Concentração e Tempo ficou bem próxima do p-valor  $< 0,10$ , com valor de 0,102445 e a Concentração quadrática com p-valor 0,126322.

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.	28,1917	5,79697	4,86317	0,004620	16,5105	39,87284	28,1917	5,796975	16,5105	39,87284
(1)Concentração (mg/L)(L)	-3,3331	7,11022	-0,46878	0,658956	-17,6605	10,99431	-1,6666	3,555108	-8,8303	5,49716
Concentração (mg/L)(Q)	15,5485	8,48376	1,83274	0,126322	-1,5467	32,64370	7,7743	4,241879	-0,7733	16,32185
(2)Tempo (min)(L)	5,2339	7,11033	0,73609	0,494736	-9,0938	19,56152	2,6169	3,555164	-4,5469	9,78076
Tempo (min)(Q)	-4,6112	8,48420	-0,54350	0,610131	-21,7072	12,48491	-2,3056	4,242100	-10,8536	6,24246
1L by 2L	-20,0426	10,04077	-1,99613	0,102445	-40,2753	0,18999	-10,0213	5,020385	-20,1376	0,09500

Figura 15 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) para o Tanfloc SG.

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

Pelo gráfico de Pareto (Figura 16), é possível visualizar com maior clareza a influência das variáveis em ordem decrescente.

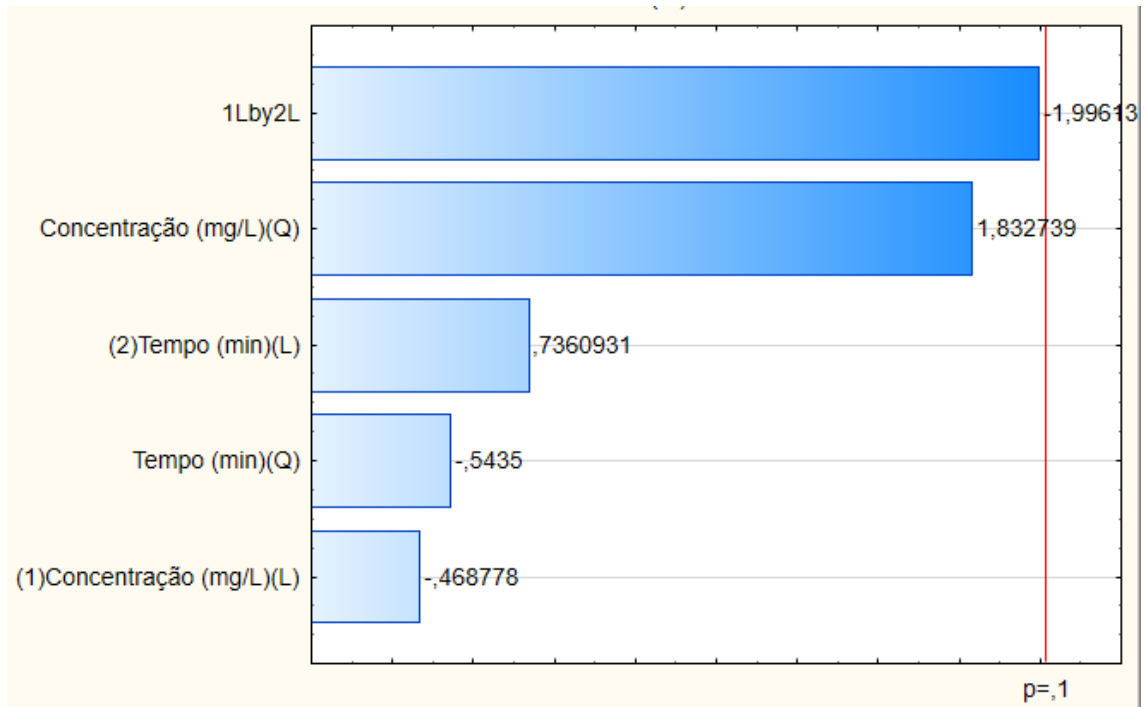


Figura 16 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção cor (%) para o QCF.

Na Equação (2) é apresentado o modelo matemático, gerado a partir dos coeficientes significativos, em que  $C_1^2$  representa a Concentração quadrática e CT a Interação Concentração e Tempo.

$$\text{Efic.Rem.Cor} = 26,0326 + 16,8923C_1^2 - 20,0426CT \quad (2)$$

Através da análise estatística, nota-se que o modelo matemático não é considerado significativo, ao nível de significância de 10%, pois o  $F_{\text{calculado}}$  é menor do que o  $F_{\text{tabelado}}$  (Tabela 11).

Tabela 11 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos para o Tanfloc SG.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	2	28,4106	14,20530411	0,079988263	3,11
Resíduo	8	1420,7388	177,5923561		
Total	10	1449,1495			



O modelo de regressão quadrático forneceu um  $R^2$  de 0,47327, ou seja, o modelo ajusta-se moderadamente aos dados, pois explica apenas 47% da variação da variável resposta.

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 são demonstrados pela Tabela 12.

**Tabela 12 - Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios para o Tanfloc SG.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
18,5501	32,9025	-14,3524	-0,7737
43,0704	35,0773	7,9931	0,1856
50,5330	31,4789	19,0541	0,3771
34,9680	29,7181	5,2499	0,1501
48,4009	32,6403	15,7606	0,3256
32,6226	32,9321	-0,3095	-0,0095
21,5352	34,1875	-12,6523	-0,5875
19,4030	29,4054	-10,0024	-0,5155
21,3220	31,7964	-10,4745	-0,4913
40,0853	31,7964	8,2889	0,2068
23,2409	31,7964	-8,5555	-0,3681

### 5.1.3 QCF

A maior remoção de cor ocorreu para a o ponto central com concentração 650 mg/L e tempo de sedimentação 21 minutos. Esta ficou com um percentual de 33,1% de remoção. No geral, a porcentagem de eficiência de remoção da cor oscilou numa faixa de -2 a 34% em relação às diferentes concentrações e tempos de sedimentação (Figura 17).

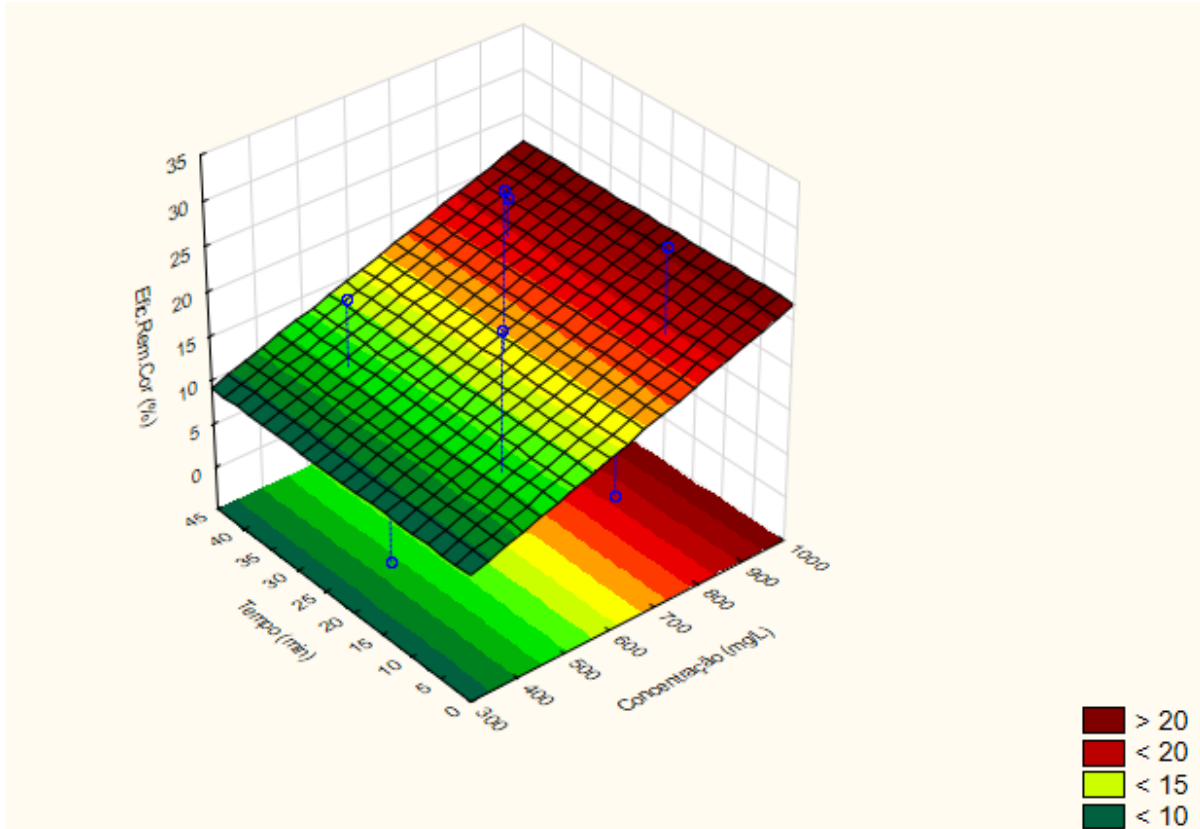


Figura 17 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados para o QCF.

Através da análise estatística, temos que não houve variável resposta significativa, com p-valor  $< 0,10$  (Figura 18).

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.	16,76972	9,13082	1,836607	0,125695	-1,6293	35,16875	16,76972	9,130817	-1,6293	35,16875
(1)Concentração (mg/L)(L)	6,42092	11,19957	0,573319	0,591250	-16,1467	28,98859	3,21046	5,599783	-8,0734	14,49430
Concentração (mg/L)(Q)	-1,74353	13,36371	-0,130467	0,901283	-28,6720	25,18500	-0,87176	6,681855	-14,3360	12,59250
(2)Tempo (min)(L)	-4,97641	11,19948	-0,444343	0,675367	-27,5439	17,59108	-2,48821	5,599741	-13,7720	8,79554
Tempo (min)(Q)	-1,63312	13,36338	-0,122209	0,907493	-28,5610	25,29472	-0,81656	6,681688	-14,2805	12,64736
1L by 2L	1,28000	15,81522	0,080935	0,938634	-30,5884	33,14844	0,64000	7,907611	-15,2942	16,57422

Figura 18 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) para o QCF.

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

Mesmo após fazer um reajuste no modelo, ignorando os efeitos menos significativos (com  $p > 0,10$ ), nenhum parâmetro foi considerado significativo. O gráfico de Pareto (Figura 19) nos mostra em ordem decrescente a interferência das

variáveis no modelo, representando a razão entre valor estimado e seu erro padrão, confirmando que modelo não apresentou nenhuma significância, já que as variáveis independentes não ultrapassaram a linha vermelha.

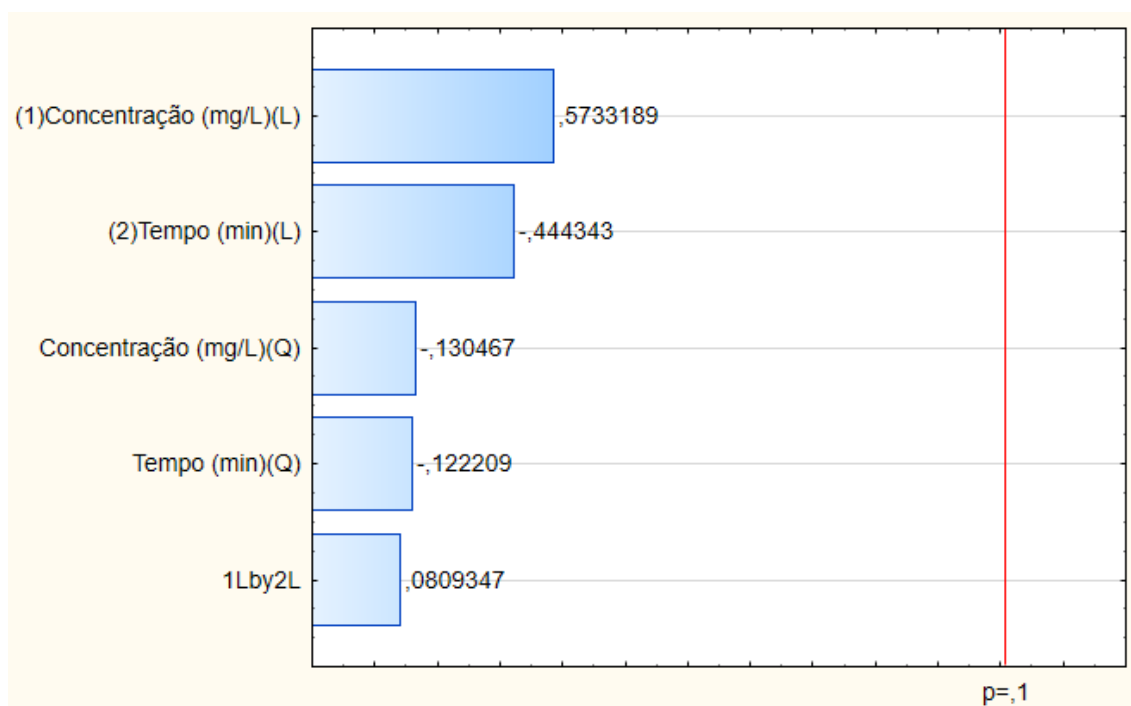


Figura 19 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção cor (%) para o QCF.

Para gerar a superfície de resposta foi utilizado o modelo representado pela Equação (3), para o qual foram considerados os parâmetros mais próximos do significativo, já que mesmo após novos ajustes não houve parâmetros significativos para o modelo. Neste,  $C_1$  é a Concentração linear.

$$\text{Efic.Rem.Cor} = 15,54545 + 6,42092C_1 \quad (3)$$

A significância do modelo matemático gerado pelos dados experimentais foi avaliada pela ANOVA (Tabela 13).

Tabela 13 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos para o QCF.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	1	82,2135	82,21349031	0,565765462	3,36
Resíduo	9	1307,8236	145,3137314		
Total	10	1390,0371			

Por meio da ANOVA, nota-se que o modelo matemático se apresenta de forma não significativa, ao nível de significância de 10%, pois o  $F_{\text{calculado}}$  é menor do que o  $F_{\text{tabelado}}$ . O modelo gerado de regressão quadrática possui um  $R^2$  ajustado de 0,0, assim o modelo não se ajusta aos dados experimentais.

Apenas por curiosidade, são apresentados na Tabela 14 os 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 14 - Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios para o QCF.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
27,7200	12,3350	15,3850	0,5550
28,5700	18,7559	9,8141	0,3435
19,8300	12,3350	7,4950	0,3780
23,2400	18,7559	4,4841	0,1929
-2,3500	11,0186	-13,3686	5,6888
12,7900	20,0723	-7,2823	-0,5694
7,6800	15,5455	-7,8655	-1,0241
2,9800	15,5455	-12,5655	-4,2166
33,0500	15,5455	17,5045	0,5296
3,8400	15,5455	-11,7055	-3,0483
13,6500	15,5455	-1,8955	-0,1389

#### 5.1.4 Cloreto férrico

Temos que a maior remoção de cor ocorreu para a concentração 129,1 mg/L para aproximadamente 35 minutos de sedimentação. Esta ficou com um percentual de 34,8% de remoção. Numa mesma concentração e para um tempo de aproximadamente 9 minutos, temos que a porcentagem de remoção de cor foi apenas 0,2% e por isso admite-se que quanto maior o tempo de sedimentação, maior é a eficiência de remoção de cor.

Como pode ser observado pela Figura 20, grandes concentrações de coagulante não garantem a melhor remoção de cor, sendo a variável independente tempo o fator mais significativo.

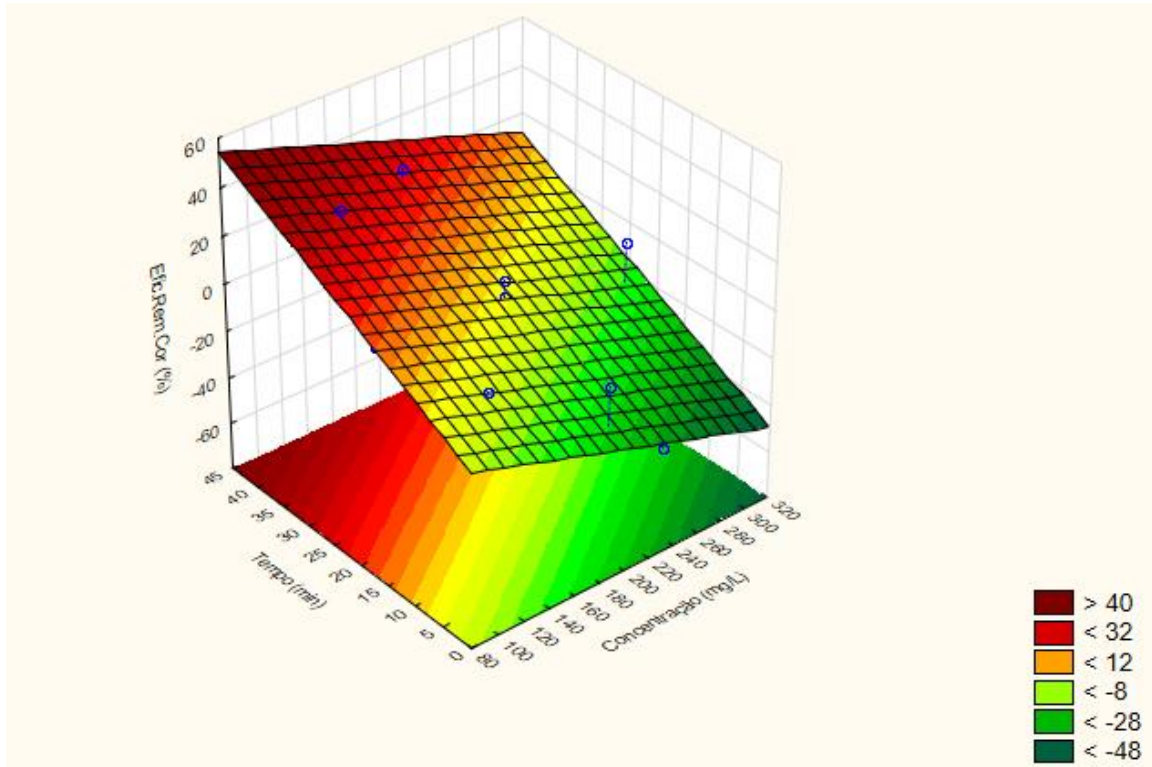


Figura 20 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados para o cloreto férrico.

Através da análise estatística, temos que a única variável resposta significativa foi o Tempo linear, pois  $p\text{-valor} < 0,10$ . As demais variáveis Concentração linear e quadrática, Tempo quadrático e a interação Concentração e Tempo não foram significativas, pois  $p\text{-valor} > 0,10$  (Figura 21).

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.	3,1792	10,70862	0,29689	0,778491	-18,3991	24,75762	3,1792	10,70862	-18,3991	24,75762
(1)Concentração (mg/L)(L)	-25,2671	13,13298	-1,92394	0,112360	-51,7307	1,19653	-12,6335	6,56649	-25,8653	0,59826
Concentração (mg/L)(Q)	-6,7701	15,66633	-0,43214	0,683638	-38,3385	24,79829	-3,3851	7,83317	-19,1693	12,39915
(2)Tempo (min)(L)	35,5557	13,13473	2,70700	0,042428	9,0886	62,02287	17,7779	6,56736	4,5443	31,01143
Tempo (min)(Q)	0,9437	15,67319	0,06021	0,954320	-30,6385	32,52595	0,4719	7,83660	-15,3193	16,26297
1L by 2L	11,4072	18,54806	0,61501	0,565456	-25,9680	48,78249	5,7036	9,27403	-12,9840	24,39125

Figura 21 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) para o cloreto férrico.

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

Fazendo um reajuste do modelo, ignorando os efeitos menos significativos (com  $p > 0,10$ ), pode-se visualizar através do gráfico de Pareto (Figura 22) que a variável Concentração linear e Tempo linear são significativos, uma vez que ultrapassaram a linha vermelha.

