

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

VINÍCIUS YUGI HIGASHI

**USO DE COAGULANTES QUÍMICO E ORGÂNICO NO TRATAMENTO
DE ÁGUAS PROVENIENTES DE SISTEMA LÊNICO
Estudo de caso: Lago Igapó II**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2015

VINÍCIUS YUGI HIGASHI

**USO DE COAGULANTES QUÍMICO E ORGÂNICO NO TRATAMENTO
DE ÁGUAS PROVENIENTES DE SISTEMA LÊNICO**

Estudo de caso: Lago Igapó II

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Joseane Debora Peruço Theodoro

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Edilaine Regina Pereira

LONDRINA

2015



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



TERMO DE APROVAÇÃO¹

Uso de coagulantes químico e orgânico no tratamento de águas provenientes de sistema lântico – Estudo de caso: Lago Igapó II

por

Vinícius Yugi Higashi

Monografia apresentada no dia 17 de junho de 2015 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. Ajadir Fazolo
(UTFPR)

Prof. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Co-orientadora

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
(UTFPR)
Orientadora

Profa. Dra. Lígia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

¹ A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, Altíssimo e Todo Poderoso, pelo dom da vida e amparo nos momentos de fraqueza.

Agradeço a minha orientadora, professora Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro, e a minha co-orientadora, professora Dra. Edilaine Regina Pereira, pela dedicação, apoio e disponibilidade na orientação deste trabalho.

Agradeço também ao Msc. Paulo Sergio Theodoro, pelo fundamental auxílio nas análises estatísticas e laboratoriais deste trabalho.

Agradeço aos professores da banca examinadora, pela contribuição e atenção dada a este trabalho.

Agradeço a todos os meus colegas de turma, curso e universidade, em especial a Anaclara, Letícia, Thales, Danielle, Luiz, David e Lígia, pela amizade e ajuda direta e indireta na realização deste trabalho.

Por fim, agradeço aos meus familiares, em especial aos meus pais, Osvaldo e Salete, que sempre me deram total apoio e condições para que concluísse mais essa etapa.

RESUMO

HIGASHI, Vinícius Y. Uso de coagulantes químico e orgânico no tratamento de águas provenientes de sistema lântico - Estudo de caso: Lago Igapó II. 85 f. 2015. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

A proposta deste trabalho foi avaliar, através de parâmetros físicos e químicos, a eficiência no processo de coagulação/floculação/sedimentação de dois coagulantes químicos (sulfato de alumínio e cloreto férrico) e um orgânico (*Moringa oleifera*), tratando água de um sistema lântico (Lago Igapó II), localizado no município de Londrina – PR. Foram feitas duas coletas de água com características distintas: a primeira, após período de estiagem, apresentou baixos índices de sólidos suspensos e dissolvidos; e a segunda, feita após um período chuvoso, apresentou índices relativamente altos de sólidos suspensos e dissolvidos. A solução coagulante obtida a partir das sementes da *Moringa oleifera* foi preparada conforme a metodologia de Bergamasco (2008), e as soluções de coagulantes químicos foram feitas conforme a metodologia de Trevisan (2014). Após o ensaio de coagulação/floculação/sedimentação feito por meio do aparelho jar-teste, realizou-se um estudo comparativo quanto à remoção de turbidez, cor aparente e variação de pH após 3, 13 e 23 minutos de sedimentação. Para a primeira bateria de ensaios no jar-teste, utilizou-se as amostras de água com condições de baixos sólidos dissolvidos para todos os coagulantes, e pôde-se perceber que este fato dificultou a formação dos flocos e conseqüentemente o processo de sedimentação, levando a resultados de remoção dos parâmetros físicos cor aparente e turbidez muitas vezes, negativos. Para a segunda bateria de ensaios, utilizou-se as amostras de água com alta presença de sólidos dissolvidos, e obteve-se resultados mais representativos. Os coagulantes químicos demonstraram maiores remoções em dosagens mais altas (25 ml e 35 ml), porém tendo no pH a variável dominante no sucesso do processo de remoção de cor aparente e turbidez, tendo apresentado picos de remoção desses parâmetros em torno de 95% para o cloreto férrico e 99% para o sulfato de alumínio, sendo o valor de pH mais próximo da neutralidade (8,0) o que obteve esses melhores resultados de remoção e que também atendeu aos limites de potabilidade da Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde. O coagulante a base da semente da *Moringa oleifera* apresentou remoções menores (cerca de 85% para os dois parâmetros físicos avaliados) e também não atendeu aos limites de potabilidade definidos pela Portaria já citada, porém mostrou uma faixa mais ampla de pH para se trabalhar.

Palavras-chave: Coagulação, tratamento de água, sistema lântico, *Moringa oleifera*.

ABSTRACT

HIGASHI, Vinícius Y. Use of chemical and organic coagulant in water treatment from lentic system: Case of study - Lago Igapó II. 85 f. 2015. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

The purpose of this study was to evaluate, through physical and chemical parameters, the efficiency in the process of coagulation/flocculation/sedimentation of two chemical coagulants (aluminum sulfate and ferric chloride) and one natural (*Moringa oleifera*), treating water from a lentic system (Lago Igapó II), located in the city of Londrina – PR. Two water collections with different characteristics were made: the first collection was made after a period of drought and showed low levels of suspended and dissolved solids; and the second collection was made after a rainy period and had relatively high levels of suspended and dissolved solids. The coagulant solution obtained from the seeds of *Moringa oleifera* was prepared according to the methodology of Bergamasco (2008). The chemical coagulant solutions were made as the methodology of Trevisan (2014) . Three levels of variation in the pH of the water were tested, there levels of dosing of each of coagulating solutions and three times of sedimentation were tested. Was simulated with the jar- test the same conditions of rapid mixing and flocculation used in ETAs. After the test of coagulation/flocculation/sedimentation was made, a comparative study to remove turbidity, color apparent and pH change after 3, 13 and 23 minutes of settling was made. For the first battery of tests on the jar- test, it was used the water samples with low dissolved solids conditions for all three coagulants, and was seen that this fact hindered the formation of flakes and hence the sedimentation process, leading to removing results of the physical parameters apparent color and turbidity often negative. For the second round of tests, it was used the water samples with high presence of dissolved solids, and it has shown most representative results. The chemical coagulants has shown higher removal at higher dosages (25 ml and 35 ml), however the pH has been standing out as the dominant variable in the success of the apparent color and turbidity removal process, presenting removal of these parameters peaks around 95 % for ferric chloride and 99% for aluminum sulfate, being the closest pH of neutrality (8.0) which obtained those best removal results and that also met the potability limits of Ordinance 2914/2011 of the Ministry of Health. The coagulant solution based on *Moringa oleifera*'s seeds showed lower rates of removal (about 85% for both physical parameters evaluated) and also did not meet the potability limits for drinking water set by the aforementioned Ordinance, but showed a wider range of pH to work with.

Keywords: coagulation, water treatment, lentic system, *Moringa oleifera*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tecnologias no tratamento de água para consumo humano	22
Figura 2: Fotos da árvore adulta, de suas folhas e vagens com as sementes	30
Figura 3: Esquema da vista por satélite da localização do Lago Igapó II. O ponto destacado ilustra o local onde foram feitas as coletas	33
Figura 4: Coleta do dia 06/02/2015. a) e b) aspecto geral do Lago Igapó II; c) coleta de água do lago com o balde plástico; d) armazenamento em galão plástico	34
Figura 5: Imagens da coleta do dia 19/02/2015. a) Aspecto geral do Lago Igapó II; b) aspecto da água	35
Figura 6: Solução coagulante de <i>Moringa oleifera</i>	37
Figura 7: Solução coagulante de cloreto férrico	37
Figura 8: Solução coagulante de sulfato de alumínio	38
Figura 9: Remoção da cor pelo coagulante A (sulfato de alumínio)	44
Figura 10: Remoção da cor pelo coagulante B (cloreto férrico)	44
Figura 11: Remoção da cor pelo coagulante C (<i>Moringa oleifera</i>)	45
Figura 12: Remoção da cor pelo coagulante A (sulfato de alumínio)	46
Figura 13: Remoção da cor pelo coagulante B (cloreto férrico)	47
Figura 14: Remoção da cor pelo coagulante C (<i>Moringa oleifera</i>)	47
Figura 15: Remoção da turbidez pelo coagulante A (sulfato de alumínio)	48
Figura 16: Remoção da turbidez pelo coagulante B (cloreto férrico)	49
Figura 17: Remoção da turbidez pelo coagulante C (<i>Moringa oleifera</i>)	49
Figura 18: Remoção da turbidez pelo coagulante A (sulfato de alumínio)	50
Figura 19: Remoção da turbidez pelo coagulante B (cloreto férrico)	51
Figura 20: Remoção da turbidez pelo coagulante C (<i>Moringa oleifera</i>)	51
Figura 21: Teste de significância (Wilks) para o coagulante A, bateria 1	53
Figura 22: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante A, bateria 1	53
Figura 23: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante A, bateria 1	54
Figura 24: Teste de significância (Wilks) para o coagulante B, bateria 1	55
Figura 25: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante B, bateria 1	56

Figura 26: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante B, bateria 1	56
Figura 27: Teste de significância (Wilks) para o coagulante C, bateria 1	57
Figura 28: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante C, bateria 1	58
Figura 29: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante C, bateria 1	58
Figura 30: Teste de significância (Wilks) para o coagulante A, bateria 2	59
Figura 31: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante A, bateria 2	60
Figura 32: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante A, bateria 2	60
Figura 33: Teste de significância (Wilks) para o coagulante B, bateria 2	61
Figura 34: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante B, bateria 2	62
Figura 35: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante B, bateria 2	62
Figura 36: Teste de significância (Wilks) para o coagulante C, bateria 2	63
Figura 37: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante C, bateria 2	64
Figura 38: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante C, bateria 2	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais características dos coagulantes utilizados neste experimento.....	25
Tabela 2: Valores de pH utilizados para a bateria de ensaios 1.....	35
Tabela 3: Valores de pH utilizados para a bateria de ensaios 2.....	36
Tabela 4: Gradiente de rotação das hastes misturadoras e tempo de ação.....	35
Tabela 5: Correlação entre os coagulantes e seus respectivos códigos.....	40
Tabela 6: Correlação entre os valores reais das variáveis independentes e seus respectivos códigos, para a bateria de ensaios 1.....	40
Tabela 7: Correlação entre os valores reais das variáveis independentes e seus respectivos códigos, para a bateria de ensaios 2.....	41
Tabela 8: Ordem numérica dos ensaios e seus respectivos valores de variação de réplica, ph e dosagem para todos os coagulantes e baterias de ensaios.....	41
Tabela 9: Valores encontrados nas amostras de água bruta utilizada na primeira bateria de ensaios.....	42
Tabela 10: Valores dos íons encontrados nas amostras de água bruta utilizada na primeira bateria de ensaios.....	42
Tabela 11: Valores encontrados nas amostras de água bruta utilizada na segunda bateria de ensaios.....	43
Tabela 12: Valores dos íons encontrados nas amostras de água bruta utilizada na segunda bateria de ensaios.....	43
Tabela 13: Médias para cada elemento químico e coagulante, dentro de cada bateria.....	65
Tabela 14: Porcentagens de remoção para cada elemento químico, coagulante e bateria de ensaios.....	66

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

APHA	American Public Health Association
Ca	Cálcio
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
g	gramas
g.cm ⁻³	gramas por centímetro cúbico
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
K	Potássio
L	Litros
M	Molar
mg/L	miligramas por litro
MS	Ministério da Saúde
Na	Sódio
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
uc	Unidades de Cor
uH	Unidades de Hazen
uT	Unidades de Turbidez
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 IMPORTÂNCIA E PROBLEMAS DA ÁGUA.....	15
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA.....	17
3.2.1 Características físicas.....	17
3.2.1.1 Cor.....	17
3.2.1.2 Turbidez.....	18
3.2.2 Características químicas.....	19
3.2.2.1 pH.....	19
3.2.2.2 Presença de metais.....	20
3.3 NECESSIDADE E ETAPAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA.....	21
3.4 COAGULANTES.....	24
3.4.1 Coagulantes químicos.....	24
3.4.1.1 Sulfato de alumínio.....	25
3.4.1.2 Cloreto férrico.....	27
3.4.2 Coagulantes orgânicos.....	28
3.4.2.1 <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	28
3.5 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PERTINENTE A QUALIDADE DA ÁGUA.....	31
3.5.1 Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.....	31
3.6 SISTEMAS LÊNTICOS.....	32
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	33
4.2 AMOSTRAGEM.....	34
4.3 AJUSTE DOS VALORES DE PH.....	35
4.4 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES COAGULANTES.....	36
4.2.1 Solução salina do coagulante da <i>Moringa oleifera</i>	36
4.2.2 Soluções de cloreto férrico e sulfato de alumínio.....	37
4.5 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO.....	38
4.6 ANÁLISE DOS PARÂMETROS.....	39
4.6.1 Cor aparente.....	39
4.6.2 Turbidez.....	39
4.6.3 pH.....	39
4.6.4 Análise de potássio, sódio e cálcio.....	40
4.7 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS COLETADAS.....	42
5.1.1 Bateria de Ensaios 1.....	42
5.1.2 Bateria de Ensaios 2.....	43
5.2 ANÁLISE DAS REMOÇÕES DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA.....	43
5.2.1 Remoção da cor.....	44
5.2.1.1 Bateria de Ensaios 1.....	44
5.2.1.2 Bateria de Ensaios 2.....	46
5.2.2 Remoção da Turbidez.....	48
5.2.2.1 Bateria de Ensaios 1.....	48
5.2.2.2 Bateria de Ensaios 2.....	50
5.3 ANÁLISE CONFORME O PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	52
5.3.1 Bateria de Ensaios 1.....	52
5.3.1.1 Coagulante A.....	52

5.3.1.2 Coagulante B.....	55
5.3.1.3 Coagulante C.....	57
5.3.2 Bateria de ensaios 2.....	59
5.3.2.1 Coagulante A.....	59
5.3.2.2 Coagulante B.....	61
5.3.2.3 Coagulante C.....	63
5.4 ANÁLISE DA REMOÇÃO DOS METAIS.....	65
5.5 ADEQUAÇÃO DOS RESULTADOS PERANTE A PORTARIA 2914/2011.....	67
5.5.1 Bateria de ensaios 1.....	67
5.5.2 Bateria de ensaios 2.....	68
5.6 CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS COM A BIBLIOGRAFIA.....	69
6 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICES.....	79

1 INTRODUÇÃO

Verificando o balanço global da Terra, cientistas comprovaram que, ainda neste século ocorrerá escassez de água doce para consumo humano (PAVANELLI, 2001).

Além da escassez, pode-se destacar também a poluição nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos sobressalentes. Por constituir um aceptor final de poluição, os rios e lagos acabam sofrendo ainda com fontes de poluição secundárias, como a atmosférica e do solo.

A poluição tem origem na ação antrópica modificadora do ambiente. A mata ciliar está sendo substituída por plantações agrícolas, visando a ampliação da área de cultivo e conseqüentemente, o lucro. Este procedimento, dentre outros prejuízos ambientais, gera um aumento significativo da turbidez dos cursos d'água. Além de mais turva, a qualidade das águas dos rios torna-se cada vez pior, com variedade de componentes químicos, físicos e biológicos, dificultando e encarecendo seu tratamento (CARVALHO, 2008).

A Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), afirma que toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade, ou seja, os parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e radioativos devem ser atendidos. Dessa forma, diversos coagulantes estão sendo utilizados, para remoção de cor e turbidez da água bruta de forma a torná-la potável.

Segundo dados do Atlas do Saneamento (BRASIL, 2011), cerca de 25% da população possui problemas de falta ou racionamento de água. Muitas dessas pessoas utilizam-se de fontes variadas para abastecimento, uso doméstico e consumo direto. Uma dessas fontes mais populares, são os açudes e lagos construídos especialmente para suprir as necessidades hídricas das famílias. Porém, muitas vezes esses sistemas lânticos apresentam água com altos valores de turbidez e cor (sólidos em suspensão e dissolvidos).

O fato do sistema lântico apresentar quase sempre uma água aparentemente limpa, não comprova que a mesma está apta ao consumo humano. Agentes contaminantes, mesmo em pequenas concentrações, e patógenos microscópicos podem estar presentes na água, adoecendo a população que dela consumir.

Como essas cidades, comunidades e povoados estão muitas vezes longe demais geograficamente e sem perspectivas de serem contemplados com uma ETA,

faz-se necessário que essas populações procurem um meio alternativo para garantir a potabilidade da água a ser consumida.

Uma dessas alternativas viáveis pode ser a adição de solução coagulante feita a partir da semente da *Moringa oleifera* para a realização de um tratamento físico da água coletada. Essa planta teve origem na Índia e atualmente encontra-se espalhada mundo afora, devido a ser uma planta altamente adaptável ao diversos climas existentes e apresentar grande resistência à seca (HENRIQUES, 2012).

Assim, este trabalho busca verificar se a *Moringa oleifera* pode ser usada como um agente coagulante eficaz no tratamento simples da água de sistemas lânticos, conferindo à mesma padrões de potabilidade aceitos pela legislação competente, além de comparar sua eficácia com dois dos coagulantes químicos mais largamente utilizados no Brasil: o sulfato de alumínio e o cloreto férrico.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é avaliar, através de parâmetros físicos e químicos, o uso de dois coagulantes químicos (sulfato de alumínio e cloreto férrico) e um natural (*Moringa oleifera*), tratando água de um sistema lântico (Lago Igapó II), localizado no município de Londrina – PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efetuar amostragem de água proveniente do sistema lântico Lago Igapó II;
- Efetuar ensaios de coagulação/floculação/sedimentação conforme a metodologia pertinente;
- Comparar, por meio dos resultados obtidos dos três coagulantes (planejamento experimental), a eficiência na remoção dos seguintes parâmetros: cor aparente, turbidez, potássio (K), sódio (Na) e cálcio (Ca);
- Verificar se os resultados dos parâmetros adotados para cada coagulante utilizado encontram-se dentro dos padrões de potabilidade definidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 IMPORTÂNCIA E PROBLEMAS DA ÁGUA

A água é um item indispensável ao desenvolvimento e manutenção da vida na Terra. É o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, integrando aproximadamente dois terços do corpo humano e atingindo até 98% para certos animais aquáticos, legumes, frutas e verduras (LIBÂNIO, 2010). Além disso, muitas das substâncias e elementos necessários ao desenvolvimento e sobrevivência humana podem ser encontrados nas águas naturais, sendo facilmente absorvidos pelo organismo e constituindo, portanto, fonte essencial ao desenvolvimento do ser humano (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A água representa um elo entre todos os ecossistemas do planeta (FERREIRA, 2013). Na biosfera terrestre, o ser humano opera todas as suas atividades que envolvem água doce com menos de 1% do montante total de água disponível, que chega a recobrir 70% de toda superfície terrestre. Segundo Dias e Oleriano (2007), a água é um recurso vital para qualquer atividade que o homem realize, como o consumo direto, o uso na culinária e na higiene, o uso na indústria, geração de energia e principalmente na agricultura.

De acordo com o Relatório de Desenvolvimento Mundial da Água (ONU, 2009) estima-se que 1 bilhão de pessoas ainda não têm um abastecimento de água suficientemente satisfatório (20 litros d'água por pessoa por dia, a uma distância de até 1000 metros de sua residência), e um número ainda superior a este não possui acesso a redes coletoras de esgoto.

Com base em todas essas informações, é irrefutável e muito relevante o pensamento de que a escassez de água irá se tornar cada vez mais comum. A importância da água no contexto geopolítico atual faz dela elemento de pesquisas no intuito de conservar a sua qualidade e melhorar as condições de uso e aproveitamento em um determinado sistema (DIAS e OLERIANO, 2007). Isso, por consequência, irá elevar o valor econômico agregado à água, transformando-a num dos bens naturais mais valiosos disponíveis. Ainda de acordo com os mesmos autores, organismos nacionais e internacionais apontam a poluição e a escassez

das águas como o maior problema ambiental que a humanidade irá enfrentar neste século.

A poluição representa uma ameaça real à qualidade da água, à saúde e ao meio ambiente. De todo o tipo de despejo ilegal aos corpos hídricos, o mais comum é o de esgoto bruto. A alta carga de nutrientes presentes nos dejetos humanos, como nitrogênio e fósforo, favorece ao aparecimento de bactérias aeróbias que degradam essa matéria orgânica, consumindo o oxigênio dissolvido na água. Com isso, a mortalidade de peixes é um reflexo inerente (NASS, 2002).

Produtos químicos tóxicos, como metais pesados, cádmio e mercúrio, empregados nas indústrias, cujos detritos são despejados diretamente nos rios, lagos ou águas costeiras, podem matar os organismos vivos e se acumular nos tecidos dos peixes e crustáceos, que fazem parte da cadeia alimentar humana, podendo provocar graves danos à saúde (MORAES, 2011). Também a poluição térmica produzida pela água utilizada no sistema de refrigeração das usinas de energia também reduz a sustentabilidade de rios e lagos.

Segundo Ferreira (2013), a agricultura intensiva geralmente utiliza em grande quantidade produtos químicos e orgânicos para incrementar a sua produtividade e defender as culturas de possíveis ataques de pragas. Estes poluentes entram no ambiente aquático através de aplicações na lavoura, sendo disseminados pela ação de chuvas e ventos, contaminando rios, lagos e lençóis freáticos. No caso das águas subterrâneas, a contaminação compromete seu uso, o que se torna mais grave considerando que tais águas tendem a ser utilizadas com mais frequência para o consumo humano, sendo associadas ao desenvolvimento de diversos tipos de doenças.

O ciclo hidrológico ainda pode sofrer impactos decorrentes de outras atividades antrópicas indiretamente. Os intensos desmatamentos fazem com que a água precipitada em forma de chuva escorra mais rapidamente, aumentando a erosão hídrica e o empobrecimento do solo, reduzindo a infiltração de água no solo e a sustentação dos cursos d'água, levando estes a desaparecerem no período de estiagem (FEARNSIDE, 2004). A impermeabilização do solo das cidades, com asfalto, cimento e calçamento, reduz a infiltração da água, deixando também de abastecer os cursos subterrâneos (CADORIN e MELO, 2011).

3.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA

A água incorpora diversas impurezas que definem sua qualidade, devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas. Assim, estes diversos componentes presentes na água, e que alteram o seu grau de pureza, podem ser retratados em termos das suas características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2005).

Antes de entrarmos nas etapas e processos do tratamento de água em si, faz-se necessário um aprofundamento a respeito de algumas características físicas e químicas da água, para que então se possa entender como estas irão interferir e correlacionar-se com as fases do tratamento, obtendo como produto final a água apta ao consumo humano.

3.2.1 Características Físicas

Dentre as características físicas da água, para este estudo pode-se destacar duas principais que serão analisadas e utilizadas como parâmetros de análise: cor e turbidez.

3.2.1.1 Cor

A existência de partículas coloidais na água ou em suspensão determina o aparecimento de cor (PEIXOTO, 2007). Esta, pode ser mensurada através do grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética) (CETESB, 2006). O material em estado coloidal pode ter origem orgânica ou inorgânica.

Segundo Alves et al. (2008), o material coloidal de origem orgânica, quando em contato com a água, é geralmente constituído por ácidos húmicos e taninos, originado da decomposição de espécies vegetais.

Há também compostos inorgânicos capazes de causar cor na água. Os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor,

mas, em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz (CETESB, 2006).

Ainda podemos subdividir esse parâmetro físico em duas subcategorias: cor real (ou também conhecida como verdadeira) e cor aparente. A cor real deve-se a presença de matérias orgânicas dissolvidas ou coloidais, enquanto que a aparente deve-se a interferência de materiais em suspensão.

Segundo Peixoto (2007), a natureza das partículas que dão cor real ou aparente à água determina o tipo de processo de remoção.

Assim, a cor real, devida a partículas coloidais normalmente negativas, pode remover-se por processos de coagulação-floculação, em que há a adição de um coagulante (sal de ferro ou sal de alumínio, cal, etc.), capaz de fornecer partículas positivamente carregadas, proporciona a aglutinação dos colóides, permitindo a sua separação posterior na forma de flocos, através de sedimentação. A cor aparente é suscetível de ser removida pelos processos clássicos de separação de matéria em suspensão (filtração, clarificação) (PEIXOTO, 2007).

