

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

JOÃO CARLOS BELISÁRIO JUNIOR

**USO DA SEMENTE DA *MORINGA OLEIFERA* NO TRATAMENTO DE  
ÁGUA EM CORPOS LÊNTICOS-  
ESTUDO DE CASO LAGO IGAPÓ II**

LONDRINA  
2016

JOÃO CARLOS BELISÁRIO JUNIOR

**USO DA SEMENTE DA *MORINGA OLEIFERA* NO TRATAMENTO DE  
ÁGUA EM CORPOS LÊNTICOS-  
ESTUDO DE CASO LAGO IGAPÓ II**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná, Câmpus Londrina  
como exigência parcial para obtenção do  
título de Graduação em Engenharia  
Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Joseane Debora  
Peruço Theodoro  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Edilaine Regina  
Pereira

LONDRINA

2016



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



## TERMO DE APROVAÇÃO<sup>1</sup>

Uso da *Moringa oleifera* no tratamento de água em corpos lênticos - estudo de caso lago igapó II

por

João Carlos Belisário Junior

Monografia apresentada no dia 21 de novembro de 2016 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. Aulus Roberto Romao Bineli  
(UTFPR)

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

\_\_\_\_\_  
Profª. Drª. Joseane Débora Peruço Theodoro  
(UTFPR)  
Orientadora

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

<sup>1</sup> A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar os obstáculos durante a graduação.

A UTFPR campus Londrina por ceder os laboratórios e os equipamentos necessários para realização deste trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Joseane Debora Peruço Theodoro e a Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Edilaine Regina Pereira, pela amizade orientação e empenho dedicado à elaboração deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos e ao Prof. Dr. Aulus Roberto Romao Bineli pelo apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa.

Agradeço aos professores de graduação do curso de Engenharia Ambiental, pelos conhecimentos adquiridos durante esta jornada.

Meus profundos agradecimentos a minha família, que me deram apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. E que não me deixaram desistir nos meus momentos de fraqueza.

Agradeço aos meus amigos, Guilherme Trentini Feijó, Bruno Vallim, Vitor Hugo Teodoro, Lucas Haddad e Fábio Montenegro pelo companheirismo e por fazerem parte da minha formação.

Ao meu amigo Renato Akira Ioshimura pela amizade e ajuda nas análises desse trabalho.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

Muito obrigado!

## RESUMO

BELISÁRIO JUNIOR, J. C. **Uso da semente da *Moringa oleifera* no tratamento de água em corpos lânticos - Estudo de caso: Lago Igapó II.** 2016. . 78f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina.

A proposta deste trabalho foi avaliar, através de parâmetros físicos e químicos, a eficiência nos processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração com o uso do coagulante orgânico (*Moringa oleifera*) no tratamento de água de um sistema lântico (Lago Igapó II), localizado no município de Londrina – PR. Foram feitas coletas de água em dois pontos do lago, na entrada e na saída. O tratamento ocorreu com o uso do equipamento jar-teste as mesmas condições de mistura rápida e de mistura lenta utilizados na ETA da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). O tempo de sedimentação foi de 30 minutos. A granulometria da areia utilizada nos filtros foi a mesma, na faixa de 0,600 a 0,850 mm. Um pré-ensaio foi realizado para se determinar a melhor concentração da solução salina do coagulante orgânico a ser aplicado. Após o pré-ensaio, verificou-se que as melhores concentrações foram:  $C_1$  3 mg.L<sup>-1</sup>,  $C_2$  6 mg.L<sup>-1</sup> e  $C_3$  9 mg.L<sup>-1</sup>. Além disso, fez-se necessário corrigir o pH das amostras a fim de avaliar o comportamento do coagulante orgânico em diferentes níveis de pH. Após os ensaios, realizou-se um estudo quanto à remoção de turbidez, cor aparente e sólidos totais, além das análises do comportamento dos parâmetros pH, condutividade elétrica, temperatura e OD da água após os processos de coagulação/floculação/sedimentação e após o processo de filtração. Verificou-se que para os parâmetros turbidez e cor aparente, a concentração  $C_2$  (6 mg.L<sup>-1</sup>) e o pH em torno de 7 (neutro) apresentou as maiores eficiências de remoção, sendo estas acima de 99%. Confirmando os resultados obtidos nas análises estatísticas. Nas análises de sólidos totais algumas falhas técnicas e de equipamentos fizeram com que os resultados apresentados ficassem fora da realidade, afetando as análises desse parâmetro. Já para os parâmetros temperatura e oxigênio dissolvido os resultados não tiveram muita alteração, se mantendo próximos aos valores da água bruta. Para o pH, todas as concentrações não apresentaram grandes variações se comparado à amostra bruta, além disso os resultados comprovam a eficiência do coagulante em diferentes níveis de pH. A concentração  $C_3$  (9 mg.L<sup>-1</sup>) foi a que apresentou os maiores valores de condutividade elétrica, seguidas de  $C_2$  (6 mg.L<sup>-1</sup>) e  $C_1$  (3 mg.L<sup>-1</sup>). Apenas o ensaio 2 do ponto 1 (entrada) não atendeu os valores máximos permitidos pela Portaria de Potabilidade 2914/11 do Ministério da Saúde para os parâmetros cor aparente e turbidez, todos os outros ensaios estão de acordo. Os resultados comprovaram a eficiência do coagulante orgânico extraído de semente de *Moringa oleifera* para o tratamento de água em corpos lânticos.

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

## ABSTRACT

BELISÁRIO JUNIOR, J. C. **Use of *Moringa oleifera* seed in the treatment of water in lentic systems – Case of Study: Lago Igapó II.** 2016. 78f. Graduate work (Environmental Engineering), Federal Technological University of Paraná. Londrina.

The objective of this term paper was to evaluate the efficiency of the coagulation / flocculation / sedimentation / filtration processes using organic coagulant (*Moringa oleifera*) in the treatment of water from a lentic system (Lago Igapó II), located in Londrina – PR, through physical and chemical parameters. Water was collected at two points in the lake, in the inlet and at the outlet. The treatment took place with the use of jar-test equipment with the same conditions of fast mixing and flocculation used in the ETA of the Sanitation Company of Paraná (SANEPAR). The sedimentation time was 30 minutes. The granulometry of the sand used in the filters was the same, in the range of 0.600 to 0.850 mm. A pre-test was performed to determine the best concentration of the organic coagulant saline solution to be applied. After the pre-test, the best concentrations were: C<sub>1</sub> 3 mg.L<sup>-1</sup>, C<sub>2</sub> 6 mg.L<sup>-1</sup> and C<sub>3</sub> 9 mg.L<sup>-1</sup>. In addition, it was necessary to correct the pH of the samples in order to evaluate the behavior of the organic coagulant at different pH levels. After the tests, a study was carried out on the removal of turbidity, apparent color and total solids, and the analysis of the behavior of the parameters pH, electrical conductivity, temperature and OD of the water after the coagulation / flocculation / sedimentation processes and after the filtration process. It was verified that for the parameters turbidity and apparent color, the concentration C<sub>2</sub> (6 mg.L<sup>-1</sup>) and the pH around 7 (neutral) presented the highest removal efficiencies, being above 99%. Confirming the results obtained in the statistical analysis. In the analysis of total solids some technical and equipment failures made the presented results out of the reality, affecting the analyzes of this parameter. For the parameters temperature and dissolved oxygen the results did not have much change, remaining close to the values of the raw water. For the pH, all concentrations did not present great variations when compared to the crude sample, in addition the results prove the efficiency of the coagulant in different pH levels. The concentration C<sub>3</sub> (9 mg.L<sup>-1</sup>) presented the highest values of electrical conductivity, followed by C<sub>2</sub> (6 mg.L<sup>-1</sup>) and C<sub>1</sub> (3 mg.L<sup>-1</sup>). Only test 2 of item 1 (entry) did not meet the maximum values allowed by Ministry of Health Ordinance 2914/11 for parameters apparent color and turbidity, all other tests are in accordance. The results proved the efficiency of the organic coagulant extracted from *Moringa oleifera* seeds for the treatment of water in lentic systems.

Key-words: *Moringa oleifera*, water treatment, lentic systems

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de sólidos presentes na água.....	19
Figura 2- Classificação das tecnologias de tratamento de água para consumo..... humano. ....	26
Figura 3- Imagem da árvore, fruto e folha da espécie <i>Moringa oleifera</i> . ....	30
Figura 4- Semente com casca e sem casca da <i>Moringa oleifera</i> . ....	30
Figura 5- Esquema da vista por satélite da localização do Lago Igapó II.....	35
Figura 6- Pontos de coletas 1 e 2.....	36
Figura 7- Laboratórios de Saneamento e de Poluentes Atmosféricos do Campus ..... Londrina – UTFPR. ....	37
Figura 8- Solução <i>Moringa oleifera</i> . ....	38
Figura 9- Gradiente de rotação das hastes misturadoras e tempo de ação.....	40
Figura 10- Colunas de filtração utilizadas no ensaio. ....	40
Figura 11- Modelo representativo das camadas do filtro.....	41
Figura 12- Teste de significância (Wilks) para o ponto 1 após os processos de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	59
Figura 13- Gráficos de superfície de resposta para o ponto 1 após os processos de... coagulação/floculação/sedimentação.....	60
Figura 14- Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros .. avaliados para o ponto 1 após os processos de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	61
Figura 15- Teste de significância (Wilks) para o ponto 1 após os processos de ..... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	62
Figura 16- Gráficos de superfície de resposta para o ponto 1 após os processos de... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	62
Figura 17- Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros .. avaliados para o ponto 1 após os processos de ..... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	63
Figura 18- Teste de significância (Wilks) para o ponto 2 após os processos de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	64
Figura 19- Gráficos de superfície de resposta para o ponto 2 após os processos de... coagulação/floculação/sedimentação.....	64

Figura 20- Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros .. avaliados para o ponto 2 após os processos de .....	
coagulação/floculação/sedimentação.....	65
Figura 21- Teste de significância (Wilks) para o ponto 2 após os processos de.....	
coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	66
Figura 22- Gráficos de superfície de resposta para o ponto 2 após os processos de...	
coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	66
Figura 23- Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros .. avaliados para o ponto 2 após os processos de .....	
coagulação/floculação/sedimentação.....	67