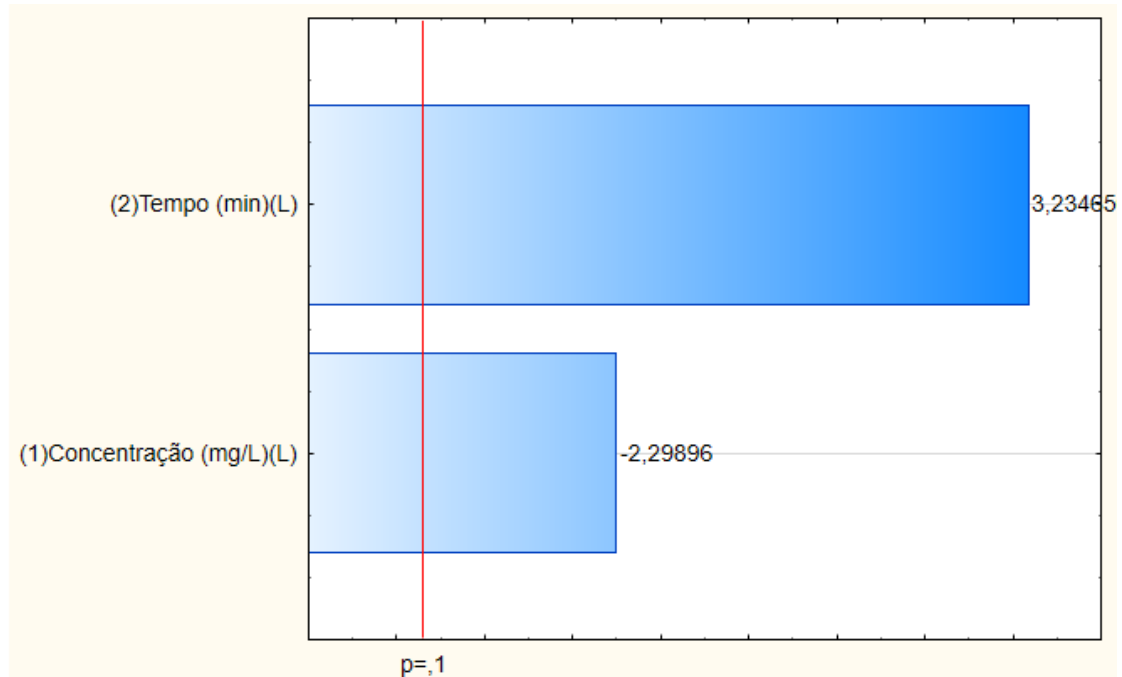


Figura 22 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção cor (%) para o cloreto férrico.

Através dos coeficientes de regressão dos fatores significativos foi gerado um modelo matemático para o parâmetro analisado, no qual a variável resposta é representada pela Equação (4), de forma codificada, em que  $C_1$  representa a Concentração linear e  $T_1$  o Tempo linear.

$$\text{Efic.Rem.Cor} = -25,2671C_1 + 35,5557T_1 \quad (4)$$

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais, foi avaliada pela ANOVA (Tabela 15). 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  $F_{\text{tabelado}}$ .

**Tabela 15 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos para o cloreto férrico.**

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	1	3794,4535	3794,453504	17,71673329	3,36
Resíduo	9	1927,5609	214,1734281		
Total	10	5722,0144			

O modelo ajustado, apresentado na Equação (5), possui um  $R^2$  ajustado de 0,57892, assim o modelo explica 58% da variação em relação a variável resposta. Por isso, o modelo se ajusta de forma moderada aos dados experimentais.

Os dados dos valores experimentais e valores previstos, e os erros de ajuste e os erros relativos previstos pelo modelo de eficiência de remoção de cor estão representados na Tabela 16.

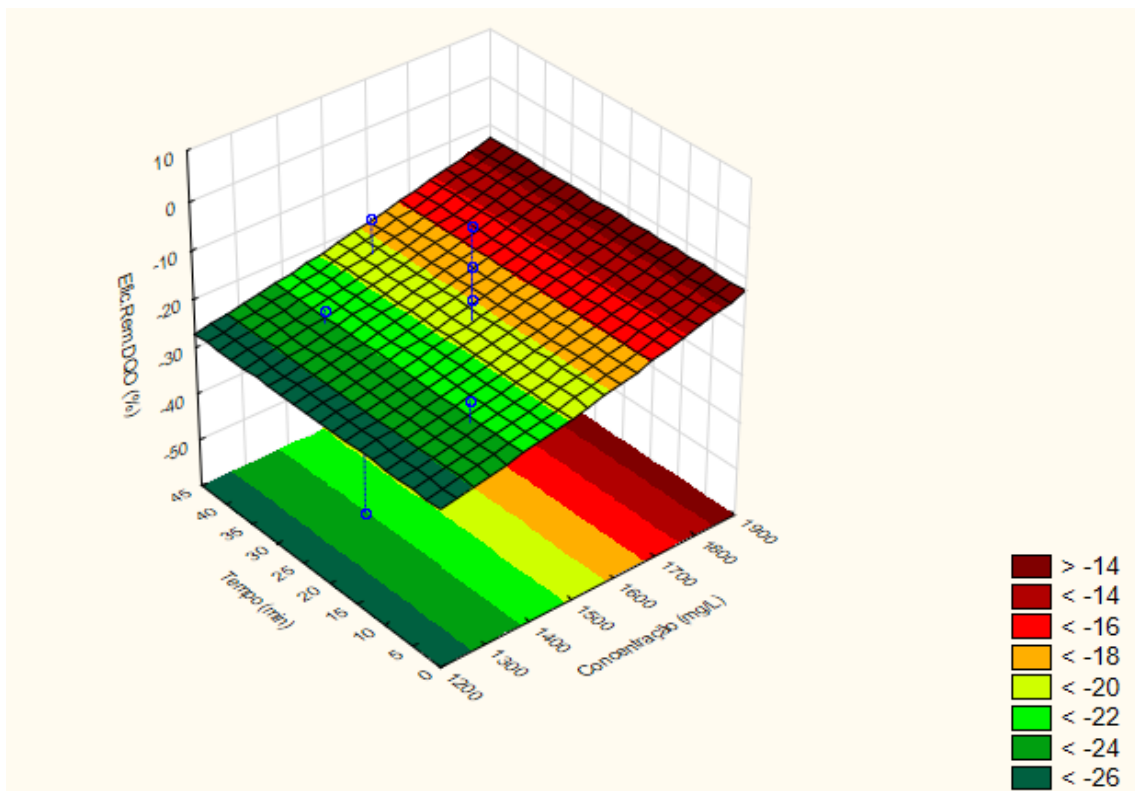
**Tabela 16 - Valores experimentais de eficiência de remoção de cor, previstos pelo modelo e desvios para o cloreto férrico.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
0,2132	-4,0782	4,2915	20,1270
-59,4883	-29,3453	-30,1430	0,5067
34,7548	31,4775	3,2773	0,0943
-2,1322	6,2104	-8,3426	3,9127
4,9041	18,8849	-13,9809	-2,8509
1,9190	-16,7527	18,6717	9,7300
-6,6098	-24,0018	17,3920	-2,6312
28,7846	26,1340	2,6507	0,0921
8,7420	1,0661	7,6759	0,8780
2,1322	1,0661	1,0661	0,5000
-1,4925	1,0661	-2,5586	1,7143

## 5.2 Eficiência de remoção de DQO

### 5.2.1 *Moringa oleífera*

A porcentagem de eficiência de remoção para o coagulante natural *Moringa oleífera* apresentou-se negativa em todos os ensaios feitos. Portanto, conclui-se que o DQO da amostra aumentou quando esta possuía concentrações baixas do coagulante (Figura 23). Esse aumento no DQO significa que é necessário mais oxigênio para degradar a matéria orgânica do que precisava no efluente bruto.



Segundo o anexo 7 da Resolução CEMA 70/09, para atividades industriais, o valor da DQO tem de estar no limite de 200 mg/L para seu lançamento em corpos hídricos. Por isso, a eficiência de remoção de DQO não atendeu ao limite estabelecido, já que a menor concentração de DQO obteve 1512,9 mg/L. Vale



ressaltar que o limite estabelecido para o parâmetro DQO poderá ser alterado a critério do Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e de acordo com as características da atividade.

Pode se observar pela Figura 24 que a variável Concentração quadrática foi a que obteve p-valor < 0,10. Por isso, a mesma é considerada significativa.

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.	-9,3106	5,741103	-1,62174	0,165786	-20,8792	2,25804	-9,3106	5,741103	-20,8792	2,25804
(1)Concentração (mg/L)(L)	8,3800	7,041853	1,19003	0,287454	-5,8097	22,56969	4,1900	3,520926	-2,9048	11,28484
Concentração (mg/L)(Q)	-24,6038	8,402583	-2,92812	0,032704	-41,5354	-7,67217	-12,3019	4,201291	-20,7677	-3,83609
(2)Tempo (min)(L)	3,0675	7,041799	0,43561	0,681285	-11,1221	17,25703	1,5337	3,520900	-5,5611	8,62851
Tempo (min)(Q)	-6,4584	8,402372	-0,76864	0,476825	-23,3896	10,47281	-3,2292	4,201186	-11,6948	5,23640
1L by 2L	0,8199	9,943998	0,08245	0,937485	-19,2177	20,85756	0,4100	4,971999	-9,6089	10,42878

Figura 24 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para a *Moringa oleífera*.

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

O gráfico de Pareto (Figura 25) mostra com clareza que a variável Concentração quadrática foi significativa, já que ultrapassou a linha vermelha.

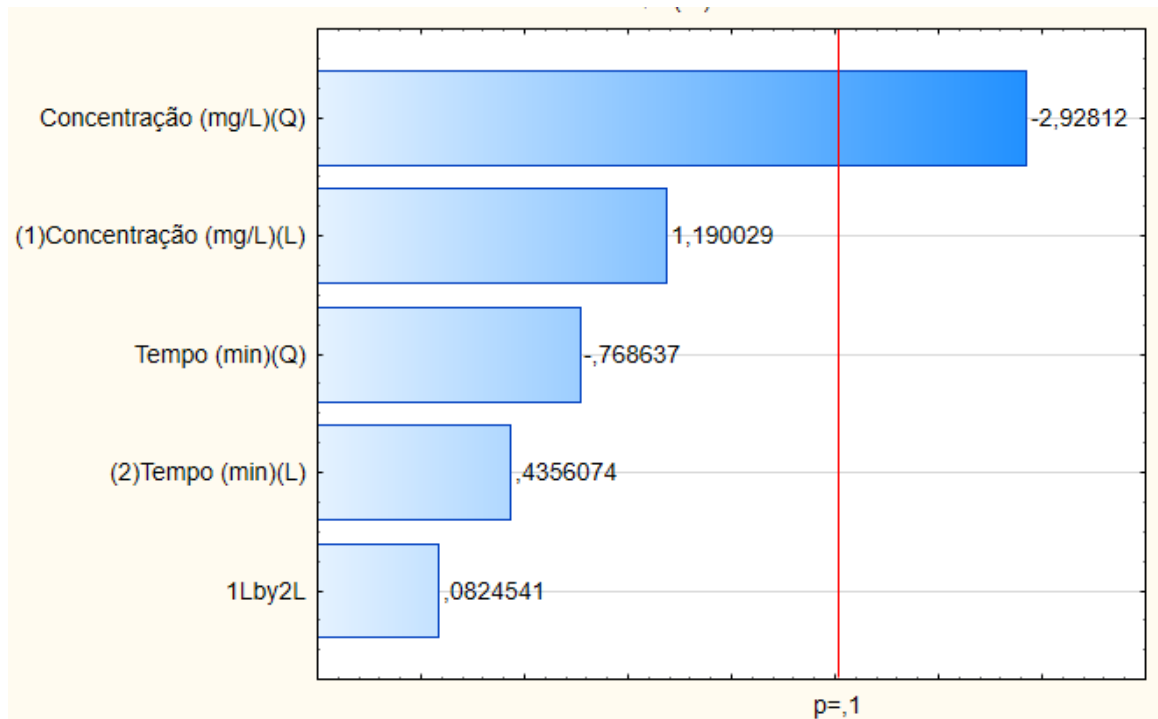


Figura 25 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para a *Moringa oleífera*.

O modelo matemático gerado pelos coeficientes de regressão significativos está representado pela Equação (5), e  $C_1^2$  representa a Concentração quadrática.

$$\text{Efic. Rem. DQO} = -12,3345 - 22,7217C_1^2 \quad (5)$$

Pelo teste estatístico observa-se que ao nível de significância de 10% o modelo matemático não é significativo, pois o  $F_{\text{calculado}}$  é menor do que o  $F_{\text{tabelado}}$  (Tabela 17).

**Tabela 17 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos para a *Moringa oleífera*.**

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	1	108,4120	108,412034	0,699903335	3,36
Resíduo	9	1394,0615	154,8957242		
Total	10	1502,4736			

Temos que o modelo de regressão quadrático gerado para remoção de DQO possui um  $R^2$  ajustado de 0,47323, ou seja, o modelo explica 47% da variação em relação a variável resposta. Portanto, conclui-se que os dados experimentais se ajustam moderadamente ao modelo.

Na Tabela 18, estão representados os dados de valores experimentais e seus valores previstos no modelo, além dos erros de ajuste e erros relativos previstos para a eficiência de remoção de DQO.

**Tabela 18- Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios para a *Moringa oleífera*.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
-19,6782	-24,1968	4,5186	-0,2296
-24,5977	-16,8327	-7,7650	0,3157
-21,3180	-24,1968	2,8788	-0,1350
-24,5977	-16,8327	-7,7650	0,3157
-50,8353	-25,4985	-25,3368	0,4984
-21,3180	-15,1148	-6,2032	0,2910
-22,9579	-20,7253	-2,2325	0,0972
-13,1188	-20,7253	7,6066	-0,5798
-1,6398	-20,7253	19,0855	-11,6386
-16,3985	-20,7253	4,3269	-0,2639
-9,8391	-20,7253	10,8863	-1,1064

### 5.2.2 Tanfloc SG

As maiores remoções de DQO ficaram numa faixa de 20 a 30%. Observa-se na Figura 26 de que não houve influência significativa da concentração e tempo de sedimentação.

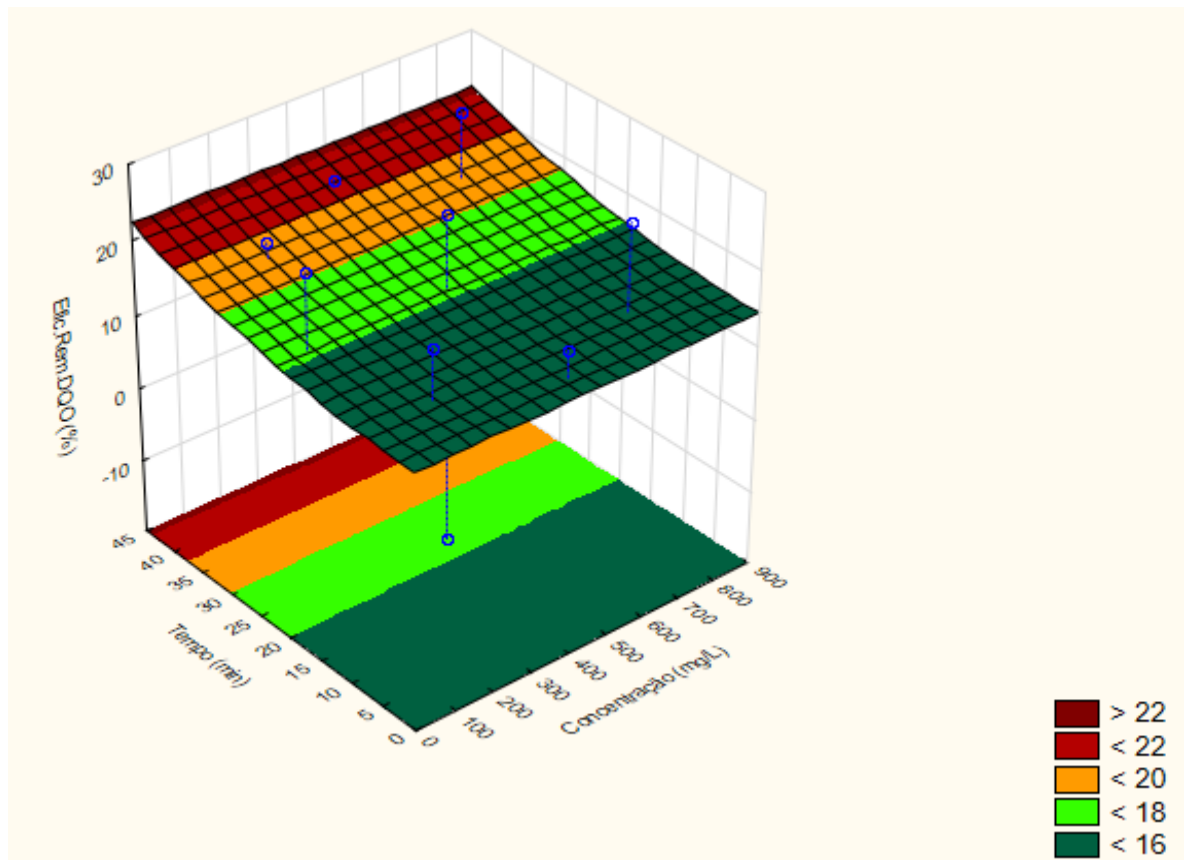


Figura 26 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO com os fatores ajustados para o Tanfloc SG.

A eficiência de remoção de DQO não atendeu ao limite estabelecido pela CEMA 70/09, já que a menor concentração de DQO obteve 1073,5 mg/L com 27,9% de remoção.

Observando a Figura 27 pode-se perceber que nenhuma variável influenciou a variável resposta Eficiência de Remoção da DQO, visto que para todos os coeficientes tem-se p-valor < 0,10. Mesmo reajustando o modelo, nenhum coeficiente foi significativo, a 10% de significância.

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.	3,80593	8,89474	0,427886	0,686538	-14,1174	21,72926	3,80593	8,894739	-14,1174	21,72926
(1)Concentração (mg/L)(L)	-2,91963	10,90974	-0,267617	0,799683	-24,9033	19,06403	-1,45982	5,454872	-12,4516	9,53202
Concentração (mg/L)(Q)	16,95118	13,01728	1,302206	0,249602	-9,2793	43,18162	8,47559	6,508638	-4,6396	21,59081
(2)Tempo (min)(L)	1,57071	10,90992	0,143971	0,891146	-20,4133	23,55472	0,78535	5,454958	-10,2066	11,77736
Tempo (min)(Q)	18,60195	13,01795	1,428945	0,212397	-7,6299	44,83375	9,30097	6,508977	-3,8149	22,41688
1L by 2L	0,81992	15,40632	0,053220	0,959618	-30,2245	31,86440	0,40996	7,703158	-15,1123	15,93220

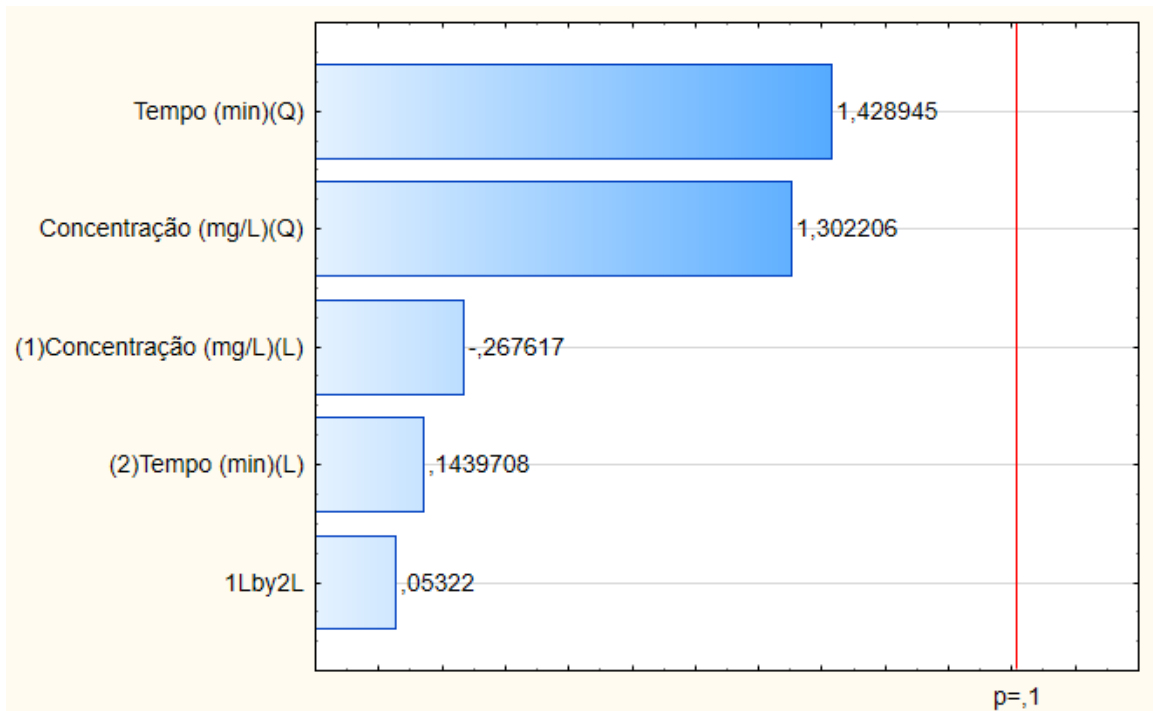
**Figura 27 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o Tanfloc SG.**

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

Então, para gerar a superfície de resposta, foram utilizados os parâmetros mais próximos do significativo. O modelo matemático está representado através da Equação (6), sendo  $T_1^2$  o Tempo quadrático.

$$\text{Efic.Rem.DQO} = 11,74331 + 13,66168T_1^2 \quad (6)$$

O gráfico de Pareto (Figura 28) mostra com clareza a pouca influência das variáveis Concentração linear e quadrática, Tempo linear e quadrático e interação Concentração e Tempo em ordem decrescente para a variável resposta.