A determinação da intensidade da cor da água é medida em unidades de cor (uC) ou unidade de Hazen (uH) (GASPAROTTO, 2011).

Embora a associação entre a presença de cor na água com poluição ou contaminação não esteja intrinsecamente relacionada, a presença desta no consumo direto humano causa aversão e é esteticamente desagradável.

3.2.1.2 Turbidez

A turbidez de um corpo d'água é um parâmetro físico definido como o grau de redução ou interferência que a luz sofre, ao atravessar a água, conferindo a ela uma aparência turva (PEREIRA, 2008).

É causada por diversos materiais em suspensão, tanto orgânicos (bactérias, plâncton) como também inorgânicos (areia, silte, argila), que causam a dispersão e a absorção da luz que atravessa a amostra (PEIXOTO, 2007).

Este parâmetro não só é esteticamente desagradável na água potável, podendo também os sólidos em suspensão servir de abrigo para microrganismos patogênicos. Sua origem antropogênica é devida a despejos domésticos, industriais, hospitalares e erosão, e nestes casos podem estar associadas a compostos tóxicos

e organismos patogênicos. A unidade de medida é uT ou UNT (Unidade de Turbidez – unidade de Jackson ou Nefelométrica) (VON SPERLING, 2005).

A alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e das algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar a comunidade biológica aquática. Além disso, afeta adversamente o uso doméstico, industrial e recreacional dos corpos d'água (CETESB, 2006).

3.2.2 Características Químicas

Dentre as características químicas da água, serão analisadas o potencial hidrogeniônico (pH) e a presença dos metais sódio, cálcio e potássio.

3.2.2.1 pH

Segundo Peixoto (2007), pode-se, genericamente, definir pH como a relação numérica que expressa o equilíbrio entre os íons H^+ e os OH^- . A escala de pH vai de 0 a 14. pH = 7.0 indica neutralidade. pH > 7.0 denota aumento da alcalinidade, águas básicas. pH < 7.0 indica aumento da acidez, águas ácidas.

Segundo Heller e Pádua (2010, a), o pH constitui um fator determinante no sucesso do processo de coagulação de uma Estação de Tratamento de água (ETA). Observou-se que em muitas ETAs ocorre desperdício de coagulantes (LIBÂNIO, 2010), devido a sobredosagem dos mesmos sobre o montante d'água, afim de melhorar a eficiência do tratamento. Contudo, determinar o pH correto para cada tipo de coagulante e água bruta a ser tratada é o melhor caminho a ser adotado.

A variação de pH depende das relações entre matéria orgânica, seres vivos, rocha, ar e água. A acidez da água pode estar associada também com a decomposição da matéria orgânica presente no curso d'água (O'NEILL², 1995 apud ALVES et al., 2008).

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante; podendo, em determinadas condições de pH,

² O'NEILL, P. **Environmental Chemistry**. Londres: Chapman and Hall, 1995, 558 p.

contribuírem para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados (CETESB, 2006).

Para a vida aquática, o pH deve situar-se entre 6.0 e 9.0 (PEIXOTO, 2007). Pavanelli (2001) ainda ressalta a importância do pH já no tratamento d'água, mais especificamente na etapa da coagulação, pois os coagulantes comumente têm atuação como ácidos em solução, reduzindo a alcalinidade e baixando o valor de pH, sendo necessária frequentemente a adição de um agente alcalino para o equilíbrio do mesmo.

3.2.2.2 Presença de metais

Sobre os metais presentes na água, serão analisados os teores de sódio (Na), cálcio (Ca) e potássio (K).

Acerca da presença de metais na água, apesar de estes analisados neste estudo não apresentarem densidade acima de 5 g.cm^{-3} e assim não constituírem o grupo dos chamados 'metais pesados' (THEODORO, 2010), também é relevante serem estudados principalmente no que diz respeito à aplicação do lodo gerado pelos coagulantes na agricultura.

De um modo geral, para a IUPAC o termo metal se refere ao elemento puro, que possui propriedades físicas e químicas bem características, e não dos seus compostos, cujas propriedades físicas, químicas, ação biológicas e toxicológicas são muitas vezes diferentes. Existem cerca de vinte metais, ou elementos químicos, subdivididos em 4 categorias: alcalinos, alcalinos-terrosos, de transição e outros metais (THEODORO, 2010).

De acordo com Forstner e Wittmann (1985), os metais são oriundos de fontes naturais e/ou antrópicas, como o intemperismo de rochas, deposição atmosférica, lançamento de efluentes urbanos, agrícolas e industriais, mineração, além da lixiviação de resíduos contaminados, possuem baixa biodegradabilidade e alto poder de bioacumulação e potenciais tóxicos.

O potássio é um componente do detergente e sabão (JESUS et al., 2014). Segundo Borsatto et al. (2006), na adequação de lodo de ETE a ser utilizado na agricultura, ocorrem perdas significativas de potássio pela retirada da água, onde o elemento se encontra solubilizado. Em contrapartida, ocorre adição de grandes

quantidades de cal sobre esse lodo, aumentando os níveis de íons Ca^{2+} e reduzindo a relação $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$, importante no equilíbrio iônico da solução do solo.

Sobre o lodo de ETE, mais rico em matéria orgânica e mais estudado largamente pela comunidade científica (BARROS et al., 2004; ANDRADE, 2003; BELLINGIERI et al., 1995; BORSATTO et al., 2006), o lodo biodegradável produzido pela *Moringa oleifera* em uma ETA pode apresentar vantagens como possuir menor potencial de presença de microrganismos patogênicos e menor presença de compostos nitrogenados. Estes dois fatores presentes no lodo gerado em ETEs, dependendo do potencial de mineralização e migração do solo receptor, podem contaminar os lençóis freáticos (BARROS et al., 2004).

Assim, não apenas o lodo gerado pelo coagulante natural é mais facilmente descartado, como também por meio das análises das substâncias químicas levantadas, buscou-se reincorporar este lodo de volta na cadeia produtiva.

Objetivou-se secundariamente verificar se o coagulante natural utilizado neste estudo possui características de remoção dos elementos químicos abordados por meio da coagulação dos mesmos, e consequente incorporação ao lodo que será gerado. Caso essa hipótese se mostre positiva, mesmo que o volume de lodo gerado pela coagulante *Moringa oleifera* seja pequeno comparativamente com os outros coagulantes químicos e sendo este lodo biodegradável (BERGAMASCO et al., 2008), ele poderá ter serventia à indústria agrícola como adubação orgânica, fato este impossível ao lodo gerado pelos sais inorgânicos por não serem biodegradáveis.

3.3 NECESSIDADE E ETAPAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA

Durante sua circulação pela superfície da Terra, a água pode ser contaminada pelo homem e pelos animais. Isso acontece principalmente nas cidades, onde os esgotos das casas, hospitais e fábricas são lançados sem tratamento nos rios, lagos e mares.

A água contaminada é um veículo de transmissão de doenças. As doenças relacionadas com a água têm diversas origens e são causadas principalmente por bactérias e vírus. Dentre elas, podemos destacar a febre tifoide, a hepatite A, a cólera, a leptospirose e as verminoses e diarreias (CETESB, 2006). A ingestão de

água contaminada, a lavagem ou utilização de água nos alimentos ou o fato de banhar-se nelas, são formas comuns de contração dessas doenças.

O tratamento de água para consumo humano é um conjunto de procedimentos que abrangem etapas físicas e químicas a serem aplicadas na água, a fim de que esta se encontre em condições adequadas para o consumo (potável) (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Existem muitas tecnologias de tratamento de água disponíveis, e a utilização de cada uma delas depende, principalmente, das características físicas e químicas da água bruta coletada.

De acordo com Pavanelli (2001) pode-se destacar, principalmente, 4 processos principais de tratamento de água, subdividindo-os em processos que necessitam de coagulação ou não, conforme mostrado na Figura 1:

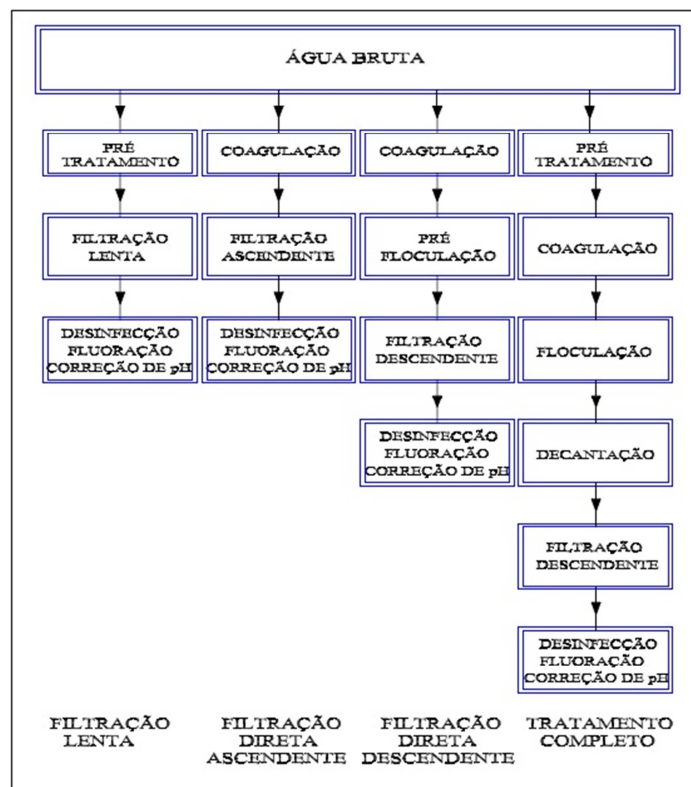


Figura 1: Tecnologias no tratamento de água para consumo humano.

Fonte: Di Bernardo, 1995.

A tecnologia “tratamento completo” (Figura 1) é a mais utilizada na região sul-sudeste do Brasil, pelo fato da água captada dos mananciais normalmente não apresentar bons índices físico-químicos.

Este inicia-se com a coagulação, onde a água bruta recebe uma determinada dose de um coagulante em regime de mistura rápida, sendo o sulfato de alumínio o mais largamente utilizado no Brasil (BERGAMASCO et al., 2008). Esta substância serve para aglomerar partículas sólidas que se encontram na água, como por exemplo, grãos de argila. Uma vez que as partículas microscópicas se coagularam em macroscópicas, permitem a ação da gravidade (HELLER e PÁDUA, 2010, b).

Posteriormente, ocorre o processo de floculação. Neste, a água é agitada lentamente, para favorecer a união das partículas, formando os flocos. A agitação se deve a necessidade de superar a força de repulsão entre os flocos menores gerada pela força de atração de Van der Waals entre os sólidos dissolvidos, porém a velocidade não pode ser alta para que os flocos não se desagreguem (PAULA, 2004). Pode ocorrer a adição de um polímero, como auxiliar da floculação, que ajuda na agregação das partículas (CETESB, 2006). A finalidade então da floculação, segundo Heller e Pádua (2010, b), é acondicionar a água que será encaminhada aos decantadores da ETA com as partículas em tamanhos maiores para facilitar a remoção das mesmas. Os fatores que interferem na variação dos índices de sólidos após esta etapa estão relacionados ao tempo de detenção ou tempo de floculação no tanque de floculação e o gradiente de velocidade. (LIBÂNIO, 2010).

Na decantação, não ocorre a adição de nenhum produto químico ou orgânico, apenas o simples repouso da massa de água e a consequente deposição dos flocos no fundo do tanque por ação da gravidade. Sendo assim, conforme Heller e Pádua (2010, b) a eficiência deste processo está diretamente ligada com um bom desempenho dos processos anteriores. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a velocidade de sedimentação dos flocos depende principalmente dos seguintes fatores: a qualidade da água bruta, das características químicas da coagulação e dos parâmetros físicos da coagulação.

Na filtração a água passa por várias camadas filtrantes (geralmente carvão, areia e pedras) onde ocorre a retenção dos flocos menores, que conseguiram passar pela decantação, concluindo-se assim sua limpeza física (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Essa etapa é importante não só para remover a turbidez da água, mas nela também inicia a remoção de microrganismos patogênicos. A filtração é uma barreira sanitária do tratamento, pois não se pode garantir uma adequada

segurança da água com relação à presença de patogênicos, se ela não passar pelo filtro.

Porém, a eficácia sanitária do tratamento não é de 100%, e assim na etapa de desinfecção é adicionado cloro à água como agente desinfetante. A portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (MS), estabelece que a companhia de saneamento deve entregar ao consumidor a água tratada com um teor mínimo de cloro residual livre de 0,2 mg/L (BRASIL, 2011).

De acordo com padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS), na água desinfetada é acrescentado flúor, elemento que ajuda a prevenir a formação de cárie dentária em crianças.

Finalmente, é aplicada na água uma certa quantidade de cal hidratada ou carbonato de sódio. Esse procedimento serve para corrigir a alcalinidade da água (pH), preservando a rede de encanamento que irá distribuí-la de futuras corrosões (CETESB, 2006).

3.4 COAGULANTES

3.4.1 Coagulantes Químicos

Diversos estudos, como o de Aquino et al. (2007), Máximo (2007) e também o de Bergamasco et al. (2008), afirmam que os coagulantes mais empregados em ETAs são os inorgânicos (sais de ferro e alumínio), como por exemplo, o sulfato de alumínio, cloreto férrico e o sulfato férrico. Para este estudo, serão utilizados dois coagulantes químicos: o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Segue demonstrado na Tabela 1 algumas características desses coagulantes:

Tabela 1: Principais características dos coagulantes utilizados neste experimento.

Nome comercial	Composição típica	Dosagens usuais aplicadas em estações de tratamento (mg/L)		Disponibilidade
			Massa específica (kg/m ³)	
Sulfato de Alumínio	Al ₂ (SO ₄) ₃ .nH ₂ O	10 a 60	600 a 1400	Sólido ou líquido
Cloreto Férrico	FeCl ₃ .6 H ₂ O	5 a 40	1425	Sólido ou Líquido

Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Dantas (2005).

3.4.1.1 Sulfato de alumínio

Segundo Aquino et al. (2007), o sulfato de alumínio destaca-se como o mais utilizado no Brasil, devido a sua boa eficiência, seu baixo custo e fácil manuseio.

A espécie química sulfato de alumínio tem por fórmula química Al₂(SO₄)₃.nH₂O, em que “n” representa aproximadamente 14 a 18 moléculas de água de cristalização. Pode ser fornecido em forma de pó ou granulado (CARVALHO, 2008). É fabricado a partir do hidrato de alumínio, mantendo-se um teor de água suficiente para impedir sua cristalização (PAVANELLI, 2001).

Seu efeito como coagulante é fortemente dependente do pH, e no final do tratamento pode ficar presente na água uma alta concentração de alumínio residual, em consequência do pH de floculação utilizado (KAWAMURA, 2000).

O pH ideal para um processo de coagulação com sulfato de alumínio depende das características da água bruta a ser tratada, mas encontra-se dentro da faixa de 5,0 a 8,0 (VAZ, 2009).

Quando adicionado à água, esse coagulante químico sofre um processo de hidrólise formando uma série de reações complexas de hidrólise (Kawamura, 2000). De acordo com Rosalino (2011), ao estar dissolvido em água, o sulfato de alumínio logo se dissocia formando a seguinte reação visualizada na equação 1:



Assim, com esses íons presentes na água, o alumínio reage de diferentes formas com a fórmula molecular da água (H₂O) hidrolisando a mesma e formando diferentes compostos. Pavanelli (2001) demonstra a reação de formação de alguns desses compostos em temperatura de 25^oC que podem ser visualizadas nas equações 2, 3, 4 e 5.



Após analisadas as equações de hidrólise do sulfato de alumínio, pode-se observar a formação de vários íons livres de H⁺, o que torna, assim, a solução mais ácida e o que confere a alteração no valor do pH do final do tratamento em relação ao valor inicial. Justifica-se também, através destas equações e a constatação da acidificação da água tratada, a fase de correção de pH ao final do tratamento completo, readequando a água aos valores aceitos de potabilidade, de acordo com a legislação vigente.

Contudo, a utilização deste coagulante também gera mazelas à sociedade, à saúde humana e ao meio ambiente.

Os flocos formados no processo de coagulação com sulfato de alumínio são essencialmente de natureza inorgânica. Devido a essa característica, o lodo não entra em decomposição biológica. Isto é, ele não é biodegradável, o que dificulta sua disposição final. Além disso, apresenta um lodo gelatinoso e volumoso (SANTOS FILHO e SANTA RITA, 2002).

Dependendo da dosagem empregada, o sulfato de alumínio é tóxico, podendo provocar e acelerar o desenvolvimento de doenças degenerativas do sistema nervoso central, como a demência e a coordenação motora, devido à deficiência renal em filtrar os metais no sangue, que acaba por se acumular no cérebro, causando o mal de Parkinson e Alzheimer (PIANTÁ, 2008; ROSALINO, 2011).

3.4.1.2 Cloreto férrico

A espécie química denominada cloreto férrico tem por fórmula química $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, e pode ser obtido com elevado grau de pureza, através da reação a quente do ácido clorídrico, concentrado com o minério de ferro, seguido de resfriamento e filtração (PAVANELLI, 2001).

Os sais de ferro também são largamente utilizados em estações de tratamento de água, reagindo de forma a neutralizar cargas negativas dos coloides e proporcionando a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Quando o cloreto férrico é adicionado em excesso ao meio, parte não participa da reação de coagulação/floculação, ficando este em solução e aumentando os valores dos parâmetros cor e turbidez (VAZ, 2009).

A utilização de cloreto férrico diminui drasticamente a turbidez e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), e elimina fosfatos; uma boa parte de metais pesados (mercúrio, chumbo) ou venenosos (arsênio, selênio, bário) também é eliminada, quando a coagulação é realizada em valores elevados de pH. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sobre ampla faixa de pH (PAVANELLI, 2001).

O cloreto férrico produz bons flocos na faixa de pH entre 5,0 a 11,0 (SPINELLI, 2001).

Ao entrar em contato com a água, a exemplo do que acontece com o sulfato de alumínio, o cloreto férrico sofre dissociação conforme segue demonstrado na Equação 6:



Pavanelli (2001) afirma que quando da adição desse coagulante nas ETAs, algumas espécies hidrolisadas poderão estar presentes para um determinado valor de pH. Em seguida, mostra-se nas Equações de 7 a 10, algumas reações a temperatura de 25°C:





Assim como no caso do sulfato de alumínio, ocorre a liberação de muitos íons livres de H^+ nas reações de hidrólise do cloreto férrico, tornando a porção de água tratada com um pH ácido, necessitando da correção do pH na última etapa de tratamento d'água na ETA, para não corroer a tubulação da rede de abastecimento doméstico e trazer danos à saúde humana.

Segundo Santos Filho e Santa Rita (2002), o cloreto férrico tem como utilidade primária a coagulação de esgotos sanitários e industriais. Sua obtenção ocorre através da cloração de pequenas aparas de ferro sendo disponível nas formas sólida e líquida.

3.4.2 Coagulantes Orgânicos

O uso de coagulantes inorgânicos tem aumentado nos últimos anos, no pós-tratamento físico-químico de esgotos sanitários, com boa perspectiva para associação com efluentes provenientes de reatores anaeróbios. Os sais de alumínio e ferro são os coagulantes mais utilizados no tratamento de água e esgoto (AQUINO et al., 2007).

Contudo, devido aos problemas relacionados aos coagulantes químicos já citados na seção anterior, os coagulantes/floculantes orgânicos têm demonstrado vantagens em relação aos químicos, especificamente em relação à degradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES et al., 2004).

Em vários países asiáticos, africanos e sul-americanos, inúmeras plantas estão sendo utilizadas como coagulantes/floculantes orgânicos. Em geral, os estudos são aplicados ao tratamento de águas para fins potáveis (BERGAMASCO et al., 2008).

3.4.2.1 *Moringa oleifera*

Neste contexto, os coagulantes naturais apresentam-se como uma alternativa viável, destacando-se a semente da *Moringa oleifera*, já que estudos laboratoriais

com águas brutas com elevada turbidez têm mostrado que suas sementes possuem propriedades coagulantes efetivas e que elas não são tóxicas a humanos e animais (NDABIGENGESERE et al., 1995), sendo bastante eficientes não somente na remoção de turbidez (90 a 99%), como também no condicionamento do lodo (AQUINO et al., 2007).

A *Moringa oleifera* pertence à família Moringaceae, que é composta apenas de um gênero e 14 espécies. É uma árvore de pequeno porte, nativa do norte da Índia, de crescimento rápido, que se adapta a uma ampla faixa de solo e é tolerante à seca (BERGAMASCO et al., 2008).

A *Moringa oleifera* tem sua propagação feita por meio de sementes, mudas ou estacas. É uma planta de múltiplos usos. Na alimentação humana em alguns países são aproveitadas: as folhas como verduras cruas, as vagens verdes como verduras cozidas e as sementes maduras podem ser torradas para fabricação de farinha. As sementes também produzem um excelente óleo que pode ser usado na alimentação e para fazer sabão e cosméticos. Suas flores são muito procuradas pelas abelhas (GERDES, 1996).

Conforme Borba (2001), uma planta pode gerar até quatro quilos de sementes, precisando de uma área média de 25 m² para seu desenvolvimento. Isto pode ser associado a recuperações de áreas degradadas que além da recomposição da vegetação pode ser explorada economicamente.

As vantagens da *Moringa oleifera* comparada com os coagulantes químicos comumente utilizados são: i) não causa problemas de corrosão; ii) é barato; iii) produz baixo volume de lodo; iv) o lodo produzido é biodegradável e v) não afeta o pH da água (Ghebremichael³, 2004 apud AQUINO et al., 2007).

A principal desvantagem na purificação da água é que a matéria orgânica originária das sementes é lançada na água durante o tratamento, podendo causar problemas de cor, sabor e odor (NDABIGENGESERE et al., 1995).

Na Figura 2 podemos ver imagens da planta de *Moringa oleifera*.

³ GHEBREMICHAEL, K. A. **Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment**. Tese (doutorado). 247 p. Departamento de Solos e Recursos Hídricos. Estocolmo, Suécia, 2004.

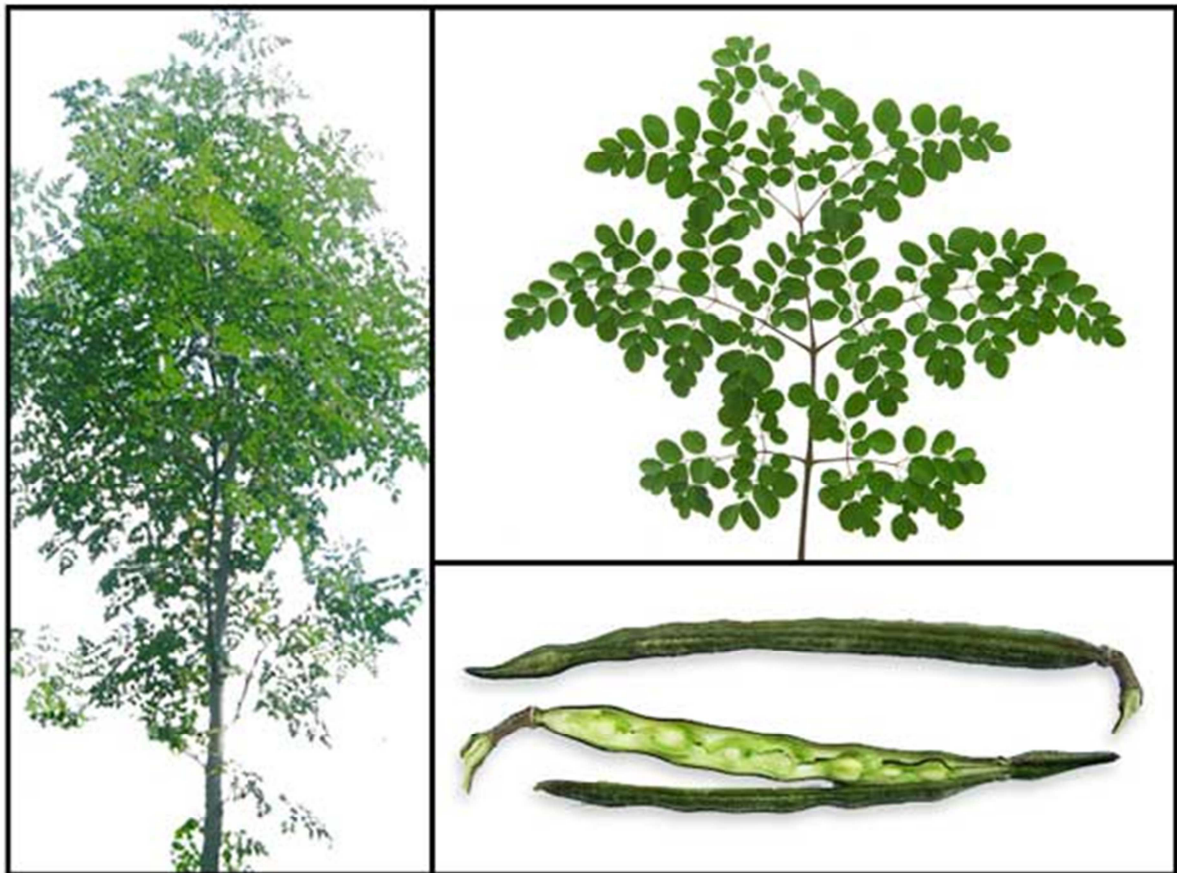


Figura 2: Fotos da árvore adulta, de suas folhas e vagens com as sementes.