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação das águas.....	32
Tabela 2- Valores máximos permitidos de alguns parâmetros da água segundo ..... CONAMA 357/05.....	33
Tabela 3- Valores máximos permitidos de alguns parâmetros para efluentes ..... lançados em corpos d'água.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 4- Valores máximos permitidos de alguns parâmetros da água segundo o ..... Ministério da Saúde Portaria 2914/11. ....	34
Tabela 5- Valores de pH utilizados nos ensaios.....	39
Tabela 6- Equipamentos e metodologia para a bateria de ensaios.....	42
Tabela 7- Organização numérica dos ensaios para diferentes níveis de concentração de coagulante e pH com valores codificados e reais do ponto 1 e ponto 2.....	42
Tabela 8- Características da água bruta. ....	43

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Remoção do parâmetro cor aparente após os processos de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	44
Gráfico 2- Remoção do parâmetro cor aparente após o processo de filtração. ....	44
Gráfico 3- Remoção do parâmetro cor aparente após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	45
Gráfico 4- Remoção do parâmetro turbidez após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	47
Gráfico 5- Remoção do parâmetro turbidez após o processo de filtração.....	47
Gráfico 6- Remoção do parâmetro turbidez após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	48
Gráfico 7- Remoção do parâmetro sólidos totais após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	50
Gráfico 8- Remoção do parâmetro sólidos totais após o processo de filtração.....	50
Gráfico 9- Remoção do parâmetro sólidos totais após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	51
Gráfico 10- Análise do parâmetro temperatura após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	52
Gráfico 11- Análise do parâmetro temperatura após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	53
Gráfico 12- Análise do parâmetro condutividade elétrica após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	54
Gráfico 13- Análise do parâmetro condutividade elétrica após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	54
Gráfico 14- Análise do parâmetro pH após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	56
Gráfico 15- Análise do parâmetro pH após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	56
Gráfico 16- Análise do parâmetro OD após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação.....	57
Gráfico 17- Análise do parâmetro OD após o processo de ..... coagulação/floculação/sedimentação/filtração. ....	58

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
3.1 QUANTIDADE E QUALIDADE DAS ÁGUAS .....	15
3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA .....	17
3.2.1 COR APARENTE .....	17
3.2.2 TURBIDEZ .....	18
3.2.3 SÓLIDOS TOTAIS .....	19
3.2.4 TEMPERATURA .....	20
3.2.5 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	20
3.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA ÁGUA .....	21
3.3.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH) .....	21
3.3.2 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) .....	22
3.4 CORPOS LÊNTICOS .....	23
3.5 TRATAMENTO DE ÁGUA .....	25
3.5.1 COAGULAÇÃO .....	26
3.5.2 FLOCULAÇÃO .....	28
3.5.3 SEDIMENTAÇÃO .....	28
3.5.4 FILTRAÇÃO .....	29
3.6 COAGULANTE ORGÂNICO <i>MORINGA OLIFEIRA</i> .....	29
3.7 LEGISLAÇÕES VIGENTES .....	32
3.7.1 CONAMA 357/05 .....	32
3.7.3 PORTARIA Nº 2914/11 .....	33
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	35
4.2 AMOSTRAGEM .....	36
4.3 LOCAL DO EXPERIMENTO .....	37
4.4 PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO SALINA DO COAGULANTE <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	37
4.5 AJUSTE DOS VALORES DE PH .....	38
4.6 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO .....	39
4.7 FILTRAÇÃO .....	40
4.8 PARÂMETROS ANALISADOS .....	41
4.9 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....	42
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>43</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS .....	43

5.2 ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA.....	43
5.2.1 REMOÇÃO DO PARÂMETRO COR APARENTE .....	43
5.2.2 REMOÇÃO DO PARÂMETRO TURBIDEZ .....	46
5.2.3 REMOÇÃO DO PARÂMETRO SÓLIDOS TOTAIS .....	49
5.2.4 ANÁLISE DO PARÂMETRO TEMPERATURA.....	52
5.2.5 ANÁLISE DO PARÂMETRO CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	53
5.3 ANÁLISES DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DA ÁGUA.....	55
5.3.1 ANÁLISE DO PARÂMETRO PH.....	55
5.3.2 ANÁLISE DO PARÂMETRO OXIGÊNIO DISSOLVIDO .....	57
5.4 ANÁLISE CONFORME O PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....	59
5.4.1 PONTO 1 APÓS OS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO ...	59
5.4.2 PONTO 1 APÓS OS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO/FILTRAÇÃO .....	62
5.4.3 PONTO 2 APÓS OS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO ...	64
5.4.4 PONTO 2 APÓS OS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO/FILTRAÇÃO .....	66
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE A – DADOS DE ANÁLISES. ....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural extremamente importante, sua escassez nos compartimentos continentais (mananciais superficiais e subterrâneos) e também sua distribuição desigual entre países é considerada hoje uma das principais preocupações a nível mundial (SANTOS, 2013).

Segundo Freitas (2011), o acesso à água potável é fundamental à sobrevivência humana. Torna-se importante observar que tanto a qualidade quanto a quantidade deste recurso deveria atender a todas as necessidades do homem, não só para proteção de sua saúde, como também para o desenvolvimento econômico.

Mesmo assim, as águas continentais vêm sofrendo alterações em decorrência de ações naturais e antrópicas, conseqüentemente, promovendo a contaminação da biota e declínio da qualidade dos ambientes. Outra consequência desses impactos nos ecossistemas aquáticos é a ocorrência de acelerados processos de eutrofização (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Ter acesso à água de qualidade e em quantidades adequadas é um direito de todos os cidadãos, garantido por lei, sendo regulamentado no Brasil pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde. Para tornar a água potável, ou seja, dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde faz se necessário realizar o tratamento da água.

Em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) a tecnologia de tratamento de água para abastecimento é classificada como tratamento convencional ou completo, que incluem todas as etapas tradicionais do processo: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e cloração/fluoretação (SAAE, 2006).

A etapa de coagulação é um dos processos fundamentais nos sistemas de tratamento de água completo, essa etapa tem por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, material sólido em suspensão (cor) e/ou dissolvido (turbidez), por isso a escolha do agente coagulante influencia na eficiência de todo o processo de tratamento, inclusive nos dois principais resíduos gerados, o lodo e a água de lavagens dos filtros (VANACOR, 2005).

Vaz et al. (2010) afirmam que existem vários tipos de coagulantes de origem química e orgânica, um dos principais coagulantes de origem vegetal que esta sendo investigado mais intensamente é a *Moringa oleifera*.

Os coagulantes orgânicos apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos, pois são biodegradáveis, além de produzirem lodo em menor quantidade, também reduzem a concentração de metais pesados presente no lodo e na água, evitando assim problemas de saúde (PIANTÁ, 2008).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da água do lago Igapó II da cidade de Londrina-PR, segundo alguns parâmetros físicos e químicos previamente determinados, além de realizar o tratamento dessas águas através do processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração com uso da solução salina extraída da semente da *Moringa oleifera*, e verificar a possibilidade de uso dessas águas lânticas para abastecimento de água público urbana.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é analisar a qualidade da água do lago Igapó II da cidade de Londrina-PR, segundo alguns parâmetros físicos e químicos previamente determinados, além de realizar o tratamento dessas águas através do processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração com uso da solução salina extraída da semente da *Moringa oleifera*.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a eficiência das remoções após o tratamento de água dos parâmetros cor aparente, turbidez, sólidos totais, e o acompanhamento dos parâmetros pH, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido (OD) da água do lago Igapó II em Londrina-PR.
- Avaliar a eficiência no uso da solução salina extraída das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água, em diferentes níveis de concentrações e pH.
- Analisar a eficiência dos processos de coagulação/floculação/sedimentação e do processo de filtração separadamente e em conjunto.
- Verificar se os parâmetros analisados na água após tratamento estão de acordo os padrões de potabilidade da água exigidos pela Portaria nº. 2914/11 do Ministério da Saúde.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 QUANTIDADE E QUALIDADE DAS ÁGUAS

A água cobre mais de 70% da superfície terrestre e é essencial para existência e bem-estar de todos os seres vivos da Terra (GOMES; CLAVICO, 2005).

É a substância mais abundante da natureza, ocupando um volume de aproximadamente 1.385.984.610 Km<sup>3</sup>, e pode ser encontrada em rios, lagos, oceanos, mares e calotas polares (BORGHETTI; BORGHETTI; FILHO, 2001).

No entanto, apenas 2,5% de toda água existente no planeta é água doce, onde 2/3 fazem parte da calota glacial, esta não disponível na forma líquida. Além disso, cerca de 98,7% da água doce na forma líquida corresponde à parcela de água subterrânea. Então, estima-se que apenas 0,008% do total de água do planeta é de água doce na forma líquida e pode ser utilizada para vida vegetal e animal (BORGHETTI; BORGHETTI; FILHO, 2001).

Além de ser um elemento vital para o funcionamento e manutenção do corpo humano é indispensável para muitos processos que o homem faça, como para irrigação, na agricultura, no uso na pecuária e no abastecimento público e industrial. Utiliza-se a água também para a geração de energia. A água é considerada solvente universal e também é importante na formação de chuvas e na umidade do ar, além de manter a estabilidade do clima na Terra, entre outros (GRASSI, 2001).

Mesmo a quantidade de água doce disponível sendo um elemento extremamente importante para o ser humano e sua disponibilidade real ser pequena, o homem vem causando diversos impactos negativos durante todo o seu ciclo hidrológico (SANTOS, 2013). Freitas (2011), afirma que nenhuma comunidade pode viver ou evoluir sem abastecimento adequado de água, que permita os seus habitantes viver de modo saudável e confortável e que contribua para o desenvolvimento da sua economia.

Segundo Claudino (2009), o planeta não está perdendo água, mas sim a sua qualidade é que está diminuindo. Santos (2013) ressalta que a qualidade da água está relacionada tanto com as condições naturais quanto com o uso e a ocupação do solo de uma determinada bacia hidrográfica.

Mesmo com a bacia hidrográfica preservada nas suas condições naturais, a qualidade das águas é afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo,



resultante da precipitação atmosférica, que incorpora ou dissolve partículas, substâncias e impurezas presentes no solo (BRITO, 2009).

Além da análise ambiental, as atividades socioeconômicas e de uso e ocupação do solo podem interferir na qualidade da água, quer seja de forma concentrada como na geração de despejos domésticos e indústrias, quer seja de uma forma dispersa, como na aplicação de defensivo agrícola no solo, ambas as formas contribuem na introdução de compostos na água (VON SPERLING, 2005).