**Figura 28 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção DQO (%) para o Tanfloc SG.**

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para a remoção de DQO foi avaliada pelo teste F da análise de variância (ANOVA). Nota-se que o modelo matemático não foi considerado significativo, ao nível de significância de 10%, pois o  $F_{\text{calculado}}$  é menor do que o  $F_{\text{tabelado}}$  (Tabela 19).

**Tabela 19 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos para o Tanfloc SG.**

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	1	42,3489	42,34891545	0,205446735	3,36
Resíduo	9	1855,1779	206,130876		
Total	10	1897,5268			

A Tabela 20 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 20 - Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios para o Tanfloc SG.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
21,3180	14,6573	6,6607	0,3124
26,2376	14,6573	11,5803	0,4414
21,3180	19,1093	2,2087	0,1036
27,8774	19,1093	8,7681	0,3145
26,2376	16,2041	10,0334	0,3824
9,8391	16,2041	-6,3650	-0,6469
18,0383	14,4157	3,6226	0,2008
21,3180	20,6933	0,6247	0,0293
26,2376	16,2041	10,0334	0,3824
-18,0383	16,2041	-34,2424	1,8983
3,2797	16,2041	-12,9244	-3,9407

### 5.2.3 QCF

Para a porcentagem de eficiência de remoção da DQO, o fator que mais influenciou foi o tempo de sedimentação, pois comparando a porcentagem de remoção para a concentração máxima e mínima, 400 e 900 mg/L respectivamente, e

mesmo tempo de sedimentação de aproximadamente 21 minutos, a mesma ficou numa faixa de 19 e 21%.

A maior porcentagem de remoção foi de 27,9% para DQO de 1073,5 mg/L e tempo de sedimentação 21,5 minutos, enquanto a DQO do efluente bruto foi de 1488,5 mg/L, mostrando que houve uma porcentagem de remoção razoável.

Através da Figura 29, pode-se admitir que não houve uma concentração de coagulante utilizada que se sobressaiu e que o tempo de sedimentação foi a variável resposta que apresentou maior influência se comparado a variável resposta concentração.

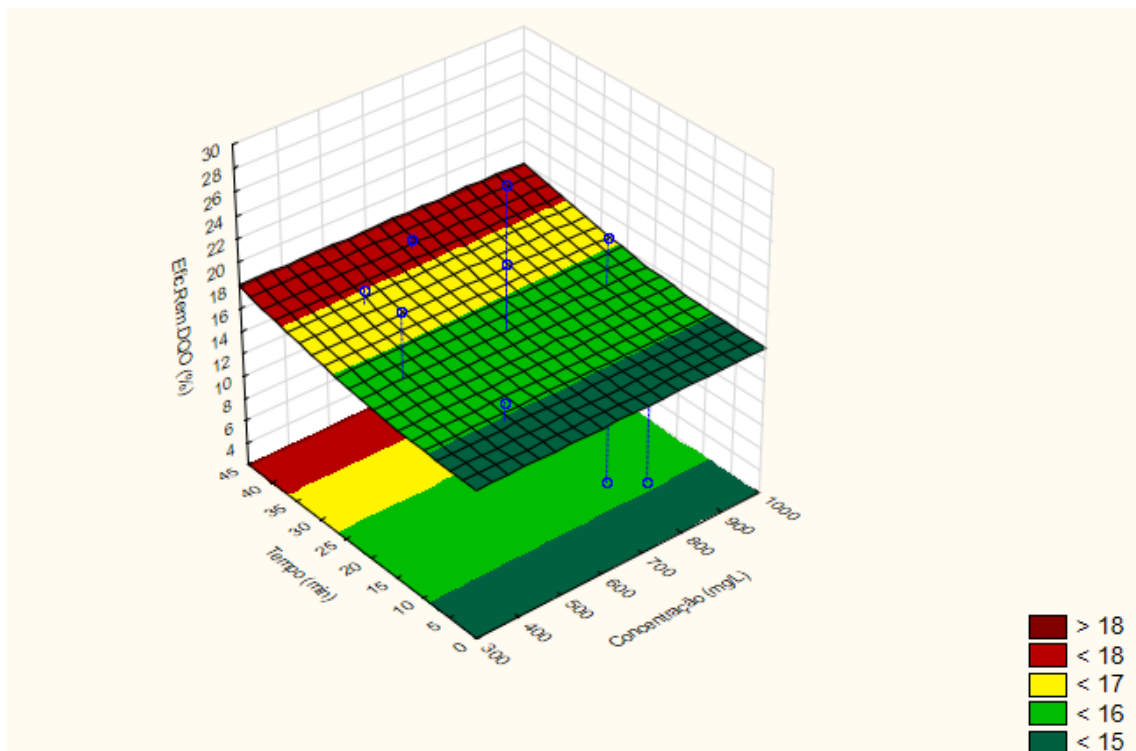


Figura 29 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção da DQO (%) com os fatores ajustados para o QCF.

Segundo o anexo 7 da Resolução CEMA 70/09, a eficiência de remoção de DQO não atendeu ao limite estabelecido.

Na Figura 30 são apresentados os resultados do ajuste do modelo quadrático completo, com as variáveis independentes Concentração e Tempo, 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.	21,3420	4,050050	5,26957	0,003273	13,1810	29,50306	21,34202	4,050050	13,1810	29,50306
(1)Concentração (mg/L)(L)	-7,1586	4,967661	-1,44103	0,209137	-17,1686	2,85153	-3,57928	2,483831	-8,5843	1,42576
Concentração (mg/L)(Q)	-3,9284	5,927585	-0,66273	0,536826	-15,8728	8,01596	-1,96420	2,963793	-7,9364	4,00798
(2)Tempo (min)(L)	4,3010	4,967623	0,86580	0,426184	-5,7090	14,31096	2,15048	2,483812	-2,8545	7,15548
Tempo (min)(Q)	-11,3510	5,927437	-1,91500	0,113655	-23,2951	0,59304	-5,67552	2,963719	-11,6476	0,29652
1L by 2L	0,0000	7,014974	0,00000	1,000000	-14,1355	14,13551	0,00000	3,507487	-7,0678	7,06776

Figura 30 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o QCF.

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

Pode se observar que a variável Tempo linear foi a que mais se aproximou do p-valor = 0,10, com um valor de 0,11. Ao reajustar o modelo com os coeficientes mais significativos, esta passou a ser significativa.

O gráfico de Pareto (Figura 31) mostra a interação antes do reajuste do modelo, em que se pode visualizar a interferência das variáveis no modelo.

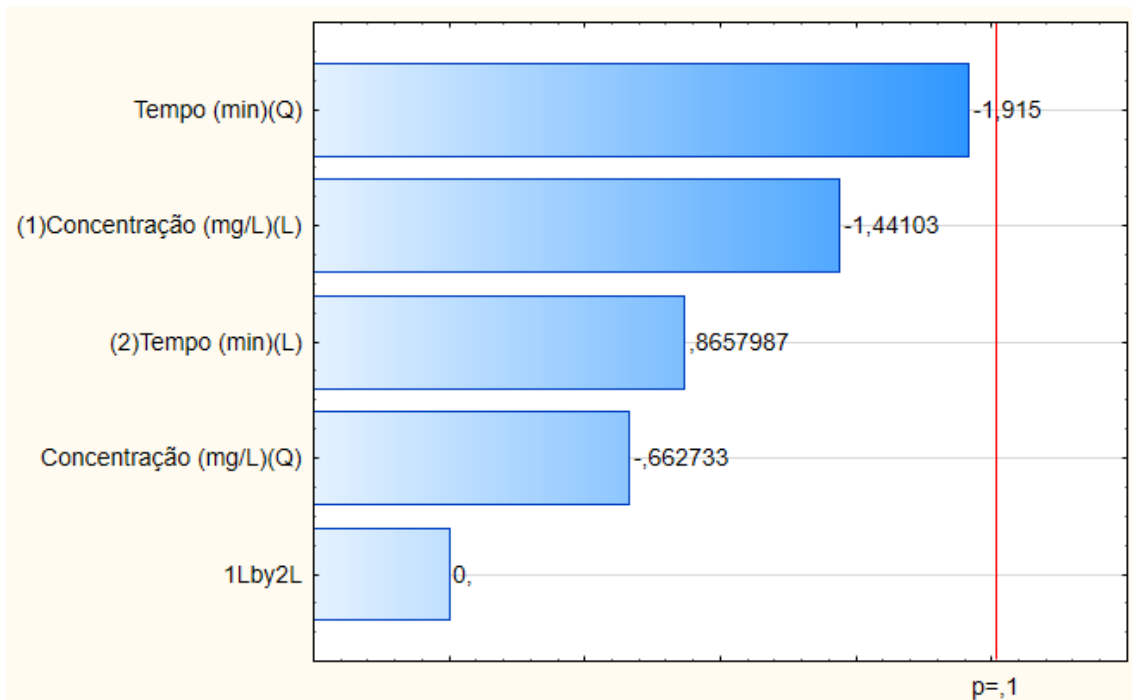


Figura 31 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o QCF.

O gráfico de Pareto nos mostra com clareza que nenhuma variável foi significativa antes do reajuste do modelo, já que nenhuma ultrapassou a linha vermelha. O modelo matemático gerado pelos coeficientes de regressão significativos está representado pela Equação (7).

$$\text{Efic. Rem. DQO} = 19,5027 - 10,2063T_1^2 \quad (7)$$

Através da ANOVA (Tabela 21), mesmo após o reajuste, nota-se que o modelo matemático se apresenta de forma não significativa, ao nível de significância de 10%, pois o  $F_{\text{calculado}}$  é menor do que o  $F_{\text{tabelado}}$ . Portanto, conclui-se que o modelo não se ajusta adequadamente aos dados experimentais.

**Tabela 21 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos para o QCF.**

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	1	6,7950	6,794974833	0,10932544	3,36
Resíduo	9	559,3828	62,15364702		
Total	10	566,1778			

Temos que o modelo de regressão quadrático gerado para remoção de DQO possui um  $R^2$  ajustado de 0,20178, ou seja, o modelo explica 20% da variação em relação a variável resposta.

Na Tabela 22, estão representados os dados de valores experimentais e seus valores previstos no modelo, além dos erros de ajuste e erros relativos previstos para a eficiência de remoção de DQO.

**Tabela 22 - Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios para o QCF.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
16,3985	14,9853	1,4132	0,0862
3,2797	14,9853	-11,7056	-3,5691
18,0383	16,7686	1,2697	0,0704
4,9195	16,7686	-11,8491	-2,4086
21,3180	15,6049	5,7131	0,2680
19,6782	15,6049	4,0733	0,2070
8,1992	14,8885	-6,6893	-0,8158
18,0383	17,4031	0,6352	0,0352
27,8774	15,6049	12,2725	0,4402
14,7586	15,6049	-0,8463	-0,0573
21,3180	15,6049	5,7131	0,2680



### 5.2.4 Cloreto férrico

A maior porcentagem de remoção da DQO ficou na faixa de 23 a 26%, para concentração de 200 mg/L e tempo de sedimentação 21,5 minutos, este sendo o ponto central e portanto feito em duplicata. As concentrações e tempos de sedimentação 129,1 mg/L em aproximadamente 9 e 35 minutos; 200 mg/L em 3 e 21,5 minutos e 100 mg/L em 21,5 minutos obtiveram a mesma porcentagem de remoção de 18%.

Através da Figura 32, pode-se admitir que não houve uma concentração de coagulante utilizada e tempo de sedimentação que se sobressaíram sobre a variável resposta eficiência de remoção de DQO.

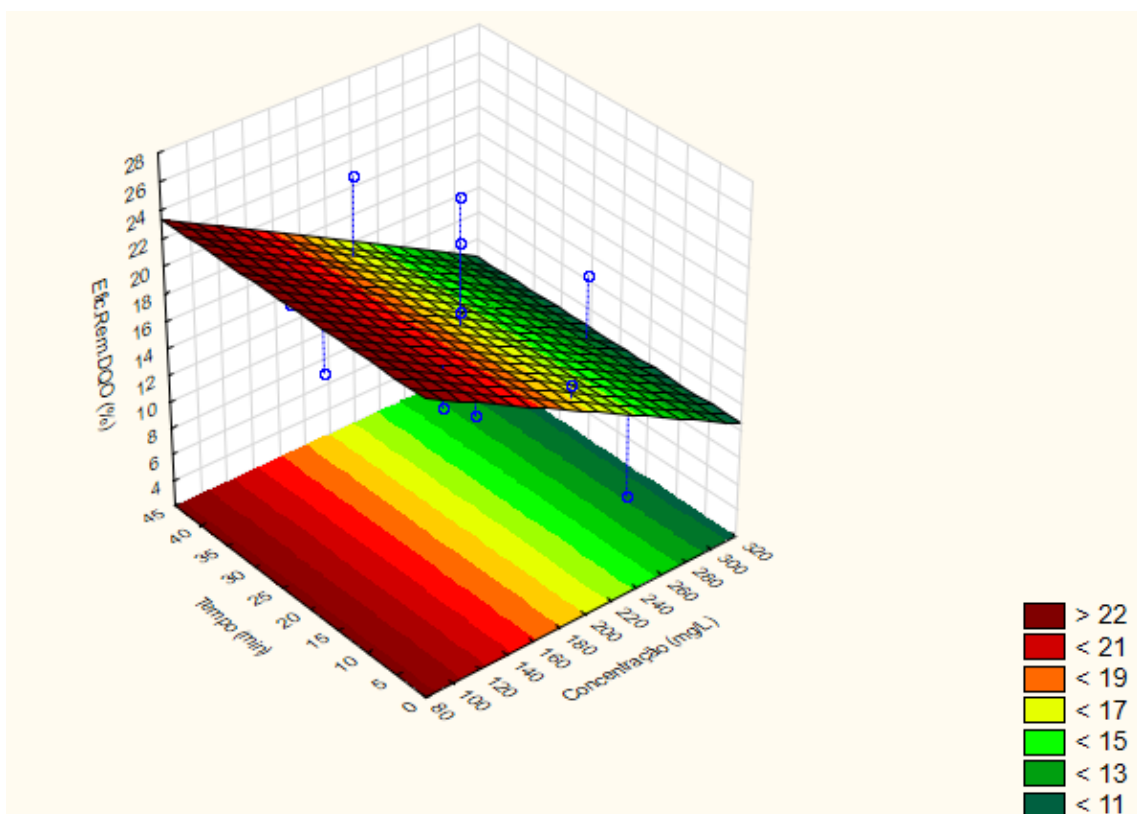


Figura 32 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores ajustados para o cloreto férrico.

Segundo o anexo 7 da Resolução CEMA 70/09, a eficiência de remoção de DQO não atendeu ao limite estabelecido.

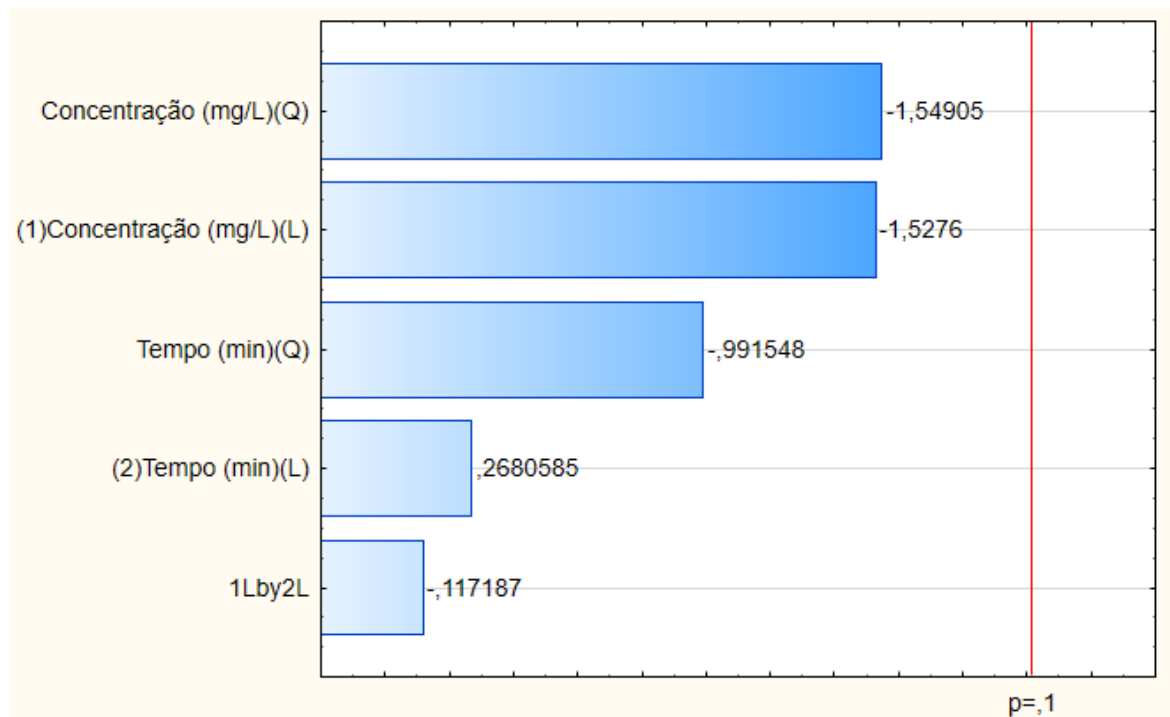
Pela Figura 33, observa-se que ao ajustar o modelo quadrático completo apenas a média (ou intercepto) foi significativa, pois as Concentrações linear e quadrática, Tempos linear e quadrático e interação Concentração e Tempo tiveram um p-valor  $> 0,10$ .

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.	22,44025	4,039508	5,55519	0,002599	14,3004	30,58005	22,44025	4,039508	14,3004	30,58005
(1)Concentração (mg/L)(L)	-7,56776	4,954029	-1,52760	0,187148	-17,5504	2,41485	-3,78388	2,477014	-8,7752	1,20742
Concentração (mg/L)(Q)	-9,15435	5,909660	-1,54905	0,182055	-21,0626	2,75390	-4,57718	2,954830	-10,5313	1,37695
(2)Tempo (min)(L)	1,32815	4,954688	0,26806	0,799362	-8,6558	11,31208	0,66407	2,477344	-4,3279	5,65604
Tempo (min)(Q)	-5,86228	5,912248	-0,99155	0,366946	-17,7757	6,05119	-2,93114	2,956124	-8,8879	3,02559
1L by 2L	-0,81992	6,996707	-0,11719	0,911274	-14,9186	13,27878	-0,40996	3,498353	-7,4593	6,63939

**Figura 33 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o cloreto férrico.**

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

Mesmo fazendo um novo ajuste com as variáveis que ficaram mais próximas do p-valor = 0,10, não houve significância dos coeficientes. Na Figura 34, pode-se analisar a interferência das variáveis no modelo, representando a razão entre o valor estimado e seu erro padrão.



**Figura 34 - Gráfico de Pareto para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o cloreto férrico.**

O gráfico de Pareto nos mostra com clareza que nenhuma variável foi significativa, já que nenhuma ultrapassou a linha vermelha. Neste caso, para gerar a superfície de resposta foram utilizados os parâmetros mais próximos do significativo. O modelo matemático gerado, então, está descrito na Equação (8), com  $C_1$  sendo a Concentração linear.

$$\text{Efic.Rem.DQO} = 16,99478 - 7,56776C_1 \quad (8)$$

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para a remoção de DQO foi avaliado pelo teste F da ANOVA, mostrado na Tabela 23. Como  $F_{\text{calculado}}$  foi menor que o  $F_{\text{tabelado}}$ , temos que o modelo não é significativo, ao nível de 10% de significância.