Fonte: Moringa4healing.com

Enfim, a fração ativa deste coagulante se deve à presença de uma proteína catiônica dimérica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água e através de um processo de neutralização e adsorção, coagulam os colóides (NDABIGENGESERE et al., 1995). De acordo com Gallão et al. (2006), a proteína é o composto encontrado em maior quantidade nas sementes de *Moringa oleifera*, em torno de 40%.

De acordo com Bergamasco et al. (2011), a *Moringa oleifera* possui potenciais de redução dos parâmetros físicos cor e turbidez na ordem de 80% e 91%, respectivamente.

Todas essas características validam o grande potencial de agente coagulante e sanitário da *Moringa oleifera*, principalmente no tratamento de água bruta. Fator importante esse, que viabiliza o uso da mesma em comunidades distantes, sem acesso a rede de abastecimento de água potável, conforme atesta Henriques (2012).

3.5 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PERTINENTE A QUALIDADE DA ÁGUA

No âmbito nacional, tem-se vários tipos de legislações, de diferentes órgãos e esferas de poder, cada um deles tratando sobre um determinado ponto da água. Para o presente estudo, pode-se destacar duas delas, que seguem apresentadas:

3.5.1 Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde

Esta Portaria define quais parâmetros devem ser analisados e quais os limites desses parâmetros, para que determinada água seja classificada como potável ou não potável. Dentre as características da água que já foram aqui apresentadas, tanto físicas quanto químicas, a Portaria define os seguintes valores:

- A cor aparente, no anexo X da portaria, esta possui um valor máximo permitido (VMP) de 15 uH.
- A respeito da turbidez, o VMP é de 5 uT.
- O pH recomenda-se que no sistema de distribuição se mantenha na faixa de 6 a 9,5.

3.6 SISTEMAS LÊNTICOS

Para Tundisi e Tundisi (2008), o sistema lacustre, como unidade, interage efetivamente com a bacia hidrográfica e recebe a influência de todas as atividades humanas que nela se desenvolvem. Braga et al. (2006) ainda afirma que a qualidade de um determinado corpo d'água é em função do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

A principal característica de um sistema lântico é a alta capacidade para solubilização de compostos orgânicos; gradientes verticais; baixo teor de sais dissolvidos; alta densidade e viscosidade da água; capacidade de sedimentação, a temperatura e radiação subaquática (ESTEVES, 2011).

Braga et al. (2006) afirma que estes não são elementos permanentes da paisagem da Terra, por se tratarem de elementos de curta durabilidade na escala geológica.

Para Esteves (2011), esse surgimento ou desaparecimento no decorrer do tempo, típico de ecossistemas lacustres, é influenciado por quatro dimensões: região litorânea, região pelágica (ou limnética), região profunda e interface água-ar.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para este estudo, foram utilizadas amostras de água obtidas a partir da área de estudo do Lago Igapó II, localizado na cidade de Londrina – PR. Este possui coordenadas aproximadas de 23° 19' 42" S e 51° 10' 20" O, altitude média de 550 metros acima do nível do mar, e é circundado pelas avenidas Higienópolis e Ayrton Senna, e pelas ruas Bento Munhoz da Rocha Neto e Prof. Joaquim de Matos Barreto, conforme podemos ver na Figura 3:



Figura 3: Esquema da vista por satélite da localização do Lago Igapó II. O ponto destacado ilustra o local onde foram feitas as coletas.

Fonte: Google Maps (2014).

O Lago foi projetado em 1957, na gestão de Antonio F. Sobrinho, como uma solução para o problema da drenagem do ribeirão Cambezinho, dificultada por uma barragem natural de pedra. Inicialmente, pensou-se em dinamitar a barragem, mas prevaleceu a ideia de formar um lago (PREFEITURA DE LONDRINA, 2014).

O Igapó foi inaugurado em 10 de dezembro de 1959, dia do Jubileu de Prata de Londrina, juntamente com a estação de saneamento. Após um período de certo abandono, foi elaborado um projeto de revitalização do Lago, na gestão do ex-prefeito Dalton Paranaíba. Em 1996, foi esvaziado, limpo e teve suas margens

revitalizadas, ganhando a ciclovia e o chafariz (PREFEITURA DE LONDRINA, 2014).

4.2 AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada no Lago Igapó II, no ponto destacado conforme a Figura 3, e acondicionadas em galões plásticos de 20 litros cada, previamente higienizados.

Foram feitas duas amostragens: inicialmente, foi feita a amostragem após um período de estiagem, realizada no dia 06/02/2015. A segunda, após um período de dias chuvosos, realizada no dia 19/02/2015. O impacto dessa diferença de condições climáticas na qualidade da água foi evidente, conforme será apresentado a seguir.

Para efetuar as coletas, foi utilizado também um balde com capacidade de 10 litros, evitando assim que houvesse agitação e dispersão da terra do fundo na água a ser coletada. Tanto o balde quanto os galões plásticos passaram pelo processo de aclimação, em que ocorre a coleta, agitação e descarte de uma porção de água do local escolhido, a fim de equilibrar o meio interno dos galões. Após repetido esse processo três vezes, finalmente então foi coletado o montante final que seria levado ao laboratório. A Figura 4 mostra imagens da coleta feita no dia 06/02/2015, e a Figura 5 mostra imagens da coleta feita no dia 19/02/2015.



Figura 4: Coleta do dia 06/02/2015. a) e b) aspecto geral do Lago Igapó II; c) coleta de água do lago com o balde plástico; d) armazenamento em galão plástico.



Figura 5: Imagens da coleta do dia 19/02/2015. a) Aspecto geral do Lago Igapó II; b) aspecto da água.

O volume d'água por bateria de ensaios coletado foi de 120 litros, equivalente a 6 galões d'água, de acordo com o planejamento experimental. Como houve duas baterias, o total de água coletado foi de 240 litros.

4.3 AJUSTE DOS VALORES DE PH

Após a coleta e transporte dos galões d'água para o laboratório, a fim de seguir o planejamento experimental, necessitou-se corrigir o valor do pH de entrada das amostras antes de realizar os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação, para testar a hipótese de que o comportamento dos coagulantes é afetado pelo pH do meio, sendo este portanto um fator independente na análise dos dados.

Para isto, foi medido o pH natural das amostras de ambas as coletas realizadas, e verificado que os valores encontravam-se próximos da neutralidade. Em seguida, equacionou-se uma variação uniforme no pH para mais e para menos dentro de cada bateria, ou seja, o mesmo valor, em módulo, foi utilizado para tornar algumas parcelas das amostras ácidas e outras alcalinas, para cada bateria de ensaios. Os valores finais calculados e que foram aplicados nas amostras seguem demonstrados nas Tabelas 2 e 3:

Tabela 2: Valores de pH utilizados para a bateria de ensaios 1.

Amostras	pH
Natural	6,0
Ácidas	3,7
Básicas	8,3

Tabela 3: Valores de pH utilizados para a bateria de ensaios 2.

Amostras	pH
Natural	7,0
Ácidas	3,7
Básicas	10,3

Como para cada uma das duas baterias de ensaios foram coletados seis galões d'água, e como foi de interesse analisar o comportamento de cada um dos três coagulantes em valores de pH ácidos, neutros e básicos, corrigiu-se o valor de pH de quatro galões dentro de cada bateria (dois para mais, dois para menos), totalizando dois galões com pH ácido, dois com pH natural (neutro) e dois com pH básico.

Para o ajuste dos valores de pH a fim de torná-lo ácido, utilizou-se a solução de ácido clorídrico (HCl) na concentração 1 M. Para o ajuste dos valores de pH a fim de torná-lo básico, utilizou-se a solução de hidróxido de sódio (NaOH), na concentração 6 M.

4.4 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES COAGULANTES

4.4.1 Solução Salina do Coagulante da *Moringa oleifera*

A metodologia utilizada no preparo da solução do coagulante natural *Moringa oleifera* foi a mesma utilizada por Bergamasco et al. (2008), onde ocorre a extração através da solução salina de sulfato de potássio (K_2SO_4) na concentração de 1 M. A extração foi realizada triturando-se 10g da semente da *Moringa oleifera* em um liquidificador com 1 litro da solução salina. Em seguida, a solução foi mantida em agitação mecânica por 20 minutos e depois filtrada a vácuo, obtendo-se a extração dos componentes ativos da *Moringa oleifera* em meio salino, na concentração de 1 g/L. A Figura 6 mostra a solução pronta.



Figura 6: Solução coagulante de *Moringa oleifera*.

4.4.2 Soluções de Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio

Para os coagulantes químicos, a metodologia de preparo das soluções foi a mesma utilizada por Trevisan (2014). Para o coagulante químico cloreto férrico, foi pesado 1 g de cloreto férrico em pó e este foi diluído em um balão volumétrico de 1 L contendo água destilada, obtendo-se a concentração de 1g/L. O cloreto férrico é um reagente analítico da marca Synth ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, peso molecular 270,30 g/mol). A Figura 7 mostra a solução pronta.



Figura 7: Solução coagulante de cloreto férrico.

Para o coagulante químico sulfato de alumínio, também foi pesado 1g de sulfato de alumínio em pó e este foi diluído em um balão volumétrico de 1L contendo água destilada, obtendo-se a concentração de 1g/L. O sulfato de alumínio é um reagente analítico da marca Synth ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, peso molecular 342,15 g/mol). A Figura 8 mostra a solução pronta.



Figura 8: Solução coagulante de sulfato de alumínio.

4.5 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

Como já antecipado, foram realizadas duas baterias de ensaios: a primeira utilizando as amostras coletadas após um período de estiagem e a segunda utilizando as amostras coletadas após um período chuvoso, na qual utilizou-se o sulfato de alumínio e o cloreto férrico como coagulantes químicos, e a *Moringa oleifera*, como coagulante orgânico em ambas as baterias. Todos os ensaios e análises foram realizados no laboratório de saneamento da UTFPR – Londrina, com exceção do ensaio de determinação dos elementos químicos presentes na amostra, conforme será descrito.

Para a realização dos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação, foi utilizado o equipamento jar-teste de modelo 218 – 6LDB, da marca Nova Ética, de seis provas com regulador de rotação das hastes misturadoras.

Sobre os valores dos tempos de coleta no equipamento jar-teste, foram adotados os mesmos que são utilizados na estação de tratamento de água da SANEPAR. O processo de tratamento consiste na dispersão do coagulante em regime de mistura rápida, seguido de um sistema de decaimento em quatro etapas de mistura lenta nos floculadores. Neste processo, se considerou como variáveis o gradiente de velocidade (s^{-1}) e o tempo de detenção em minutos. A sequência pode ser visualizada na Tabela 4.

Tabela 4: Gradiente de rotação das hastes misturadoras e tempo de ação.

Mistura Rápida		Mistura Lenta 1		Mistura Lenta 2		Mistura Lenta 3		Mistura Lenta 4	
Gradiente/Tempo		Gradiente/Tempo		Gradiente/Tempo		Gradiente/Tempo		Gradiente/Tempo	
450	00:10	90	02:00	52	02:35	40	02:40	30	05:40

Fonte: TREVISAN, 2014.

Para os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foi adotado um tempo máximo para sedimentação de 23 minutos, no qual foram realizadas medições dos parâmetros cor, turbidez e pH, desde o tempo de 3 minutos até o tempo final de sedimentação em intervalos de 10 em 10 minutos para avaliar a variação dos mesmos em cada tempo. Importante dizer que os ensaios realizaram-se em duplicata para cada coagulante, havendo portanto dois valores para cada conjunto de variáveis independentes para cada bateria de ensaios.

4.6 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

4.6.1 Cor aparente

A cor aparente foi medida através do espectrofotômetro DR 4000, da empresa alemã Hach, seguindo metodologia 2120 C. recomendada no Standard Methods (APHA, 2012).

4.6.2 Turbidez

A turbidez foi determinada através de um turbidímetro portátil, modelo AP 2000, fabricado pela empresa nacional Tecnopon, seguindo metodologia 2130 B. recomendada no Standard Methods (APHA, 2012).

4.6.3 pH

O pH foi determinado através de um pH-metro, modelo mPA-210P, fabricado pela empresa nacional Policontrol, seguindo metodologia 4500-H+ B. recomendado no Standard Methods (APHA, 2012).

4.6.4 Análise de potássio, sódio e cálcio

Após realizados todos os ensaios, foram promovidas análises de potássio, sódio e cálcio através do equipamento fotometria de chama da marca Digimed e modelo DM61, seguindo metodologia descrita por Catani et al.(1965), nos laboratórios da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, campus Toledo.

4.7 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Os Apêndices de A a F representam o planejamento estatístico com três fatores (variáveis independentes): a dosagem do coagulante, o tempo e o pH. Adotou-se para ambos os ensaios os códigos mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Correlação entre os coagulantes e seus respectivos códigos.

Nome do coagulante	Código do coagulante
Sulfato de Alumínio	A
Cloreto Férrico	B
<i>Moringa oleifera</i>	C

Nos três coagulantes escolhidos para o experimento, é relevante destacar que as dosagens escolhidas foram definidas com base em estudos realizados por Pavanelli (2001), Carvalho (2008), Trevisan (2014) e Henriques (2012).

Os ensaios contaram com uma repetição, sendo assim, realizados em duplicata (planejamento fatorial). Para fins de facilidade na manipulação da tabela, diminuição de erros operacionais e exigência do software Statistica 8.0, utilizado na montagem do planejamento fatorial, os valores reais das variáveis independentes “dosagem do coagulante” e “pH” foram codificados de acordo com o que segue nas Tabelas 6 e 7.

A ordem numérica dos ensaios, com as respectivas repetições, valores de pH e dosagens que foram utilizadas seguem demonstradas na Tabela 8.

Tabela 6: Correlação entre os valores reais das variáveis independentes e seus respectivos códigos, para a bateria de ensaios 1.

Variável	Valor Real	Código
Dosagem do coagulante (ml)	3,0	-1
	5,0	0
	7,0	1
pH	3,7	-1
	6,0	0
	8,3	1

Tabela 7: Correlação entre os valores reais das variáveis independentes e seus respectivos códigos, para a bateria de ensaios 2.

Variável	Valor Real	Código
Dosagem do coagulante (ml)	15,0	-1
	25,0	0
	35,0	1
pH	3,7	-1
	7,0	0
	10,3	1

Tabela 8: Ordem numérica dos ensaios e seus respectivos valores de variação de réplica, pH e dosagem para todos os coagulantes e baterias de ensaios.

Ensaio	Réplica	pH	Dosagem
1	1	-1	-1
2	1	-1	0
3	1	-1	1
4	1	0	-1
5	1	0	0
6	1	0	1
7	1	1	-1
8	1	1	0
9	1	1	1
10	2	-1	-1
11	2	-1	0
12	2	-1	1
13	2	0	-1
14	2	0	0
15	2	0	1
16	2	1	-1
17	2	1	0
18	2	1	1

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS COLETADAS

5.1.1 Bateria de Ensaio 1

Após realizadas as atividades conforme descrito no item 4.2, as amostras foram transportadas ao Laboratório de Saneamento da UTFPR Campus Londrina. A seguir, leu-se em duplicata os valores de cor, turbidez e pH da água bruta, conforme descrito nos itens 4.6.1, 4.6.2 e 4.6.3, respectivamente. Os valores encontrados seguem descritos na Tabela 9.

Tabela 9: Valores encontrados nas amostras de água bruta utilizada na primeira bateria de ensaios.

	Cor (uH)	Turbidez (uT)	pH
Amostra 1	23	6,40	6,1
Amostra 2	19	6,35	6,0
Média	21	6,35	6,0

Demais parcelas destas mesmas amostras de água bruta, foram então engarrafadas, rotuladas e encaminhadas para o Laboratório da UNIOESTE - Toledo, onde foram determinadas as quantidades dos elementos químicos descritos conforme o item 4.6.4. Os resultados seguem demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10: Valores dos íons encontrados nas amostras de água bruta utilizada na primeira bateria de ensaios.

	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	K (mg/L)
Amostra 1	12,2	5,1	2,1
Amostra 2	11,8	7,4	2,1
Média	12,0	6,2	2,1

5.1.2 Bateria de Ensaio 2

Procedeu-se da mesma forma que foi apresentado item anterior, porém agora para as amostras provenientes da segunda coleta. Os valores encontrados para a segunda bateria de ensaios seguem descritos na Tabela 11.

Tabela 11: Valores encontrados nas amostras de água bruta utilizada na segunda bateria de ensaios.

	Cor (uH)	Turbidez (uT)	pH
Amostra 1	136	93,2	7,0
Amostra 2	142	89,8	7,0
Média	139	91,5	7,0

Assim como feito para a primeira bateria de ensaios, demais parcelas destas mesmas amostras de água bruta foram então engarrafadas, rotuladas e encaminhadas para o Laboratório da UNIOESTE - Toledo, onde foram determinadas as quantidades dos elementos químicos descritos e conforme o item 4.6.4. Os resultados seguem demonstrados na Tabela 12.

Tabela 12: Valores dos íons encontrados nas amostras de água bruta utilizada na segunda bateria de ensaios.

	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	K (mg/L)
Amostra 1	7,0	12,0	3,0
Amostra 2	7,0	10,0	2,0
Média	7,0	11,0	2,5

5.2 ANÁLISE DAS REMOÇÕES DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA

Por meio do software Excel, da fabricante Microsoft, foi possível gerar gráficos que mostram os resultados obtidos com a realização dos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação, do ponto de vista da remoção dos parâmetros físicos abordados.

Os dados de todos os resultados obtidos após o processo de coagulação/floculação/sedimentação de todos os parâmetros analisados encontram-se nos Apêndices A, B e C (bateria de ensaios 1) e nos Apêndices D, E e F (bateria de ensaios 2).

5.2.1 Remoção da cor

5.2.1.1 Bateria de Ensaios 1

As Figuras 9, 10 e 11 apresentam os resultados das remoções do parâmetro cor aparente para o processo de coagulação/floculação/sedimentação com o uso dos coagulantes A, B e C, respectivamente.

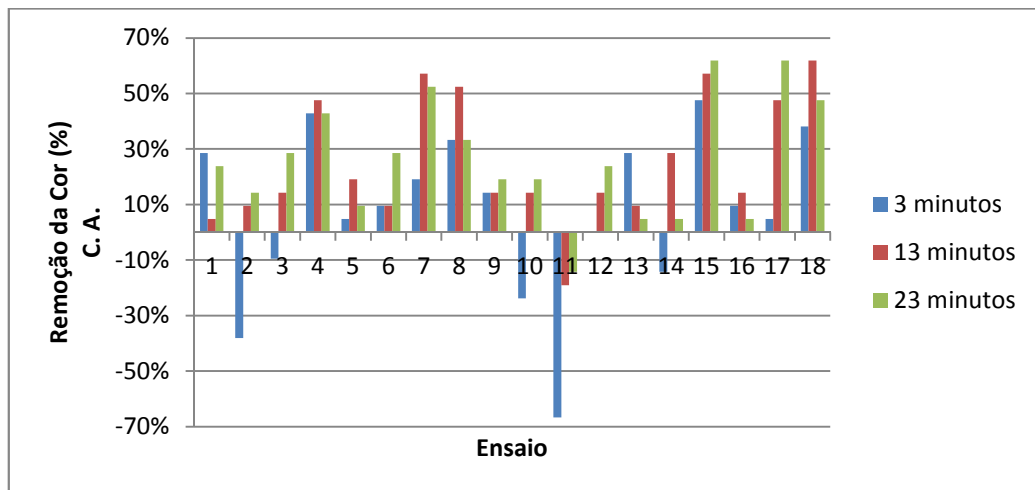


Figura 9: Remoção da cor pelo coagulante A (sulfato de alumínio).

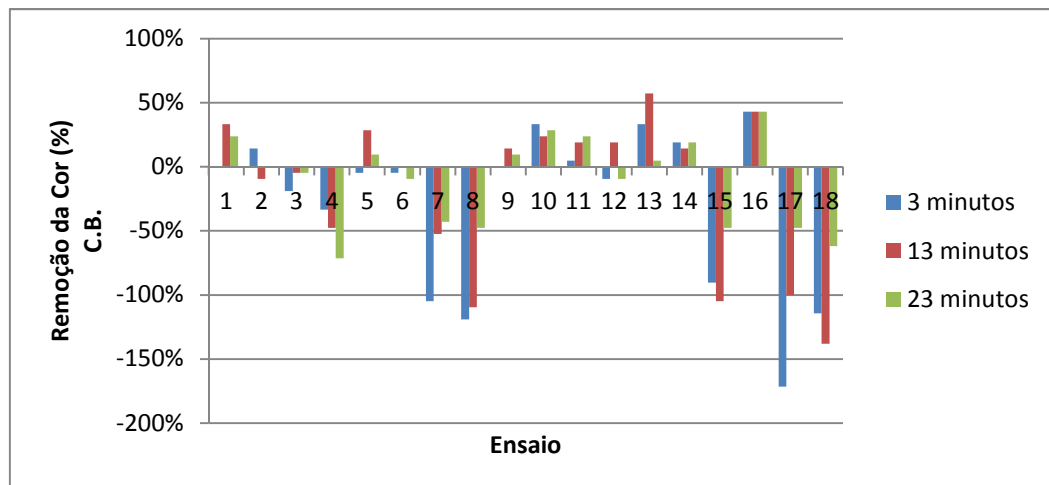


Figura 10: Remoção da cor pelo coagulante B (cloreto férrico).

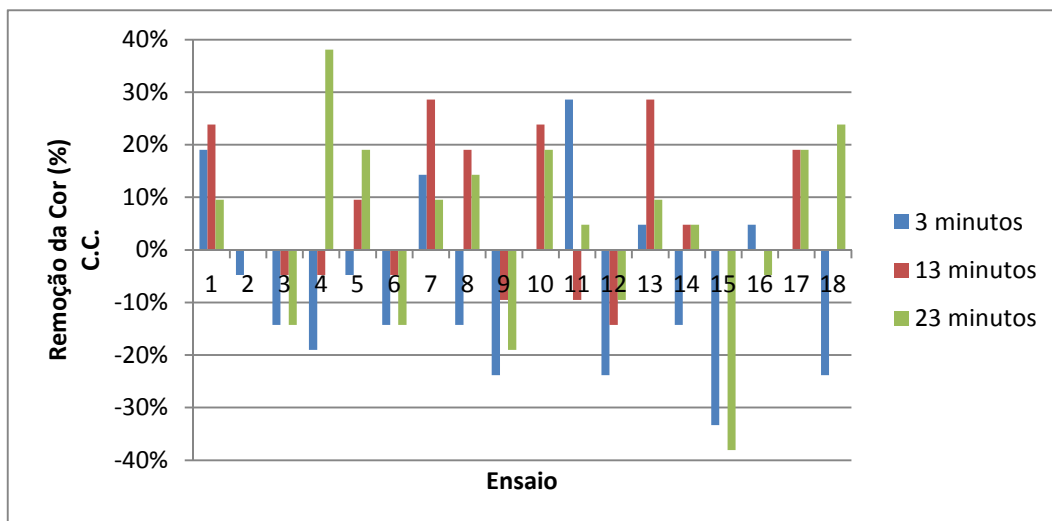


Figura 11: Remoção da cor pelo coagulante C (*Moringa oleifera*).