O processo de poluição representa uma ameaça real à qualidade da água, à saúde e ao meio ambiente. A Política Nacional de Meio Ambiente, através da Lei 6.938/81 define poluição como sendo a degradação da qualidade ambiental decorrente de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e ao bem-estar da população, além do mais, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, influenciem desfavoravelmente a biota, às condições estéticas e sanitárias do ambiente ou lancem matérias ou energias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Para Oliveira (2013), as águas de um rio são caracterizadas por parâmetros físicos, químicos e biológicos. Estes parâmetros servem como indicadores do estado do corpo hídrico, no entanto, a poluição da água está associada além do uso que se faz da água com a alteração dessas características.

Um dos maiores problemas da poluição hídrica por esgoto domésticos é o consumo de oxigênio dissolvido. Quando a taxa de oxigênio do meio chega a níveis mínimos, a vida que dele depende, poderá desaparecer (MULLER, 2002).

Além de poder trazer uma série de problemas à população, tais como a proliferação de doenças, proliferação de insetos, ocorrência de odores e outros. Outro problema é o de eutrofização, que é causada principalmente devido ao aumento da concentração de nutrientes, principalmente, fósforo e nitrogênio. Esse processo ocorre na maioria das vezes, em corpos d'água lênticos como represas e lagos, e é caracterizado pelo crescimento excessivo de plantas aquáticas (VON SPERLING, 2005).

## 3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA

### 3.2.1 Cor Aparente

Estão presentes na água algumas substâncias dissolvidas ou em suspensão que produzem cor. Essas substâncias podem ser de origem orgânica, provindas da decomposição de plantas e animais, como também de matérias orgânicas, ou inorgânicas, como por exemplo, íons metálicos de ferro e manganês (OLIVEIRA, 2013).

Alterações da cor de origem antropogênica são as oriundas geralmente da influência do lançamento de esgotos domésticos ou de efluentes industriais e drenagem pluvial urbana (PEDROZO; KAPUSTA, 2010).

Segundo Di Bernardo; Dantas (2005), a cor varia com a alteração do pH da água e pode ser removida mais facilmente com baixos valores de pH. A cor verdadeira pode ser definida como aquela que não sofre interferência de partículas suspensas na água, sendo obtida após centrifugação ou filtração da amostra, diferente da cor aparente, que é obtida sem a realização desses processos. A cor elevada não representa riscos à saúde, porém deve ser removida para tornar a água adequada para aplicações gerais e industriais.

A determinação da intensidade da cor aparente da água é feita comparando-se a amostra com um padrão de cobalto-platina, sendo o resultado fornecido em unidades de cor, também chamadas uH (unidade Hazen). As águas naturais apresentam, em geral, intensidades de cor variando de 0 a 200 unidades. Valores inferiores a 10 unidades são dificilmente perceptíveis. Para atender ao padrão de potabilidade, a água deve apresentar intensidade de cor aparente inferior a cinco unidades (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Segundo estudos de Higashi (2015) os valores encontrados no lago Igapó II no ano de 2015 para o parâmetro cor aparente em períodos de estiagem e de chuva foram de 19 uH e 142 uH, respectivamente. Após o tratamento da água através dos processos de coagulação/floculação/sedimentação com o uso do coagulante orgânico *Moringa oleifera* obteve resultados em torno de 38% de remoção de cor aparente em períodos de estiagem, e valores próximos a 80% em águas coletadas em período de chuva.

Botelho (2016) apresenta em seus estudos o valor de cor aparente da água bruta do lago Igapó II em 2016 igual a 71 uH.

### 3.2.2 Turbidez

Turbidez é uma expressão óptica que provoca a dispersão e absorção de luz ao invés de sua propagação em linha reta através de uma amostra, devido à presença de partícula ou matéria coloidal em suspensão, como areia, argila e micro-organismos em geral (CAPANEMA, 2004).

Segundo Von Sperling (2005), a turbidez pode apresentar origem natural ou antrópica. Natural como partículas de rocha, de silte e argila, de algas e de outros micro-organismos, porém, não demonstra inconvenientes sanitários, exceto esteticamente. Já a turbidez provinda de origem antrópica como despejos domésticos, despejos industriais e erosão, pode estar relacionada à presença de compostos tóxicos e organismos patogênicos. Por diminuir a penetração de luz na água, níveis altos de turbidez podem prejudicar a fotossíntese em corpos d'água. A turbidez é medida através de unidade de turbidez (uT), NTU (Nephelometric Turbidity Unit) e UNT (unidade nefelométrica de turbidez).

A turbidez dos corpos d'água varia de acordo com a época do ano. Na época das chuvas são registrados os valores máximos deste parâmetro, devido ao aporte de sedimentos carregados pelas chuvas (ANA, 2011).

Ao contrário da cor, que é causada por substâncias dissolvidas, a turbidez é provocada por partículas em suspensão, sendo, portanto, reduzida por sedimentação. Em lagos e represas, onde a velocidade de escoamento da água é menor, a turbidez pode ser bastante baixa. A turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 unidades, para fins de potabilidade a turbidez deve ser inferior a 1 unidade (BRASIL, 2014).

Segundo estudos realizados por Higashi (2015) os valores do parâmetro turbidez encontrados no lago Igapó II no ano de 2015 foram de 6,40 uT em períodos de estiagem e de 93,2 uT em períodos chuvosos. Após o tratamento da água através dos processos de coagulação/floculação/sedimentação com o uso do coagulante orgânico *Moringa oleifera* obteve resultados em torno de 30% de remoção de turbidez em períodos de estiagem, e valores acima a 80% em águas coletadas em período de chuva.

Botelho (2016) apresenta em seus estudos valor de turbidez da água bruta do lago Igapó II igual a 25,1 uT no ano de 2016.

### 3.2.3 Sólidos Totais

Esse parâmetro é útil para quantificar a presença total de matéria que não seja água. De acordo com Von Sperling (2005) todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos, que podem ser classificados por tamanho e estado (em suspensão ou dissolvidos), pelas características químicas (voláteis ou fixos) e pela sua sedimentabilidade (em suspensão sedimentáveis ou não sedimentáveis). Sua classificação pode ser vista de acordo com a Figura 1:



Fonte: Almeida, 2013.

Os sólidos ficam suspensos ou dissolvidos na água e são consequência de processos naturais como erosão e detritos orgânicos ou consequência da ação do homem com, por exemplo, lançamento de lixo e esgoto no corpo hídrico. Apesar dos parâmetros de turbidez e sólidos estarem associados, eles não são absolutamente iguais (ALMEIDA, 2013).

A quantidade de sólidos nas águas é sazonal variando muito do período seco para o período chuvoso, dependendo, principalmente, do tipo do solo, da intensidade das chuvas, do tipo de uso e ocupação da bacia hidrográfica, e do tipo de cobertura vegetal. A presença de vegetação no entorno dos corpos d'água, e especialmente em suas margens (mata ciliar), favorece a infiltração das águas das chuvas, reduzindo o volume de água que escoia superficialmente. Além disso, reduz a ocorrência de erosão (ANA, 2011).

O padrão de potabilidade refere-se apenas aos sólidos totais dissolvidos (limite:  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ ), já que esta parcela reflete a influência de lançamento de esgotos, além de afetar a qualidade organoléptica da água (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

#### 3.2.4 Temperatura

A temperatura expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio. A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas) (BRASIL, 2014).

Esse parâmetro influencia praticamente todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na água. A unidade usual de temperatura para fins de monitoramento hidrológico é o grau Celsius  $^{\circ}\text{C}$  (PEDROZO; KAPUSTA, 2010).

Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam, em geral, temperaturas na faixa de  $20^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ . Entretanto, em regiões mais frias, como no sul do país, a temperatura da água em períodos de inverno pode baixar a valores entre  $5^{\circ}\text{C}$  e  $15^{\circ}\text{C}$ , atingindo, em alguns casos, até o ponto de congelamento (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Devido à variação da densidade da água em função da temperatura verifica-se no verão, em ambientes lênticos com profundidades superiores a 20 metros e baixa velocidade de escoamento (fluxo laminar), a formação de camadas de água com diferentes temperaturas. A camada mais quente e mais próxima à superfície (com profundidade aproximada de 10 m) é chamada de epilímio, a camada intermediária, onde ocorre uma mudança brusca de temperatura, é chamada termoclina, e a camada inferior mais fria é denominada hipolímio (ANA, 2011).

Em relação às águas para consumo humano, temperaturas elevadas aumentam as perspectivas de rejeição ao uso (BRASIL, 2014).

#### 3.2.5 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água indica a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em ânions e cátions. Quanto maior a concentração iônica da solução,

maior é a oportunidade para ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

A utilização da variável condutividade elétrica em um programa de monitoramento é bastante recomendada, pois é uma medida muito simples e traz informações relevantes sobre a qualidade da água. Geralmente a condutividade é expressa em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  ou  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  (ANA, 2011).

Enquanto que as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (BRASIL, 2014),

### 3.3 PROPRIEDADES QUIMICAS DA ÁGUA

#### 3.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico representa a concentração de íons  $\text{H}^+$  promovendo uma condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade na água. A faixa de pH é de 0 a 14. O constituinte responsável pelo pH ocorre na forma de sólidos dissolvidos e de gases dissolvidos (VON SPERLING, 2005).

Ainda segundo Von Sperling (2005), a sua origem natural deve-se à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, à oxidação da matéria orgânica e à fotossíntese. A sua origem antropogênica deve-se aos despejos domésticos (degradação de matéria orgânica) ou industriais (lavagem ácida de tanques, por exemplo). Este parâmetro não apresenta riscos em termos de saúde pública, a menos que seu valor seja muito baixo ou muito alto, podendo provocar irritações nos olhos e na pele.

Trata-se de parâmetro importante principalmente nas etapas de coagulação, filtração, desinfecção e controle da corrosão. Águas com valores baixos de pH tendem a ser corrosivas, enquanto águas com valor elevado de pH tendem a formar incrustações (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Em sistemas ricos em matéria orgânica como nos corpos lânticos, existe a presença de ácido sulfúrico, nítrico, oxálico, acético, carbônico que faz com que o pH da água fique entre 4 e 5. Para a adequada manutenção da vida aquática, o pH deve situar-se geralmente na faixa de 6 a 9 (PEDROZO; KAPUSTA, 2010).