**Tabela 23 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) com os fatores significativos para o cloreto férrico.**

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	3	114,2365	38,07883137	0,697734513	3,07
Resíduo	7	382,0247	54,57495748		
Total	10	496,2612			

Temos que o modelo de regressão quadrático gerado para remoção de DQO possui um  $R^2$  ajustado foi de 0,14466, ou seja, o modelo explica 14% da variação em relação a variável resposta. Portanto, conclui-se que o modelo não se ajusta adequadamente aos dados experimentais.

Na Tabela 24, estão representados os dados de valores experimentais e seus valores previstos no modelo, além dos erros de ajuste e erros relativos previstos para a eficiência de remoção de DQO.

**Tabela 24 - Valores experimentais de eficiência de remoção de DQO, previstos pelo modelo e desvios para o cloreto férrico.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
18,0383	20,7787	-2,7403	-0,1519
4,9195	13,2109	-8,2914	-1,6854
18,0383	20,7787	-2,7403	-0,1519
3,2797	13,2109	-9,9312	-3,0281
18,0383	22,3317	-4,2934	-0,2380
16,3985	11,6579	4,7406	0,2891
18,0383	16,9948	1,0435	0,0579
22,9579	16,9948	5,9631	0,2597
26,2376	16,9948	9,2428	0,3523
18,0383	16,9948	1,0435	0,0579
22,9579	16,9948	5,9631	0,2597

### 5.3 Condutividade elétrica

#### 5.3.1 *Moringa oleífera*

A condutividade elétrica das amostras variou entre 4,38 a 4,85 mS/cm, as mesmas apresentando elevação da condutividade em comparação com o efluente bruto, que obteve uma condutividade de 3,06 mS/cm. Esse fato é explicado devido a solução salina do coagulante de *Moringa oleífera*, que necessita de NaCl para aumentar a potencialidade da proteína presente na *Moringa oleífera*, aumentando a ação coagulante. Quanto maior a quantidade de sal na solução, maior sua condutividade do meio.

As Figuras 35 e 36 mostram que quanto maior a concentração de coagulante empregada, maior é a condutividade.

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.	4,643215	0,018447	251,7061	0,000000	4,606043	4,680386	4,643215	0,018447	4,606043	4,680386
(1)Concentração (mg/L)(L)	0,342589	0,022626	15,1411	0,000023	0,296996	0,388182	0,171294	0,011313	0,148498	0,194091
Concentração (mg/L)(Q)	-0,033283	0,026999	-1,2328	0,272459	-0,087687	0,021120	-0,016642	0,013499	-0,043843	0,010560
(2)Tempo (min)(L)	0,037736	0,022626	1,6678	0,156227	-0,007857	0,083329	0,018868	0,011313	-0,003928	0,041665
Tempo (min)(Q)	-0,023224	0,026998	-0,8602	0,428988	-0,077626	0,031179	-0,011612	0,013499	-0,038813	0,015589
1L by 2L	0,020000	0,031951	0,6259	0,558808	-0,044384	0,084384	0,010000	0,015976	-0,022192	0,042192

Figura 35 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta eficiência de remoção de DQO (%) para o cloreto férrico.

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

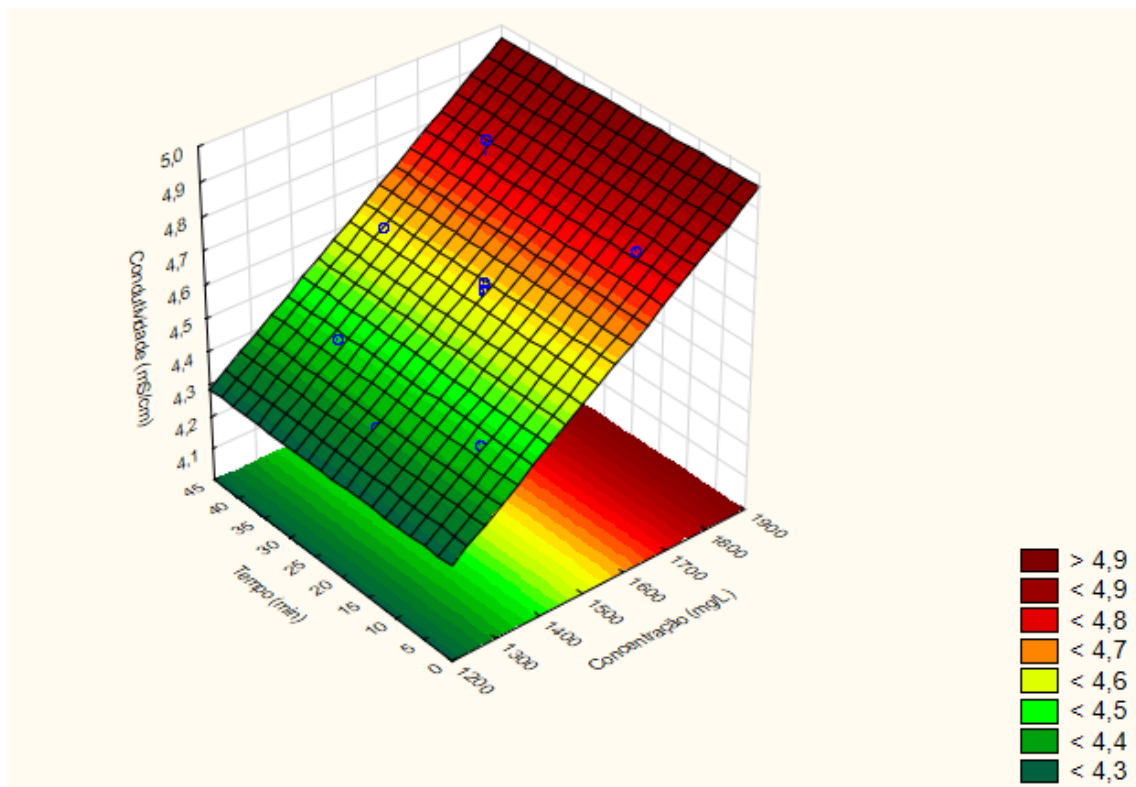


Figura 36 - Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados para a *Moringa oleífera*.

Não há nas legislações vigentes um valor limite para a condutividade elétrica no caso de lançamento de efluente em corpos hídricos

Foi feita a análise experimental dos dados experimentais, e a variável Concentração linear foi significativa a 10% quanto ao modelo, com p-valor < 0,10. As demais variáveis Concentração quadrática, Tempos linear e quadrático e interação Concentração e tempo não interferiram significativamente, com p-valor > 0,10.

Através do gráfico de Pareto (Figura 37), pode-se visualizar com clareza, em ordem decrescente, a interferência das variáveis no modelo.

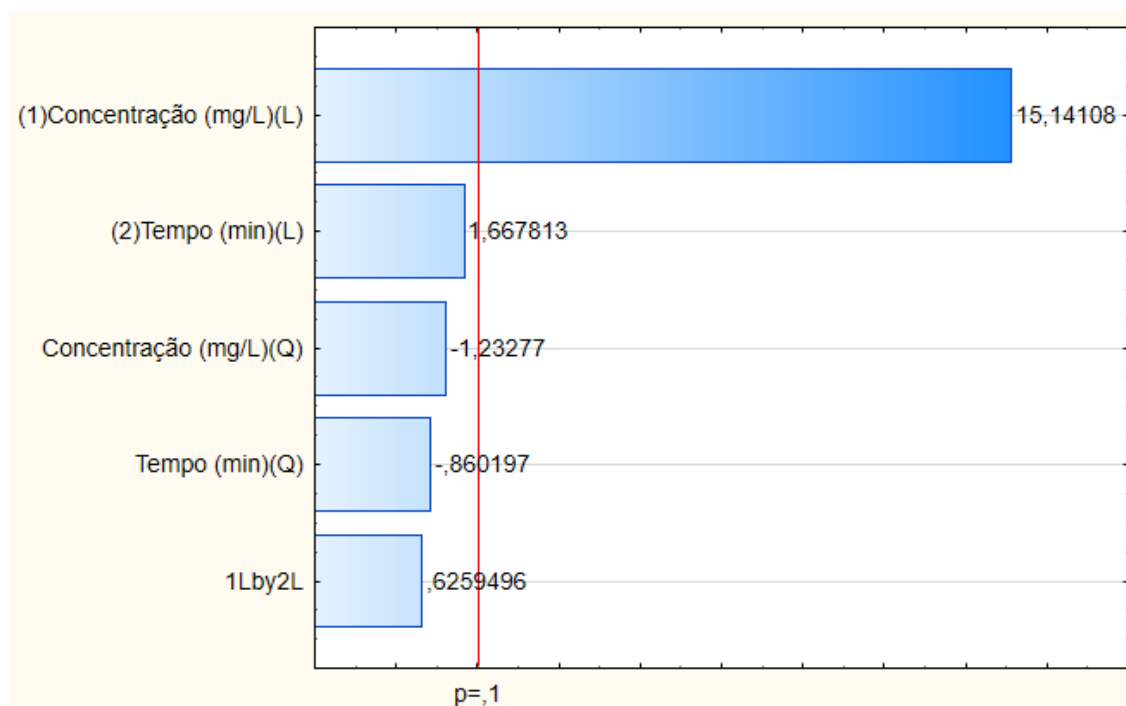


Figura 37 - Gráfico de Pareto para variável resposta condutividade para a *Moringa oleífera*.

Assim, o modelo matemático gerado pelo coeficiente de regressão do fator significativo Concentração Linear ( $C_1$ ) é demonstrado pela Equação (9) para a variável resposta condutividade.

$$\text{Condutividade} = 4,622727 + 0,342589C_1 \quad (9)$$

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para a variável resposta condutividade foi avaliada pelo teste de análise de variância (ANOVA) ao nível de confiança de 90% mostrado na Tabela 25.

Tabela 25 - ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos para a *Moringa oleífera*.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	1	0,2340	0,234042522	207,0020793	3,36
Resíduo	9	0,0102	0,001130629		
Total	10	0,2442			

Através da análise estatística, nota-se que o modelo matemático se apresenta de forma significativa, ao nível de significância de 10%, pois o Fcalculado é maior do que o Ftabelado.

O modelo representado pela Equação (9) possui um  $R^2$  ajustado de 0,9537, ou seja, o modelo explica 95% da variação em relação a variável resposta condutividade. Portanto, o modelo se ajusta adequadamente os dados experimentais.

Os erros de ajuste e erros relativos gerados pelo modelo, assim como os dados experimentais e valores previstos no modelo estão representados na Tabela 26 para a variável resposta condutividade.

**Tabela 26 - Valores experimentais de condutividade, previstos pelo modelo e desvios para a *Moringa oleífera*.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
4,4300	4,4514	-0,0214	-0,0048
4,7900	4,7940	-0,0040	-0,0008
4,4500	4,4514	-0,0014	-0,0003
4,8500	4,7940	0,0560	0,0115
4,3800	4,3812	-0,0012	-0,0003
4,8100	4,8643	-0,0543	-0,0113
4,5800	4,6227	-0,0427	-0,0093
4,6300	4,6227	0,0073	0,0016
4,6600	4,6227	0,0373	0,0080
4,6400	4,6227	0,0173	0,0037
4,6300	4,6227	0,0073	0,0016

### 5.3.2 Tanfloc SG

A condutividade variou no intervalo de 3,10 a 3,22 mS/cm. Pode-se observar na Figura 38 que a condutividade aumentou com o aumento da concentração de coagulante natural Tanfloc SG empregado. Tendo em vista que a condutividade do efluente bruto ficou em 3,06 mS/cm, a mesma não sofreu severas alterações pelo emprego do coagulante.

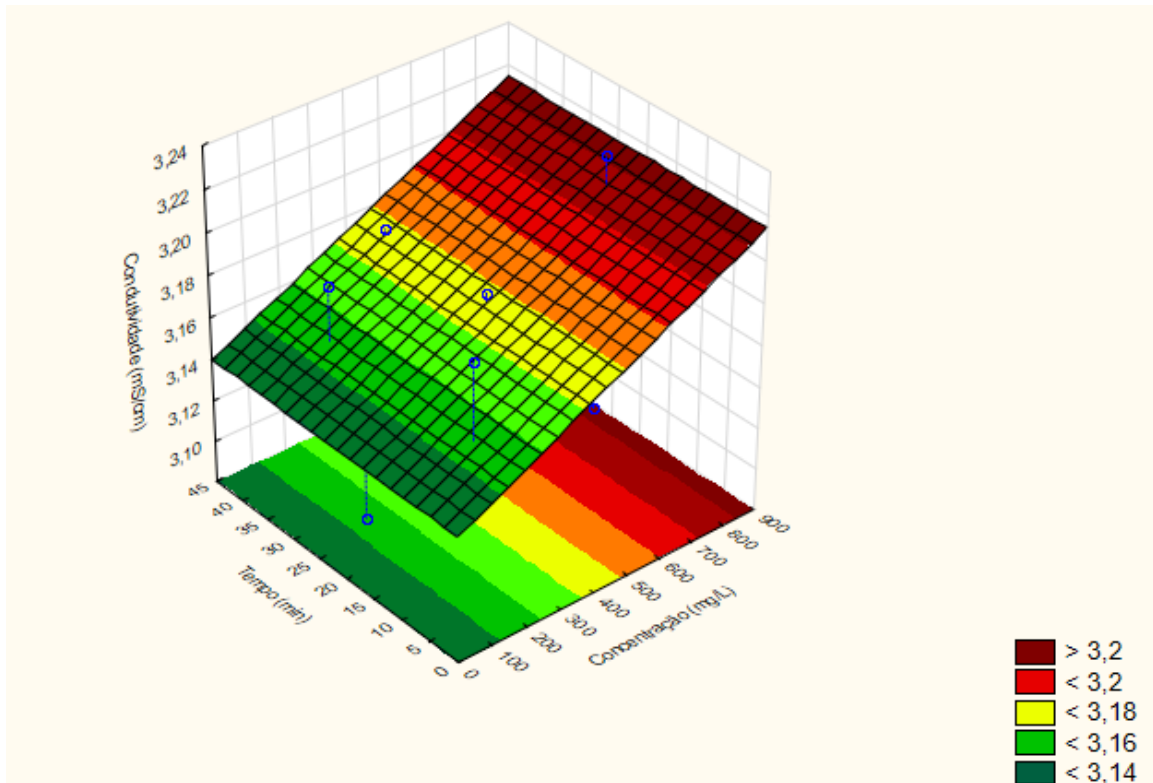


Figura 35 - Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados para o Tanfloc SG.

Por meio dos resultados do ajuste do modelo, tem-se que nenhuma variável independente foi significativa com  $p$ -valor  $< 0,10$ . Porém, temos que a Concentração linear ficou bem próxima do valor, com  $p$ -valor = 0,102698 (Figura 39).

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90,% Cnf.Limit	+90,% Cnf.Limit	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90,% Cnf.Limit	+90,% Cnf.Limit
Mean/Interc.	3,179922	0,017345	183,3289	0,000000	3,144970	3,214874	3,179922	0,017345	3,144970	3,214874
(1)Concentração (mg/L)(L)	0,042426	0,021275	1,9942	0,102698	-0,000444	0,085296	0,021213	0,010637	-0,000222	0,042648
Concentração (mg/L)(Q)	-0,009936	0,025385	-0,3914	0,711605	-0,061088	0,041215	-0,004968	0,012692	-0,030544	0,020608
(2)Tempo (min)(L)	0,007071	0,021275	0,3324	0,753098	-0,035800	0,049942	0,003536	0,010638	-0,017900	0,024971
Tempo (min)(Q)	0,000123	0,025386	0,0048	0,996332	-0,051031	0,051277	0,000061	0,012693	-0,025516	0,025638
1L by 2L	0,010000	0,030044	0,3329	0,752750	-0,050539	0,070539	0,005000	0,015022	-0,025270	0,035270

Figura 39 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade para o Tanfloc SG.

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

Pelo gráfico de Pareto (Figura 40), visualizamos a influência dos fatores independentes. O modelo matemático obtido após o novo ajuste é apresentado na Equação (10) para a variável resposta condutividade, sendo  $C_1$  Concentração Linear.



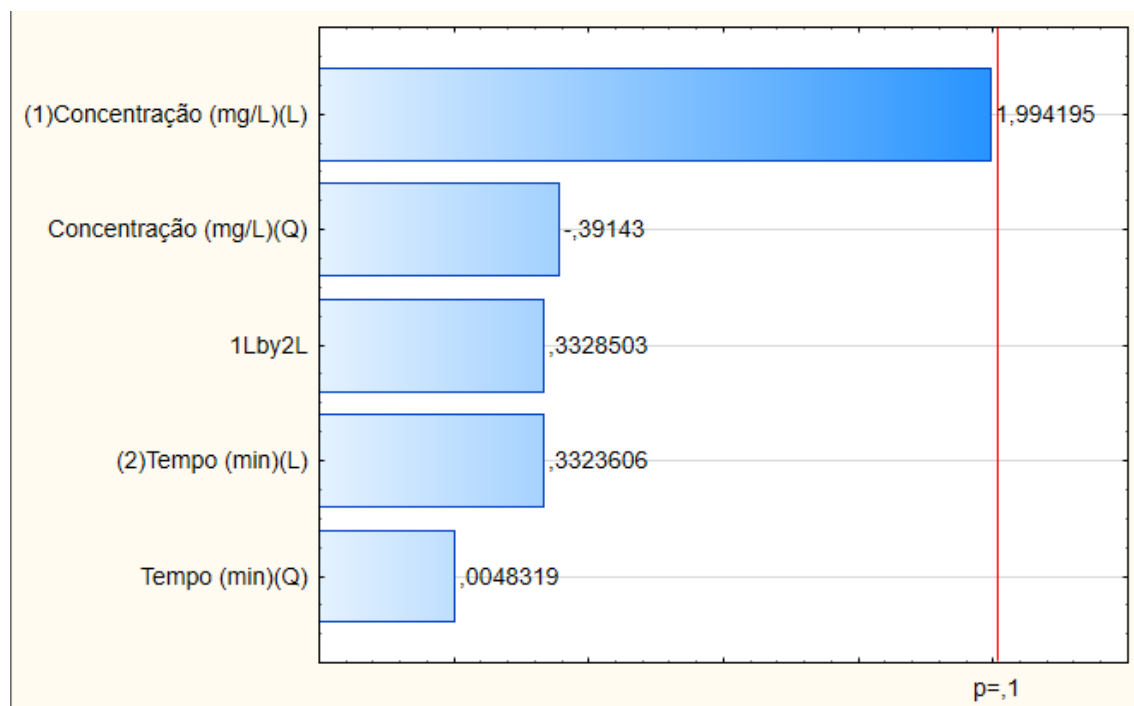


Figura 40 - Gráfico de Pareto para variável resposta condutividade para o Tanfloc SG.

$$\text{Condutividade} = 3,176364 + 0,042426C_1 \quad (10)$$

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para a remoção de cor foi avaliada pelo teste de análise de variância (ANOVA). 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  $F_{\text{tabelado}}$  (Tabela 27).

Tabela 27 - ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos para o Tanfloc SG.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	1	0,0036	0,003589528	6,640418681	3,36
Resíduo	9	0,0049	0,000540557		
Total	10	0,0085			

O modelo representado pela Equação (8) possui um  $R^2$  ajustado de 0,36063, ou seja, o modelo explica 36% da variação em relação a variável resposta condutividade.

Os erros de ajuste e erros relativos gerados pelo modelo, assim como os dados experimentais e valores previstos no modelo estão representados na Tabela 28 para a variável resposta condutividade.

**Tabela 28 - Valores experimentais de condutividade, previstos pelo modelo e desvios para o Tanfloc SG.**

<b>Valor Experimental</b>	<b>Valor Previsto</b>	<b>Erro Ajuste</b>	<b>Erro Relativo</b>
3,1900	3,1552	0,0348	0,0109
3,1800	3,1976	-0,0176	-0,0055
3,1800	3,1552	0,0248	0,0078
3,1900	3,1976	-0,0076	-0,0024
3,1000	3,1465	-0,0465	-0,0150
3,2200	3,2063	0,0137	0,0043
3,1600	3,1764	-0,0164	-0,0052
3,1800	3,1764	0,0036	0,0011
3,1800	3,1764	0,0036	0,0011
3,1800	3,1764	0,0036	0,0011
3,1800	3,1764	0,0036	0,0011

### 5.3.3 QCF

A condutividade teve uma pequena variação entre 3,17 e 3,21 mS/cm, diferindo um pouco da condutividade apresentada pelo efluente bruto, que foi de 3,06 mS/cm. Na Figura 41 pode-se notar que houve um aumento na condutividade com o aumento da concentração.