Analisando as Figuras 9, 10 e 11, podemos observar uma grande discrepância entre os valores obtidos, tanto analisados isoladamente (apenas um coagulante) quanto se comparados entre si.

Os parâmetros iniciais do ensaio (água bruta) apresentaram valores próximos aos definidos pela Portaria 2914/2011 do MS, que descreve os VMPs. Ou seja, uma vez que a água bruta utilizada no ensaio já estava com índices baixos dos parâmetros a serem analisados, seria sensato deduzir que os coagulantes teriam uma redução não muito significativa perante aos valores iniciais, já que a dinâmica da coagulação seria afetada.

Assim, as partículas do coagulante que iriam misturar-se, aderir-se aos sólidos e que depois depositar-se-iam no fundo do recipiente acrílico do aparelho jar-test, no momento em que foram despejadas nas amostras sob agitação, encontraram uma pequena quantidade de sólidos suspensos e dissolvidos para se aglutinarem. Isso levou a que as próprias partículas dos coagulantes se tornassem os próprios sólidos presentes nas amostras coletadas, explicando os valores negativos na remoção da cor, observadas nas Figuras 9, 10 e 11.

A partir desta constatação, podemos concluir que as soluções coagulantes que apresentam aspectos físicos mais solúveis e são menos perceptíveis em água, teriam melhor resultado. E foi esse o resultado observado nas Figuras 9, 10 e 11, quando analisadas sob uma visão geral.

Para os resultados das análises que se seguem, somente foram levados em consideração os resultados dos parâmetros ao final de todo o processo (23 minutos).

O coagulante A (Figura 9) foi o que apresentou um melhor resultado, tendo picos de remoção de cor acima dos 50% (ensaios 7, 15 e 17). Apenas um único ensaio (11) apresentou todos os três valores negativos na remoção da cor.

O coagulante B (Figura 10) obteve um pico mais baixo, por volta dos 45% de remoção da cor, e em apenas um ensaio (16). Além disso, devido à coloração avermelhada causada pela presença de íons ferro (Fe), pode-se observar muitos resultados negativos, reforçando a teoria acima descrita. Vale destacar também que o coagulante B foi o que obteve o maior número de resultados negativos, bem como os resultados negativos de maior magnitude, principalmente no tempo de sedimentação mais inicial.

O coagulante C (Figura 11) apresentou o menor pico de remoção dentre os três coagulantes testados, por volta de 38% ao final do processo (ensaio 4). A presença de índices negativos também se deve a coloração natural que a solução coagulante apresenta, proveniente das sementes da *Moringa oleifera*. Contudo, não apresentou valores de remoção tão negativos quanto ao do coagulante B.

5.2.1.2 Bateria de Ensaios 2

As Figuras 12, 13 e 14 apresentam os resultados das remoções do parâmetro cor aparente para o processo de coagulação/floculação/sedimentação com o uso dos coagulantes A, B e C, respectivamente.

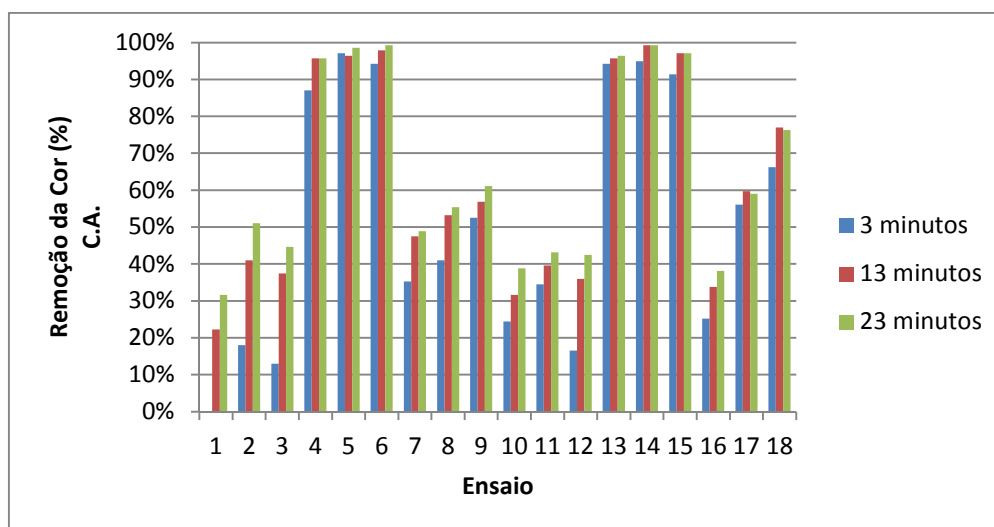


Figura 12: Remoção da cor pelo coagulante A (sulfato de alumínio).

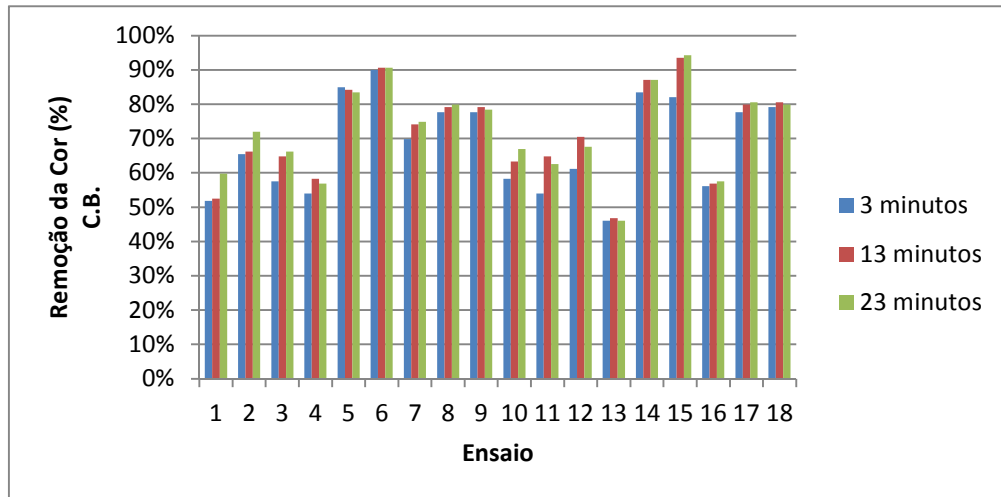


Figura 13: Remoção da cor pelo coagulante B (cloreto férrico).

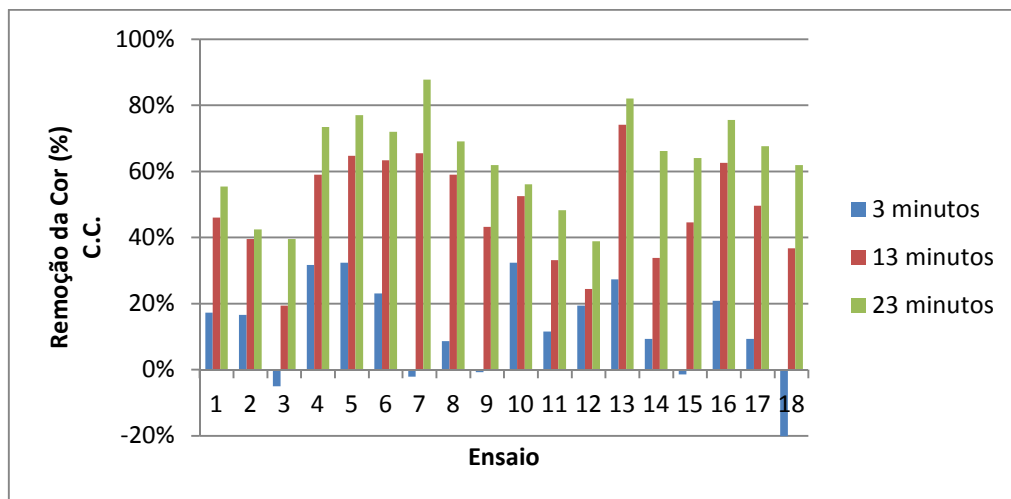


Figura 14: Remoção da cor pelo coagulante C (*Moringa oleifera*).

Como podemos observar nos dados da água bruta (Tabela 11) utilizada para a segunda bateria de ensaios, a maior presença de sólidos causou valores mais altos dos parâmetros turbidez e cor, o que proporcionou em uma maior efetividade de todos os três coagulantes testados.

O coagulante A (Figura 12), se tratando da efetividade, foi o que obteve melhores resultados. Em alguns ensaios a remoção de cor chegou perto de 100%. Destacam-se, ainda levando em consideração a efetividade, três ensaios e suas respectivas réplicas (4, 5 e 6 e réplicas 13, 14, e 15), em que todos obtiveram remoções acima de 90% ao final do processo.

O coagulante B (Figura 13), se tratando da coesão geral dos ensaios, foi o que obteve melhores resultados. Nenhum ensaio apresentou uma remoção menor do

que 40%, ao final do tempo de sedimentação adotado. O ensaio 6 e a sua réplica (15) apresentaram os maiores picos de remoção, acima dos 90% ao final do processo.

O coagulante C (Figura 14) foi o único que ainda apresentou valores de remoção negativos, mas apenas para o tempo de sedimentação inicial que foi analisado (3 minutos). Ao final do tempo de sedimentação adotado (23 minutos), todos os ensaios obtiveram uma redução da cor em relação ao valor inicial, o que nos leva a crer que o tempo é uma variável importante para esse coagulante. O pico de remoção atingiu mais de 80% (ensaio 7).

5.2.2 Remoção da Turbidez

5.2.2.1 Bateria de Ensaios 1

As Figuras 15, 16 e 17 apresentam os resultados das remoções do parâmetro turbidez para o processo de coagulação/floculação/sedimentação com o uso dos coagulantes A, B e C, respectivamente.

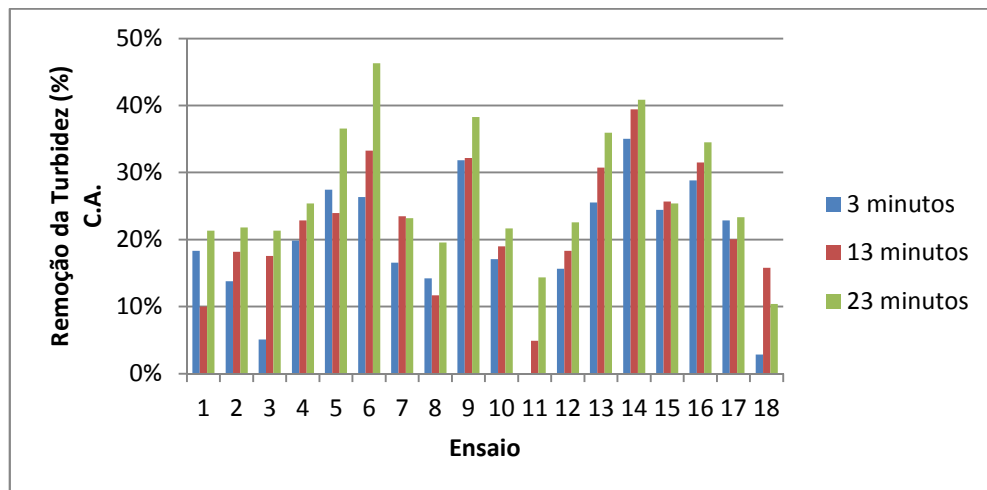


Figura 15: Remoção da turbidez pelo coagulante A (sulfato de alumínio).

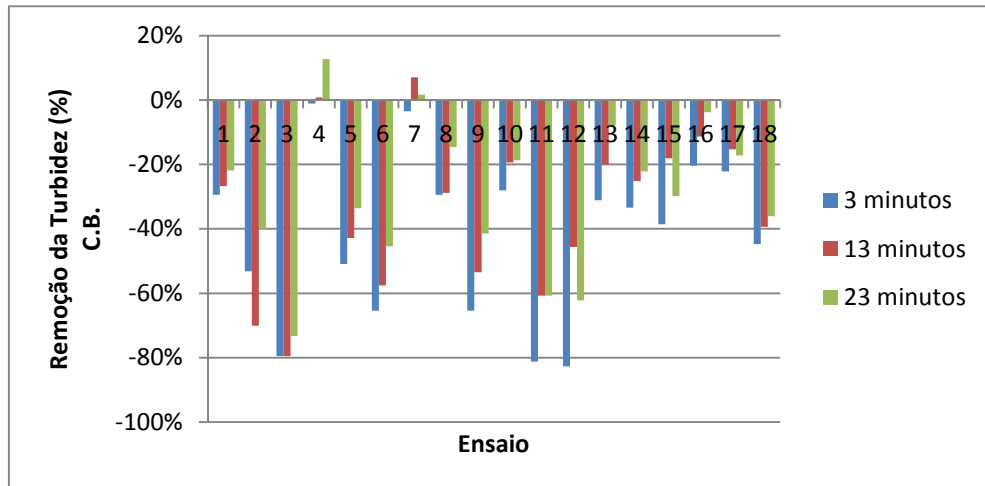


Figura 16: Remoção da turbidez pelo coagulante B (cloreto férrico).

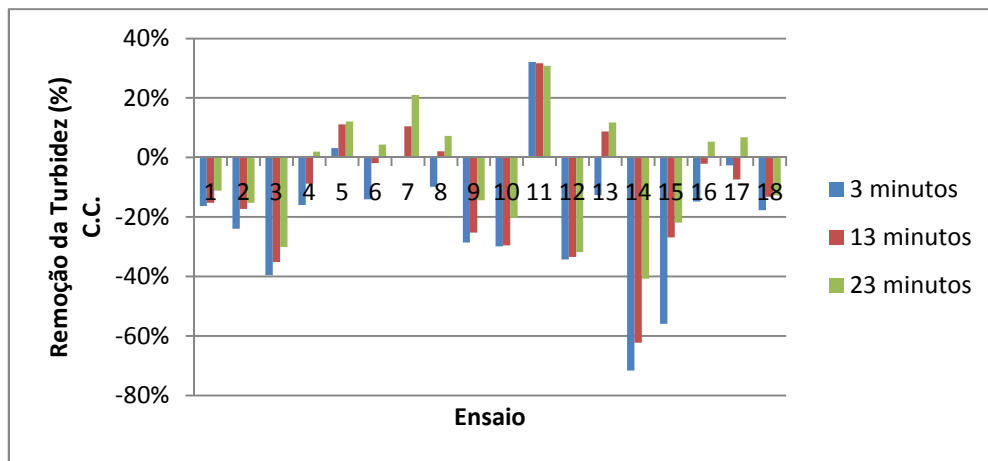


Figura 17: Remoção da turbidez pelo coagulante C (*Moringa oleifera*).

Também nas análises de remoção da turbidez, as características da água bruta (Tabela 9) ocasionou o aparecimento de valores negativos em dois dos três coagulantes testados (coagulantes B e C).

O coagulante A (Figura 15) foi o único que não apresentou um aumento em relação ao valor de turbidez da água bruta do ensaio 1. O valor mínimo da remoção ao final do processo aconteceu no ensaio 10, para o tempo de 3 minutos de sedimentação, onde ocorreu uma remoção de turbidez na magnitude de casas decimais entre os valores de 0 e 1%. Os picos de remoção ocorreram nos ensaio 6 e 14, onde foi removido acima de 45 e 40%, respectivamente.

O coagulante B (Figura 16) foi o que menos foi efetivo na redução da turbidez na bateria de ensaios 1. Com exceção do ensaio 4, todos os outros apresentaram um aumento no valor da turbidez, em relação ao da água bruta. Os valores de

acréscimo mais altos chegaram na casa dos 70%, ao final do processo. Como já citado, o ensaio 4 foi o único que apresentou remoção da turbidez, porém foi um valor baixo: poucos mais de 10%. Pode-se afirmar portanto que a solução de cloreto férrico possui muitos sólidos em suspensão em sua constituição.

O coagulante C (Figura 17) também apresentou resultados negativos, porém não tantos quanto os do anterior. Ao todo, quase metade dos ensaios (oito), ao final do tempo de sedimentação, apresentaram valores positivos. Porém, apenas dois desses ensaios (7 e 11) apresentou uma remoção de turbidez acima dos 20% ao final do processo, sendo o pico por volta dos 30%.

5.2.2.2 Bateria de Ensaios 2

As Figuras 18, 19 e 20 apresentam os resultados das remoções do parâmetro cor aparente para o processo de coagulação/floculação/sedimentação com o uso dos coagulantes A, B e C, respectivamente.

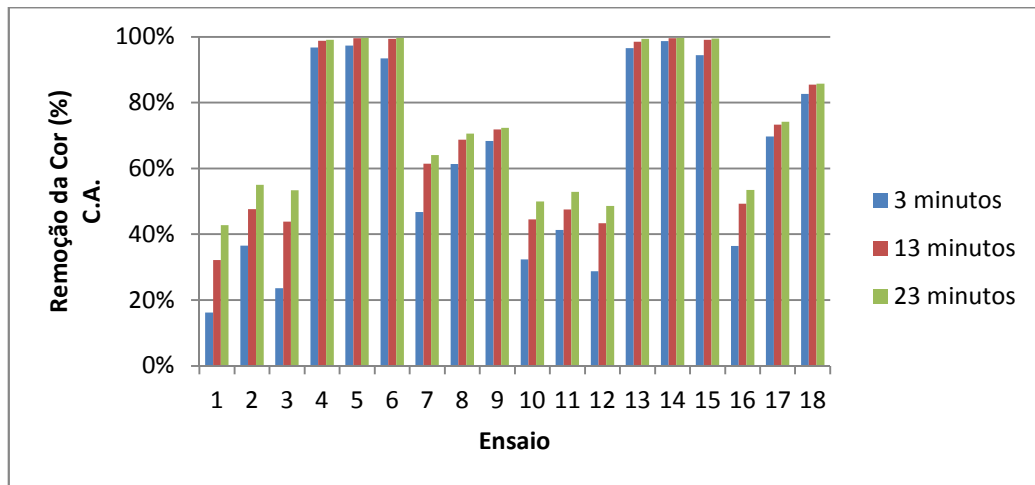


Figura 18: Remoção da turbidez pelo coagulante A (sulfato de alumínio).

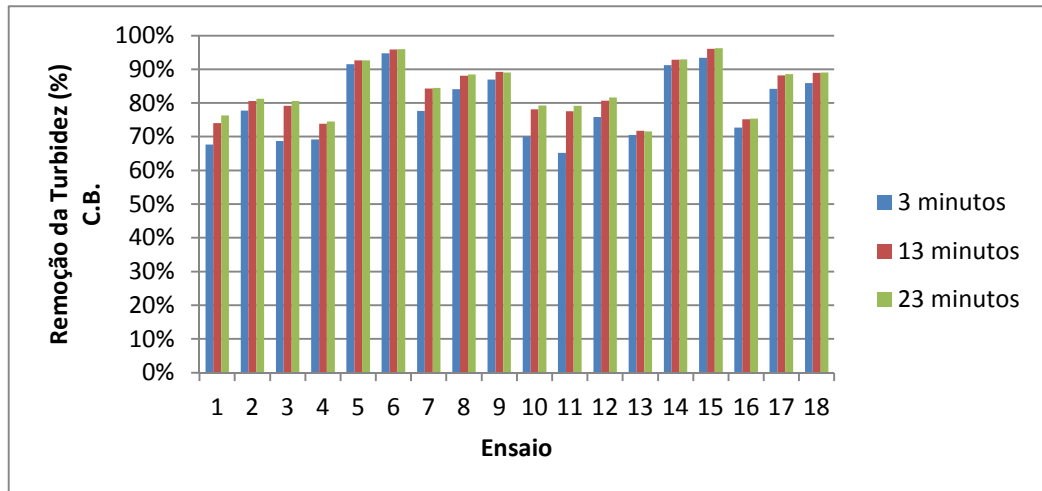


Figura 19: Remoção da turbidez pelo coagulante B (cloreto férrico).

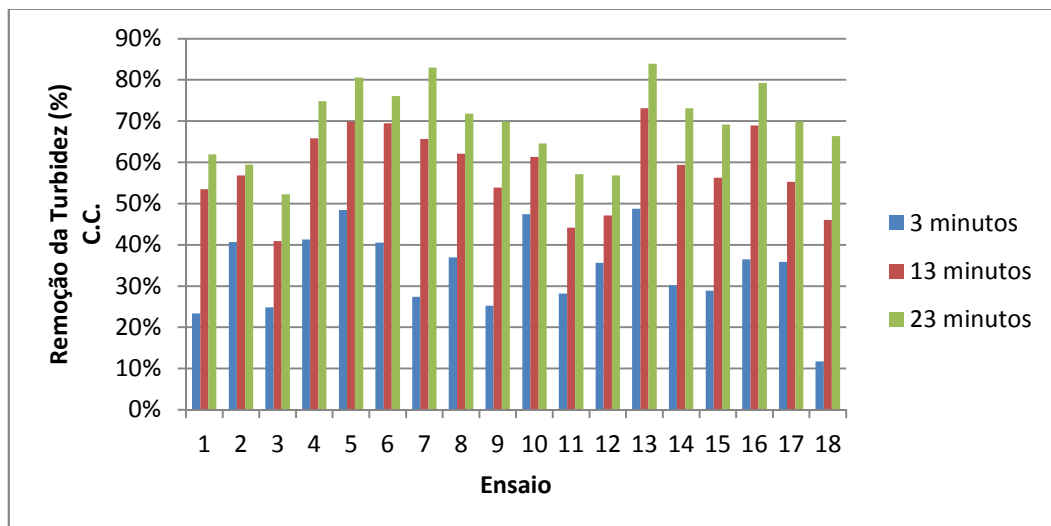


Figura 20: Remoção da turbidez pelo coagulante C (*Moringa oleifera*).

Assim como no parâmetro cor, os resultados para a segunda bateria de ensaios na remoção do parâmetro turbidez demonstraram uma grande mudança, devido aos índices qualitativos da água bruta.

O coagulante A (Figura 18) foi o que mais apresentou disparidades entre os ensaios. As remoções máximas, que chegaram ao índice de praticamente 100%, contrastam com outras não tão bem sucedidas, como a do ensaio 1, que apresentou remoção de pouco mais de 40%. Conclui-se que este coagulante é muito sensível às variáveis de entrada, como pH e dosagem do coagulante.

O coagulante B (Figura 19), mais uma vez, demonstrou grande coesão nos dados. Todos os valores, ao final do processo de sedimentação, apresentaram

remoção de pelo menos 70%. Também vale observar que, ao contrário, do coagulante C, a diferença entre os tempos de sedimentação para um mesmo ensaio foi bem pequena, ou seja, já aos 3 minutos de sedimentação o índice de remoção já apresentava quase os mesmos valores do tempo final de 23 minutos. O pico de remoção chegou a 95% (ensaios 6 e 15).

O coagulante C (Figura 20) obteve picos de remoção nos ensaios 7 e 13, ambos acima dos 90%. É interessante observar o quanto o tempo de sedimentação afeta especialmente este coagulante. Pode-se notar nitidamente em todos os ensaios, o aumento de uma coluna para outra, conforme o tempo avança, algumas apresentando um grande “salto”, principalmente do tempo 3 para o 13.

5.3 ANÁLISE CONFORME O PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Com os dados coletados, foi possível aplicar a análise fatorial, segundo o planejamento experimental do projeto, por meio do software Statistica 8.0, da fabricante Dell. Com esta ferramenta, foi possível realizar uma análise multivariável, mais abrangente (do ponto de vista do número de parâmetros envolvidos) e conseqüentemente mais precisa. Diferentemente da subseção 5.2, neste item a abordagem dos resultados se dará por meio de cada coagulante, de cada bateria.

5.3.1 Bateria de Ensaios 1

Conforme mostrado no item 5.1.1 e citado nos itens 5.2.1.1 e 5.2.2.1, toda a bateria de ensaios 1, por utilizar amostras com baixos índices de sólidos suspensos e dissolvidos, apresentou reduções menores dos parâmetros de resposta, e até mesmo valores negativos. Essas características influenciaram decisivamente também nos resultados apresentados nesta seção.

5.3.1.1 Coagulante A

Nas Figuras 21, 22 e 23, são mostrados os resultados para o Coagulante A.