Por outro lado Ana (2011) afirma que em lagos e reservatórios com elevada densidade de fitoplâncton, o pH pode atingir naturalmente valores acima de 9,0 durante o período de máxima insolação, devido à atividade fotossintética das algas, que removem o CO<sub>2</sub> alterando todo o sistema carbonato.

Segundo Higashi (2015) os valores encontrados no lago Igapó II no ano de 2015 para o parâmetro pH em períodos de estiagem e de chuva foram de 6,1 e 7, respectivamente.

Botelho (2016) apresenta em seus estudos valor de pH das águas do lago Igapó II em 2016 igual a 7,06.

### 3.3.2 Oxigênio Dissolvido (OD)

Von Sperling (2005) afirma que o oxigênio dissolvido é encontrado na água na forma de gás dissolvido e pode ser proveniente da dissolução do oxigênio atmosférico, introdução de aeração artificial e produção por organismos fotossintéticos em corpos d'água eutrofizados. A diminuição de oxigênio em ambientes aquáticos deve-se principalmente aos processos de oxidação, tais como a respiração e a decomposição.

É um dos principais indicadores da qualidade da água, pois é de essencial importância para os organismos aeróbicos, principalmente os de vida superior como os peixes. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, é possível a geração de maus odores (RICHTER; NETTO, 1991).

Em lagos e reservatórios devido à estratificação térmica e outros fatores, a concentração de OD varia com a profundidade, sendo maior na superfície e menor no fundo. Nesses ambientes denominados lânticos há uma atividade fotossintética elevada sendo possível encontrar valores de oxigênio dissolvido acima do limite de saturação. Por outro lado, em ocorrência da quebra da estratificação pode resultar na mistura do corpo hídrico e a ressuspensão de matéria oxidável sedimentada, nesses casos a concentração de OD pode diminuir atingindo valores críticos para muitos organismos aquáticos (ANA, 2011).

Para a manutenção da vida aquática aeróbica são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido de 2 mg.L<sup>-1</sup> a 5 mg.L<sup>-1</sup>, dependendo da exigência de cada organismo (BRASIL, 2014).

### 3.4 CORPOS LÊNTICOS

Existem dois grupos nos ecossistemas aquáticos: os de água doce e os de água salgada. A diferenciação dos tipos se dá quanto à concentração de sais dissolvidos. Na água doce a concentração de sais chega próximo de zero, enquanto nas águas marinhas fica em torno de  $35 \text{ g.L}^{-1}$  (GOMES; CLAVICO, 2005).

Além disso, as águas doces são divididas em ecossistemas lênticos, ecossistemas lóticos e ecossistemas alagados. Os sistemas lênticos são caracterizados por baixo fluxo ou ausência de fluxo hidrológico, sendo representados por lagos, lagoas e tanques. Os sistemas lóticos são caracterizados pela presença de fluxo hídrico, como os rios, riachos e mananciais, já os sistemas alagados, tem níveis de água flutuando para cima e para baixo durante o ano, sendo representado por brejos e pântanos (SOARES, 2005).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA 357/05 define corpos lênticos como ambientes que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado da água.

Segundo Souza (2014), apesar de confusa e poder variar de país para país os sistemas lênticos são diferenciados em três tipos: lagos, lagoas e charcos. Um lago é definido como massas de água parada ou levemente corrente com uma área limnológica superior a  $100.000\text{m}^2$ . A lagoa com área inferior a  $100.000\text{m}^2$  e o charco são massas de água muito reduzida e temporária.

Grande parte dos lagos naturais existentes foram formados por forças tectônicas, vulcânicas ou glaciais. Os demais resultaram de deslizamentos de terra, ação de um rio, vento, meteoritos, atividades de animais e pela ação humana. Eles nascem através desses eventos geológicos catastróficos ou graduais e vão usualmente sendo rejuvenescidos ou tornam-se extintos em processos similares. Além dos tipos mencionados, existem lagos artificiais, criados pelo homem para a geração de energia, irrigação, controle de fluxo, paisagismo etc (PEDROZO; KAPUSTA, 2010).

Nos grandes centros urbanos, normalmente utilizam-se represas para captação de água bruta. Esse tipo de ambiente, denominado lêntico, onde predomina a retenção de água por períodos longos, favorece o acúmulo de poluentes e o crescimento acelerado da comunidade fitoplanctônica, o que ocasiona



um aumento considerável da biomassa. Essa biomassa, geralmente são cianobactérias que provocam consequências negativas sobre a eficiência e o custo do tratamento da água, além de problemas de saúde pública (BRASIL, 2014).

As principais características de um sistema lântico são a alta capacidade de solubilização de compostos orgânicos, altos gradientes verticais, baixo teor de sais dissolvidos, alta densidade e viscosidade da água e alta capacidade de sedimentação (ESTEVES<sup>2</sup>, 1998 apud SOUZA, 2014).

Outra característica desses corpos hídricos é o processo de eutrofização, segundo Tundisi; Matsumura-Tundisi (2002), esse processo acontece devido ao enriquecimento artificial com dois tipos de nutrientes de plantas, o fósforo e o nitrogênio. Além dos esgotos domésticos e de criatórios de animais, outras fontes contribuem para o aporte de nitrogênio e fósforo aos corpos d'água, como a drenagem pluvial urbana, determinadas águas residuárias industriais, fertilizantes, detergentes e alguns agrotóxicos.

Uma importante consequência desse enriquecimento é o crescimento excessivo de algas e macrófitas (plantas aquáticas superiores). Os organismos vegetais encontram nesses ambientes condições favoráveis ao seu crescimento, o qual podem atingir proporções intensas, em alguns casos chegam a cobrir completamente o espelho d'água, principalmente em função do elevado período de residência da água em sistemas lânticos, o qual proporciona tempo suficiente para o crescimento das plantas aquáticas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

A eutrofização produz mudanças na qualidade da água, incluindo a redução de oxigênio dissolvido, da biodiversidade aquática, a perda das qualidades cênicas, a morte extensiva de peixes, o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias, a toxicidade pela amônia e a inviabilidade dessas águas para o abastecimento humano (ROVERI, 2001).

Brasil (2014) explica que a principal preocupação com o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água é a capacidade de esses micro-organismos produzirem e liberarem para o meio líquido toxinas (cianotoxinas) que podem afetar a saúde humana, tanto pela ingestão de água, como por contato em atividades de recreação no ambiente ou, ainda, pelo

---

<sup>2</sup> ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Revista Interciência. Rio de Janeiro, 1998.

consumo de pescado contaminado. Por isso essas florações podem provocar um aumento no custo do tratamento da água de abastecimento.

### 3.5 TRATAMENTO DE ÁGUA

Segundo a Organização Mundial de Saúde, cerca de 80% de todas as doenças que se alastram nos países em desenvolvimento são provenientes da água de má qualidade. Doenças como, por exemplo, a febre tifoide, cólera, diarreia entre outras (RICHTER; NETTO, 1991).

O tratamento de água tem como finalidade reduzir impurezas e/ou corrigir alguns aspectos existentes na água bruta com a possibilidade de reutilizar, ou torna-la potável (FREITAS, 2011).

Vanacor (2005), afirma que além de torna-la potável, o tratamento da água deve atender a necessidade da comunidade de ter água com boa qualidade do ponto de vista químico, físico e bacteriológico, podendo também atender finalidade higiênicas (remoção de bactérias, vírus, micro-organismos, algas, substâncias indesejáveis), estéticas (correção de cor, turbidez, odor e sabor) e econômicas (redução de corrosividade, dureza, ferro, manganês, etc).

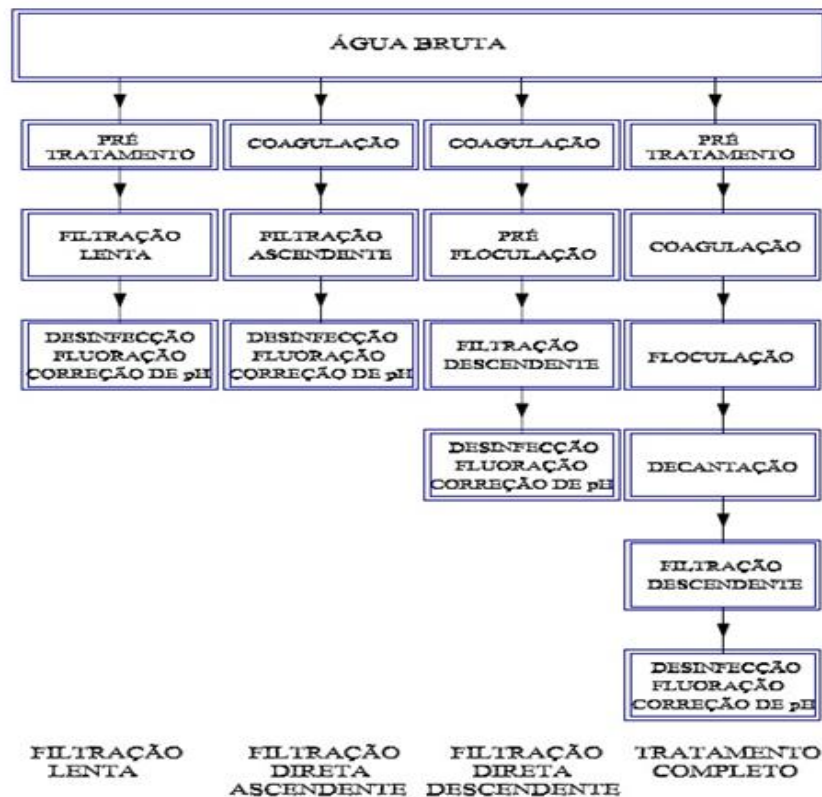
A portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde determina os padrões de qualidade da água para abastecimento humano e seu padrão de potabilidade.

Existem vários tipos de tratamento de água, o que os diferenciam é basicamente a qualidade da água do manancial utilizada para o abastecimento e seu uso. Segundo Claudino (2009), a presença de contaminantes na água também pode ser um fator relacionado com a origem destas águas. Mananciais subterrâneos são menos vulneráveis que os de superfície, e por isso geralmente não necessitam de tratamento completo, porém essas águas também podem ter sido contaminadas, por exemplo, em perdas na rede de esgoto, derramamentos de óleo, intrusão de água de qualidade inferior entre outros.