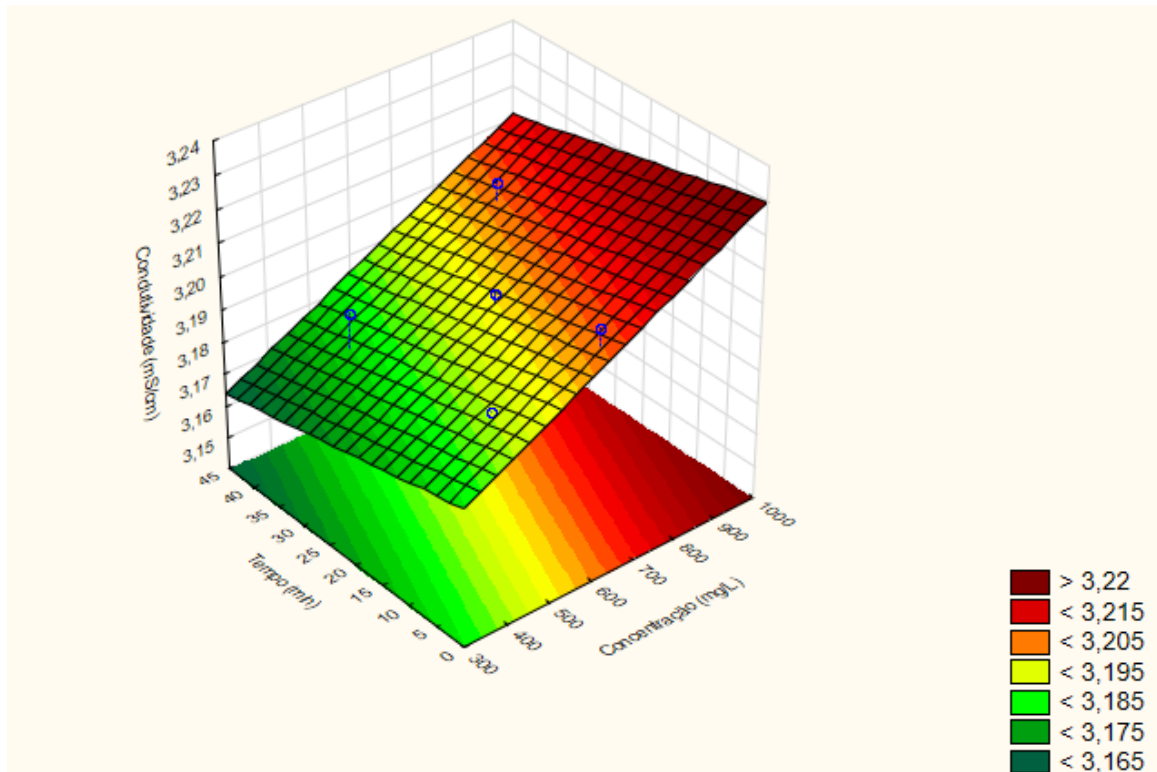


Figura 4136 - Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados para o QCF.

Ao se fazer a análise estatística, temos pela Figura 42 que a Concentração linear foi a única variável significativa, estando a Concentração quadrática, Tempo linear e quadrático e interação Concentração e Tempo com 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.	3,199970	0,004991	641,0865	0,000000	3,189912	3,210029	3,199970	0,004991	3,189912	3,210029
(1)Concentração (mg/L)(L)	0,024172	0,006122	3,9481	0,010872	0,011835	0,036509	0,012086	0,003061	0,005917	0,018254
Concentração (mg/L)(Q)	-0,006235	0,007305	-0,8535	0,432367	-0,020956	0,008486	-0,003118	0,003653	-0,010478	0,004243
(2)Tempo (min)(L)	-0,010607	0,006122	-1,7324	0,143740	-0,022943	0,001730	-0,005303	0,003061	-0,011472	0,000865
Tempo (min)(Q)	-0,001206	0,007305	-0,1650	0,875393	-0,015926	0,013515	-0,000603	0,003653	-0,007963	0,006757
1L by 2L	0,000000	0,008646	0,0000	1,000000	-0,017421	0,017421	0,000000	0,004323	-0,008711	0,008711

Figura 42 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade para o QCF. (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 ajustar o modelo com os parâmetros mais próximos dos 10% de significância, o coeficiente do Tempo linear passa a ser considerado significativo, com p-valor  $< 0,10$ .

Através do gráfico de Pareto, pode ser observada a influência das variáveis independentes em ordem decrescente no modelo gerado antes do ajuste (Figura 43).

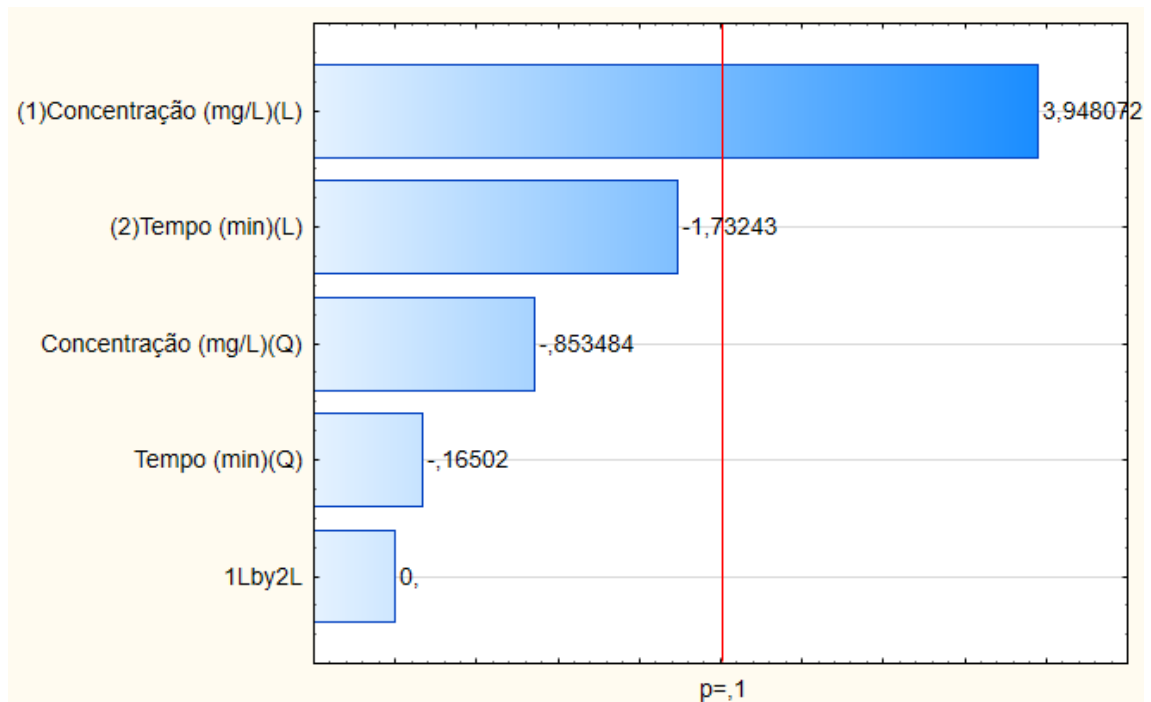


Figura 43 - Gráfico de Pareto para variável resposta condutividade para o QCF.

O modelo matemático gerado pelo coeficiente de regressão dos fatores significativo Concentração Linear ( $C_1$ ) e Tempo linear ( $T_1$ ) é demonstrado pela Equação (11) para a variável resposta condutividade.

$$\text{Condutividade} = 3,197273 + 0,024172C_1 - 0,010607T_1 \quad (11)$$

Pelo teste de análise de variância (ANOVA) ao nível de significância de 10%, tem-se que o modelo matemático é significativo, pois  $F_{\text{calculado}}$  é maior do que o  $F_{\text{tabelado}}$  (Tabela 29).

Tabela 29 - ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos para o QCF.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	2	0,0014	0,000694715	12,96256265	3,11
Resíduo	8	0,0004	5,3594E-05		
Total	10	0,0018			

Pode-se explicar a porcentagem de variação da variável resposta através do  $R^2$  ajustado, que foi de 0,76419, ou seja, o modelo gerado se ajusta aos dados experimentais, já que o modelo explica 76% da variação em relação a variável resposta.

Os erros de ajuste e erros relativos gerados pelo modelo, assim como os dados experimentais e valores previstos no modelo estão representados na Tabela 30 para a variável resposta condutividade.

**Tabela 30 - Valores experimentais de eficiência de remoção de condutividade, previstos pelo modelo e desvios para o QCF.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
3,1900	3,1905	-0,0005	-0,0002
3,2100	3,2147	-0,0047	-0,0015
3,1900	3,1799	0,0101	0,0032
3,2100	3,2041	0,0059	0,0019
3,1700	3,1802	-0,0102	-0,0032
3,2100	3,2143	-0,0043	-0,0013
3,2100	3,2048	0,0052	0,0016
3,1800	3,1898	-0,0098	-0,0031
3,2000	3,1973	0,0027	0,0009
3,2000	3,1973	0,0027	0,0009
3,2000	3,1973	0,0027	0,0009

#### 5.3.4 Cloreto férrico

A condutividade teve uma pequena variação entre 3,14 e 3,26 mS/cm, havendo um leve aumento da condutividade apresentada pelo efluente bruto, que foi de 3,06 mS/cm. Na Figura 44 pode-se notar que para as diferentes concentrações, assim como os tempos de sedimentação, não houve nenhum parâmetro que se sobressaiu em relação a variável resposta condutividade.

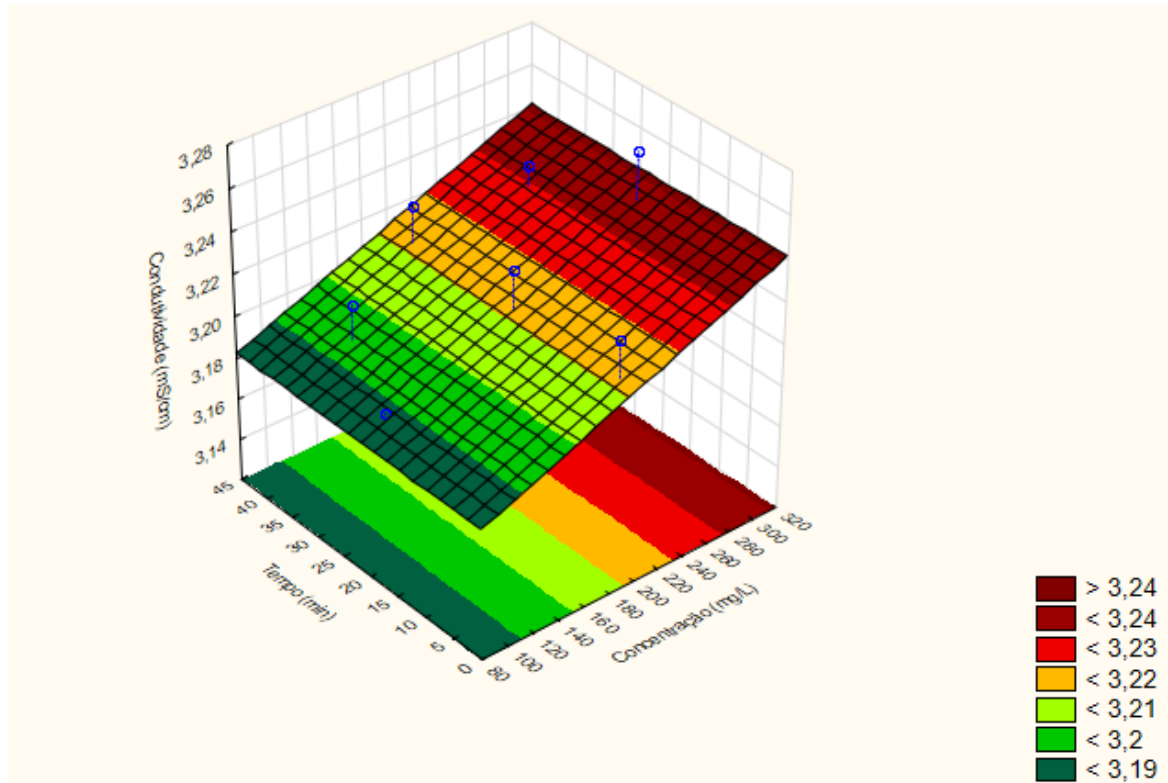


Figura 44 - Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados para o cloreto férrico.

A partir da Figura 45, nota-se que nenhum parâmetro foi significativo, estando a Concentração linear e quadrática, Tempo linear e quadrático e interação Concentração e Tempo com 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.	3,193399	0,019959	159,9960	0,000000	3,153181	3,233618	3,193399	0,019959	3,153181	3,233618
(1)Concentração (mg/L)(L)	0,034775	0,024478	1,4207	0,214654	-0,014549	0,084100	0,017388	0,012239	-0,007274	0,042050
Concentração (mg/L)(Q)	0,022879	0,029200	0,7835	0,468788	-0,035960	0,081718	0,011439	0,014600	-0,017980	0,040859
(2)Tempo (min)(L)	0,015044	0,024481	0,6145	0,565757	-0,034287	0,064375	0,007522	0,012241	-0,017143	0,032187
Tempo (min)(Q)	0,027916	0,029212	0,9556	0,383155	-0,030949	0,086780	0,013958	0,014606	-0,015474	0,043390
1L by 2L	0,010000	0,034571	0,2893	0,783991	-0,059662	0,079662	0,005000	0,017285	-0,029831	0,039831

Figura 45 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta condutividade para o cloreto férrico.

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

Mesmo após ajustar o modelo com os parâmetros mais próximos dos 10% de significância, com exceção da média, os coeficientes continuam sendo considerados não significativos. Assim, apenas para ilustração, é apresentado na Figura 46 o gráfico de Pareto com todos os coeficientes.

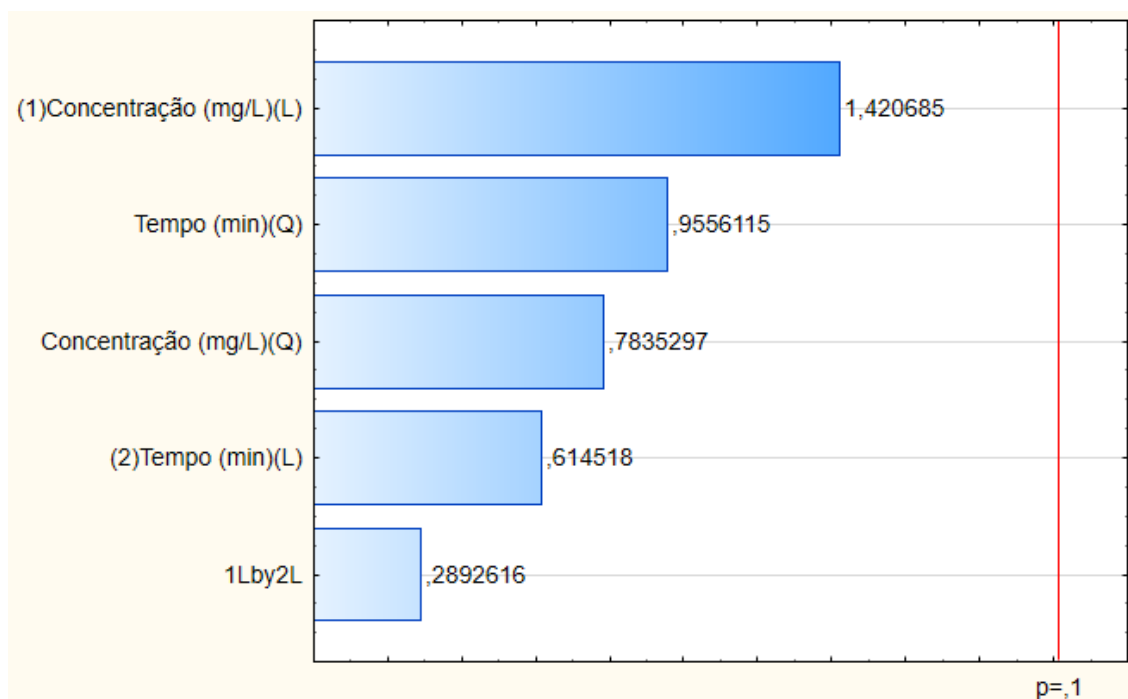


Figura 46 - Gráfico de Pareto para variável resposta condutividade para o cloreto férrico.

Para gerar a superfície de resposta, foram considerados os parâmetros mais próximos do significativo ( $p < 0,10$ ) e o modelo matemático gerado pelos coeficientes de regressão está representado pela Equação (12), em que  $C_1$  é a Concentração linear.

$$\text{Condutividade} = 3,211818 + 0,034775 C_1 \quad (12)$$

O teste de análise de variância (ANOVA) avalia a significância do modelo matemático, e através da Tabela 31 temos que o  $F_{\text{calculado}}$  é menor do que o  $F_{\text{tabelado}}$ , mostrando-se não significativo.

Tabela 31 - ANOVA para variável resposta condutividade com os fatores significativos para o cloreto férrico.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	1	0,0024	0,002412569	2,730718532	3,36
Resíduo	9	0,0080	0,000883492		
Total	10	0,0104			

Pode-se explicar a porcentagem de variação da variável resposta através do  $R^2$  ajustado, que foi de 0,14751, ou seja, o modelo gerado não se ajusta aos dados experimentais, já que o modelo explica somente 15% da variação em relação a variável resposta.

Os erros de ajuste e erros relativos gerados pelo modelo, assim como os dados experimentais e valores previstos no modelo estão representados na Tabela 32 para a variável resposta condutividade.

**Tabela 32 - Valores experimentais de eficiência de remoção de condutividade, previstos pelo modelo e desvios para o cloreto férrico.**

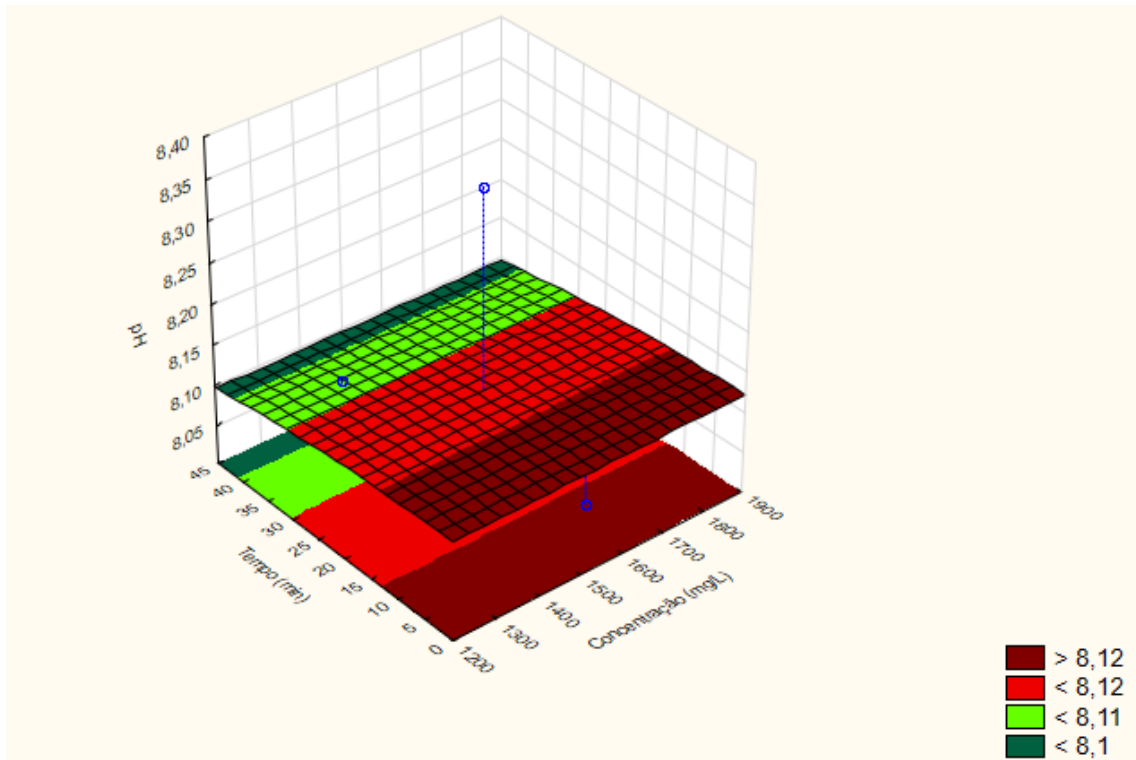
Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
3,1900	3,1944	-0,0044	-0,0014
3,2000	3,2292	-0,0292	-0,0091
3,2100	3,1944	0,0156	0,0049
3,2400	3,2292	0,0108	0,0033
3,1900	3,1873	0,0027	0,0008
3,2600	3,2363	0,0237	0,0073
3,2300	3,2118	0,0182	0,0056
3,2300	3,2118	0,0182	0,0056
3,1400	3,2118	-0,0718	-0,0229
3,2300	3,2118	0,0182	0,0056
3,2100	3,2118	-0,0018	-0,0006

## 5.4 Alteração do pH

### 5.4.1 *Moringa oleífera*

O pH das amostras variou entre 8,05 e 8,36. Em relação ao efluente bruto, em que o pH foi de 7,76, o mesmo tornou-se levemente mais básico. A Figura 47 mostra que as diferentes concentrações e os tempos de sedimentação não obtiveram uma significância nesse parâmetro.