Multivariate Tests of Significance (Bat 1 - CA codificado.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000067	54771.17	6	22.0000	0.000000
Concentração	Wilks	0.592474	1.10	12	44.0000	0.386371
pH	Wilks	0.005980	43.75	12	44.0000	0.000000
Tempo	Wilks	0.287031	3.18	12	44.0000	0.002478
Concentração*pH	Wilks	0.230499	1.70	24	77.9589	0.042310
Concentração*Tempo	Wilks	0.625625	0.47	24	77.9589	0.980937
pH*Tempo	Wilks	0.440568	0.86	24	77.9589	0.651181
Concentração*pH*Tempo	Wilks	0.423923	0.45	48	112.3115	0.998928

Figura 21: Teste de significância (Wilks) para o coagulante A, bateria 1.

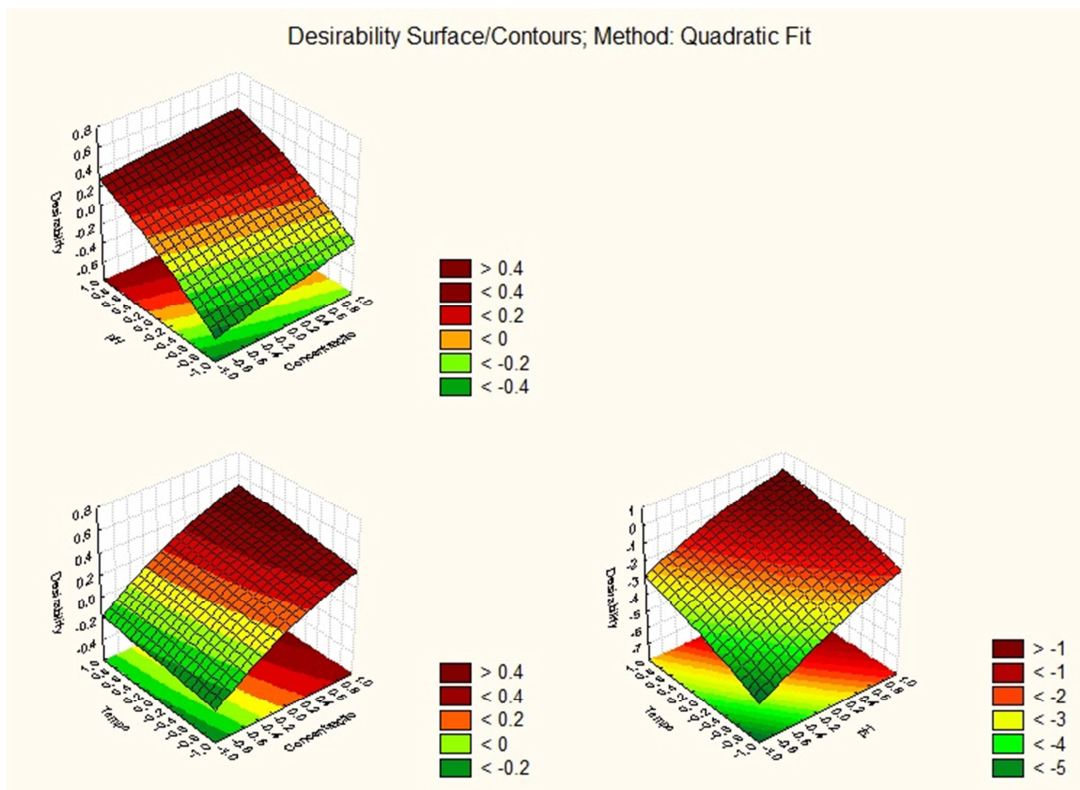


Figura 22: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante A, bateria 1.

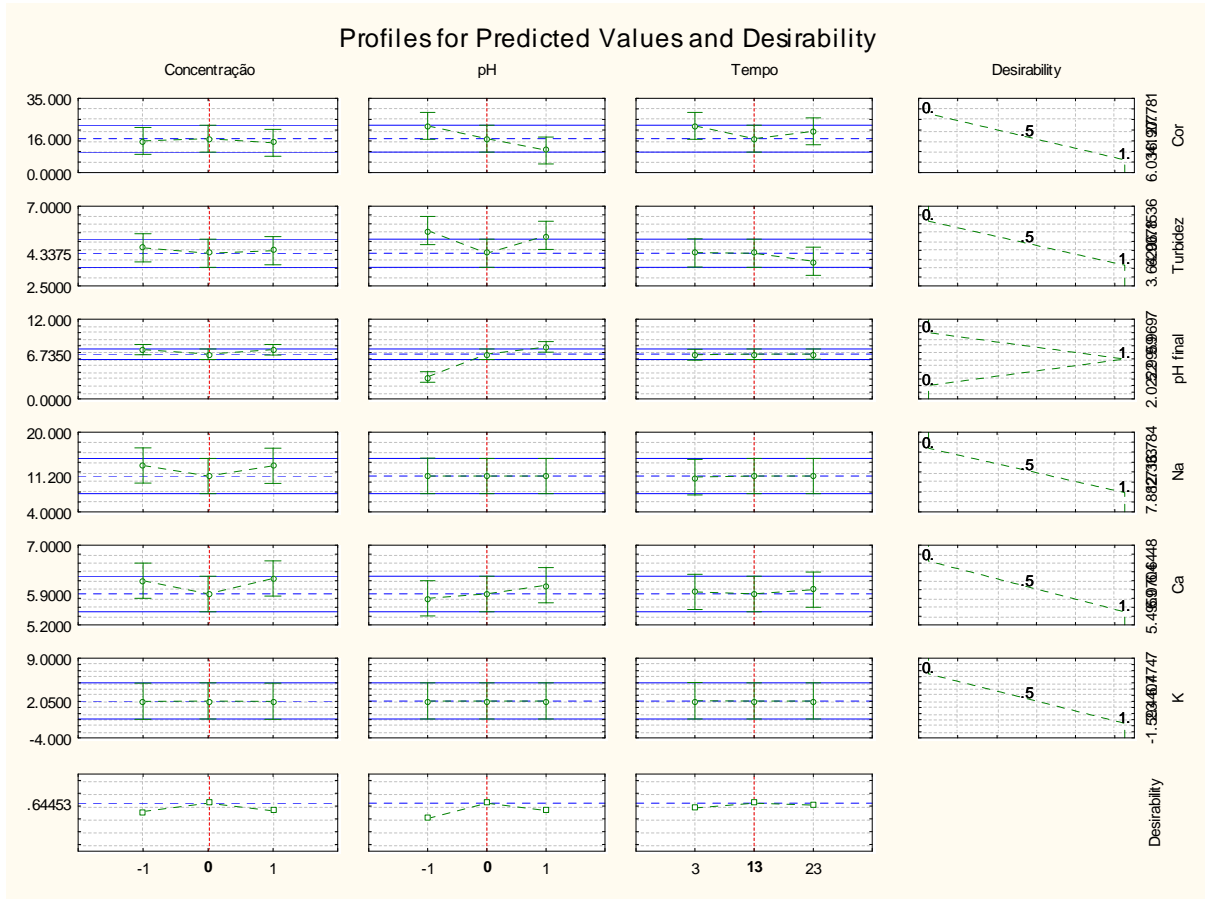


Figura 23: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante A, bateria 1.

Para o coagulante A, na primeira bateria de ensaios, podemos observar na Figura 21 os resultados para o teste estatístico de Wilks, que visou analisar a significância das variáveis independentes e a interação entre elas, num nível de significância de 5%. Importante destacar que a variável determinante neste teste corresponde ao valor do índice “p”, mostrado na última coluna da Figura 21. Se o valor de “p” for inferior a 0,05, que representa o nível de significância, traduz que a variável ou a interação entre as variáveis é significativa. A escolha e uso do teste estatístico de Wilks foi feito de forma automática pelo software Statistica 8.0, por ser o que mais se ajusta ao modelo adotado (planejamento fatorial).

Na Figura 21, observa-se que o valor de “p” é menor que 0,05 para as variáveis pH, tempo e para a interação entre as variáveis concentração e pH, considerando um nível de significância de 5%. Isso indica que estes são fatores que apresentaram diferenciação relevante (acima de 5%) nas médias das variáveis de resposta.

Na Figura 22, observa-se os gráficos de interação entre as variáveis independentes. A variável de resposta, mostrada no eixo Z e denominada “desirability”, recebeu este nome automaticamente pelo software, compreendendo todas as variáveis dependentes e sendo, assim, adimensional.

Conforme o Figura 21, a única interação entre as variáveis que apresentou significância ocorreu entre a concentração e o pH, sendo este o único gráfico relevante a ser analisado na Figura 22. No gráfico de pH e concentração, pode-se observar que a superfície se encaminha para valores mais altos quando o pH e a concentração também tendem ao valor máximo analisado. O pH constitui, nessa combinação de variáveis, como uma categoria mais importante nesse resultado, sendo que até mesmo valores menores de concentração podem atingir resultados próximos do valor máximo, desde que estejam sob presença de um meio com pH mais alto.

Na Figura 23, são mostrados os gráficos de ponto desejado (ou de melhor valor) para cada variável de entrada, quando analisadas separadamente. O ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 0 (5 ml), o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (6,0), e o ponto desejado da variável tempo ocorreu aos 13 minutos. Destaca-se que conforme a Figura 23, o pH e tempo apresentaram diferenciação significativa em seus resultados.

5.3.1.2 Coagulante B

Nas Figuras 24, 25 e 26, são mostrados os resultados para o coagulante B.

Multivariate Tests of Significance (Bat 1 - CB codificado.sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000198	18525.34	6	22.0000	0.000000
Concentração	Wilks	0.077540	9.50	12	44.0000	0.000000
pH	Wilks	0.000090	383.65	12	44.0000	0.000000
Tempo	Wilks	0.278924	3.28	12	44.0000	0.001945
Concentração*pH	Wilks	0.300569	1.34	24	77.9589	0.170232
Concentração*Tempo	Wilks	0.431501	0.88	24	77.9589	0.620116
pH*Tempo	Wilks	0.559617	0.59	24	77.9589	0.928337
Concentração*pH*Tempo	Wilks	0.459012	0.40	48	112.3115	0.999713

Figura 24: Teste de significância (Wilks) para o coagulante B, bateria 1.

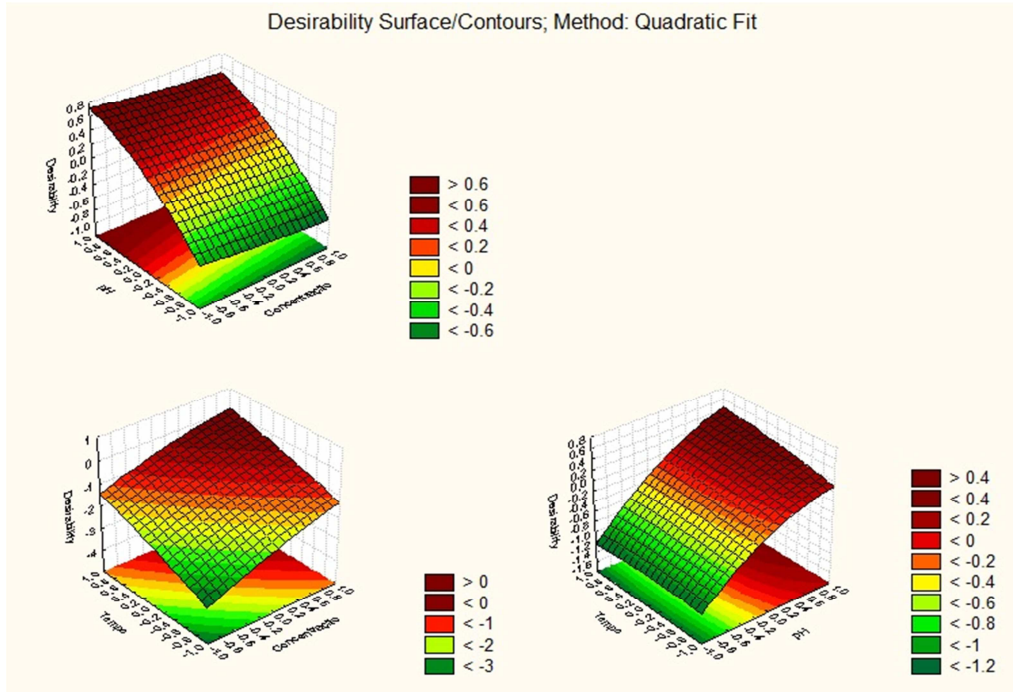


Figura 25: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante B, bateria 1.

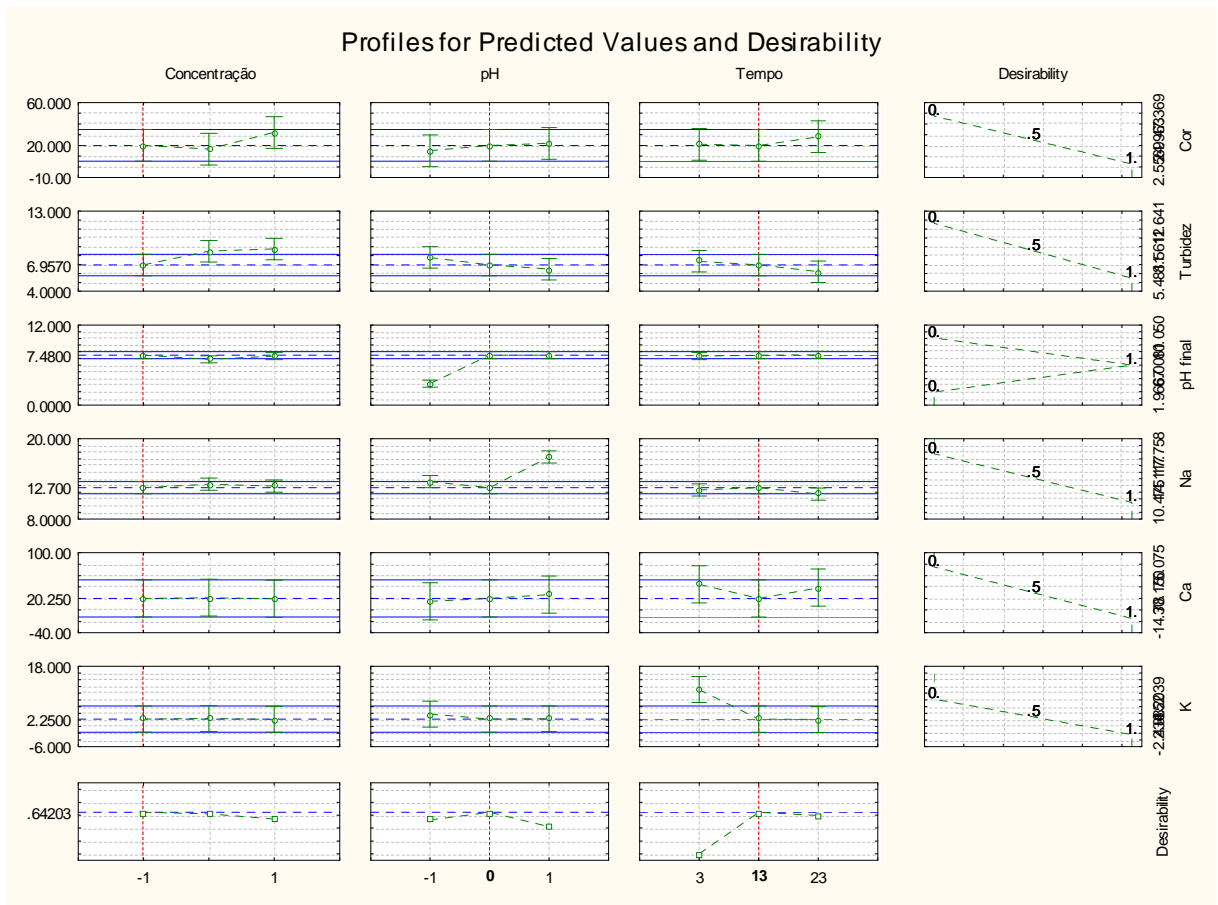


Figura 26: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante B, bateria 1.

Na Figura 24, observa-se que o valor de “p” é menor que 0,05 para todas as variáveis de entrada, e nenhum para a interação entre as variáveis, considerando um nível de significância de 5%.

Na Figura 25, observa-se os gráficos de interação entre as variáveis independentes. Conforme a Figura 24, nenhuma das interações teve uma diferenciação significativa nas respostas.

Na Figura 26, são mostrados os gráficos de ponto desejado para cada variável de entrada, quando analisadas separadamente. O ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada -1 (3 ml), o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (6,0), e o ponto desejado da variável tempo ocorreu aos 13 minutos. Destaca-se que conforme a Figura 24, todas apresentaram diferenciação significativa em seus resultados.

5.3.1.3 Coagulante C

As Figuras 27, 28 e 29 mostram os resultados para o coagulante C.

Effect	Multivariate Tests of Significance (Bat 1 - CC codificado.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000865	4235.576	6	22.0000	0.000000
Concentração	Wilks	0.155713	5.625	12	44.0000	0.000010
pH	Wilks	0.002213	74.285	12	44.0000	0.000000
Tempo	Wilks	0.493068	1.555	12	44.0000	0.141151
Concentração*pH	Wilks	0.172705	2.125	24	77.9589	0.006825
Concentração*Tempo	Wilks	0.572357	0.563	24	77.9589	0.942899
pH*Tempo	Wilks	0.450523	0.834	24	77.9589	0.684028
Concentração*pH*Tempo	Wilks	0.286162	0.677	48	112.3115	0.935048

Figura 27: Teste de significância (Wilks) para o coagulante C, bateria 1.

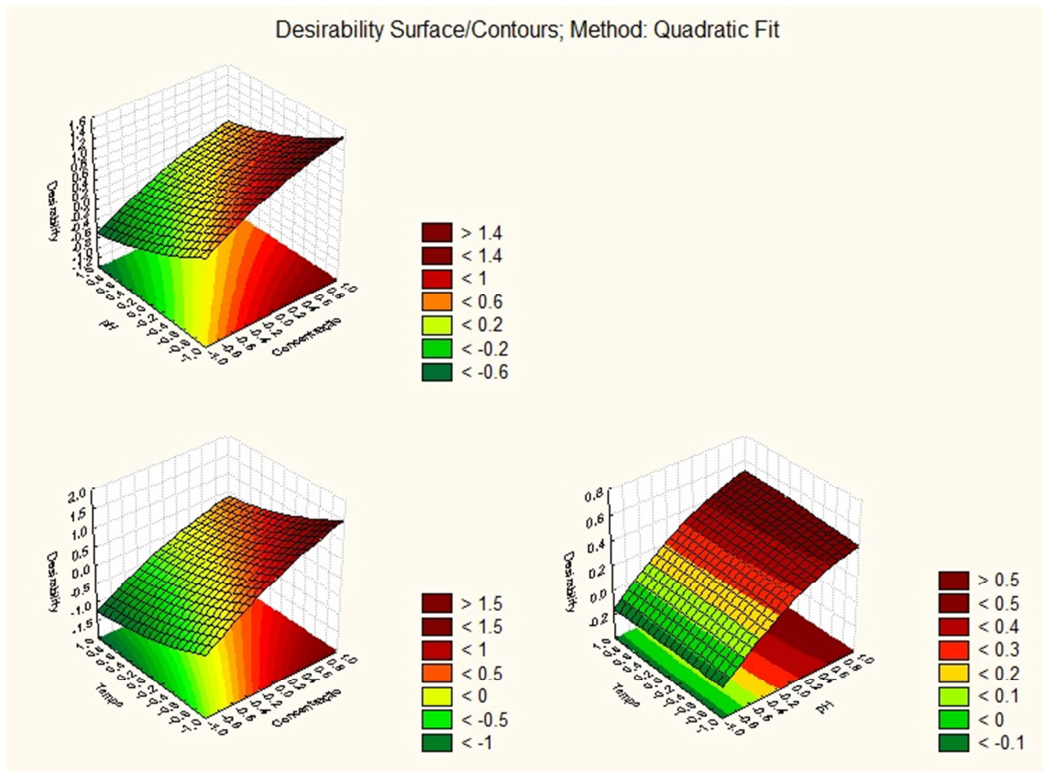


Figura 28: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante C, bateria 1.

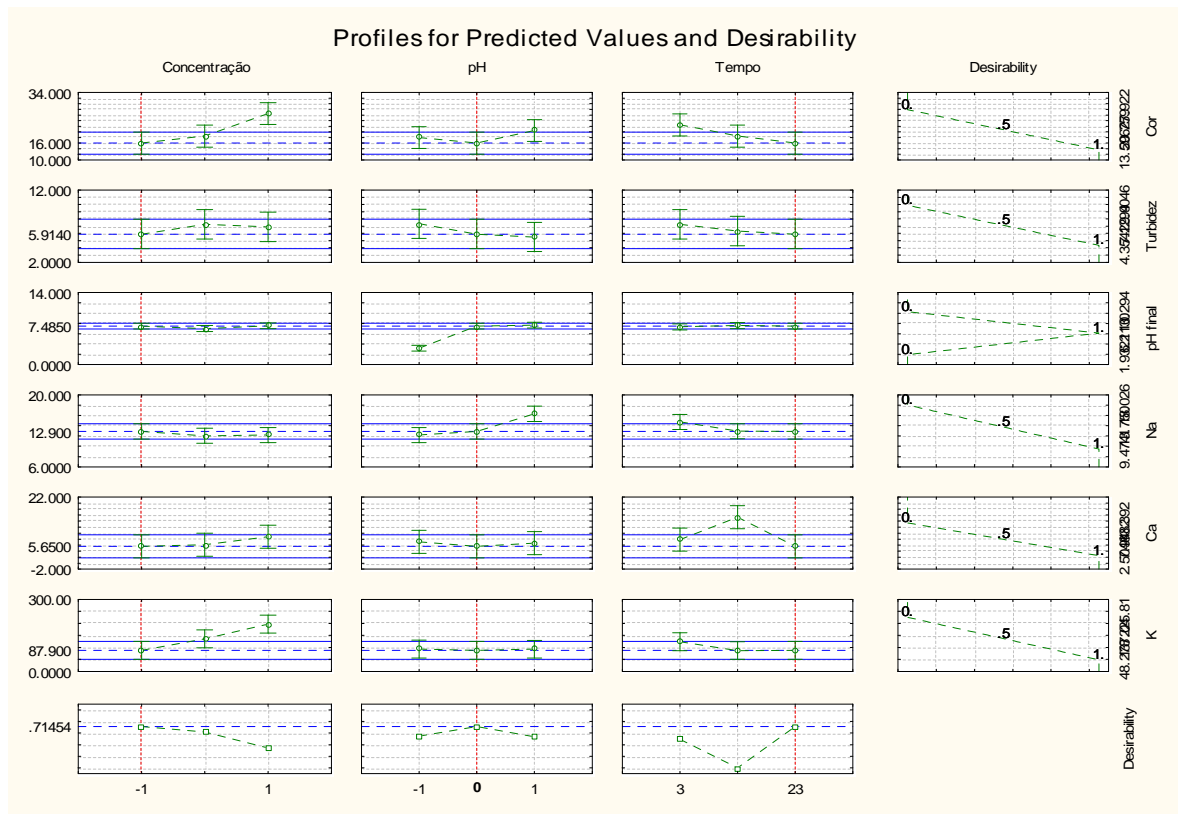


Figura 29: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante C, bateria 1.

Na Figura 27, observa-se que o valor de “p” é menor que 0,05 para as variáveis independentes concentração e pH e para a interação entre essas variáveis, considerando um nível de significância de 5%.

Conforme o Figura 27, a única interação entre as variáveis que apresentou significância ocorreu entre a concentração e o pH, sendo este o único gráfico relevante a ser analisado na Figura 28. No gráfico de pH e concentração, pode-se observar que a superfície de resposta se encaminha para valores mais altos quando o pH tende a valores mais baixos e a concentração tende ao valor máximo analisado. Nessa combinação de variáveis, pode-se observar uma linearidade entre os valores de concentração e o de pH correspondente, como sendo esta um comportamento intermediário da superfície, observado pela cor amarela. Os valores mais altos sobre a variável de resposta, em vermelho, tendem a concentrações mais altas e valores de pH mais baixos.

Na Figura 29, são mostrados os gráficos de ponto desejado para cada variável de entrada, quando analisadas separadamente. O ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada -1 (3 ml), o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (6,0), e o ponto desejado da variável tempo ocorreu aos 23 minutos. Destaca-se que conforme a Figura 27, o pH e a concentração apresentaram diferenciação significativa em seus resultados.

5.3.2 Bateria de ensaios 2

5.3.2.1 Coagulante A

As Figuras 30, 31 e 32 mostram os resultados para o coagulante A.