Di Bernardo (1995), afirma que as tecnologias de tratamento de água podem ser divididas em dois grupos, aquele no qual não é utilizada a coagulação química, e em outro que este processo é imprescindível.

Essa classificação é apresentada na Figura 2.

Figura 2- Classificação das tecnologias de tratamento de água para consumo humano.



Fonte: Di Bernardo, 1995.

Segundo a SAMAE (2010), o tratamento de água denominado convencional ou completo é normalmente aplicado às águas que possuem partículas finamente divididas em suspensão e partículas coloidais e que necessitam de tratamento químico capaz de propiciar sua deposição, com um baixo período de detenção. O tratamento convencional que é realizado em estações de tratamento de água (ETA) é subdividido nas etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração.

### 3.5.1 Coagulação

A coagulação é um dos processos fundamentais nos sistemas de tratamento de águas superficiais para fins de abastecimento público, pois é responsável pela clarificação das águas, pela remoção da maioria dos metais pesados, além de agentes químicos e microbiológicos (MACEDO, 2007).

O processo de mistura rápida ajuda nos tratamentos de água que não conseguem realizar a remoção de sólidos em suspensão apenas pelos processos de sedimentação, flotação e filtração. Isso acontece pelo fato dos sólidos possuírem

cargas superficiais negativas, impedindo a aproximação dessas partículas. Sendo assim, faz-se necessário a adição de agentes coagulantes para que ocorra a desestabilização das partículas através da redução das forças que tendem a manter as mesmas afastadas (DI BERDANRDO, 2005). Com isso as partículas se aglomeram e se tornam maiores facilitando sua remoção.

Os coagulantes podem ser utilizados objetivando o “cobrimento” de partículas de carga elétrica negativa com positiva (neutralização/adsorção) seguido de filtração direta, ou a formação de precipitado químico (varredura), onde ocorre a aglutinação de partículas também de carga elétrica negativa, seguida de remoção por sedimentação (CAPANEMA, 2004).

Segundo Pavanelli (2001), os principais mecanismos que atuam na coagulação são: compressão de camada difusa; adsorção e neutralização; varredura; e adsorção e formação de pontes.

A compressão da camada difusa acontece quando um eletrólito indiferente (tais como o cloreto de sódio, que não sofrem reações de hidrólise e de adsorção) de carga contrária à partícula é colocado em meio aquoso, ocorre um aumento da concentração de íons na água; o volume da camada difusa precisa diminuir para que se mantenha a eletroneutralidade da partícula. Dessa forma, as forças de repulsão entre os colóides diminuem de tal modo que as forças atrativas de Van der Waals se tornem dominantes (SCHOENHALS, 2006).

No mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, após a adição do coagulante, ocorre a hidrólise dos íons metálicos e subsequente adsorção das espécies hidrolisadas, geralmente de carga positiva, na superfície dos colóides, levando a sua desestabilização (GIRARD, 2013).

Outro mecanismo que atua na coagulação, é a varredura que dependendo da quantidade adicionada de coagulante, do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons na água, poderá ocorrer a formação de precipitados. Em geral, os flocos obtidos com esse mecanismo são maiores e sedimentam ou flutam mais facilmente que os flocos obtidos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção e neutralização de cargas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Ainda segundo Di Bernardo (2005), o mecanismo de adsorção e formação de pontes caracteriza-se por envolver o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares (massa molar  $> 10^6$ ), os quais servem de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas.

A escolha do coagulante influencia a eficiência de todo o processo de tratamento, inclusive as características dos dois principais resíduos gerados em uma estação de tratamento de água convencional: lodo dos decantadores e água da lavagem dos filtros (VANACOR, 2005).

### 3.5.2 Floculação

A coagulação e a floculação acontecem praticamente simultâneas e interdependentes, a ponto de poderem ser consideradas uma única etapa: coagulação/floculação. A coagulação/floculação é o processo no qual as partículas se aglutinam em pequenas massas (flocos) com peso específico superior ao da água. O transporte dessas partículas dentro do líquido faz com que haja contato, estabelecendo pontes entre as partículas e formando uma malha tridimensional de coágulos porosos (VANACOR, 2005).

O processo de mistura lenta consiste na aglomeração das partículas já desestabilizadas. O processo é chamado floculação pericinética, quando o movimento das partículas é causado pelo movimento browniano, e ortocinética, quando por gradiente de velocidade gerado na água por seu movimento (floculação hidráulica) ou por agitadores mecanizados (floculação mecânica) (RICHTER; NETTO, 1991).

### 3.5.3 Sedimentação

A sedimentação é o fenômeno físico no qual, em decorrência da ação da gravidade, as partículas suspensas apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica. A ocorrência da sedimentação das partículas suspensas nada mais é que a separação das fases líquidas e sólidas, esse fenômeno proporciona a clarificação da água, enquanto as partículas no fundo formam uma camada de lodo (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A velocidade de sedimentação é proporcional ao peso e tamanho das partículas. Como a capacidade de transporte da água é proporcional à sexta potência da velocidade da água, conclui-se que a velocidade de sedimentação das partículas é tanto maior quanto menor for a velocidade de escoamento da água (MACÊDO, 2007).

Como as partículas coloidais presentes na água apresentam baixa velocidade de sedimentação, torna-se importante a etapa de coagulação química nas estações de tratamento, visando à redução de material suspenso e dissolvido antes da filtração (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

#### 3.5.4 Filtração

A filtração é um processo de separação sólidos-líquidos, envolvendo fenômenos físicos, químicos e, às vezes, biológicos. Visa à remoção das impurezas das águas por sua passagem através de um meio poroso. Quando a velocidade com que a água atravessa o leito filtrante é baixa, o filtro é denominado filtro lento, quando é elevada, é denominado filtro rápido (RITCHER; NETTO, 1991).

Segundo Macêdo (2007), é o processo de separação utilizado em tratamento de água para remoção de material particulado através de passagem por camadas filtrantes ou meio poroso. Cada processo tem suas faixas de atuação de acordo com os tamanhos de partículas a separar e suas finalidades químicas.

Um dos principais responsáveis pela produção de água com qualidade condizente com o padrão de potabilidade é a filtração. Após certo tempo de funcionamento, há necessidade da lavagem do filtro, que geralmente é realizada por meio da introdução de água no sentido ascensional com velocidade relativamente alta para promover a fluidificação parcial do meio granular com liberação das impurezas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

#### 3.6 COAGULANTE ORGÂNICO *Moringa Olifeira*

A *Moringa oleifera* é nativa do norte da Índia e pertence à família Moringaceae, composta de apenas um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies conhecidas (PATERNIANI; MONTOVANI; SANT'ANNA, 2009).

Essa espécie é tolerante a uma ampla faixa de solo e à seca, cresce em regiões desde as subtropicais secas e úmidas, até tropicais secas e florestas úmidas. Se adaptou muito bem à região nordeste brasileira onde o solo é profundo, os dias são mais longos, com temperaturas médias acima de 25°C (BEZERRA; MOMENTÉ; FILHO, 2004).

A *Moringa oleifera* tem crescimento rápido, é uma árvore decídua e tem uma altura de 5-12m, uma copa do tipo guarda-chuva ligada diretamente ao tronco (10-30cm). A folhagem é perene (dependendo do clima) tem folhetos de 1 a 2cm em diâmetro. As flores são brancas ou creme. Os frutos (vagens) são inicialmente verdes claro e finos e se tornam mais largos, na medida em que vão evoluindo de verde escuro até marrom, quando maturados fisiologicamente (VERSIANI, 2008).

Fotos da árvore, vagem e flor são apresentados na Figura 3.

**Figura 3- Imagem da árvore, fruto e folha da espécie *Moringa oleifera*.**



Fonte: Versiani, 2008.

Quando completamente maduras, as sementes secas (Figura 4) são redondas ou triangulares e o núcleo é rodeado por um tegumento que possui três asas com aparência de papel transparente (VERSIANI, 2008).

**Figura 4- Semente com casca e sem casca da *Moringa oleifera*.**



Fonte: Próprio autor.

As sua semente contém à presença de uma proteína catiônica dimérica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água através de um processo de neutralização e adsorção. Seu pó dissolvido em água adquirem carga positivas que atraem partículas negativamente carregadas tais como, argilas e siltes, formando flocos densos que sedimentam. (NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, 1995).

Nos processos de coagulação e floculação de águas residuárias ou destinadas ao consumo humano, estudos realizados por Okuda et al. (1999), demonstram que a percentagem de remoção de turvação utilizando tanto a semente como o extrato aquoso da *Moringa oleifera* é de 80 a 99%

Segundo Arantes et al (2015), a utilização desse coagulante orgânico aliada à filtração no tratamento de água evidenciam bons resultados, chegando a reduzir 99,0% de turbidez na água. Ele ainda afirma que a etapa de filtração é necessária para a remoção da matéria orgânica introduzida pelo coagulante.

Além da remoção de cor e turbidez, Muyibi; Evison (1995) citam que pode ocorrer grande remoção de bactérias, acima de 90%.

Okuda et al. (1999) testou diversas formas de extrair o princípio ativo presente nas sementes de *Moringa oleifera* e comparou a eficiência da coagulação de cada amostra obtida. Foi possível concluir que o princípio ativo extraído com NaCl 1M atingiu um resultado 7,4 vezes melhor que o extraído com água destilada. Pois as proteínas apresentam aumento da solubilidade em função da concentração de sais, fenômeno chamado "salting-in". No entanto, não se obteve diferenças de eficiência entre os extratos obtidos utilizando KNO<sub>3</sub>, KCl e NaNO<sub>3</sub>.

A utilização da semente da *Moringa oleifera* como coagulante praticamente independe da alcalinidade da água, podendo ocorrer numa grande faixa de valores de pH, entre 4,0 e 12,0. Não causam problemas de corrosão, formam menor volume de lodo e não são tóxicas para o homem (CARDOSO et al., 2008).

Outras vantagens conferida ao uso de coagulantes orgânicos são o menor custo, o uso de matéria prima renovável, além de gerarem menos massa de lodo, também pelo fato de serem moléculas biodegradáveis e, portanto, destruídas no próprio tratamento, não persistindo na água tratada ou no lodo provindo dos decantadores e filtros, facilitando a eliminação do mesmo além também de evitar problemas de saúde pelo excesso de metais na água (PIANTÁ, 2008).