**Figura 47 - Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para a *Moringa oleifera*.**

Porém, a concentração do ponto ótimo de 1550 mg/L com tempo de sedimentação 21,5 minutos sofreu uma maior alteração em relação as demais concentrações e tempos de sedimentação, com pH 8,36. Comparando as respostas obtidas para a triplicata, 2 ensaios com concentração e tempos semelhantes possuíram um pH de 8,10 e 8,11. Isso pode ter ocorrido devido a erro laboratorial.

De acordo com a Resolução CONAMA 430/11, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos, estando o pH entre 5 e 9. Por isso, o tratamento com a *Moringa oleifera* atende aos requisitos da legislação.

Foi realizada a análise estatística, através dos dados experimentais, por meio dos efeitos das variáveis independentes concentração e tempo, para a variável resposta pH (Figura 48).

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.	8,189889	0,055009	148,8822	0,000000	8,079043	8,300736	8,189889	0,055009	8,079043	8,300736
(1)Concentração (mg/L)(L)	-0,027707	0,067472	-0,4106	0,698339	-0,163667	0,108253	-0,013854	0,033736	-0,081834	0,054127
Concentração (mg/L)(Q)	-0,101390	0,080511	-1,2593	0,263497	-0,263623	0,060843	-0,050695	0,040255	-0,131811	0,030421
(2)Tempo (min)(L)	0,002056	0,067472	0,0305	0,976866	-0,133903	0,138016	0,001028	0,033736	-0,066951	0,069008
Tempo (min)(Q)	-0,106417	0,080509	-1,3218	0,243476	-0,268645	0,055812	-0,053208	0,040254	-0,134323	0,027906
1L by 2L	-0,010000	0,095280	-0,1050	0,920493	-0,201993	0,181993	-0,005000	0,047640	-0,100997	0,090997

Figura 48 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH para a *Moringa oleífera*. (L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração\*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Pode-se concluir, mesmo após novo ajuste do modelo, de que a variável resposta não foi influenciada pelas diferentes concentrações e nem pelos tempos de sedimentação. As variáveis Concentração linear e quadrática, Tempo linear e quadrático e interação Concentração e Tempo obtiveram um p-valor > 0,10, acima dos 10% de significância requerida para o modelo.

Isso pode ser melhor visualizado através do gráfico de Pareto (Figura 49), que nos mostra que a interferência das variáveis no modelo não foram significativas, pois nenhuma ultrapassou a linha vermelha.

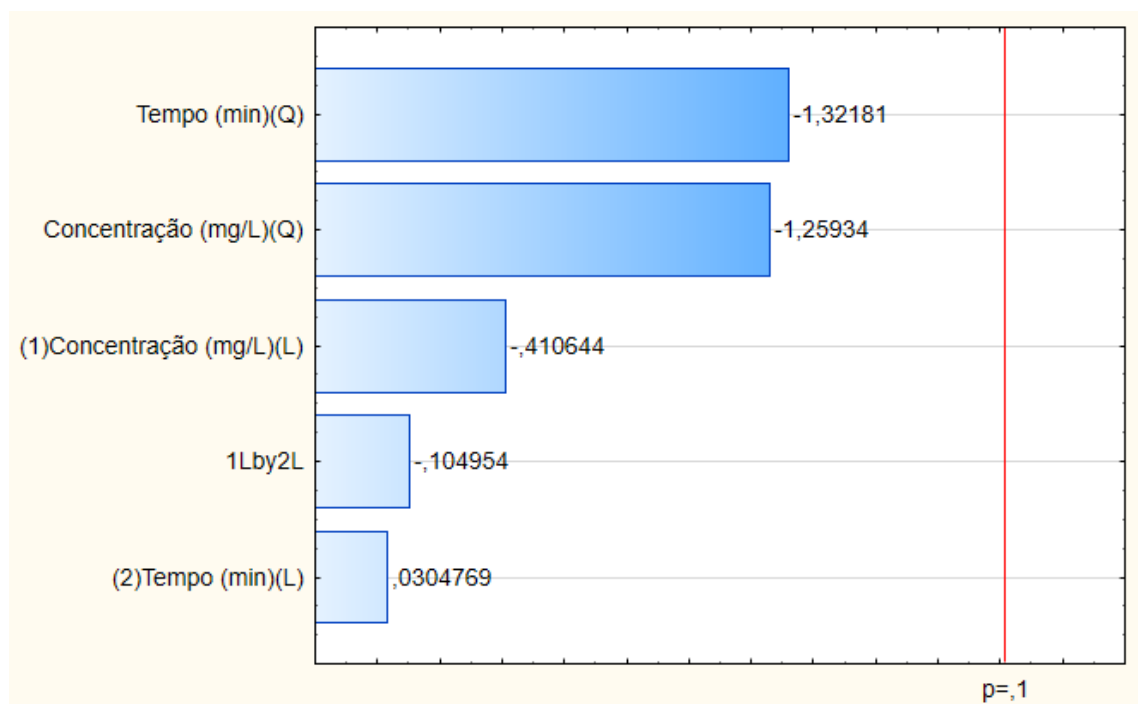


Figura 49 - Gráfico de Pareto para variável resposta pH para a *Moringa oleífera*.

Foram considerados os parâmetros mais próximos do p-valor = 0,10 para gerar a superfície de resposta. Assim, o modelo matemático gerado está descrito na Equação (13), em que  $T_1^2$  é o Tempo quadrático.

$$\text{pH} = 8,142417 - 0,076872 T_1^2 \quad (13)$$

O  $R^2$  ajustado foi de 0,03149, ou seja, apenas 3%. Além disso, pelos resultados da ANOVA (Tabela 33),  $F_{\text{calculado}}$  é menor que o  $F_{\text{tabelado}}$ , confirmando que o modelo mostra-se não significativo.

**Tabela 33 - ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos para a *Moringa oleífera*.**

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	2	0,0005	0,000236632	0,027043849	3,11
Resíduo	8	0,0700	0,008749933		
Total	10	0,0705			

Os erros de ajuste e erros relativos gerados pelo modelo, assim como os dados experimentais e valores previstos no modelo estão representados na Tabela 34 para a variável resposta pH.

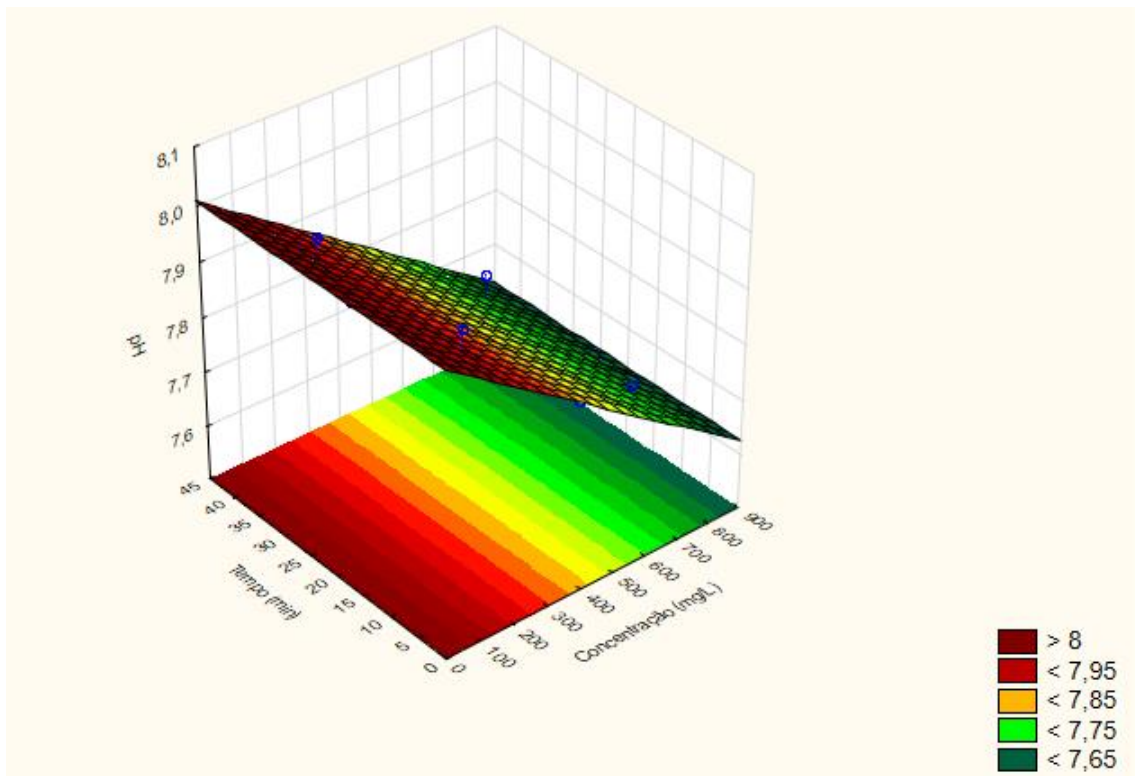
**Tabela 34 - Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios para a *Moringa oleífera*.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
8,1100	8,1214	-0,0114	-0,0014
8,1000	8,1214	-0,0214	-0,0026
8,1100	8,1065	0,0035	0,0004
8,0800	8,1065	-0,0265	-0,0033
8,1000	8,1162	-0,0162	-0,0020
8,0500	8,1162	-0,0662	-0,0082
8,0600	8,1222	-0,0622	-0,0077
8,0800	8,1012	-0,0212	-0,0026
8,1100	8,1162	-0,0062	-0,0008
8,3600	8,1162	0,2438	0,0292
8,1000	8,1162	-0,0162	-0,0020

### 5.4.2 Tanfloc SG

O pH da amostra sofreu pouca influência em comparação com o efluente bruto. O mesmo foi de 7,76 e a faixa em que o pH ficou após o tratamento foi de 7,73 a 7,93. Isso corrobora com o que foi descrito por Niero (2012), onde demonstra em suas pesquisas a não alteração do pH em grandes proporções.

A figura 50 mostra que o pH foi alterado pela concentração empregada, mostrando comportamento inversamente proporcional, quanto maior a concentração, menor o pH.



**Figura 50- Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para o Tanfloc SG.**

De acordo com a Resolução CONAMA 430/11, o tratamento com o Tanfloc SG atende aos requisitos da legislação.

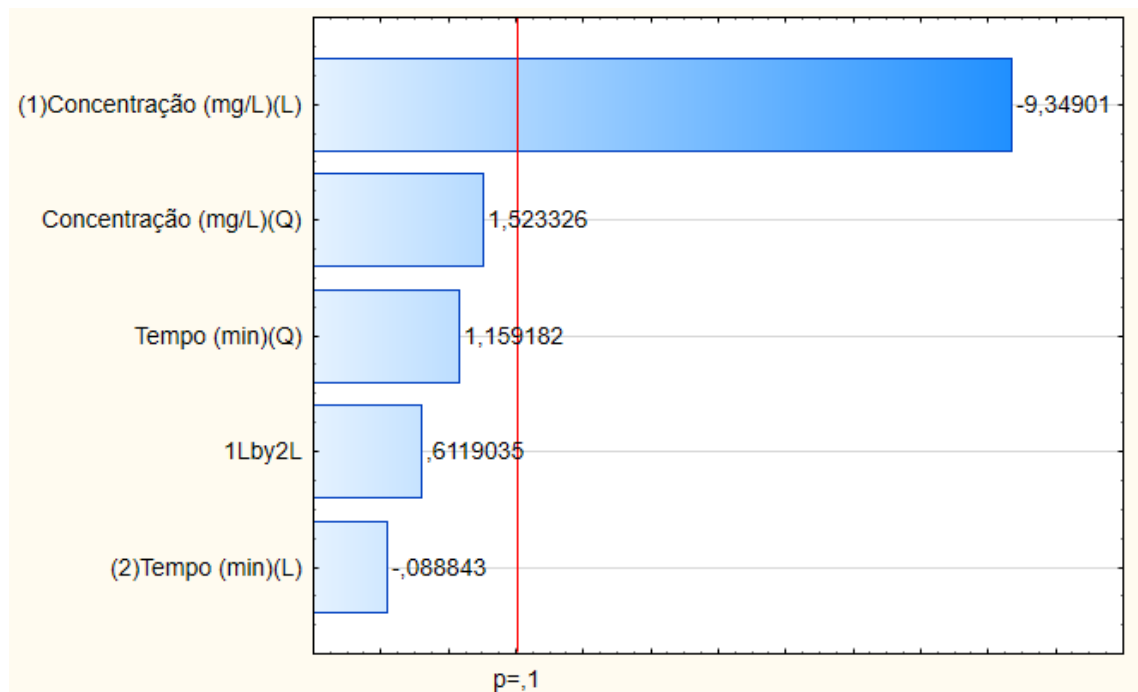
Os efeitos das variáveis independentes podem ser visualizados na Figura 51.

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.	7,793139	0,018870	412,9818	0,000000	7,755114	7,831164	7,793139	0,018870	7,755114	7,831164
(1)Concentração (mg/L)(L)	-0,216386	0,023145	-9,3490	0,000236	-0,263024	-0,169747	-0,108193	0,011573	-0,131512	-0,084873
Concentração (mg/L)(Q)	0,042069	0,027616	1,5233	0,188178	-0,013580	0,097717	0,021034	0,013808	-0,006790	0,048859
(2)Tempo (min)(L)	-0,002056	0,023146	-0,0888	0,932655	-0,048696	0,044583	-0,001028	0,011573	-0,024348	0,022292
Tempo (min)(Q)	0,032014	0,027618	1,1592	0,298728	-0,023637	0,087666	0,016007	0,013809	-0,011819	0,043833
1L by 2L	0,020000	0,032685	0,6119	0,567354	-0,045862	0,085862	0,010000	0,016342	-0,022931	0,042931

**Figura 5137 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH para o Tanfloc SG. (L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração\*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.**

Por possuir o p-valor  $< 0,10$ , tem-se que a Concentração linear foi significativa no modelo. Enquanto a Concentração quadrática, Tempo linear e quadrático e a interação Concentração e Tempo não foram significativos, com p-valor  $> 0,10$ .

O gráfico de Pareto (Figura 52) descreve, em ordem decrescente, a interferência das variáveis no modelo, representando a razão entre valor estimado e seu erro padrão, a variável Concentração linear foi significativa, uma vez que ultrapassou a linha vermelha.



**Figura 52 - Gráfico de Pareto para variável resposta pH para o Tanfloc SG.**

Pelo coeficiente de regressão do fator significativo foi gerado um modelo matemático para o parâmetro analisado, no qual a variável resposta é representada

pela Equação (14), de forma codificada, em que  $C_1$  representa a Concentração linear.

$$\text{pH} = 7,820000 - 0,216386C_1 \quad (14)$$

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para a variável resposta pH foi avaliado pelo teste de análise de variância (ANOVA) ao nível de 10%, mostrado na Tabela 35.

**Tabela 35 - ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos para o Tanfloc SG.**

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	1	0,0934	0,093373795	95,21240167	3,36
Resíduo	9	0,0088	0,000980689		
Total	10	0,1022			

Através da análise estatística, nota-se que o modelo matemático se apresenta de forma significativa, pois o Fcalculado é maior do que o Ftabelado.

O modelo de regressão quadrática gerado possui um  $R^2$  ajustado de 0,90404, assim o modelo explica 90% da variação em relação a variável resposta. Por isso, o modelo se ajusta bem aos dados experimentais.

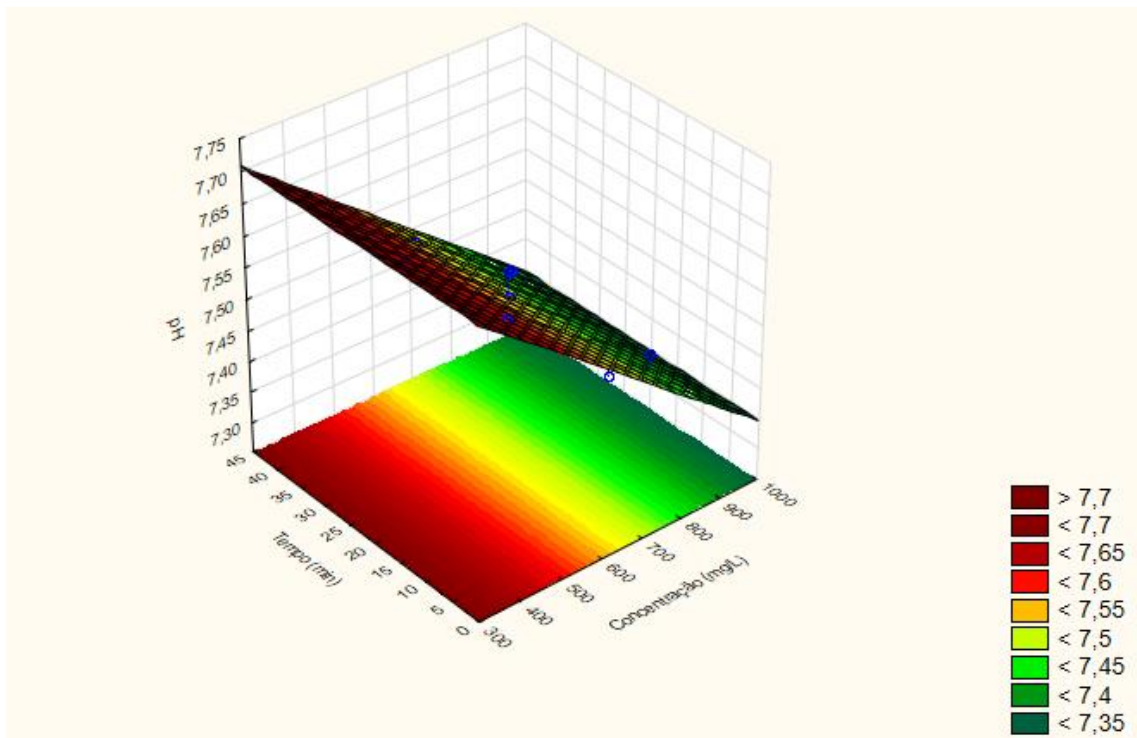
Os dados dos valores experimentais e valores previstos, bem como os erros de ajuste e os erros relativos previstos pelo modelo de eficiência de remoção de cor estão representados na Tabela 36.

**Tabela 36 - Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios para o Tanfloc SG.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
7,9700	7,9282	0,0418	0,0052
7,7300	7,7118	0,0182	0,0024
7,9600	7,9282	0,0318	0,0040
7,7600	7,7118	0,0482	0,0062
7,9600	7,9726	-0,0126	-0,0016
7,6600	7,6674	-0,0074	-0,0010
7,8100	7,8200	-0,0100	-0,0013
7,7900	7,8200	-0,0300	-0,0039
7,7900	7,8200	-0,0300	-0,0039
7,7900	7,8200	-0,0300	-0,0039
7,8000	7,8200	-0,0200	-0,0026

### 5.4.3 QCF

Para o coagulante QCF, o pH da amostra diminuiu à medida que a concentração foi aumentada, conforme pode ser observado na Figura 53. A mesma variou entre 7,36 e 7,65, não diferindo tanto do pH do efluente bruto, que foi de 7,76.



**Figura 53 - Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para o QCF.**

De acordo com a Resolução CONAMA 430/11, o tratamento com o QCF atende aos requisitos da legislação.

Os efeitos das variáveis independentes Concentração e Tempo podem ser visualizados na Figura 54.

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.	7,536568	0,016951	444,5991	0,000000	7,502410	7,570726	7,536568	0,016951	7,502410	7,570726
(1)Concentração (mg/L)(L)	-0,182767	0,020792	-8,7902	0,000316	-0,224663	-0,140870	-0,091383	0,010396	-0,112332	-0,070435
Concentração (mg/L)(Q)	-0,019102	0,024810	-0,7699	0,476117	-0,069095	0,030891	-0,009551	0,012405	-0,034547	0,015445
(2)Tempo (min)(L)	-0,001479	0,020792	-0,0711	0,946042	-0,043376	0,040417	-0,000740	0,010396	-0,021688	0,020209
Tempo (min)(Q)	-0,009043	0,024809	-0,3645	0,730394	-0,059035	0,040949	-0,004521	0,012405	-0,029517	0,020474
1L by 2L	0,000000	0,029361	0,0000	1,000000	-0,059164	0,059164	0,000000	0,014680	-0,029582	0,029582

Figura 54 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH para o QCF.