Effect	Multivariate Tests of Significance (Bat 2 - CA codificado.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000048	76737.96	6	22.0000	0.000000
Concentração	Wilks	0.233293	3.92	12	44.0000	0.000411
pH	Wilks	0.000007	1352.74	12	44.0000	0.000000
Tempo	Wilks	0.216378	4.22	12	44.0000	0.000210
Concentração*pH	Wilks	0.084013	3.36	24	77.9589	0.000028
Concentração*Tempo	Wilks	0.571354	0.57	24	77.9589	0.941842
pH*Tempo	Wilks	0.282075	1.42	24	77.9589	0.125652
Concentração*pH*Tempo	Wilks	0.323803	0.60	48	112.3115	0.975073

Figura 30: Teste de significância (Wilks) para o coagulante A, bateria 2.

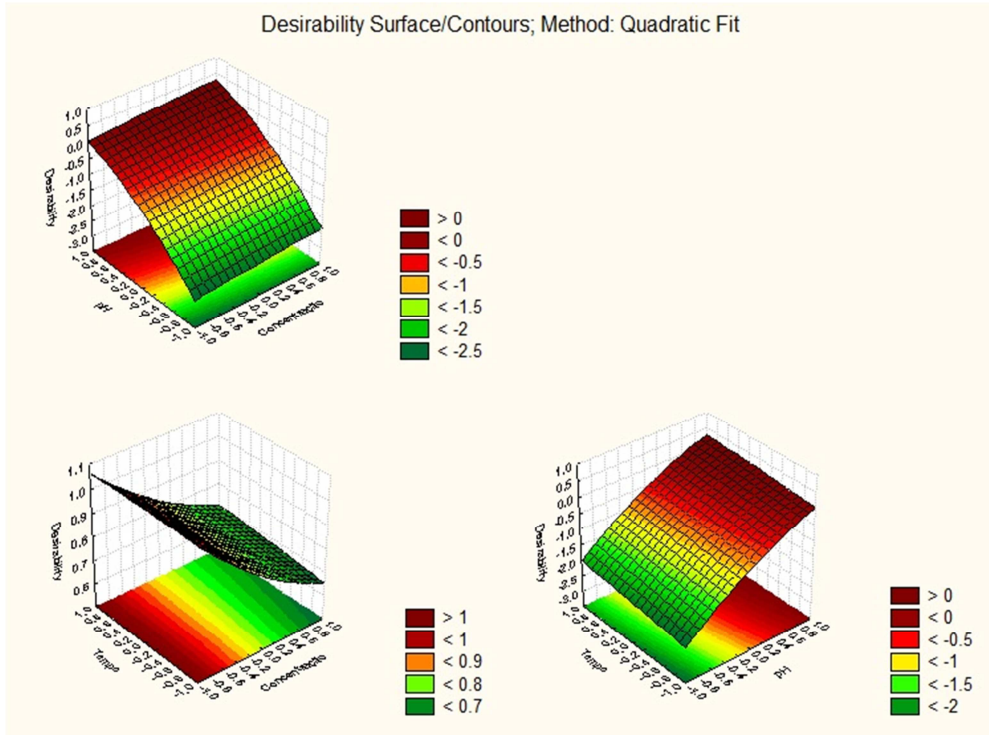


Figura 31: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante A, bateria 2.

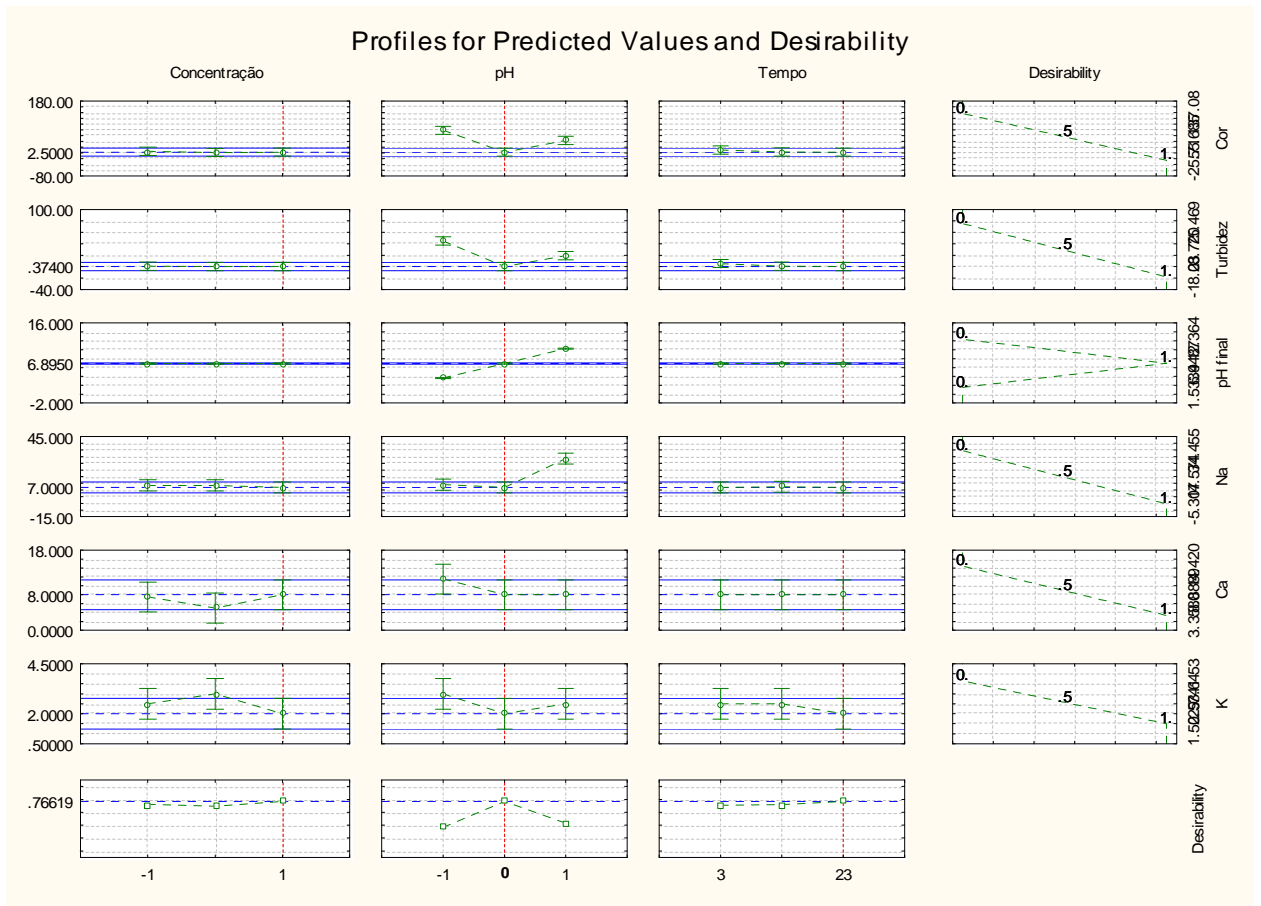


Figura 32: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante A, bateria 2.

Na Figura 30, observa-se que o valor de “p” é menor que 0,05 para todas as variáveis independentes, e para a interação entre as variáveis concentração e pH, considerando um nível de significância de 5%.

Conforme a Figura 30, a única interação entre as variáveis que apresentou significância ocorreu entre a concentração e o pH, sendo este o único gráfico relevante a ser analisado na Figura 31. No gráfico de pH e concentração, pode-se observar que a superfície se encaminha para valores maiores quando o pH e a concentração também se encaminham para valores mais altos, sendo a concentração uma variável menos determinante nessa interação. Assim, o pH constitui, nessa combinação de variáveis, como uma categoria mais importante nesse resultado, um vez que valores mais baixos de concentração aplicada desse coagulante obtêm resultados pouco inferiores ao valor máximo observado.

Na Figura 32, são mostrados os gráficos de ponto desejado para cada variável de entrada, quando analisadas separadamente. O ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 1 (35 ml), o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (7,0), e o ponto desejado da variável tempo ocorreu aos 23 minutos.

5.3.2.2 Coagulante B

Nas Figuras 33, 34 e 35 são mostrados os resultados para o coagulante B.

Effect	Multivariate Tests of Significance (Bat 2 - CB codificado.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000041	88580.63	6	22.0000	0.000000
Concentração	Wilks	0.029387	17.72	12	44.0000	0.000000
pH	Wilks	0.000006	1494.42	12	44.0000	0.000000
Tempo	Wilks	0.318990	2.83	12	44.0000	0.005937
Concentração*pH	Wilks	0.027430	5.86	24	77.9589	0.000000
Concentração*Tempo	Wilks	0.553032	0.60	24	77.9589	0.919802
pH*Tempo	Wilks	0.458975	0.81	24	77.9589	0.710750
Concentração*pH*Tempo	Wilks	0.527145	0.33	48	112.3115	0.999984

Figura 33: Teste de significância (Wilks) para o coagulante B, bateria 2.

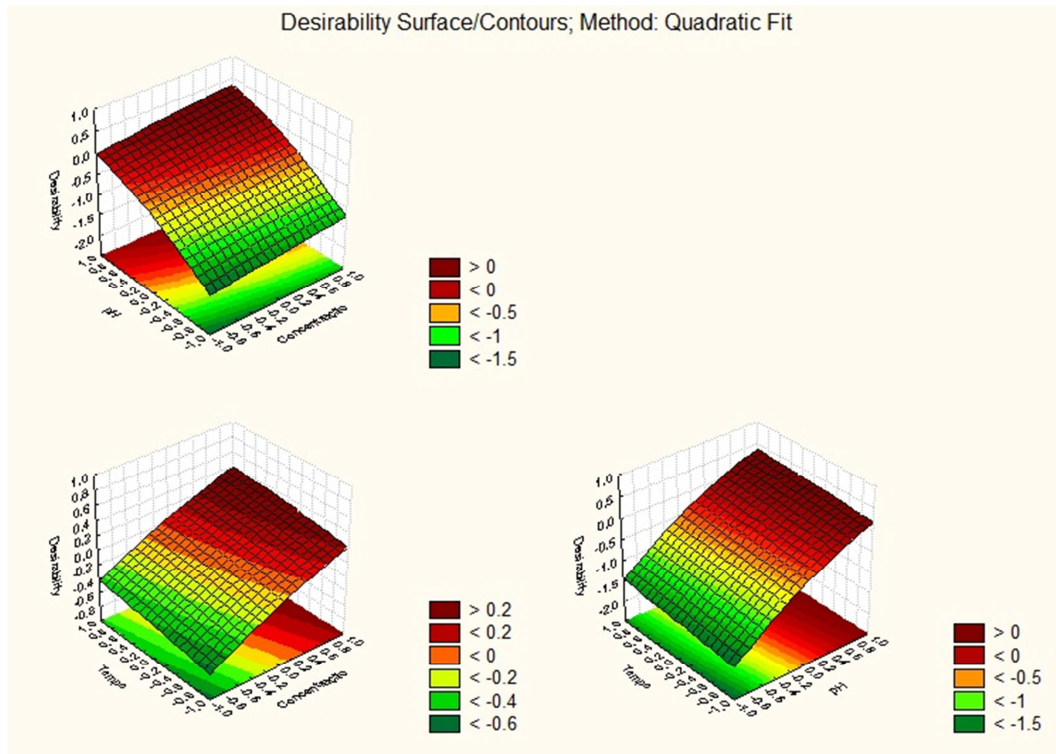


Figura 34: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante B, bateria 2.

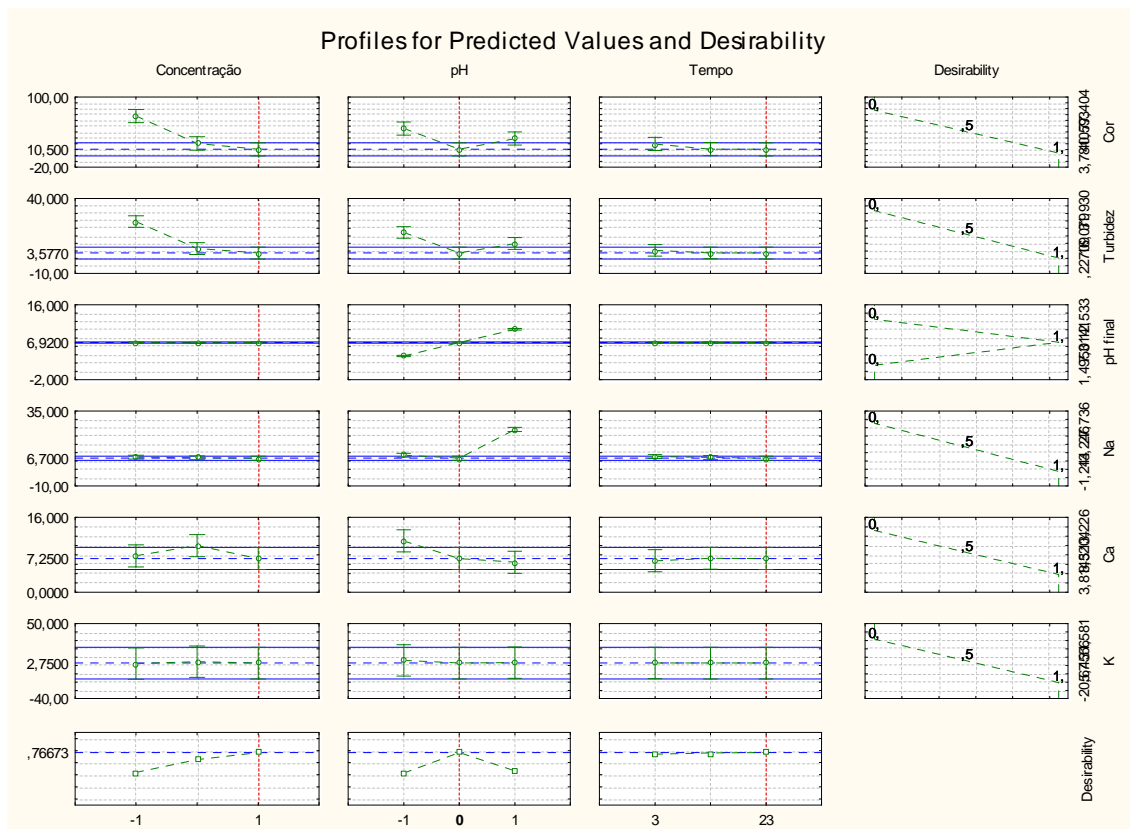


Figura 35: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante B, bateria 2.

Assim como no item anterior, na Figura 33 observa-se que o valor de “p” é menor que 0,05 para todas as variáveis de entrada, e para a interação entre as variáveis concentração e pH, considerando um nível de significância de 5%.

Conforme o Figura 34, a única interação relevante de acordo com o índice de significância de 5% ocorreu entre a concentração e o pH, sendo portanto o único gráfico relevante a ser analisado na Figura 33. No gráfico de pH e concentração, assim como na Figura 31, observa-se que a superfície atinge valores maiores para valores mais altos de pH e concentração, com ênfase mais clara para o primeiro, sendo este mais determinante que a concentração na interação entre estes dois fatores.

Na Figura 35, são mostrados os gráficos de ponto desejado para cada variável de entrada, quando analisadas separadamente. Novamente como no item anterior, o ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 1 (35 ml), o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (7,0), e o ponto desejado da variável tempo ocorreu aos 23 minutos.

5.3.2.3 Coagulante C

Nas Figuras 36, 37 e 38 são mostrados os resultados para o coagulante C.

Effect	Multivariate Tests of Significance (Bat 2 - CC codificado.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000035	105505.3	6	22.0000	0.000000
Concentração	Wilks	0.003242	60.7	12	44.0000	0.000000
pH	Wilks	0.000009	1234.2	12	44.0000	0.000000
Tempo	Wilks	0.048359	13.0	12	44.0000	0.000000
Concentração*pH	Wilks	0.298466	1.3	24	77.9589	0.164776
Concentração*Tempo	Wilks	0.553702	0.6	24	77.9589	0.920704
pH*Tempo	Wilks	0.236177	1.7	24	77.9589	0.048681
Concentração*pH*Tempo	Wilks	0.314460	0.6	48	112.3115	0.968017

Figura 36: Teste de significância (Wilks) para o coagulante C, bateria 2.

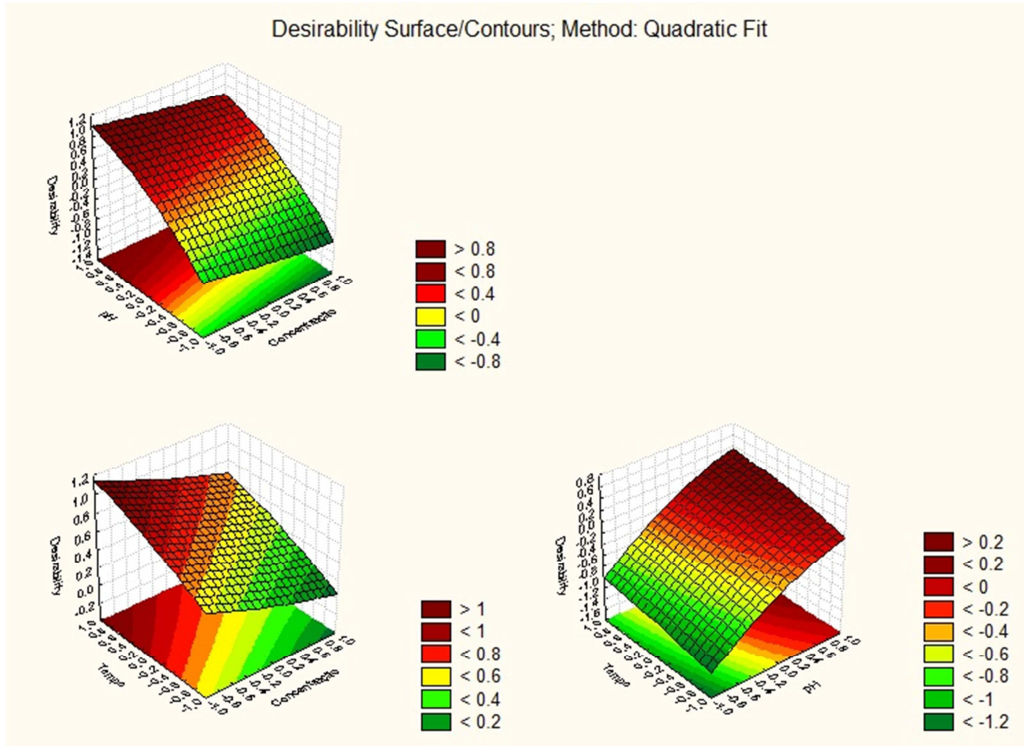


Figura 37: Gráficos de superfície de resposta para os ensaios com o coagulante C, bateria 2.

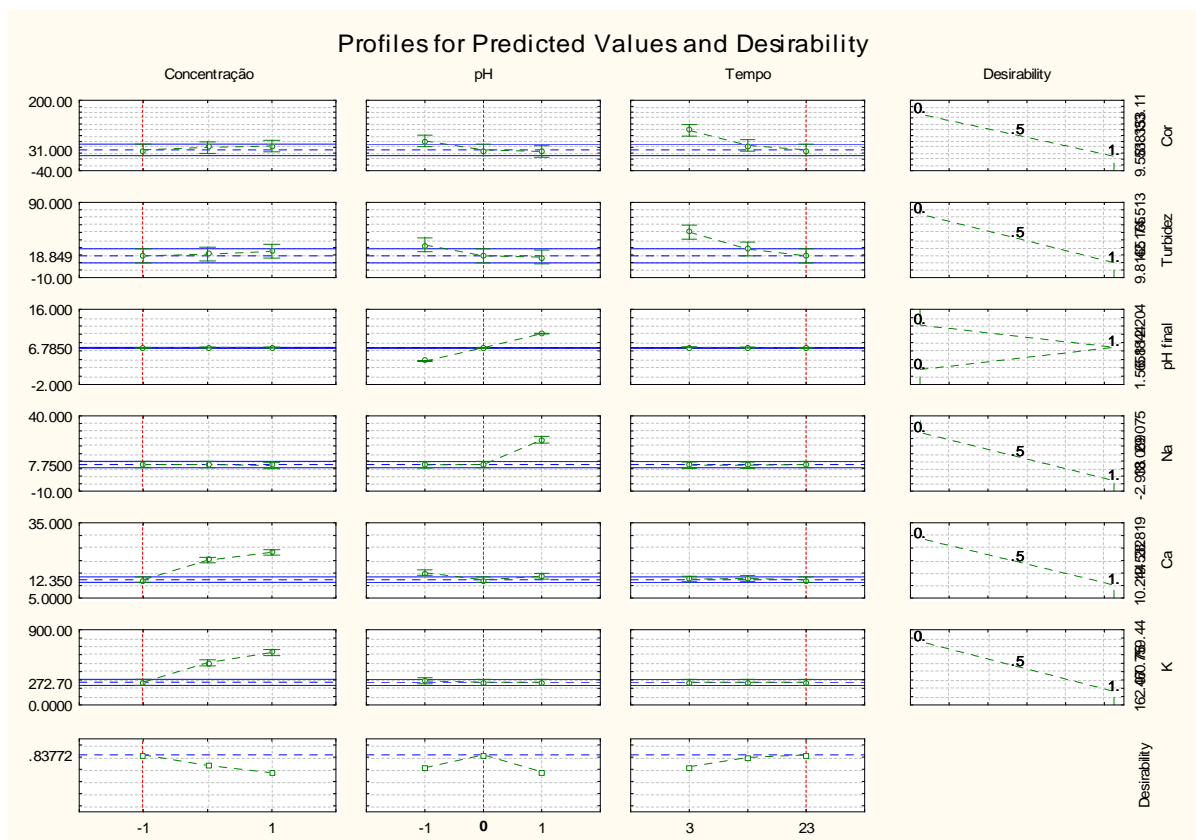


Figura 38: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante C, bateria 2.

Na Figura 36, observa-se que o valor de “p” é menor que 0,05 para todas as variáveis independentes e para a interação entre as variáveis tempo e pH, considerando um nível de significância de 5%.

Conforme o Figura 36, a única interação entre as variáveis que apresentou significância ocorreu entre o tempo e o pH, sendo este, portanto, o único gráfico relevante a ser analisado na Figura 37. No gráfico de tempo e pH, observa-se que valores maiores de resposta são obtidos quando ambos tempos e pH tendem ao valor máximo adotado, com uma predominância maior do pH no comportamento da superfície desse gráfico.

Na Figura 38, são mostrados os gráficos de ponto desejado para cada variável de entrada, quando analisadas separadamente. O ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada -1 (15 ml), o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (7,0), e o ponto desejado da variável tempo ocorreu aos 23 minutos.

5.4 ANÁLISE DA REMOÇÃO DOS METAIS

Para mensurar a remoção dos metais, será utilizado o conceito de médias dos valores brutos, para facilitar a compreensão e não permitir que valores discrepantes afetem a interpretação final dos dados significativamente.

Sobre os dados brutos da leitura dos componentes químicos, foram feitas médias para cada elemento químico, para cada coagulante, dentro de cada conjunto de ensaios. Os resultados seguem demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13: Médias para cada elemento químico e coagulante, dentro de cada bateria

		Na	Ca	K	
Bat. 1	CA	12,33	6,07	2,06	Médias (mg/L)
	CB	14,07	6,81	2,4	
	CC	13,75	7,09	137,04	
Bat. 2	CA	7,54	9,37	2,57	
	CB	8,03	8,86	2,57	
	CC	13,07	19,53	460,76	

Com os valores de médias para cada elemento químico, coagulante e bateria, pode-se criar uma tabela de porcentagem de remoção, levando-se em consideração

os dados de referência para cada bateria de ensaios, mostrados nas Tabelas 9 e 11. O resultado das porcentagens de remoção pode ser visualizado na Tabela 14.

Tabela 14: Porcentagens de remoção para cada elemento químico, coagulante e bateria de ensaios.