Ribeiro (2010) afirma que uma das principais dúvidas em relação ao uso desse coagulante são pela incerteza quanto aos custos do cultivo da semente em grande escala. Outra preocupação é a que o uso de coagulantes naturais podem aumentar a carga orgânica da água o que favorece o crescimento microbológico. A existência de matéria orgânica em excesso pode ainda ser considerada como uma fonte de cor, sabor e odor à água, tornando-a não apreciada pelos consumidores.

### 3.7 LEGISLAÇÕES VIGENTES

#### 3.7.1 CONAMA 357/05

Segundo o CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - (CONAMA) a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 é que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

O artigo 2º da Resolução CONAMA 357/05 define parâmetros e condições de usos das águas e as classifica como:

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

O capítulo II da Resolução do CONAMA 357/05 estabelece a classificação dos corpos de água, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes. Também afirma que água de melhor qualidade pode ser aproveitada em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água.

As treze classes de água segundo a Resolução do CONAMA 357/05 podem ser vista na Tabela 1:

**Tabela 1- Classificação das águas.**

<b>Tipos da água</b>	<b>Classes</b>
Águas Doces	Especial, 1, 2, 3 e 4
Águas Salinas	Especial, 1, 2 e 3
Águas Salobras	Especial, 1, 2 e 3

**Fonte: CONAMA 357/05.**

Os usos indicados para as águas tipo doces Classe 2 segundo a Resolução do CONAMA 357/05 são:

- Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- À proteção das comunidades aquáticas;
- À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274 , de 2000;
- À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- À aquicultura e à atividade de pesca.

A Tabela 2 ilustra valores máximos permitidos de alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos, de acordo com a classe II do corpo de água segundo a Resolução do CONAMA 357/05.

**Tabela 2- Valores máximos permitidos de alguns parâmetros da água segundo CONAMA 357/05.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe II</b>
Cor verdadeira	75 mg Pt-Co.L <sup>-1</sup>
Turbidez	100 NTU
Sólidos dissolvidos totais	500 mg.L <sup>-1</sup>
Temperatura	-
Condutividade elétrica	-
pH	6,0 a 9,0
OD	Em qualquer amostra, não inferior a 5 mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>

**Fonte: CONAMA 357/05.**

**Nota: (-)** Não existe valor para este parâmetro

### 3.7.3 PORTARIA Nº 2914/11

O Ministério da Saúde, através da portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 estabelece as responsabilidades por parte de quem produz a água, a quem cabe o exercício do controle de qualidade da água e das autoridades sanitárias, além de definir a quem cabe à responsabilidade de fiscalizar a qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A Portaria nº 2914/11 estabelece valores máximos permitidos (VPM) de parâmetros físicos, químicos e biológicos da água considerada potável.

Alguns desses valores são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 3- Valores máximos permitidos de alguns parâmetros da água segundo o Ministério da Saúde Portaria 2914/11.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe II</b>
Cor aparente	15 mgPt-Co.L <sup>-1</sup>
Turbidez	5 NTU
Sólidos dissolvidos totais	1000 mg.L <sup>-1</sup>
Temperatura	-
Condutividade elétrica	-
pH	6,0 a 9,0
OD	-

**Fonte: Ministério da Saúde, Portaria 2914/11.**

**Nota:** (-) Não existe valor para este parâmetro

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foram utilizadas amostras de água de entrada (Ponto 1) e saída (Ponto 2) obtidas no Lago Igapó II, localizado na cidade de Londrina – PR. O lago possui altitude média de 533 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. As coordenadas aproximadas do ponto 1 são de 23° 19' 33,42" S e 51° 10' 35,32" O, e do ponto 2 de aproximadamente 23° 19' 47,07" S e 51° 10' 4,87" O. A Figura 5 representa espacialmente a localização dos pontos de coleta de cada amostra.

**Figura 5- Esquema da vista por satélite da localização do Lago Igapó II.**



**Fonte: Google Eath, 2016.**

Segundo Lorenzo (2011), a origem do lago aconteceu a partir do represamento do Ribeirão Cambé, que faz parte da bacia do Ribeirão Três Bocas, o seu objetivo foi solucionar o problema de drenagem do ribeirão e tornou-se um espaço natural de lazer e práticas esportivas, contribuindo para o embelezamento paisagístico da cidade, além também de proporcionar uma valorização imobiliária e comercial na área em que se encontra.

## 4.2 AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada na entrada e saída do Lago Igapó II destacados conforme a Figura 5 e acondicionadas em galões plásticos de 50 litros cada, previamente higienizados.

O ponto 1 fica localizado as margens da Avenida Ayrton Senna, simulando a entrada de água no lago, e o ponto 2 localizada as margens da avenida Higienópolis, simulando a saída de água no lago. Dessa forma foi possível comparar os valores e entender o seu comportamento ao longo de sua extensão.

Para efetuar as coletas, foi utilizado também um balde com capacidade de 18 litros, evitando assim a agitação e dispersão de lodo do fundo na água 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 repetir o processo de aclimação por três vezes foi coletada a quantidade necessária de amostra e levado aos laboratórios de poluente e saneamento da UTFPR- campus Londrina.

A Figura 6 representa imagens da coleta realizadas no dia 21/09/2016.

**Figura 6- Pontos de coletas 1 e 2.**



O volume d'água por amostra coletado foi de aproximadamente 100 litros, equivalente a 2 galões d'água de 50 litros cada, como houve dois pontos de amostra, o total de água coletado foi de 200 litros.



A fim de avaliar a eficiência do coagulante orgânico *Moringa oleifera* no tratamento completo de água fez-se necessário a utilização de uma água sintética, já que no dia da coleta a água do rio se encontrava bastante limpa. Para isso, foi adicionado junto à água um volume de 500g de lodo do próprio lago para cada ponto.

#### 4.3 LOCAL DO EXPERIMENTO

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Saneamento e de Poluentes Atmosféricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Londrina (Figura 7), localizado à latitude 23°18'25,7"S e longitude 51°06'57,6"O.

**Figura 7- A) Laboratórios de Saneamento do Câmpus Londrina – UTFPR.  
B) Laboratório de Poluentes Atmosféricos do Câmpus Londrina – UTFPR.**



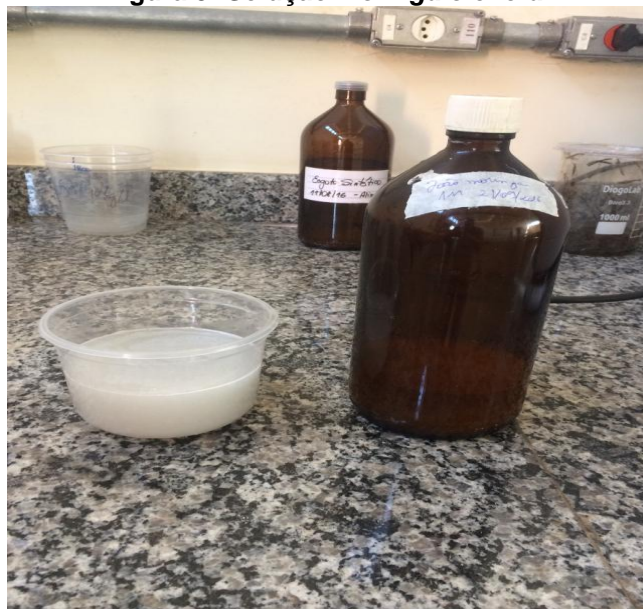
Fonte: Próprio autor.

#### 4.4 PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO SALINA DO COAGULANTE *Moringa Oleifera*

Para a preparação da solução do coagulante orgânico *Moringa oleifera*, foi primeiramente descascado e pesado 10g de semente da *Moringa oleifera*. Também foi pesado 58,44 g de NaCl e adicionado a 1 L de água destilada, agitou-se bem a solução para que o sal se dissolva totalmente, sendo a solução salina NaCl 1M. Por

ultimo, foram triturados os 10 g das sementes juntamente com a solução salina no liquidificador. Feito isso, filtrou-se a solução com auxílio de um coador de pano e assim obteve-se a solução salina do coagulante *Moringa oleifera* na concentração de 10 g.L<sup>-1</sup>. A Figura 8 mostra a solução pronta.

**Figura 8- Solução *Moringa oleifera*.**



**Fonte: Próprio autor.**

#### 4.5 AJUSTE DOS VALORES DE pH

A fim de seguir o planejamento experimental, necessitou-se corrigir o valor do pH de parte das amostras antes de realizar os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação/filtração, esse procedimento se fez necessário para testar a hipótese de que o comportamento do coagulante bem como os processos de tratamento de água são afetados pela variação do pH, sendo este portanto um fator independente na análise dos dados.

O volume de água utilizado para a correção do pH, se deu em função da quantidade total de água bruta necessária para a realização de uma bateria de ensaio, cerca de 24 Litros para cada bateria. Sendo uma bateria destinada ao pH básico, uma para pH neutro e outra para pH ácido.

Foi medido o pH natural das amostras de ambos os pontos, e verificou-se que os valores encontravam-se próximos da neutralidade. Em seguida, equacionou-se uma variação uniforme no pH de 3 para mais e 3 para menos dentro de cada ponto.

Para o ajuste dos valores de pH, a fim de torná-lo ácido, utilizou-se a solução de ácido clorídrico (HCl), concentração 1 M. Foi necessário adicionar 20 mL de HCl, para o volume usado, a fim de alcançar o pH ácido estabelecido. Enquanto que para a amostra com pH básico, foi utilizado a solução de hidróxido de sódio (NaOH), na concentração 1 M. Foi necessário adicionar 20 mL da solução básica a fim de alcançar o pH básico estabelecido.

Os valores finais calculados e que foram aplicados nas amostras seguem demonstrados nas Tabelas 5.

**Tabela 4- Valores de pH utilizados nos ensaios.**

<b>Amostras</b>	<b>pH Ponto 1</b>	<b>pH Ponto 2</b>
Ácidas	4,5	4,3
Natural	6,8	6,8
Básicas	10,13	10,8

**Fonte: Autoria própria.**

#### 4.6 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

Primeiramente foi realizado um pré-ensaio a fim de definir a concentração ideal do coagulante *Moringa oleifera* em cada ponto de coleta. Para realização do pré-ensaio utilizou-se 100 mL da amostra em um béquer e foram adicionadas diferentes concentrações do coagulante orgânico verificando o momento em que ocorreu à formação de flocos para cada concentração em teste.