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

Por possuírem um p-valor > 0,10, tem-se que a Concentração quadrática, Tempo linear e quadrático e interação Concentração e Tempo não foram significativos no modelo. Enquanto a Concentração linear foi a única variável que influenciou a variável resposta pH com p-valor < 0,10.

Através do gráfico de Pareto, é descrito em ordem decrescente a interferência das variáveis no modelo, representando a razão entre valor estimado e seu erro padrão. A variável Concentração linear foi significativa, uma vez que ultrapassou a linha vermelha (Figura 55).

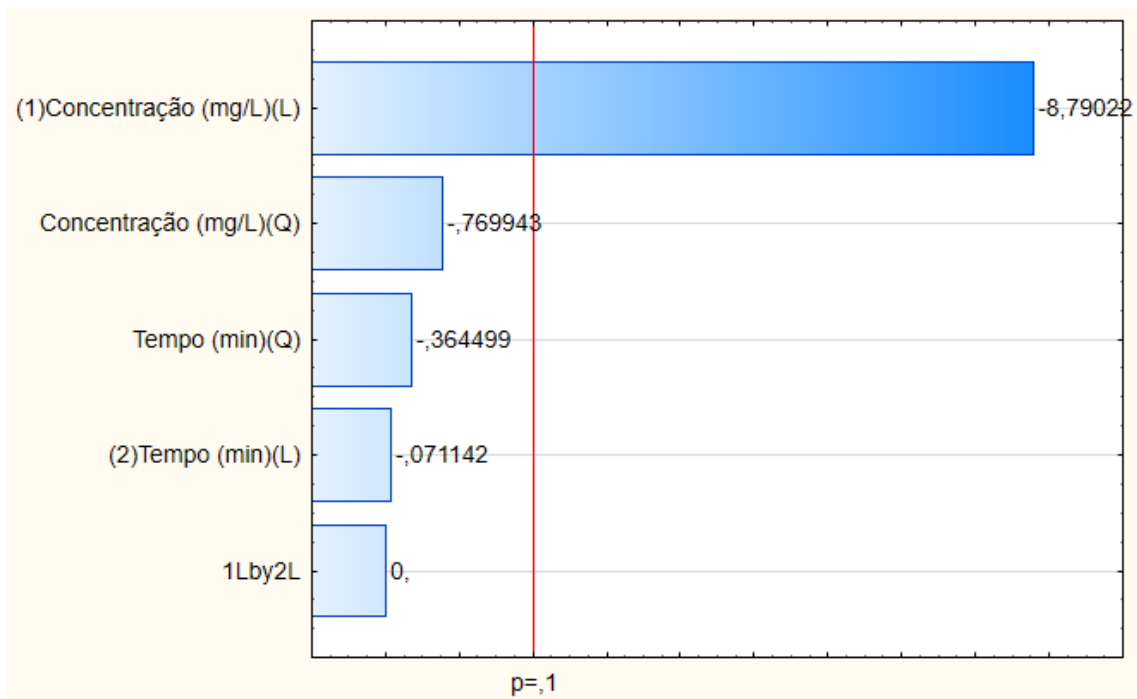


Figura 55 - Gráfico de Pareto para variável resposta pH para o QCF.

Pelos coeficientes de regressão dos fatores significativos foi gerado um modelo matemático para o parâmetro analisado, no qual a variável resposta é



representada pela Equação (15), de forma codificada, em que  $C_1$  representa a Concentração linear.

$$\text{pH} = 7,526364 - 0,182767C_1 \quad (15)$$

A ANOVA para o modelo matemático ajustado pode ser visualizada pela Tabela 37, em que  $F_{\text{calculado}}$  é maior que o  $F_{\text{tabelado}}$ , mostrando que o modelo matemático é significativo.

**Tabela 37 - ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos para o QCF.**

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	1	0,0666	0,066610299	123,7535552	3,36
Resíduo	9	0,0048	0,00053825		
Total	10	0,0715			

O modelo quadrático de regressão, apresentado na Equação (15), tem um  $R^2$  ajustado de 0,92467, mostrando que o modelo explica 92% da variação em relação a variável resposta. Por isso, o modelo se ajusta bem aos dados experimentais.

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 38.

**Tabela 38 - Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios para o QCF.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
7,6200	7,6177	0,0023	0,0003
7,4600	7,4350	0,0250	0,0034
7,6100	7,6177	-0,0077	-0,0010
7,4500	7,4350	0,0150	0,0020
7,6500	7,6552	-0,0052	-0,0007
7,3600	7,3975	-0,0375	-0,0051
7,5100	7,5264	-0,0164	-0,0022
7,5200	7,5264	-0,0064	-0,0008
7,5100	7,5264	-0,0164	-0,0022
7,5700	7,5264	0,0436	0,0058
7,5300	7,5264	0,0036	0,0005

#### 5.4.4 Cloreto Férrico

O pH da amostra variou de 7,30 a 7,64, não havendo muita alteração em comparação com o pH do efluente bruto de 7,76. Através da Figura 56, nota-se que as concentrações e os tempos de sedimentação têm influência sobre o parâmetro analisado.

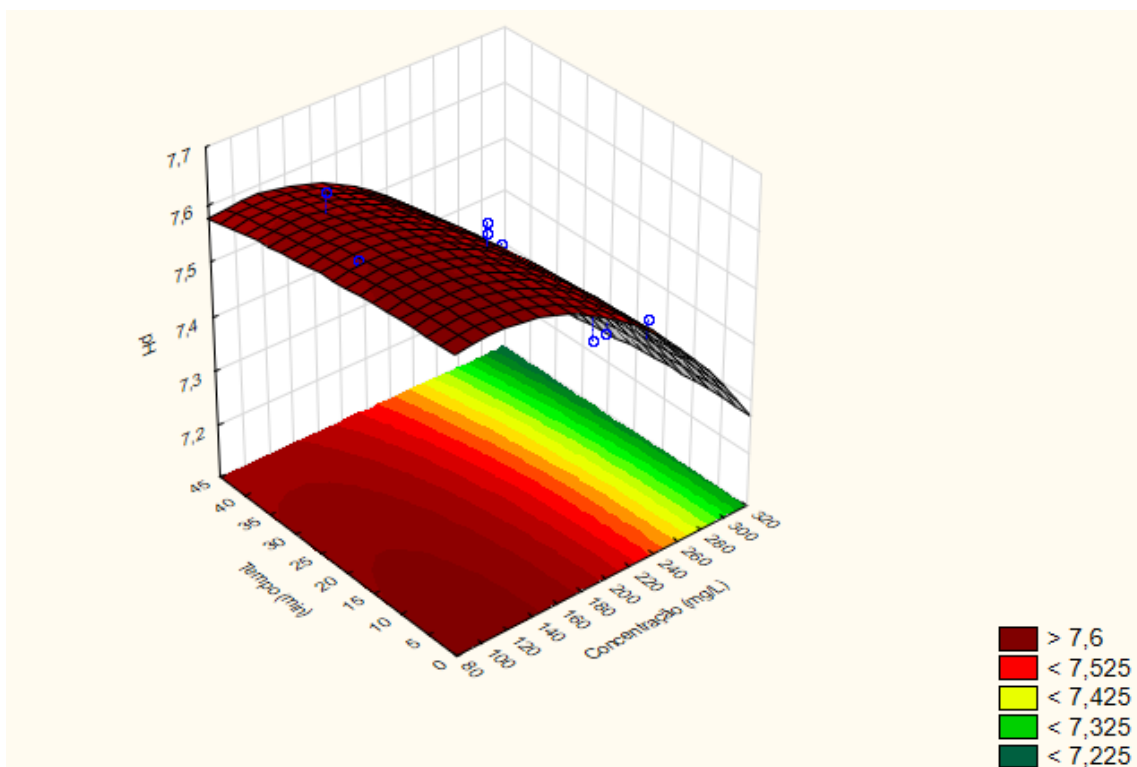


Figura 56 - Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para o cloreto férrico.

De acordo com a Resolução CONAMA 430/11, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos, estando o pH entre 5 e 9. Por isso, o tratamento com o cloreto férrico atende aos requisitos da legislação.

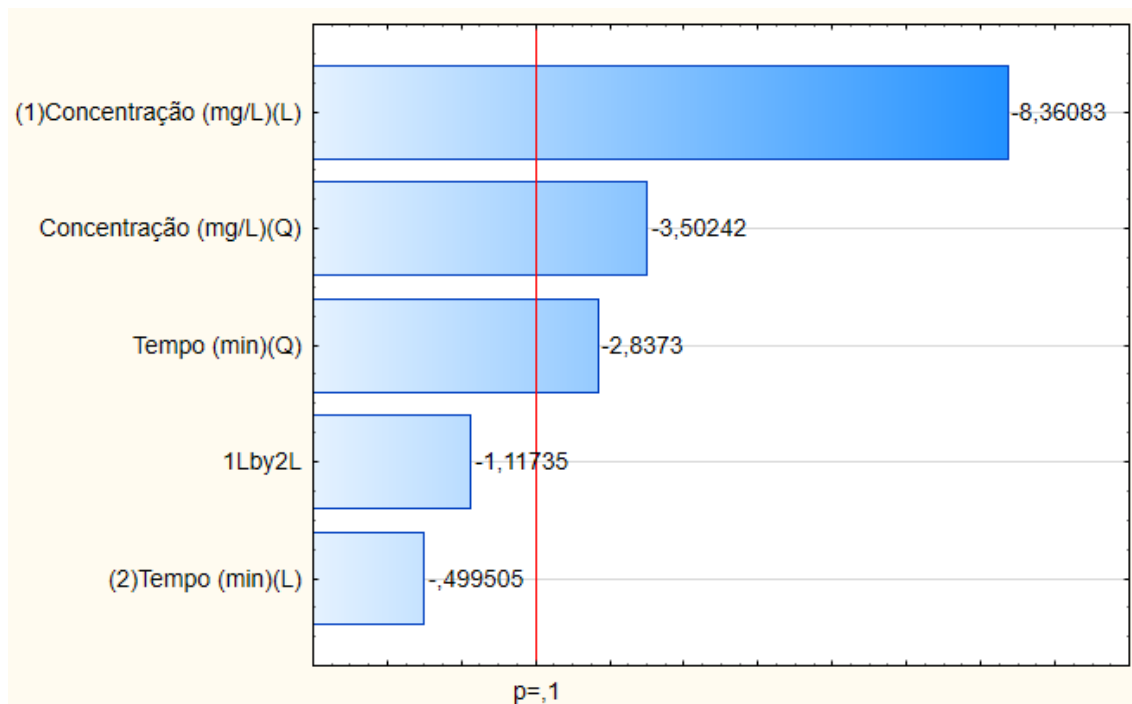
Estatisticamente, os efeitos das variáveis independentes podem ser visualizados na Figura 57.

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.	7,593163	0,020668	367,3817	0,000000	7,551515	7,634811	7,593163	0,020668	7,551515	7,634811
(1)Concentração (mg/L)(L)	-0,211926	0,025348	-8,3608	0,000401	-0,263003	-0,160850	-0,105963	0,012674	-0,131501	-0,080425
Concentração (mg/L)(Q)	-0,105903	0,030237	-3,5024	0,017240	-0,166832	-0,044974	-0,052951	0,015119	-0,083416	-0,022487
(2)Tempo (min)(L)	-0,012663	0,025351	-0,4995	0,638624	-0,063746	0,038420	-0,006331	0,012675	-0,031873	0,019210
Tempo (min)(Q)	-0,085829	0,030250	-2,8373	0,036361	-0,146785	-0,024873	-0,042915	0,015125	-0,073392	-0,012437
1L by 2L	-0,040000	0,035799	-1,1174	0,314638	-0,112137	0,032137	-0,020000	0,017899	-0,056068	0,016068

**Figura 57 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH para o cloreto férrico. (L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração\*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.**

Por possuírem um p-valor < 0,10, tem-se que a Concentração linear e quadrática e Tempo quadrático foram significativos no modelo. Enquanto o Tempo linear e a interação Concentração e Tempo não foram significativos, com p-valor > 0,10.

Através do gráfico de Pareto, é descrito em ordem decrescente a interferência das variáveis no modelo, representando a razão entre valor estimado e seu erro padrão, as variáveis que foram significativas, uma vez que ultrapassaram a linha vermelha (Figura 58).



**Figura 58 - Gráfico de Pareto para variável resposta pH para o cloreto férrico.**

Pelos coeficientes de regressão dos fatores significativos foi gerado um modelo matemático para a variável resposta analisada, o qual é apresentado pela

Equação (16), de forma codificada, em que  $C_1$  representa a Concentração linear,  $C_1^2$  a Concentração quadrática e  $T_1^2$  o Tempo quadrático.

$$\text{pH} = 7,593163 - 0,211926C_1 - 0,105903 C_1^2 - 0,085829 T_1^2 \quad (16)$$

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para a variável resposta pH foi avaliada pelo teste da análise de variância (ANOVA). Tem-se pela Tabela 39 que o  $F_{\text{calculado}}$  foi maior que o  $F_{\text{tabelado}}$ , então, o modelo matemático foi significativo.

**Tabela 39 - ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos para o cloreto férrico.**

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{tabelado}}$
Regressão	3	0,1016	0,033853527	14,07261696	3,07
Resíduo	7	0,0168	0,002405631		
Total	10	0,1184			

O modelo da Equação 17 possui um  $R^2$  ajustado de 0,8994, assim o modelo explica 90% da variação em relação a variável resposta. Por isso, o modelo se ajusta bem aos dados experimentais.

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 40.

**Tabela 40 - Valores experimentais de pH, previstos pelo modelo e desvios para o cloreto férrico.**

Valor Experimental	Valor Previsto	Erro Ajuste	Erro Relativo
7,5900	7,6315	-0,0415	-0,0055
7,4400	7,4196	0,0204	0,0027
7,6400	7,6023	0,0377	0,0049
7,4100	7,3904	0,0196	0,0026
7,6300	7,6236	0,0064	0,0008
7,3000	7,3246	-0,0246	-0,0034
7,5100	7,5688	-0,0588	-0,0078
7,4600	7,5277	-0,0677	-0,0091
7,6000	7,5571	0,0429	0,0056
7,6000	7,5571	0,0429	0,0056
7,5800	7,5571	0,0229	0,0030

## 5.5 Eficiência de remoção de sólidos (totais, fixos e voláteis)

### 5.5.1 *Moringa oleífera*

De forma geral, a porcentagem de eficiência de remoção de sólidos totais e fixos foi insatisfatória, já que a houve um acréscimo de sólidos, demonstrado pelos valores negativos (Tabela 41).

**Tabela 41 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis (%) utilizando *Moringa oleífera*.**

Concentração (mg/L)	Tempo (min)	Efic.Rem.Sól. Totais	Efic.Rem.Sól. Fixos	Efic.Rem.Sól. Voláteis
1372.7	8.38	2,5	-17,6	10,9
1727.3	8.38	-9,1	-37,0	2,5
1372.7	34.62	-20,9	-44,2	-11,1
1727.3	34.62	-18,4	-86,1	9,9
1300	21.5	-5,2	-3,0	-6,1
1800	21.5	-4,8	-108,5	38,5
1550	3	-39,1	-187,9	23,0
1550	40	-16,8	14,5	-29,9
1550	21.5	-17,3	-102,4	18,2
1550	21.5	-2,5	-107,9	41,5
1550	21.5	42,1	-47,9	79,7

Somente as concentrações 1372,7 e 1550 mg/L nos tempos 8,38 e 21,5 min, respectivamente, para sólidos totais obtiveram remoção de sólidos. O aumento de sólidos totais corroboram com estudos realizados por Arantes (2014) que verificou que após a adição do coagulante pó de *Moringa oleífera* 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%.

A remoção de sólidos voláteis teve seu auge com a concentração 1550 mg/L e tempo de sedimentação 21,5 minutos, com 79% de eficiência de remoção. O fato de haver remoção nos sólidos 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.

### 5.5.2 Tanfloc SG

Houve aumento dos sólidos nas amostras de sólidos totais e sólidos fixos para a maioria das concentrações utilizadas (Tabela 42). Como o efluente de indústria de café solúvel possui uma alta carga orgânica, e pelo coagulante Tanfloc SG ser um composto orgânico, isso pode ter gerado esse acréscimo de sólidos nas amostras.

**Tabela 42 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis (%) utilizando Tanfloc SG.**

Concentração (mg/L)	Tempo (min)	Efic.Rem.Sól. Totais	Efic.Rem.Sól .Fixos	Efic.Rem.Sól. Voláteis
184.7	8.38	1,6	-51,5	23,8
695.3	8.38	26,6	20,0	29,4
184.7	34.62	-12,3	-95,8	22,5
695.3	34.62	13,4	-106,1	63,3
80	21.5	-7,1	-111,5	36,5
800	21.5	-5,7	-19,4	0,0
440	3	22,3	-112,1	78,5
440	40	17,1	-49,7	45,1
440	21.5	7,5	-12,7	15,9
440	21.5	-12,3	274,5	-132,2
440	21.5	8,2	-29,7	24,1

Em relação aos sólidos voláteis, assim como ocorreu com o coagulante *Moringa oleífera*, em que foi o parâmetro com melhor eficiência de remoção, devido o fato do efluente apresentar substâncias orgânicas, estas podem ter sido removidas juntamente com os sólidos que foram adicionados, uma vez que o coagulante proporcionou uma adição dos sólidos totais e fixos.

### 5.5.3 QCF

Pela Tabela 43, temos que as maiores eficiências de remoção de sólidos ficou em 61,1% na concentração 472,7 mg/L para os sólidos totais; 81,2% na concentração máxima 900 mg/L para os sólidos fixos e 66,6% na concentração 650 mg/L para os sólidos voláteis.

**Tabela 43 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis (%) utilizando QCF.**

Concentração (mg/L)	Tempo (min)	Efic.Rem.Sól. Totais	Efic.Rem.Sól. Fixos	Efic.Rem.Sól. Voláteis
472.7	8.38	61,1	-117,6	37,5
827.3	8.38	60,2	-104,2	41,8
472.7	34.62	35,0	35,8	34,7
827.3	34.62	44,3	70,3	33,4
400	21.5	31,1	38,8	27,8
900	21.5	48,9	81,2	35,4
650	3	38,7	27,3	43,5
650	40	45,9	-3,6	66,6
650	21.5	43,2	22,4	51,9
650	21.5	30,0	32,7	28,9
650	21.5	60,4	52,1	63,8

### 5.5.4 Cloreto férrico

As melhores porcentagens de remoção de sólidos ocorreram para o cloreto férrico, embora sua utilização atrelada com o quiabo também tenham obtido remoções de sólidos satisfatórias, comparando com os demais coagulantes *Moringa oleífera* e Tanfloc SG.

As maiores eficiências ficaram em 52,7% na concentração 129,1 mg/L para os sólidos totais; 92,7% na concentração 200 mg/L para os sólidos fixos e 83% na concentração 270,9 mg/L para os sólidos voláteis (Tabela 44).

**Tabela 44 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis (%) utilizando cloreto férrico.**

Concentração (mg/L)	Tempo (min)	Efic.Rem.Sól. Totais	Efic.Rem.Sól. Fixos	Efic.Rem.Sól. Voláteis
129.1	8.38	47,9	77,6	35,4
270.9	8.38	40,5	-61,2	83,0
129.1	34.62	52,7	-13,9	80,5
270.9	34.62	21,8	63,6	4,3
100	21.5	40,7	40,0	41,0
300	21.5	50,0	63,6	44,3
200	3	44,1	92,7	23,8
200	40	48,9	66,1	41,8
200	21.5	51,8	62,4	47,3
200	21.5	33,6	-127,9	-5,8
200	21.5	35,7	72,7	20,3

## 5.6 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE OS COAGULANTES

Na Tabela 45 estão descritos os valores para as melhores remoções dos parâmetros analisados.