		Na	Ca	K	
Bat. 1	CA	-2,75%	2,10%	1,90%	Remoção (%)
	CB	-17,25%	-9,84%	-14,29%	
	CC	-14,58%	-14,35%	-6425,71%	
Bat. 2	CA	-7,71%	14,82%	-2,80%	
	CB	-14,71%	19,45%	-2,80%	
	CC	-86,71%	-77,55%	-18330,40%	

Analisando inicialmente apenas a Tabela 13, com os valores das médias, podemos destacar os altos valores nos teores de potássio das amostras do coagulante C (*Moringa oleifera*) nas duas baterias. Podemos constatar, portanto, que os princípios ativos da semente de *Moringa oleifera* não se aglutinam com as moléculas de potássio da solução utilizada para solubilizar o composto, conforme descrito no item 4.4.1. Assim, o fato da média desse coagulante na segunda bateria ser maior que o da primeira não surpreende, uma vez que a dosagem aplicada no ensaio de coagulação na bateria 2 foi maior do que na bateria 1.

Como já citado, os lodos provenientes dos coagulantes químicos não são biodegradáveis, não podendo ser utilizados na agricultura. Apenas o lodo da *Moringa oleifera* possuía essa possibilidade. Porém, o fato dos íons presentes na solução salina de K_2SO_4 não sofrerem a ação coagulante do princípio ativo é decisivo portanto na não utilização do lodo proveniente deste coagulante na agricultura, já que o potássio possui uma relevância maior que a dos outros dois elementos químicos aqui analisados.

Na Tabela 14, já com os valores de referência para cada bateria, fica mais evidente o fato da não aglutinação das espécies químicas não só por parte do coagulante C, mas da de todos os outros também testados. Tal fato pode ser observado pelo grande número de resultados caracterizados pela redução negativa (aumento) nos valores dos elementos químicos após a realização do ensaio. Dessa forma pode-se concluir que espécies químicas metálicas não sofrem a ação do mecanismo de coagulação. Portanto, se objetiva-se a retirada desses íons da água,

deve-se priorizar outros tipos de tecnologias de tratamento de água, como as enunciadas por Loiola (2006), Boaventura et al. (2012) e Theodoro (2010).

5.5 ADEQUAÇÃO DOS RESULTADOS PERANTE A PORTARIA 2914/2011

Relembrando o que foi exposto no item 3.5.1, com relação à Portaria 2914/2011: define quais parâmetros devem ser analisados e quais os limites desses parâmetros, para que determinada água seja classificada como potável ou não potável. Dentre as características da água que já foram aqui apresentadas, tanto físicas quanto químicas, a Portaria define os seguintes valores:

- A cor aparente, no anexo X da portaria, esta possui um valor máximo permitido (VMP) de 15 uH.
- A respeito da turbidez, o VMP é de 5 uT.
- O pH recomenda-se que no sistema de distribuição se mantenha na faixa de 6 a 9,5.

Todos os ensaios que atingiram os padrões de potabilidade da Portaria 2914/2011 das duas baterias de ensaios encontram-se destacados nos Apêndices de A a F.

5.5.1 Bateria de ensaios 1

Nos ensaios realizados com amostras coletadas após o período de estiagem, uma vez que as condições iniciais da água já eram próximas dos VMPs permitidos na Portaria 2914/2011 do MS, deduz-se que muitas amostras dos coagulantes testados teriam êxito em atender aos limites de potabilidade.

Porém, este fato só foi válido para o coagulante A, que obteve oito ensaios atendendo ao VMP de cor aparente (ensaios 3, 4, 6, 7, 8, 15, 17 e 18) e dez atendendo ao VMP de turbidez (ensaios 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 15, 16 e 17) após o tempo total de sedimentação.

O coagulante B obteve dois ensaios que se adequaram à essa Portaria com relação a cor aparente (ensaios 10 e 16) ao final do tempo de sedimentação, e nenhum se adequou em relação a turbidez.

Já o coagulante C obteve um ensaio que se adequaram à Portaria 2914/2011, com relação a cor aparente (ensaio 4) e apenas um ensaio com relação a turbidez (ensaio 11).

Acerca do pH, poucas variações nos valores após o tempo de sedimentação final foram observadas quando comparadas aos valores do pH de entrada de todos os coagulantes. Assim, para todos os coagulantes, trinta e seis ensaios (doze para cada coagulante) atenderam a recomendação da Portaria 2914/2011, em que o pH deve situar-se entre 6,0 e 9,5.

5.5.2 Bateria de ensaios 2

Com as amostras apresentando valores maiores de sólidos suspensos e dissolvidos, foi possível, através dos ensaios da bateria 2, observar uma efetividade maior de todos os coagulantes, em termos de redução dos parâmetros físicos abordados. Contudo, mesmo com porcentagens de remoção maiores, como o valor inicial era alto, essas porcentagens de remoção, muitas vezes, não reduziram a presença de sólidos suspensos e dissolvidos o suficiente para atenderem aos limites de potabilidade.

O coagulante A obteve seis ensaios que atenderam ao VMP de cor aparente (ensaios 4, 5, 6, 13, 14 e 15) e também os mesmos seis ensaios atenderam ao VMP de turbidez.

O coagulante B obteve dois ensaios que atenderam a essa Portaria com relação à cor aparente (ensaios 6 e 15), e também os mesmos dois ensaios com relação a turbidez.

Nenhum ensaio do coagulante C obteve adequação a essa Portaria em relação à cor aparente e turbidez.

Com relação ao pH, o mesmo comportamento do item anterior foi constatado novamente: os coagulantes utilizados alteram pouco os valores de pH, ao final do tempo de sedimentação. Porém, dessa vez, como o pH codificado como 1 (10,3) se encontrava acima do recomendado pela Portaria, o valor do pH de entrada acabou

determinando os ensaios que se adequaram a recomendação da Portaria, sendo estes todos os 6 ensaios com pH natural (7,0) para todos os coagulantes testados.

5.6 CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS COM A BIBLIOGRAFIA

Ao fim dos ensaios das baterias 1 e 2 e dos tratamentos dos dados, pode-se equiparar os resultados obtidos com o de outros autores que trabalharam com o processo de coagulação/floculação/sedimentação no tratamento de água.

Carvalho (2008), em estudo que visou otimizar os processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração via utilização de coagulante orgânico separadamente e também combinado com um coagulante químico, obteve resultados muito positivos nas remoções dos mesmos parâmetros físicos abordados neste estudo quando utilizado apenas o coagulante natural, consolidando o potencial dessa tecnologia no processo de tratamento de água.

Trevisan (2014), em estudo utilizando coagulantes orgânicos e fazendo a comparação com o desempenho de coagulantes químicos em amostras de água coletadas na tubulação de entrada de uma ETA, constatou, assim como neste estudo, que as condições iniciais de sólidos suspensos e dissolvidos são determinantes no sucesso do processo de coagulação, para uma respectiva dosagem dos coagulantes testados. Porém, mesmo em diferentes condições iniciais, o coagulante orgânico testado (Tanfloc SG) obteve dosagens que apresentaram remoções de cor aparente e turbidez superiores aos coagulantes inorgânicos, fato este que não se observou neste estudo, quando utilizado o coagulante natural *Moringa oleifera*.

Bergamasco et al. (2008), em experimento utilizando a *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de água obtida a partir de corpo hídrico que abastece uma ETA do município de Maringá, obteve resultados semelhantes de remoção de parâmetros turbidez e cor aparente, de acordo com a dosagem desse coagulante. Contudo, os picos de remoção desses parâmetros foram ainda acima do que foi observado na bateria de ensaios 2, sendo relevante ressaltar, contudo, que mesmo o menor tempo de sedimentação adotado por esta autora foi maior que o tempo máximo de sedimentação adotado neste estudo.

Finalmente, Henriques (2012), em experimento que utilizou a *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de água coletada em sistema lântico, obteve resultados muito semelhantes ao deste trabalho. As remoções máximas de cor aparente e turbidez obtidas por Henriques (2012) apresentaram praticamente as mesmas remoções máximas que este trabalho, quando utilizando a *Moringa oleifera* e amostras com teores de sólidos suspensos e dissolvidos elevados (cerca de 85% na turbidez e 90% na cor aparente), além de também, em praticamente nenhum ensaio, os valores finais de turbidez e cor aparente se adequarem na legislação que define os VMPs permitidos no país.

De forma global, podemos observar que todos os coagulantes reagem melhor em meios com pH mais próximo ao valor intermediário (7,0), o que confirma a informação de Vaz (2009).

Ao observarmos que a *Moringa oleifera* não obteve resultados tão bons quanto o dos outros coagulantes, a sua utilização combinada com a de um coagulante inorgânico, como a estudada por Carvalho (2008), tanto em fases separadas quanto conjuntas, poderia ser uma alternativa viável, auxiliando no processo de remoção de sólidos dos outros coagulantes inorgânicos. Assim, já se pouparia a adição de coagulantes de sais metálicos ao tratamento de água, o que resultaria em economia para a administradora da ETA e diminuição dos riscos levantados por Vaz (2009) e Rosalino (2011).

6 CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho, verificou-se que a solução coagulante obtida a partir da semente da *Moringa oleifera* (coagulante C) não foi tão eficiente no tratamento da água proveniente do sistema lântico Lago Igapó II, comparando seus resultados com os coagulantes químicos sulfato de alumínio (coagulante A) e o cloreto férrico (coagulante B).

Na primeira bateria de ensaios, coletadas após um período de estiagem, a baixa presença de sólidos em suspensão e dissolvidos afetou negativamente a remoção de cor aparente e turbidez do coagulante de *Moringa oleifera*, assim como o de cloreto férrico. O sulfato de alumínio foi o único coagulante, nessa bateria, que apresentou um número menor de resultados negativos.

Ainda sobre a bateria de ensaios 1, quanto ao desempenho específico de cada um dos coagulantes, o sulfato de alumínio obteve as melhores respostas na dosagem de 5 ml, tempo de sedimentação de 13 minutos e para as amostras com pH neutro, sendo que as variáveis pH, tempo e a interação entre concentração e pH apresentaram significância. O cloreto férrico obteve as melhores respostas na dosagem de 3 ml, tempo de sedimentação de 13 minutos e para as amostras com pH neutro, sendo que as variáveis concentração, pH e tempo foram significativas. A *Moringa oleifera* obteve melhores respostas na dosagem de 3 ml, tempo de sedimentação de 23 minutos e para as amostras com pH neutro, sendo que as variáveis concentração, pH e a interação entre elas foram significativas.

Na segunda bateria de ensaios, coletadas após um período de dias chuvosos, o aumento na presença de sólidos suspensos e dissolvidos foi significativo, o que contribuiu para uma melhor ação do coagulante de *Moringa oleifera*, do ponto de vista da remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez (os picos de remoção atingiram 90% e 85%, respectivamente). Porém, deve-se destacar que mesmo com esses valores percentuais de remoção, os padrões de potabilidade previstos na Portaria 2914/2011 do MS não foram atendidos. Também deve-se citar que os coagulantes químicos tiveram picos de remoções acima dos observados para a *Moringa oleifera*.

Sobre a bateria de ensaios 2, quanto ao desempenho de cada um dos coagulantes nessa nova situação, o sulfato de alumínio obteve as melhores

respostas na dosagem de 35 ml, tempo de sedimentação de 23 minutos e para amostras com pH neutro, sendo essas também as condições desejáveis estatisticamente observadas para o cloreto férrico. As variáveis concentração, pH, tempo e a interação entre concentração e pH também foram significativas para ambos os coagulantes. A solução a base de *Moringa oleifera* obteve melhores resultados na dosagem de 15 ml, tempo de sedimentação de 23 minutos e pH neutro, tendo as variáveis concentração, pH, tempo e a interação entre pH e tempo apresentado significância.

Os resultados da *Moringa oleifera*, embora tenham se mostrado eficientes, não foram suficientes para atender a legislação, o que requer uma otimização do produto para que este possa ser difundido como uma alternativa viável, segura e legal para tratamento de água. Possíveis ajustes podem ser levantados, como por exemplo o aumento do tempo de sedimentação, um vez que pode-se observar na bateria de ensaios 2 que a eficiência da remoção dos parâmetros físicos melhorava conforme o tempo de sedimentação também evoluía.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Eliane C. et al. Avaliação da qualidade da água do Rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 30, n. 1, p. 39 – 48, 2008.

ANDRADE, Cristiano A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38 n. 10, p. 1187 – 1195, 2003.

APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington, 2012.

AQUINO, Marisete D. et al. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Tecnologia Fortaleza**, Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 178 – 190, 2007.

BARROS, Dalton A. S. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Recife, v. 28, n. 2, p. 385 – 392, 2004.

BELLINGIERI, Paulo A. et al. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 360 – 367, 1995.

BERGAMASCO, Rosângela et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 30, n. 2, p. 193 – 198, 2008.

BERGAMASCO, Rosângela et al. Estudo do tratamento e clarificação de água com torta de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.13, n.3, p. 295 - 299, 2011.

BOAVENTURA, Rui A. R.; MARTINS, Ramiro J. E.; VILAR, Vitor J. P. Remoção de metais tóxicos por briófitas aquáticas. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. **Anais**. Búzios, setembro de 2012.

BORBA, Luís R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera 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, 2001.

BORSATTO, Ricardo S. et al. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 11, n.1 p. 94 – 100, 2007.

BRAGA, Benedito; REBOUÇAS, Aldo da C.; TUNDISI, José G. **Águas doces no Brasil – Capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Editora Escrituras, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde (2011). Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em 25 de setembro de 2014.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2011). **Atlas do Saneamento Básico**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtml>. Acesso em 29 de setembro de 2014.

CADORIN, Danielle A.; MELLO, Nilvania A. Efeitos da impermeabilização dos solos sobre a arborização no município de Pato Branco – PR. **Synergismus Scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v. 6, n. 1, p. 21 – 29, 2011.

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

CATANI, Renato A. et al. Determinação de potássio em fertilizantes por fotometria de chama. In: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. **Anais**. Piracicaba, v. 22, p. 12 – 55, maio de 1965.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Variáveis de qualidade das águas**. Apostila. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas>>. Acesso em 01 de outubro de 2014.

DIAS, Herly C. T.; OLERIANO, Eliseu S. A dinâmica da água em bacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto. In: I Seminário de Recursos Hídricos do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico. **Anais**. Taubaté, p. 215 – 222, novembro de 2007.

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

ESTEVES, Francisco de A. **Fundamentos de limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

FEARNside, Philip M. A água de São Paulo e a floresta amazônica. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 34, n. 203, p. 63 – 65, 2004.

FERREIRA, Cláudia M. A importância da água e sua utilização em ranários comerciais. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Peixes Ornamentais. **Panorama da Aquicultura**. nº 79, v. 13, p. 15 – 17, 2013.

FONSECA, Jairo S. da; MARTINS, Gilberto de A. **Curso de estatística**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1993.

FORSTNER, Ulrich; WITTMANN, Gottfried T. W. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2 ed. Berlin: Editora: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981.

GALLÃO, Maria I. et al. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 106 – 109, 2006.

GASPAROTTO, Felipe A. **Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas do município de Piracicaba-SP**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

GERDES, Gerrit. **Uso das sementes da árvore *Moringa oleifera* para tratamento de águas turvas**. 1 ed. Fortaleza: Editora: Esplar, 1996.

GOOGLE MAPS. Disponível em:

<<https://www.google.com.br/maps/place/Lago+Igap%C3%B3+2,+Londrina++PR/@-23.3280035,51.1723905,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x94eb434ef9f0138d:0xd0e8f986099af827>>. Acesso em 05 de outubro de 2014.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2010, a, v. 1.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2010, b, v. 2.

HENRIQUES, Juscelino A. **Potencial de uso da *Moringa oleifera* Lamarck na clarificação de água para abastecimento em comunidades difusas da mesorregião agreste paraibana**. 2012. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

JESUS, Leonardo L. et al. Reaproveitamento do óleo de fritura em produtos de alto valor agregado: análise de custo. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**. Vassouras, v. 1, n. 1, p. 104 – 107, 2014.

KAWAMURA, Susumu. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2 ed. Nova York: Editora: John Wiley e Sons, Inc, 2000.

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

LOIOLA, Adonay R. **Diagênese acelerada de caulim à zeólita NaA para uso no abrandamento de águas**. 2006. 95 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-graduação em Química Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

MÁXIMO, Viviane A. **Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis**. 2007. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MORAES, Leila C. K. et al. **Utilização do polímero natural quitosana no processo de coagulação/floculação/ultrafiltração para a produção de água potável**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2004, Campo Grande.

MORAES, José L. **Mercúrio total em peixes e crustáceos comercializados no estado do Pará, Brasil**. 2011. 83 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

MORINGA4HEALING. **Organic Moringa Health Benefits and Healing Herbs**. Disponível em: <www.moringa4healing.com>. Acesso em 05 de outubro de 2014.

NASS, Daniel P. **O conceito de poluição**. Revista Eletrônica de Ciências. Número 13, Novembro de 2002. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_13/poluicao.html>. Acesso em 30 de setembro de 2014.

NDABIGENGESERE, Anselme et al. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. **Water Research**, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Relatórios de Desenvolvimento Humano Globais: 2009**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-agua/>>. Acesso em 29 de setembro de 2014.

PAULA, Samira L. de. **Clarificação do extrato aquoso de Stevia Rebaudiana (Bert.) Bertoni, utilizando polímeros naturais**. 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Pós Graduação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulação na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PEIXOTO, João. **Análises Físico-Químicas: cor, turbidez, pH, temperatura, alcalinidade e dureza**. Apostila de Laboratórios de Tecnologias Ambientais. Mestrado Integrado em Engenharia Biológica. Universidade do Minho, Braga, 2007.

PEREIRA, Adriana C. F. **Desenvolvimento de método para inferência de características físicas da água associadas às variações espectrais. Caso de estudo: reservatório de Itupararanga/SP**. 2008. 208 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2008.

PIANTÁ, Cyro A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água**. 2008. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PIVELLI, Roque P. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. Apostila de Saneamento Ambiental. Curso de Graduação em Engenharia Hidráulica e Ambiental. Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo – USP, São Paulo, 2006.

PREFEITURA DE LONDRINA. **Lago Igapó**. Disponível em: <http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=112>. Acesso em 31 de outubro de 2014.

ROSALINO, Melanie R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SANTOS, Humberto G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília: Editora Embrapa, 2013.

SANTOS FILHO, Jesuino D. dos; SANTA RITA, Edmundo S. **Gerenciamento do resíduo gerado na clarificação de água da RLAM**. 2002. 54 f. Monografia (Título de Especialista) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

SPINELLI, Viviane A. **Quitosana: Polietrólito natural para o tratamento de água potável**. 2001. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

THEODORO, Paulo S. **Utilização da eletrocoagulação no tratamento de efluentes da indústria galvânica**. 2010. 135. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2010.

TREVISAN, Thales S. **Coagulante Tanfloc SG como uma alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal**. 2014. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

TUNDISI, José G.; TUNDISI, Takako M. **Limnologia**. 1 ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2008.

VAZ, Luiz G. L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

APÊNDICE A

Ensaio: Água bruta em condições normais de cor e turbidez																							Sulfato de Alumínio								
Planejamento Estatístico				Resposta																											
Ensaio	Réplica	Coagulante A	pH	Cor			Turbidez			pH final			Na			Ca			K			Turbidez corrigida			Eficiência da remoção de Turbidez			Eficiência da remoção de Cor			
				3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	
4	1	3	6	12	11	12	5,19	5	4,84	7,35	7,00	7,00	15,4	15,4	15,3	6,4	6,4	6,3	2	2	2	Correção Turbidez: - 0,101	5,09	4,90	4,74	19,86%	22,85%	25,37%	42,86%	47,62%	42,86%
18	2	7	8,3	13	8	11	6,27	5,45	5,79	8,11	7,95	7,98	11,5	11,4	11,5	6,1	6	6	2,2	2,2	2,2		6,17	5,35	5,69	2,85%	15,76%	10,41%	38,10%	61,90%	47,62%
8	1	5	8,3	14	10	14	5,55	5,71	5,21	7,92	7,91	7,91	11,2	11,2	23	6,1	6,1	7,3	2,1	2,1	2		5,45	5,61	5,11	14,19%	11,67%	19,54%	33,33%	52,38%	33,33%
15	2	7	6	11	9	8	4,9	4,82	4,84	6,97	6,80	6,69	15,2	15,4	15,2	6,5	6,5	6,5	2	2	2		4,80	4,72	4,74	24,43%	25,69%	25,37%	47,62%	57,14%	61,90%
17	2	5	8,3	20	11	8	5	5,18	4,97	7,75	7,93	7,76	11,1	11,2	11,2	5,9	6,1	6,1	2	2	2		4,90	5,08	4,87	22,85%	20,02%	23,32%	4,76%	47,62%	61,90%
7	1	3	8,3	17	9	10	5,4	4,96	4,98	7,79	7,76	7,68	11,2	11,1	11,2	6	5,9	5,9	2	2	2		5,30	4,86	4,88	16,55%	23,48%	23,17%	19,05%	57,14%	52,38%
1	1	3	3,7	15	20	16	5,29	5,82	5,1	3,46	3,20	3,18	11,5	11,3	11,4	6,2	5,8	5,9	2	2,1	2,1	Correção Turbidez: - 0,104	5,19	5,72	5,00	18,33%	9,98%	21,32%	28,57%	4,76%	23,81%
3	1	7	3,7	23	18	15	6,13	5,34	5,1	3,27	3,17	3,25	11,4	11,4	11,3	5,9	5,8	5,8	2,2	2,1	2		6,03	5,24	5,00	5,10%	17,54%	21,32%	-9,52%	14,29%	28,57%
14	2	5	6	24	15	20	4,23	3,95	3,86	6,32	6,47	6,51	10,5	11	11,1	5,9	5,8	6	2,1	2	2		4,13	3,85	3,76	35,02%	39,43%	40,85%	-14,29%	28,57%	4,76%
12	2	7	3,7	21	18	16	5,46	5,29	5,02	3,56	3,32	3,40	11,4	11,1	11,4	5,9	5,8	5,8	2,1	2	2,1		5,36	5,19	4,92	15,65%	18,33%	22,58%	0,00%	14,29%	23,81%
2	1	5	3,7	29	19	18	5,58	5,3	5,07	3,29	3,21	3,25	11,4	11,4	11,5	5,9	5,9	5,9	2,1	2,1	2,1		5,48	5,20	4,97	13,76%	18,17%	21,80%	-38,10%	9,52%	14,29%
10	2	3	3,7	26	18	17	5,37	5,25	5,08	3,29	3,24	3,24	11,3	11,4	11,3	6	5,9	5,9	2,1	2,1	2,1		5,27	5,15	4,98	17,07%	18,96%	21,64%	-23,81%	14,29%	19,05%
11	2	5	3,7	35	25	24	6,46	6,14	5,54	3,25	3,39	3,40	11,3	11,1	11,5	5,8	5,7	5,8	2,1	2	2,1	Correção Turbidez: - 0,101	6,36	6,04	5,44	-0,14%	4,90%	14,35%	-66,67%	-19,05%	-14,29%
16	2	3	8,3	19	18	20	4,62	4,45	4,26	6,70	6,53	6,55	15,6	11,4	15,5	6,4	6	6,5	2,1	2,1	2,1		4,52	4,35	4,16	28,83%	31,51%	34,50%	9,52%	14,29%	4,76%
9	1	7	8,3	18	18	17	4,43	4,41	4,02	6,99	6,73	6,85	15,3	15,4	15,3	6,5	6,5	6,5	2	2	2		4,33	4,31	3,92	31,83%	32,14%	38,28%	14,29%	14,29%	19,05%
13	2	3	6	15	19	20	4,83	4,5	4,17	6,97	6,84	7,00	11,3	11,2	11,2	5,9	6	6	2	2	2		4,73	4,40	4,07	25,53%	30,72%	35,92%	28,57%	9,52%	4,76%
5	1	5	6	20	17	19	4,71	4,93	4,13	6,99	7,00	6,98	11,5	11,4	11,3	6	6	6	2,1	2,1	2,1		4,61	4,83	4,03	27,42%	23,95%	36,55%	4,76%	19,05%	9,52%
6	1	7	6	19	19	15	4,78	4,34	3,51	7,01	7,00	6,91	11,5	11,1	11,3	6	6	6	2,1	2	2,1		4,68	4,24	3,41	26,31%	33,24%	46,31%	9,52%	9,52%	28,57%