Para o experimento, as dosagens encontradas do coagulante em ambos os pontos foram variadas seguindo as concentrações 3 mg.L<sup>-1</sup>, 6 mg.L<sup>-1</sup> e 9 mg.L<sup>-1</sup>. Após serem definidas as concentrações do coagulante no pré-ensaio, estas concentrações foram adicionados ao efluente em ensaio de coagulação/floculação/sedimentação utilizando o equipamento jar-test

O jar-test utilizado é um equipamento da marca Nova Ética modelo 218 – 6LDB, de seis provas com regulador de rotação das hastes misturadoras.

Os valores de velocidade e tempo do equipamento jar-teste foram adotados os mesmos que são utilizados na estação de tratamento de água da SANEPAR (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ). 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 flocladores. No processo de coagulação/floculação/sedimentação, se considerou como variáveis o gradiente de velocidade (s<sup>-1</sup>) e o tempo de detenção em minutos.



A sequência pode ser visualizada na Figura 9.

**Figura 9- 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 para sedimentação de 30 minutos. Ao final do tempo de 30 minutos estabelecidos para sedimentação foram realizadas coletas de todos os ensaios e foram medidos os parâmetros cor aparente, turbidez, sólidos totais, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura.

#### 4.7 FILTRAÇÃO

Para o ensaio de filtração foi utilizada uma estrutura de ferro adaptada para fixar os filtros de areia abaixo do jar-teste de forma que a água saia do jar-teste diretamente para os filtros. Os leitos filtrantes apresentam-se confeccionados de Polietileno Tereftalo (PET) de aproximadamente 10 cm de diâmetro interno configurando um modelo de leito fixo com fluxo descendente, com seis colunas em paralelo, como observado na Figura 10.

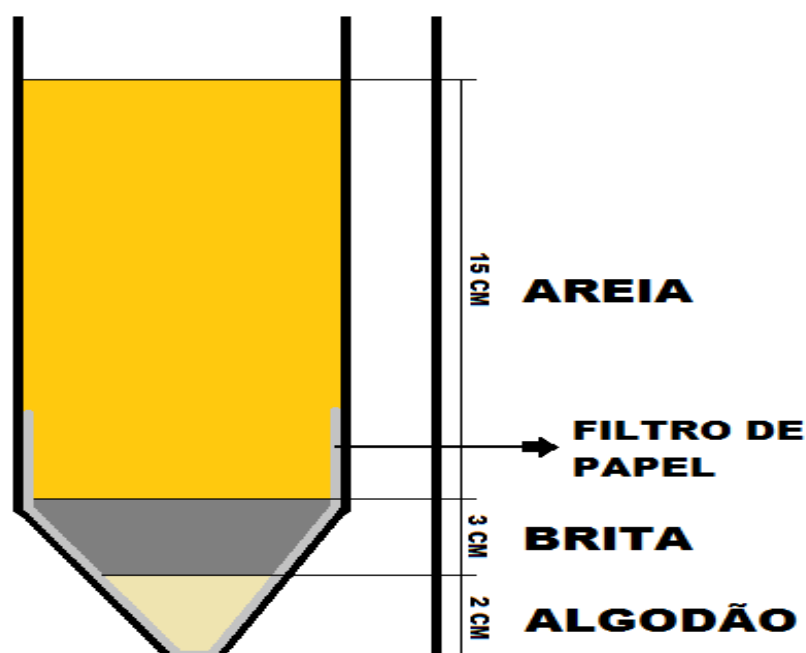
**Figura 10- Colunas de filtração utilizadas no ensaio.**



Fonte: Próprio autor

Recomendado por Di Bernardo et al. (2003) os tubos possuem 25 cm de comprimento com 15 cm preenchidos por areia, 3 cm preenchidos por brita e 2 cm preenchidos por algodão. As granulométricas da areia utilizada nos 6 filtros foram as mesmas, na faixa de 0,600 à 0,850 mm. A inclinação utilizada na saída do jar-teste foi de 70° durante 2 minutos, seguidos de mais 2 minutos com a angulação de 60° e mais 2 minutos 50°. Um modelo das camadas do filtro é representado na Figura 11.

**Figura 11- Modelo representativo das camadas do filtro.**



Fonte: Autoria própria.

A água a ser tratada entrou pelo topo da coluna e foi retirada pelo fundo. Os grãos do leito filtrante foram retidos por um filtro de café juntamente com a camada de algodão e brita presente na extremidade inferior da coluna. Após esse processo foram realizadas medições de todos os parâmetros. Importante dizer que os testes realizaram-se em duplicata para cada valor de pH e concentração.

#### 4.8 PARÂMETROS ANALISADOS

Para todas as variações de concentrações de *Moringa oleifera* e pH foram determinados os parâmetros de cor aparente, turbidez, pH, temperatura, sólidos totais, condutividade elétrica, e oxigênio dissolvido de acordo com o Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

A Tabela 6 apresenta os equipamentos e os métodos utilizados.

**Tabela 5- Equipamentos e metodologia para a bateria de ensaios.**

Parâmetro	Equipamentos	Metodologia
Cor aparente	Espectrofotômetro HACH DR-5000	2120 C
Turbidez	Turbidímetro Policontrol AP-2000	2030 B
pH	pH-metro mPA-210	4500 H <sup>+</sup> B
Sólidos Totais	Estufa SL 100, Mufla MA 385, Balança AW 220	2540 A
Temperatura	Oxímetro YSI 550A e pH-metro mPA-210	-
Condutividade elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 B
Oxigênio Dissolvido	Oxímetro YSI 550A	4500-O A

Fonte: APHA, 2012

#### 4.9 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Nesse trabalho foi utilizado um planejamento estatístico com dois fatores (variáveis independentes), a concentração do coagulante *Moringa oleifera*, e o pH.

Para determinar as dosagens do coagulante *Moringa oleifera* foi realizado um pré-ensaio, já o pH definimos uma variação uniforme de 3 para mais e 3 para menos levando em consideração o pH natural da água neutro próximo a 7.

Os ensaios contaram com uma repetição, sendo assim, realizados em duplicata. Para facilitar na manipulação da tabela, para diminuição de erros operacionais e exigência do software Statistica 13.1, os valores reais de concentração de coagulante e pH foram codificados variando entre os valores -1, 0 e 1. Na Tabela 7 é possível verificar esses valores.

**Tabela 6- Organização numérica dos ensaios para diferentes níveis de concentração de coagulante e pH com valores codificados e reais do ponto 1 e ponto 2.**

Ensaio	Réplica	Concentração de Coagulante (mg.L <sup>-1</sup> )	pH Ponto 1	pH Ponto 2
1	1	-1 (3)	-1 (4,5)	-1 (4,3)
2	1	-1 (3)	0 (6,8)	0 (6,8)
3	1	-1 (3)	1 (10,13)	1 (10,8)
4	1	0 (6)	-1 (4,5)	-1 (4,3)
5	2	0 (6)	0 (6,8)	0 (6,8)
6	2	0 (6)	1 (10,13)	1 (10,8)
7	1	1 (9)	-1 (4,5)	-1 (4,3)
8	1	1 (9)	0 (6,8)	0 (6,8)
9	2	1 (9)	1 (10,13)	1 (10,8)
10	2	-1 (3)	-1 (4,5)	-1 (4,3)
11	2	-1 (3)	0 (6,8)	0 (6,8)
12	2	-1 (3)	1 (10,13)	1 (10,8)
13	2	0 (6)	-1 (4,5)	-1 (4,3)
14	1	0 (6)	0 (6,8)	0 (6,8)
15	1	0 (6)	1 (10,13)	1 (10,8)
16	2	1 (9)	-1 (4,5)	-1 (4,3)
17	2	1 (9)	0 (6,8)	0 (6,8)
18	1	1 (9)	1 (10,13)	1 (10,8)

Fonte: Autoria própria

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS

Após a amostragem foram realizadas as leituras dos parâmetros, cor aparente, turbidez, pH, sólidos totais, temperatura, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido da água bruta. Os valores encontrados são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 7- Características da água bruta.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores Ponto 1 (entrada)</b>	<b>Valores Ponto 2 (saída)</b>
Cor aparente (mgPt-Co.L <sup>-1</sup> )	620	495
Turbidez (NTU)	189	185
pH	6,8	6,8
Sólidos Totais (mg.L <sup>-1</sup> )	400	550
Temperatura (°C)	23,6	23,2
Condutividade elétrica (mS.cm <sup>-1</sup> )	0,25	0,24
Oxigênio Dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> )	6,8	6,1

**Fonte: Autoria própria.**

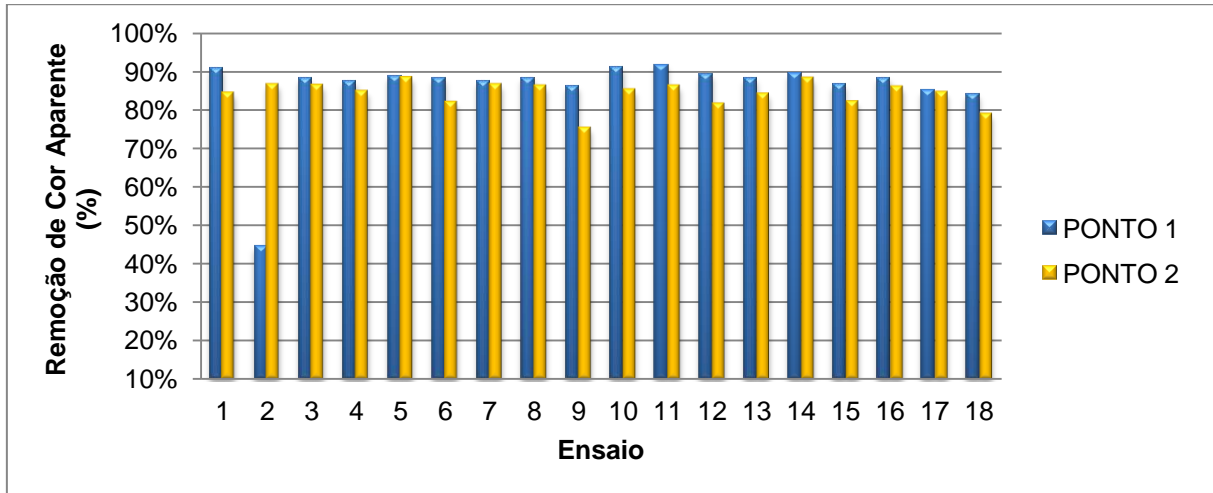
### 5.2 ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA

A base de dados de todos os parâmetros estudados foi obtida após os processos de coagulação/floculação/sedimentação e após o processo de filtração a fim de analisar a eficiência desses processos individualmente (Apêndice A, Tabelas A.1 e A.2).