**Tabela 45 - Valores das melhores eficiências atingidas por cada coagulante.**

Parâmetros	Coagulantes			
	Moringa oleífera	Tanfloc SG	QCF + Cloreto férrico	Cloreto férrico
<b>Efic.Rem.Cor Aparente</b>	27,5% (1372,7 mg/L 8,38 min)	50,5% (184,7 mg/L 34,62 min)	33,1% (650 mg/L 21,5 min)	34,8% (1291,1 mg/L 8,38 min)
<b>Efic.Rem.DQO</b>	Não houve remoção	27,9% (695,3 mg/L 34,62 min)	27,9% (650 mg/L 21,5 min)	26,2% (200 mg/L 21,5 min)
<b>Variação do pH (médio)</b>	8,11	7,82	7,53	7,52
<b>Variação da Condutividade elétrica (média)</b>	4,62	3,18	3,2	3,21
<b>Efic.Rem.Sól. Totais</b>	42,14% (1550 mg/L 21,5 min)	26,61% (695,3 mg/L 8,38 min)	61,1% (472,7 mg/L 8,38 min)	52,7% (129,1 mg/L 34,62 min)
<b>Efic.Rem.Sól. Fixos</b>	14,55% (1550 mg/L 40 min)	20% (695,3 mg/L 8,38 min)	81,2% (900 mg/L 21,5 min)	92,73% (200 mg/L 3 min)
<b>Efic.Rem.Sól. Voláteis</b>	79,75% (1550 mg/L 21,5 min)	78,48% (440 mg/L 3 min)	66,6% (650 mg/L 40 min)	83,04% (270,9 mg/L 8,38 min)



Temos que o coagulante Tanfloc SG possuiu as maiores remoções de cor e DQO, com 50,5% e 27,9% respectivamente. A eficiência de remoção de DQO para o QCF também obteve 27,9% de remoção equivalente ao do Tanfloc SG. Para tanto, tem-se que é necessário uma menor concentração do coagulante e num menor tempo de sedimentação, o que resulta em menor gasto de coagulante empregado e remoção mais rápida.

A alteração do pH mostrou mais significativa quando empregado o uso do coagulante *Moringa oleífera*, devido a mesma ser utilizada em solução salina para garantir a maior eficiência do tratamento. Para os demais coagulantes, Tanfloc SG, QCF e cloreto férrico os valores mantiveram-se bem próximos, entre 7,52 e 7,82. Nota-se que o tratamento com o QCF e o tratamento com cloreto férrico obtiveram quase os mesmos valores.

A condutividade elétrica mostrou-se mais elevada, em comparação com os demais coagulantes, para a *Moringa oleífera*, devido ser utilizada em solução salina.

A melhor remoção de sólidos totais foi obtida com o QCF, e para os sólidos fixos e voláteis para o cloreto férrico. Embora ambos os coagulantes alcançaram valores bem próximos de porcentagem de remoção de sólidos.

## 6 CONCLUSÃO

Com exceção da *Moringa oleífera*, o tratamento com o coagulante natural Tanfloc SG apresentou resultados tão bons quanto ao se utilizar o coagulante químico cloreto férrico. O coagulante Tanfloc SG possuiu as maiores remoções de cor e DQO, com 50,5% e 27,9%, respectivamente, além de apresentar uma significativa remoção de sólidos voláteis (78,48%).

A utilização do quiabo associado ao cloreto férrico (QCF) mostrou resultados quase equiparados aos apresentados no tratamento somente com o coagulante químico cloreto férrico. Porém, de forma geral, o QCF foi o que apresentou os resultados mais satisfatórios para quase todos os parâmetros analisados.

A remoção de cor para o QCF associado ao cloreto férrico ficou acima da apresentada pela *Moringa oleífera* (27,5%) e muito próxima do valor para o cloreto férrico (34,8%). A alteração de pH e os valores para condutividade elétrica não distinguiram-se em relação aos demais coagulantes Tanfloc SG e cloreto férrico. O incremento da utilização do QCF torna-se um diferencial e a possibilidade de se reduzir a concentração de cloreto férrico com a complementação do quiabo.

A utilização dos coagulantes naturais Tanfloc SG e o QCF tornam-se viável e uma alternativa que deve ser levado em consideração ao se tratar efluente de indústria de café solúvel.

## REFERÊNCIAS

AGARWAL, Monika et al. Utilization of Okra Gum for Treatment of Tannery Effluent. **International Journal of Polymeric Materials**. Taylor & Francis. Nov. 2001.

Disponível em:<

[http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/714975900#.VHTefovF\\_7M](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/714975900#.VHTefovF_7M)>. Acesso em: 10 mar. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos** (CNNPA), Resolução nº 12 de 1978.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington, 2012.

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

ARANTES, Camila C.; RIBEIRO, Tulio A. P.; PATERNIANI, José. E. S. Processamento de sementes de Moringa oleífera utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [On-Line], v.16, n.6, Campina Grande, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662012000600011&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000600011&lng=pt&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em: 30 mai. 2014.

ASSIS, Geovana B. R. de A. Ensaio de desidratação do QCF (*Abelmoschus Esculentus*) para uso como floculante. **63° Reunião Anual da SBPC Jovem** – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC. **Produção Mundial de Café: Principais Países Produtores**. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=48#2810>>. Acesso em: 22 set. 2014.

AYOUB, G. M. A. A model for flocculation in a gravel reactor: development and assessment. **Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua**, v.45, n.2, 1996.

BARBOSA, Gisele M. **Processo de clarificação convencional combinado com microfiltração visando ao reúso de efluente da indústria sucroalcooleira**.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p.37-39, 2011.

BAUMANN, E. R. Water quality and treatment: a handbook of public water supplies. **AWWA**, 3th ed. McGraw – Hill New York. 1971.

BONGIOVANI, Milene C. et al. Utilização do processo combinado coagulação/floculação/uf como processo alternativo ao tratamento convencional utilizando como coagulante a moringa oleífera lam. Periódico: **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**. São Paulo, v. 9, n. 11, p. 65-76, 2013.

BORBA, Luís R. **Viabilidade do uso da Moringa oleífera lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p.19-21, 2001.

BROWN, Theodore L.; LEMAY, Eugene; BURSTEN, Bruce E. **Química, a Ciência Central**, 9a Ed. São Paulo: Pearson - Prentice Hall, 2005.

CAMCIUC, M. VILAREM, G. GASET, A. Le gombo-Abelmoschus esculentus (L) Moench, une source possible de phospholipides, Oléagineux, Corps Gras Lipides, v. 4. n 5, 1997.

CARDOSO, Karina C. et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleífera Lam. **Acta Scientiarum**, Technology, vol. 30, n. 2 [On-line]. Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226522010>>. Acesso em: 22 mar. 2014.

CASSINI, Aline S. **Estudo de processos alternativos no pré-tratamento de efluentes provenientes da produção de isolados protéicos**. 179p. Tese de Doutorado (Departamento de Engenharia Química). Porto Alegre: UFRGS, 2008.

CASTRO-SILVA, Marcus A. et al. Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quaternário de amônio) – I. microrganismos filamentosos. **Revista Estudos de Biologia**, v. 26, n. 54, p. 21-27, 2004.

COAGULANTES DEL CINCA. **Cloreto de ferro**. Barcelona, Espanha, 1998. Disponível em: <<http://www.coagulantesdelcinca.com/productos.php?cvid=3>>. Acesso em: 22 mar. 2014.

COMÉRCIO E INDÚSTRIA DE MINÉRIOS Ltda – CIMIL. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos** – FISPQ. CLORETO FÉRRICO, n. 21. Abr/2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Levantamentos de safras**. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&>>. Acesso em: 22 set. 2014.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CEMA. 2009. Resolução n° 70 (Com as alterações da Resolução CEMA 72/2009). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília. Disponível em: < [http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RE\\_SOLUCOES/resolucao\\_cema\\_70\\_2009](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RE_SOLUCOES/resolucao_cema_70_2009)>. Acesso em: 30 jun. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2005). Resolução n° 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 17 mar. 2005. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 30 jun. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2011). Resolução n° 430 de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 13 mai. 2011. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 30 jun. 2014.

CORAL, Lucila A.; BERGAMASCO, Rosângela; BASSETI, Fátima de J. Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo. **2nd International Workshop - Advances in Cleaner Production**. 20-22 Maio, São Paulo, Brasil, p. 3, 2009.

COVENTYA Química Ltda. **WaterCare: Coagulação e Floculação**. Diadema, São Paulo, 2007-2012.

DI BERNARDO, Luiz et al. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Editora Rima, 2002.

DI BERNARDO, Luiz. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, V.1, 1993.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Editora Rima, 1566 p., 2005.

FRASSON, Alexandre C. **Escolha de alternativa tecnológica para tratamento e destino final de lodo gerado no tratamento de efluentes líquidos de agroindústrias com base no método AHP**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Linha de Pesquisa: Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos. Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2011.

FEIRA, José M. C. **Obtenção de polieletrólito polimérico a partir da modificação química de amido de mandioca**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.23, 2010.

FOLGOSI, Jean. MBA de Gestão e Tecnologias Ambientais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. **Revista Tratamento de Águas e Efluentes (TAE)**. Edição nº11 - fevereiro/março, 2013.

GHANDI, Giordano. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ. 81p. 2005.  
GHEBREMICHAEL, Kebreab A. **Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment**. 2004. 247 p. PhD thesis. Stockholm: Department of Land and Water Resources Engineering, 2004.

GIDDE, Millind R.; BHALERAO, Abhir. R.; MALUSARE, C. N. Comparative study of diferente forms of Moringa oleifera extracts for turbidity removal. **International Journal of Engineering Research and Development**, v. 2, n.1, p. 14-21, jul. 2012.

GRAHAM, Nigel et al. **Characterisation and coagulation performance of a tanninbased cationic polymer: a preliminary assessment**. Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 327, n. 1-3, p. 9-16, 2008.

JAHN, S. A. A. **Monitored Water Coagulation with Moringa Seeds in Village Households**. GTZ: Gate, n. 1/89 (May), p. 40-41, 1989.

KAWAMURA, Susumu. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. **Journal American Water Works Association**, v. 83, n. 10, p. 88-91, 1991.

LEME, Edson J. A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos: EdUFSCar, 595 p., 2010.

LIBÂNIO, Marcelo. et al. Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada. In: **19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. II – 051, Foz do Iguaçu, 1997.

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

LIMA, Gabriel J. A. **Uso de polímero natural do QCF como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial), Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 153 p. Rio de Janeiro, 2007.

MAGNAN, Rafael B. **Análise da viabilidade técnica e financeira da substituição do coagulante cloreto férrico por policloreto de alumínio durante o processo físico-químico no tratamento de efluente de abatedouro avícola**. 2010. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, p.3; 17-19, 2010.

MARTINEZ, Francisco L. et al. **Resinas de taninos vegetais para a remoção de metais**. Universidade de Havana, Cuba, 1997.

MARTINEZ, Francisco L. **Taninos vegetais e suas aplicações**. Universidade de Havana, Cuba, 1996.

MATOS, Antônio T. Práticas de manejo e tratamento de resíduos agroindustriais. **Caderno Didático**, n. 32, 52p. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 2004.

MCCONHACHIE, G. L. et al. Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes. **Water Research**, v. 33, n.6, p.1425-1434. 1999.

METCALF & EDDY. Inc. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p. 2003. Disponível em: <<http://scholar.google.com.br/scholar?q=%20Wastewater%20Engineering%20treatment%20Disposal%20Reuse>>. Acesso em: 18 mar. 2014.

MORAES, Leila C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

NDABIGENGESERE A.; NARASIAH, S. K; TALBOT B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. **Water Research**, v.29, n.2, p.703-710, 1995.

NIERO, Bruno; ALVES, Mauricio V.; SKORONSKI, Everton. 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.

NOGUEIRA, Fabio et al. Sementes de moringa oleífera e extrato de QCF no tratamento de efluentes urbanos e industriais. **II Encontro Nacional de Moringa**, nov. 2010, Aracaju, Sergipe, 2010.

NUNES, José A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 6ª edição revisada, ampliada e atualizada – Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade. 315p. 2012.

NWAIWU, N. E; ZALKIFUL, M. A.; RAUFU I. A. Seeking an alternative antibacterial and coagulation agent for household water treatment. **Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation**, Indonésia, v. 1, n. 1, p.1-9, 2012.

OKUDA T., OKADA M., BAES A. U, NISHIJIMA W. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in moringa oleifera seeds . **Water Research**, Volume 35, Issue 3, Pages 830-834. February, 2001.

PAULA, S. L. **Clarificação do extrato aquoso de Stevia Rebaudiana (Bert.) Bertoni, utilizando polímeros naturais**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)– Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PEDROSO, Keylla. et al. Avaliação do tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Maringá, Paraná, por processo de coagulação/floculação com Tanfloc SG. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.4, n.2, Agosto, p. 88, 2012.

QASIM, S.R.; MOTLEY, E. M.; ZHU. G. **Water Works Engineering - Planning, Design & Operation**, Prentice Hall PTR, 844 p., Rio de Janeiro, 2000.



RANGEL, Maria S. A. Moringa oleifera; uma planta de uso múltiplo. Embrapa-CPATC, Tabuleiros Costeiros. 1999. **Circular Técnica**, v.9, 41p. Aracaju, p. 23-31, 1999.

RITCHER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

RITTER, Cintia M. **Estudo da utilização de polímeros naturais abelmoschus esculentus (L.) Moench (malvaceae) e moringa oleifera lam (moringaceae) no tratamento de água de abastecimento**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, p.5-19, 2013.

RODRIGUES, Maria I.; LEMMA, Antonio F. **Planejamento de Experimentos & Otimização de Processos**. 2 ed. Campinas, SP: Editora AMIC, 2009.

SANTOS, Eliane P. C. C. dos et al. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Artigo Técnico: Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v.12, n. 4, p. 361-370, out./dez. 2007.

SCHNEIDER, Ivo A. H. **Tratamento primário de um efluente contendo proteínas de soja por flotação por ar dissolvido e sedimentação**. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Minas), Porto Alegre: UFRGS, 120p. 1991.

SILVA, Fernando J. A.; SOUZA, Liliane M. M.; MAGALHÃES, Sávio L. Uso potencial de biopolímero de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil índigo. **22º Congresso Brasileira de Engenharia Química**, Joinville, SC, 2004.

SILVA, Marcos E. R.; AQUINO, Marisete D.; SANTOS, André B. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbicos tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Revista Tecnologia**, v.28, n.2, p. 179, 2007.

SILVA, Telma S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. 87 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz, São Paulo, 1999.

SOUZA, José F.; LIMA, Guilherme M. de A. **Uso do QCF como auxiliar de floculação**. Sanemat: Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso, p.9, 1993.

SUTHERLAND, J.P. et al. Moringa oleifera as a natural coagulant. In: **Conference Of The Wauwtosa Economic Development Corporation**, 20, 1994, Sri Lanka. Colombo: WEDC, p. 273-275, 1994.

TANAC - Tratamento de águas. **Tanfloc SG**. Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: < <http://www.tanac.com.br/pt-br/produtos/aguas>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

TECNOLOGIA EM TRATAMENTO DE ÁGUA - SNatural. **Floculantes**. Disponível em < <http://www.snatural.com.br/Produtos-quimicos-tratamento-agua-Floculantes.html>>. Acesso em 15/02/2014.

THEODORO, Joseane D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano**. 2012. 185 f. Tese de Doutorado (Departamento de Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Set. 2012.

WATER FOOTPRINT NETWORK - WFN. **Pegada Hídrica**. Universidade de Twente, Holanda, 2004. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

## APÊNDICE A

**Tabela A-1. Dados de pH, cor aparente, condutividade elétrica e DQO do ensaio com *Moringa oleífera*.**

Ensaio	Concentração (mg/L)	Tempo (min)	pH	DQO (mg/L)	Condutividade (mS/cm)	Cor* (mg/L PtCo)
1	1372.7	8.38	8.11	1781,4	4.43	3400
2	1727.3	8.38	8.10	1854,6	4.79	3660
3	1372.7	34.62	8.11	1805,8	4.45	4320
4	1727.3	34.62	8.08	1854,6	4.85	4270
5	1300	21.5	8.10	2245,2	4.38	3980
6	1800	21.5	8.05	1805,8	4.81	3490
7	1550	3	8.06	1830,2	4.58	4610
8	1550	40	8.08	1683,8	4.63	4500
9	1550	21.5	8.11	1512,9	4.66	4490
10	1550	21.5	8.36	1732,6	4.64	4150
11	1550	21.5	8.10	1634,9	4.63	4330

\*diluição 10:100

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

Ensaio	Sól. Totais (mg/L)	Sól. Fixo (mg/L)	Sól. Voláteis (mg/L)
1	5460	1940	3520
2	6110	2260	3850
3	6770	2380	4390
4	6630	3070	3560
5	5890	1700	4190
6	5870	3440	2430
7	7790	4750	3040
8	6540	1410	5130
9	6570	3340	3230
10	5740	3430	2310
11	3240	2440	800

**Tabela A-3. Dados de pH, cor aparente, condutividade elétrica e DQO do ensaio com Tanfloc SG.**

Ensaio	Concentração (mg/L)	Tempo (min)	pH	DQO (mg/L)	Condutividade (mS/cm)	Cor* (mg/L PtCo)
1	184.7	8.38	7.97	1171,2	3.19	3820
2	695.3	8.38	7.73	1097,9	3.18	2670
3	184.7	34.62	7.96	1171,2	3.18	2320
4	695.3	34.62	7.76	1073,5	3.19	3050
5	80	21.5	7.96	1097,9	3.10	2420
6	800	21.5	7.66	1342	3.22	3160
7	440	3	7.81	1220	3.16	3680
8	440	40	7.79	1171,2	3.18	3780
9	440	21.5	7.79	1097,9	3.18	3690
10	440	21.5	7.79	1757	3.18	2810
11	440	21.5	7.8	1439,7	3.18	3600

\*diluição 10:100

**Tabela A-4. Dados dos sólidos totais, fixos e voláteis do Tanfloc SG.**

Ensaio	Sól. Totais (mg/L)	Sól. Fixo (mg/L)	Sól. Voláteis (mg/L)
1	5510	2500	3010
2	4110	1320	2790
3	6290	3230	3060
4	4850	3400	1450
5	6000	3490	2510
6	5920	1970	3950
7	4350	3500	850
8	4640	2470	2170
9	5180	1860	3320
10	6290	-2880	9170
11	5140	2140	3000

**Tabela A-5. Dados de pH, cor aparente, condutividade elétrica e DQO do ensaio com QCF.**

Ensaio	Concentração (mg/L)	Tempo (min)	pH	DQO (mg/L)	Condutividade (mS/cm)	Cor* (mg/L PtCo)
1	472.7	8.38	7.62	1244,4	3.19	3390
2	827.3	8.38	7.46	1439,7	3.21	3350
3	472.7	34.62	7.61	1220	3.19	3760
4	827.3	34.62	7.45	1415,3	3.21	3600
5	400	21.5	7.65	1171,2	3.17	4800
6	900	21.5	7.36	1195,6	3.21	4090
7	650	3	7.51	1366,4	3.21	4330
8	650	40	7.52	1220	3.18	4550
9	650	21.5	7.51	1073,5	3.20	3140
10	650	21.5	7.57	1268,8	3.20	4510
11	650	21.5	7.53	1171,2	3.20	4050

\*diluição 10:100

**Tabela A-6. Dados dos sólidos totais, fixos e voláteis do QCF.**

Ensaio	Sól. Totais (mg/L)	Sól. Fixo (mg/L)	Sól. Voláteis (mg/L)
1	2180	-290	2470
2	2230	-70	2300
3	3640	1060	2580
4	3120	490	2630
5	3860	1010	2850
6	2860	310	2550
7	3430	1200	2230
8	3030	1710	1320
9	3180	1280	1900
10	3920	1110	2810
11	2220	790	1430

**Tabela A-7. Dados de pH, cor aparente, condutividade elétrica e DQO do ensaio com cloreto férrico.**

Ensaio	Concentração (mg/L)	Tempo (min)	pH	DQO (mg/L)	Condutividade (mS/cm)	Cor* (mg/L PtCo)
1	129.1	8.38	7.59	1220	3.19	4680
2	270.9	8.38	7.44	1415,3	3.20	7480**
3	129.1	34.62	7.64	1220	3.21	3060
4	270.9	34.62	7.41	1439,7	3.24	4790
5	100	21.5	7.63	1220	3.19	4460
6	300	21.5	7.30	1244,4	3.26	4600
7	200	3	7.51	1220	3.23	5000
8	200	40	7.46	1146,8	3.23	3340
9	200	21.5	7.60	1097,9	3.14	4280
10	200	21.5	7.60	1220	3.23	4590
11	200	21.5	7.58	1146,8	3.21	4760

\*diluição 10:100; \*\*diluição 10:200

**Tabela A-8. Dados dos sólidos totais, fixos e voláteis do cloreto férrico.**

Ensaio	Sól. Totais (mg/L)	Sól. Fixo (mg/L)	Sól. Voláteis (mg/L)
1	2920	370	2550
2	3330	2660	670
3	2650	1880	770
4	4380	600	3780
5	3320	990	2330
6	2800	600	2200
7	3130	120	3010
8	2860	560	2300
9	2700	620	2080
10	3720	-460	4180
11	3600	450	3150