APÊNDICE B

Ensaio: Água bruta em condições normais de cor e turbidez																							Cloreto Férrico								
Planejamento Estatístico				Resposta																											
Ensaio	Réplica	Coagulante B	pH	Cor			Turbidez			pH			Na			Ca			K			Turbidez corrigida	Eficiência da remoção de Turbidez			Eficiência da remoção de Cor					
				3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23		3	13	23	3	13	23			
4	1	3	6	28	31	36	6,53	6,41	5,65	7,71	7,69	7,75	12,6	12,2	11,8	6,7	6,7	6,8	2	2,2	2	6,421	6,301	5,541	-1,12%	0,77%	12,74%	-33,33%	-47,62%	-71,43%	
18	2	7	8,3	45	50	34	9,3	8,96	8,75	7,81	7,77	7,74	15,9	16,2	16,4	6,7	6,7	6,7	2,1	2,3	2,2	9,191	8,851	8,641	-44,74%	-39,39%	-36,08%	-114,29%	-138,10%	-61,90%	
8	1	5	8,3	46	44	31	8,33	8,29	7,39	7,85	7,81	7,86	16,2	15,9	16	7,1	6,9	6,9	2,1	2	2,1	8,221	8,181	7,281	-29,46%	-28,83%	-14,66%	-119,05%	-109,52%	-47,62%	
15	2	7	6	40	43	31	8,91	7,61	8,35	7,54	7,52	7,44	12,2	11,8	11,7	7	7,1	7	2,2	2	2	8,801	7,501	8,241	-38,60%	-18,13%	-29,78%	-90,48%	-104,76%	-47,62%	
17	2	5	8,3	57	42	31	7,87	7,43	7,55	7,86	7,74	7,78	15,3	16	16,4	6,8	6,8	6,8	2	2,1	2,2	7,761	7,321	7,441	-22,22%	-15,29%	-17,18%	-171,43%	-100,00%	-47,62%	
7	1	3	8,3	43	32	30	6,68	6,01	6,35	7,99	8,00	7,94	16,8	16,7	16,6	6,8	6,9	6,8	2,3	2,3	2,2	6,571	5,901	6,241	-3,48%	7,07%	1,72%	-104,76%	-52,38%	-42,86%	
1	1	3	3,7	21	14	16	8,32	8,15	7,84	3,47	3,19	3,19	12,7	13,1	13,3	6,8	6,8	6,9	2,2	2,3	2,5	8,219	8,049	7,739	-29,43%	-26,76%	-21,87%	0,00%	33,33%	23,81%	
3	1	7	3,7	25	22	22	11,5	11,5	11,1	3,26	3,19	3,18	12,6	13	13	7	6,9	6,9	2,8	3	3	11,399	11,399	10,999	-79,51%	-79,51%	-73,21%	-19,05%	-4,76%	-4,76%	
14	2	5	6	17	18	17	8,57	8,05	7,86	6,57	6,53	6,62	13,1	13,1	12,8	6,8	6,9	6,7	2,3	2,3	2,3	8,469	7,949	7,759	-33,37%	-25,18%	-22,19%	19,05%	14,29%	19,05%	
12	2	7	3,7	23	17	23	11,7	9,35	10,4	3,28	3,31	3,39	13,3	13,1	12,7	6,7	6,7	6,7	2,7	2,5	2,7	11,599	9,249	10,299	-82,66%	-45,65%	-62,19%	-9,52%	19,05%	-9,52%	
2	1	5	3,7	18	23	21	9,83	10,9	8,99	3,23	3,19	3,21	13,2	12,7	13	6,7	6,8	6,7	2,5	2,5	2,3	9,729	10,799	8,889	-53,21%	-70,06%	-39,98%	14,29%	-9,52%	0,00%	
10	2	3	3,7	14	16	15	8,23	7,68	7,64	3,22	3,22	3,21	13,8	14,1	13,8	6,7	6,7	7	2,6	5,2	2,6	8,129	7,579	7,539	-28,02%	-19,35%	-18,72%	33,33%	23,81%	28,57%	
11	2	5	3,7	20	17	16	11,6	10,3	10,3	2,82	3,19	3,23	13,4	13,3	13,6	6,7	6,8	6,5	2,3	2,4	2,7	11,503	10,203	10,203	-81,15%	-60,68%	-60,68%	4,76%	19,05%	23,81%	
16	2	3	8,3	12	12	12	7,74	7,17	6,69	6,68	6,98	7,22	16,3	17,9	17,9	6,7	6,8	6,7	2,5	2,4	2,5	7,643	7,073	6,593	-20,36%	-11,39%	-3,83%	42,86%	42,86%	42,86%	
9	1	7	8,3	21	18	19	10,6	9,84	9,08	6,97	7,23	7,39	16,3	17,9	16,1	6,7	6,8	6,7	2,4	2,4	2,2	10,503	9,743	8,983	-65,40%	-53,43%	-41,46%	0,00%	14,29%	9,52%	
13	2	3	6	14	9	20	8,42	7,71	6,94	7,00	7,27	7,30	12,1	13,2	11,7	6,7	7	7	2,3	2,3	2,2	8,323	7,613	6,843	-31,07%	-19,89%	-7,76%	33,33%	57,14%	4,76%	
5	1	5	6	22	15	19	9,68	9,17	8,58	7,04	7,19	7,27	13,3	13,3	13,3	6,8	6,8	6,9	2,3	2,5	2,3	9,583	9,073	8,483	-50,91%	-42,88%	-33,59%	-4,76%	28,57%	9,52%	
6	1	7	6	22	21	23	10,6	10,1	9,33	7,02	7,15	7,23	12,1	14,1	13,4	6,7	6,7	6,8	2,3	2,4	2,3	10,503	10,003	9,233	-65,40%	-57,53%	-45,40%	-4,76%	0,00%	-9,52%	

APÊNDICE C

Ensaio: Água bruta em condições normais de cor e turbidez																				Moringa										
Planejamento Estatístico				Resposta																										
Ensaio	Réplica	Coagulante C	pH	Cor			Turbidez			pH			Na			Ca			K			Turbidez corrigida			Eficiência da remoção de Turbidez			Eficiência da remoção de Cor		
				3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23
4	1	3	6	25	22	13	7,47	7,01	6,33	7,85	7,83	7,86	14,2	14	13,8	7,2	7,4	5,2	87	87	87	7,367	6,907	6,227	-16,02%	-8,77%	1,94%	-19,05%	-4,76%	38,10%
18	2	7	8,3	26	21	16	7,58	7,29	7,26	8,03	8,04	8,10	16,7	18,4	18,7	7,8	8,2	8,5	141,4	87	87	7,477	7,187	7,157	-17,75%	-13,18%	-12,71%	-23,81%	0,00%	23,81%
8	1	5	8,3	24	17	18	7,08	6,32	5,99	8,06	8,15	8,15	18,4	16,1	16,5	7,7	7,1	7,3	87	202	202	6,977	6,217	5,887	-9,87%	2,09%	7,29%	-14,29%	19,05%	14,29%
15	2	7	6	28	21	29	10	8,16	7,84	7,81	7,91	7,95	12,4	12,3	12,3	7,1	7,3	7,4	212,1	222,2	212,1	9,897	8,057	7,737	-55,86%	-26,88%	-21,84%	-33,33%	0,00%	-38,10%
17	2	5	8,3	21	17	17	6,62	6,92	6,02	8,05	8,01	8,02	16,3	17	16,6	6,7	7,4	6,9	141,4	141,4	151,5	6,517	6,817	5,917	-2,63%	-7,35%	6,82%	0,00%	19,05%	19,05%
7	1	3	8,3	18	15	19	6,44	5,79	5,12	8,07	8,07	8,02	16,2	16,4	16,4	6,6	6,7	6,7	93,2	96,9	96,3	6,337	5,687	5,017	0,20%	10,44%	20,99%	14,29%	28,57%	9,52%
1	1	3	3,7	17	16	19	7,49	7,42	7,16	3,25	3,22	3,18	12,2	12,3	12,1	7,2	7	7,1	93,2	95,7	94,3	7,388	7,318	7,058	-16,35%	-15,24%	-11,15%	19,05%	23,81%	9,52%
3	1	7	3,7	24	22	24	8,96	8,68	8,36	3,22	3,23	3,24	12,2	12,3	12,3	7,5	7,4	7,6	191,9	202	202	8,858	8,578	8,258	-39,50%	-35,09%	-30,05%	-14,29%	-4,76%	-14,29%
14	2	5	6	24	20	20	11	10,4	9,04	6,39	6,63	6,96	12	12,1	12	6,2	6,3	6,2	131,3	131,3	141,4	10,898	10,298	8,938	-71,62%	-62,17%	-40,76%	-14,29%	4,76%	4,76%
12	2	7	3,7	26	24	23	8,63	8,57	8,47	3,32	3,36	3,36	12,3	12,3	12,1	7,6	7,6	7,6	191,9	191,9	191,9	8,528	8,468	8,368	-34,30%	-33,35%	-31,78%	-23,81%	-14,29%	-9,52%
2	1	5	3,7	22	21	21	7,97	7,55	7,42	3,19	3,20	3,23	12,1	12,1	12,1	7,7	7,6	7,6	141,4	141,4	141,4	7,868	7,448	7,318	-23,91%	-17,29%	-15,24%	-4,76%	0,00%	0,00%
10	2	3	3,7	21	16	17	8,35	8,33	7,74	3,21	3,20	3,17	12,2	12,2	12,3	7,2	7,1	7,2	90,7	92,5	93,2	8,248	8,228	7,638	-29,89%	-29,57%	-20,28%	0,00%	23,81%	19,05%
11	2	5	3,7	15	23	20	4,42	4,45	4,5	3,22	3,31	3,28	12,2	12,2	13,2	6,4	6,4	6,7	141,4	141,4	141,4	4,311	4,341	4,391	32,11%	31,64%	30,85%	28,57%	-9,52%	4,76%
16	2	3	8,3	20	21	22	7,4	6,59	6,12	6,88	7,31	7,35	15,9	15,9	16,2	6,4	6,5	6,6	85,9	87,9	89,6	7,291	6,481	6,011	-14,82%	-2,06%	5,34%	4,76%	0,00%	-4,76%
9	1	7	8,3	26	23	25	8,27	8,06	7,37	7,08	7,72	7,64	12	16	15,3	6,1	8,6	7,5	87,9	181,8	161,6	8,161	7,951	7,261	-28,52%	-25,21%	-14,35%	-23,81%	-9,52%	-19,05%
13	2	3	6	20	15	19	7,26	5,9	5,71	6,81	7,31	7,11	15,3	11,9	12	7,4	6	6,1	161,6	87,8	88,8	7,151	5,791	5,601	-12,61%	8,80%	11,80%	4,76%	28,57%	9,52%
5	1	5	6	22	19	17	6,26	5,75	5,69	7,01	7,19	7,08	11,9	12	12,1	6,1	6,2	6,2	131,3	131,3	131,3	6,151	5,641	5,581	3,13%	11,17%	12,11%	-4,76%	9,52%	19,05%
6	1	7	6	24	22	24	7,35	6,58	6,18	6,94	7,18	7,14	12,2	12,2	12,1	8,1	8,4	8,2	181,8	191,9	181,8	7,241	6,471	6,071	-14,03%	-1,91%	4,39%	-14,29%	-4,76%	-14,29%

APÊNDICE D

Ensaio: Água bruta em condições elevadas de cor e turbidez																				Sulfato de Alumínio																		
Planejamento Estatístico				Resposta																																		
Ensaio	Répica	Coagulante A	pH	Cor			Turbidez			pH final			Na			Ca			K			Turbidez corrigida			Eficiência da remoção de Turbidez			Eficiência da remoção de Cor										
				3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23								
4	1	15	7	18	6	6	3,04	1,18	0,985	6,84	6,81	6,82	7	7	7	10	10	10	2	2	2																	
18	2	35	10,3	47	32	33	16	13,4	13,1	10,27	10,23	10,21	7,6	6,7	7,6	7	8	7	2	2	2																	
8	1	25	10,3	82	65	62	35,5	28,7	27	10,31	10,42	10,36	7,6	7,6	7,6	8	8	8	2	2	2																	
15	2	35	7	12	4	4	5,23	0,911	0,548	6,84	6,88	6,86	7	7	7	11	10	11	2	2	2																	
17	2	25	10,3	61	56	57	27,8	24,5	23,7	10,11	10,21	10,30	7,6	7,6	7,6	8	8	8	2	2	2																	
7	1	15	10,3	90	73	71	48,8	35,4	33	10,13	10,19	10,23	7,6	7,6	7,6	8	8	9	2	2	2																	
1	1	15	3,7	139	108	95	76,8	62,2	52,5	3,63	3,66	3,67	7,8	7,8	7	13	12	12	3	3	3																	
3	1	35	3,7	121	87	77	70	51,5	42,8	3,60	3,64	3,65	7	6	7	11	11	11	3	2	3																	
14	2	25	7	7	1	1	1,29	0,489	0,368	6,84	6,92	6,91	6	7	7	12	8	8	3	3	3																	
12	2	35	3,7	116	89	80	65,3	51,9	47,1	3,85	3,66	3,65	7	8	8	12	12	12	3	3	3																	
2	1	25	3,7	114	82	68	58,2	48	41,3	3,71	3,65	3,67	8	9	8	13	12	12	3	3	2																	
10	2	15	3,7	105	95	85	62	50,9	45,9	3,70	3,67	3,67	7	7	8	8	13	13	3	3	3																	
11	2	25	3,7	91	84	79	53,8	48,1	43,2	3,86	3,80	3,75	8	8	9	12	12	12	3	2	3																	
16	2	15	10,3	104	92	86	58,3	46,5	42,7	10,28	10,30	10,33	7,6	7,8	7,6	8	8	8	3	3	4																	
9	1	35	10,3	66	60	54	29,1	25,9	25,4	10,24	10,29	10,30	7,6	7,8	7,8	9	9	9	2	2	3																	
13	2	15	7	8	6	5	3,23	1,48	0,726	6,93	6,96	6,99	7	8	10	6	6	7	3	3	3																	
5	1	25	7	4	5	2	2,54	0,491	0,452	6,87	6,85	6,83	7	7	10	5	7	5	3	3	3																	
6	1	35	7	8	3	1	6,15	0,727	0,412	6,98	6,97	6,93	7	8	7	7	6	8	3	3	2																	
																					Correção Turbidez: - 0,103																	
																					Correção Turbidez: - 0,117																	
																					Correção Turbidez: - 0,100																	

APÊNDICE E

Ensaio: Água bruta em condições elevadas de cor e turbidez																				Cloreto Férrico										
Planejamento Estatístico				Resposta																										
Ensaio	Réplica	Coagulante B	pH	Cor			Turbidez			pH final			Na			Ca			K			Turbidez corrigida			Eficiência da remoção de Turbidez			Eficiência da remoção de Cor		
				3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23
4	1	15	7	64	58	60	28,3	24	23,4	7,16	7,12	7,05	5,8	7,7	7,7	6	6	6	2,6	2,9	2,6	28,191	23,891	23,291	69,19%	73,89%	74,55%	53,96%	58,27%	56,83%
18	2	35	10,3	29	27	28	13	10,2	10,1	10,02	10,11	10,09	7	7,8	7,9	7	7	7	2,4	2,5	2,4	12,891	10,091	9,991	85,91%	88,97%	89,08%	79,14%	80,58%	79,86%
8	1	25	10,3	31	29	28	14,7	11	10,7	10,60	10,65	10,62	7,5	7,5	7,5	7	7	7	2,5	2,5	2,5	14,591	10,891	10,591	84,05%	88,10%	88,43%	77,70%	79,14%	79,86%
15	2	35	7	25	9	8	6,18	3,71	3,56	7,04	6,98	6,97	7,4	7,4	7,4	5,5	5,6	5,5	2,1	2,6	2,5	6,071	3,601	3,451	93,37%	96,06%	96,23%	82,01%	93,53%	94,24%
17	2	25	10,3	31	28	27	14,6	10,9	10,6	10,56	10,62	10,60	7,5	7,5	7,6	7	6,9	7	2,4	2,5	2,3	14,491	10,791	10,491	84,16%	88,21%	88,53%	77,70%	79,86%	80,58%
7	1	15	10,3	42	36	35	20,6	14,5	14,3	10,43	10,48	10,42	7,5	7,7	7,9	6,9	6,9	7	2,7	2,4	2,4	20,491	14,391	14,191	77,61%	84,27%	84,49%	69,78%	74,10%	74,82%
1	1	15	3,7	67	66	56	29,7	23,9	21,8	3,58	3,52	3,53	9	9	10	6	10	12	2,9	3	2,7	29,599	23,799	21,699	67,65%	73,99%	76,29%	51,80%	52,52%	59,71%
3	1	35	3,7	59	49	47	28,7	19,2	17,9	3,64	3,69	3,71	10	8	8	11	11	11	2	3	3	28,599	19,099	17,799	68,74%	79,13%	80,55%	57,55%	64,75%	66,19%
14	2	25	7	23	18	18	8,14	6,67	6,59	6,85	6,81	6,84	10	9	6	11	11	11	2	5	3	8,039	6,569	6,489	91,21%	92,82%	92,91%	83,45%	87,05%	87,05%
12	2	35	3,7	54	41	45	22,2	17,8	16,9	3,71	3,79	3,70	10	10	9	12	12	11	2	3	3	22,099	17,699	16,799	75,85%	80,66%	81,64%	61,15%	70,50%	67,63%
2	1	25	3,7	48	47	39	20,5	17,9	17,3	3,78	3,76	3,76	10	9	8	11	11	11	2,4	2	2	20,399	17,799	17,199	77,71%	80,55%	81,20%	65,47%	66,19%	71,94%
10	2	15	3,7	58	51	46	27,5	20,1	19,1	3,80	3,81	3,84	9	9	10	11	11	11	2,4	2,4	2,4	27,399	19,999	18,999	70,06%	78,14%	79,24%	58,27%	63,31%	66,91%
11	2	25	3,7	64	49	52	31,9	20,6	19,2	3,79	3,77	3,77	8	10	8	11	11	11	3	3	2	31,803	20,503	19,103	65,24%	77,59%	79,12%	53,96%	64,75%	62,59%
16	2	15	10,3	61	60	59	25,1	22,8	22,6	10,50	10,57	10,52	8	7,6	7,7	9	9	7	3	2	3	25,003	22,703	22,503	72,67%	75,19%	75,41%	56,12%	56,83%	57,55%
9	1	35	10,3	31	29	30	12	9,98	10,1	10,16	10,15	10,17	7	8	8	9	8	7	3	2,5	2,4	11,903	9,883	10,003	86,99%	89,20%	89,07%	77,70%	79,14%	78,42%
13	2	15	7	75	74	75	27,1	25,9	26,1	6,83	6,89	6,82	7	7	7	10	10	10	3	2	2	27,003	25,803	26,003	70,49%	71,80%	71,58%	46,04%	46,76%	46,04%
5	1	25	7	21	22	23	7,88	6,84	6,84	6,89	6,86	6,86	7	7	8	9	9	9	2	2	2	7,783	6,743	6,743	91,49%	92,63%	92,63%	84,89%	84,17%	83,45%
6	1	35	7	14	13	13	4,9	3,89	3,8	6,82	6,88	6,87	8	7	6	8	9	9	3	3	3	4,803	3,793	3,703	94,75%	95,85%	95,95%	89,93%	90,65%	90,65%

APÊNDICE F

Ensaio: Água bruta em condições elevadas de cor e turbidez																				Moringa										
Planejamento Estatístico				Resposta																										
Ensaio	Réplica	Coagulante C	pH	Cor			Turbidez			pH final			Na			Ca			K			Turbidez corrigida			Eficiência da remoção de Turbidez			Eficiência da remoção de Cor		
				3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23	3	13	23
4	1	15	7	95	57	37	53,8	31,4	23,1	7,01	6,89	6,74	7	6,5	7,6	12,4	12	11,6	262,6	262,6	252,5	53,699	31,299	22,999	41,31%	65,79%	74,86%	31,65%	58,99%	73,38%
18	2	35	10,3	167	88	53	80,9	49,5	30,9	10,08	10,04	10,03	24,2	24,2	22,2	24,3	24,2	23,6	575,7	616,1	550	80,799	49,399	30,799	11,70%	46,01%	66,34%	-20,14%	36,69%	61,87%
8	1	25	10,3	127	57	43	57,8	34,8	25,9	10,08	10,08	10,08	23,9	23,5	22,8	19,8	19,8	19,4	450	430	425	57,699	34,699	25,799	36,94%	62,08%	71,80%	8,63%	58,99%	69,06%
15	2	35	7	141	77	50	65,2	40,1	28,3	6,88	6,89	6,84	6,2	5,8	5,5	23,1	23,1	23,1	590	590	600	65,099	39,999	28,199	28,85%	56,29%	69,18%	-1,44%	44,60%	64,03%
17	2	25	10,3	126	70	45	58,8	41	27,6	10,14	10,21	10,17	24,2	24,3	23,7	20	20,2	20	444,4	454,5	450	58,699	40,899	27,499	35,85%	55,30%	69,95%	9,35%	49,64%	67,63%
7	1	15	10,3	142	48	17	66,5	31,5	15,7	10,18	10,12	10,14	24,3	24,5	24,1	13,2	13,4	13,2	252,5	252,5	252,5	66,399	31,399	15,599	27,43%	65,68%	82,95%	-2,16%	65,47%	87,77%
1	1	15	3,7	115	75	62	70,2	42,7	34,9	3,67	3,66	3,66	7,3	7,5	7,9	14,8	14,9	14,9	282,8	313,1	282,8	70,096	42,596	34,796	23,39%	53,45%	61,97%	17,27%	46,04%	55,40%
3	1	35	3,7	146	112	84	68,9	54,2	43,8	3,66	3,65	3,67	6,4	7,4	7,3	25,4	25,3	25,3	606	676,7	676,7	68,796	54,096	43,696	24,81%	40,88%	52,24%	-5,04%	19,42%	39,57%
14	2	25	7	126	92	47	64	37,3	24,7	6,98	6,89	6,92	6,9	7	7,3	20,1	20,6	20,6	505	505	505	63,896	37,196	24,596	30,17%	59,35%	73,12%	9,35%	33,81%	66,19%
12	2	35	3,7	112	105	85	59	48,5	39,6	3,69	3,69	3,71	6,4	6,9	7,7	25,5	25,5	25,4	666,5	666,6	666,6	58,896	48,396	39,496	35,63%	47,11%	56,83%	19,42%	24,46%	38,85%
2	1	25	3,7	116	84	80	54,4	39,6	37,2	3,63	3,61	3,64	7,3	7,8	7,9	22,6	22,6	22,4	505	515,1	515,1	54,296	39,496	37,096	40,66%	56,83%	59,46%	16,55%	39,57%	42,45%
10	2	15	3,7	94	66	61	48,2	35,5	32,5	3,59	3,58	3,59	6,2	6,3	7,2	10,8	15,2	15,5	212,1	292,9	292,9	48,096	35,396	32,396	47,44%	61,32%	64,59%	32,37%	52,52%	56,12%
11	2	25	3,7	123	93	72	65,8	51,2	39,3	3,82	3,80	3,79	7,2	8	16,8	21,6	21,8	23,3	505	484,8	525,2	65,699	51,099	39,199	28,20%	44,15%	57,16%	11,51%	33,09%	48,20%
16	2	15	10,3	110	52	34	58,2	28,5	19,1	10,12	10,16	10,19	24,8	24,4	24,4	14,3	14,4	14,3	282,8	282,8	292,9	58,099	28,399	18,999	36,50%	68,96%	79,24%	20,86%	62,59%	75,54%
9	1	35	10,3	140	79	53	68,5	42,3	27,6	10,16	10,12	10,15	24,5	24,9	24,7	24,3	24,6	24,4	616,1	636,3	626,2	68,399	42,199	27,499	25,25%	53,88%	69,95%	-0,72%	43,17%	61,87%
13	2	15	7	101	36	25	47	24,7	14,8	6,81	6,80	6,83	7,8	8,4	7,9	12,8	13,6	13,1	282,8	282,8	292,9	46,899	24,599	14,699	48,74%	73,12%	83,94%	27,34%	74,10%	82,01%
5	1	25	7	94	49	32	47,3	27,7	17,9	6,80	6,83	6,80	8	8	8,2	19,2	19,6	19,7	464,6	484,8	505	47,199	27,599	17,799	48,42%	69,84%	80,55%	32,37%	64,75%	76,98%
6	1	35	7	107	51	39	54,5	28	22	6,83	6,80	6,86	7,7	8	8,8	23,2	23,3	23,4	626,2	646,4	656,5	54,399	27,899	21,899	40,55%	69,51%	76,07%	23,02%	63,31%	71,94%