#### 5.2.1 Remoção do parâmetro cor aparente

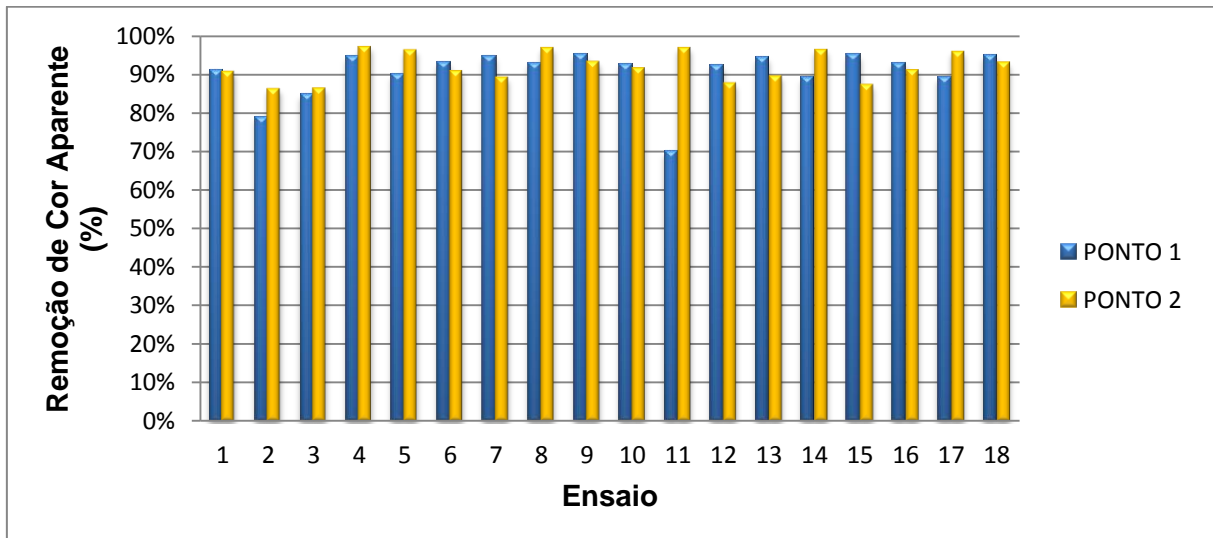
Os Gráficos 1, 2 e 3, resultantes da análise das Tabelas A1 e A2 (Apêndice A) mostram as remoções do parâmetro cor aparente para os processos de coagulação/floculação/sedimentação (Gráfico 1), para o processo de filtração (Gráfico 2) e para o processo completo, coagulação/floculação/sedimentação/filtração (Gráfico 3) com o uso da *Moringa oleifera* em diferentes valores de concentração e pH.

**Gráfico 1- Remoção do parâmetro cor aparente após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.**



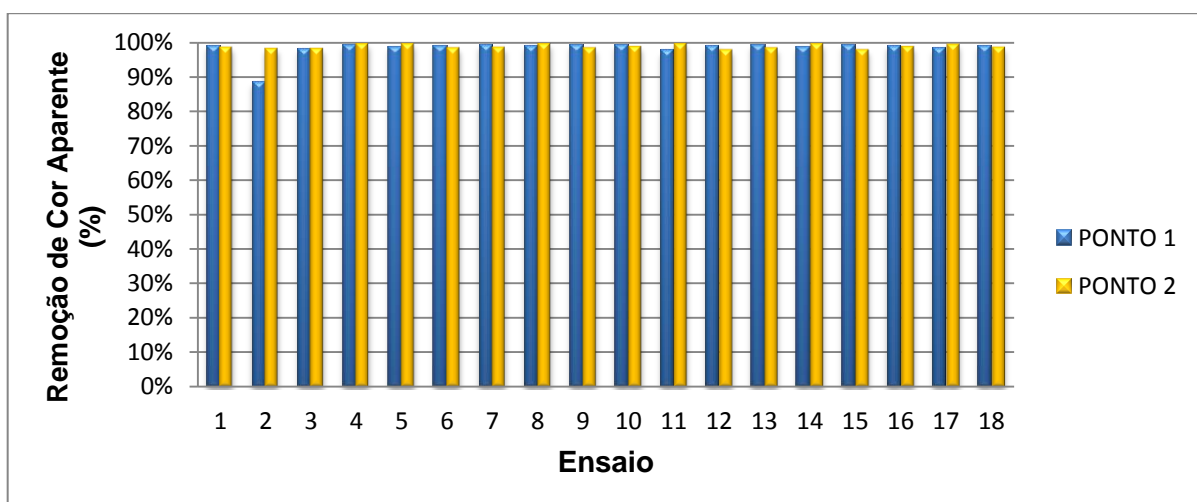
Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

**Gráfico 2- Remoção do parâmetro cor aparente após o processo de filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

**Gráfico 3- Remoção do parâmetro cor aparente após o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

Analisando os resultados apresentados pode-se concluir que tanto os processos de coagulação/floculação/sedimentação (Gráfico 1) quanto o processo de filtração (Gráfico 2) são de grande importância para a remoção de cor no tratamento da água, ambos alcançaram valores de remoção acima de 80%. Os processos juntos (tratamento completo) demonstrou em quase todos os ensaios porcentagem de remoção de cor próximos a 100% como se pode ver no Gráfico 3.

No Gráfico 1 é possível verificar o ensaio 2 como sendo o ensaio com menor porcentagem de remoção de cor, esse ensaio teve suas variáveis independentes no planejamento experimental como (-1,0), ou seja, concentração de 3 mg.L<sup>-1</sup> e pH neutro igual a 6,8. Porém sua réplica no mesmo ponto foi a com maior valor de remoção, além de que no ponto 2 os valores de remoção de cor com essas mesmas variáveis também foram satisfatórias.

Ainda no Gráfico 1 os ensaios 9 e 18 do ponto 2 foram os ensaios com menor porcentagem de remoção de cor para este ponto, esses ensaios foram réplicas um do outro, tendo suas variáveis independentes (1,1), ou seja, concentração de 18 mg.L<sup>-1</sup> e pH básico igual a 10,8. Comparando com os ensaios do ponto 1 das mesmas variáveis (1,1), verifica-se que para o ponto 1 esses ensaios também foram os com menores porcentagens de remoção. Com isso conclui-se que para remoção de cor essa combinação foi a pior.

Os outros ensaios estão variando de 81% a 91% de remoção de cor após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.

No processo de filtração (Gráfico 2) também é possível verificar uma variação pequena das porcentagens de remoção de cor entre 85% e 97%, salvo o ensaio 11 do ponto 1, que teve valor de remoção de 70%. Sua réplica no mesmo ponto também teve valor abaixo da média, assim entende-se que para tal valor de pH e concentração o processo de filtração é levemente afetado.

No geral obteve-se resultados muito satisfatório, como se pode ver no Gráfico 3 o tratamento completo proporcionou redução do parâmetro cor aparente de quase 100% em todos os ensaios, podemos concluir com isso que os processos são complementares e muito eficientes para a remoção de cor no tratamento de água. O que está de acordo com estudos realizados por Okuda et al. (1999), que demonstram que a porcentagem de remoção de cor utilizando tanto a semente como o extrato aquoso da *Moringa oleifera* foi de 80 a 99%.

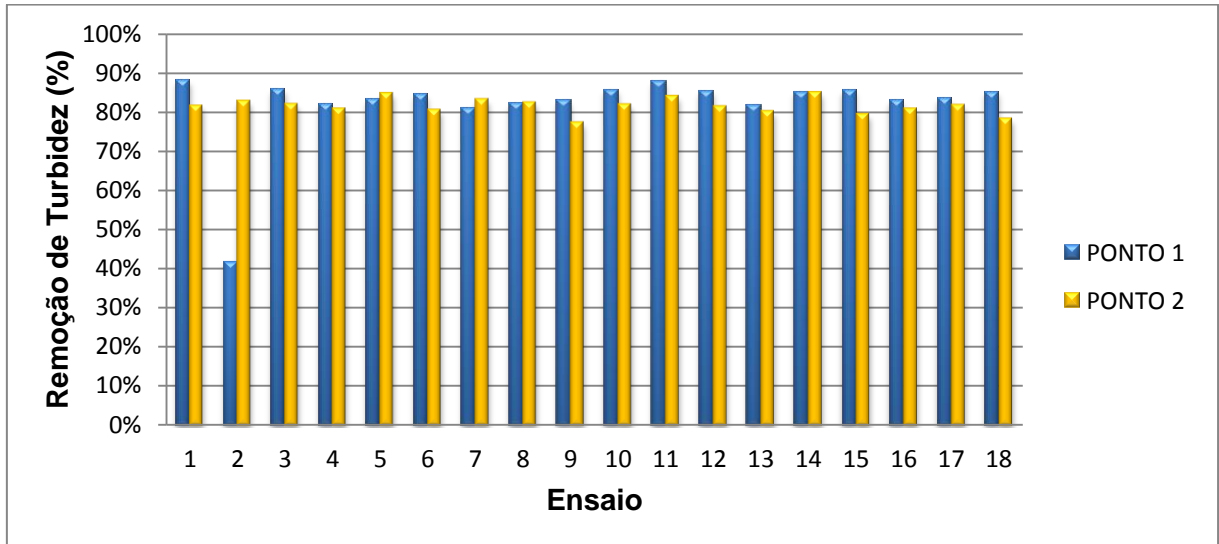
Também é possível verificar que o coagulante *Moringa oleifera* consegue ser eficaz em uma grande faixa de pH e também de concentração nesse caso, não alterando significadamente seus resultados de remoção de cor com a variação dessas variáveis. Segundo estudos realizados por Vaz (2009) a *Moringa oleifera* pode ser utilizado em uma faixa de pH entre 4,0 e 12,0.

Comparando os valores obtidos com os exigidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, apenas um ensaio não atendeu ao VMP de cor aparente, o ensaio 2 do ponto 1. Todos os outros estão de acordo com o valor exigido para o uso da água para abastecimento urbano.

### 5.2.2 Remoção do parâmetro turbidez

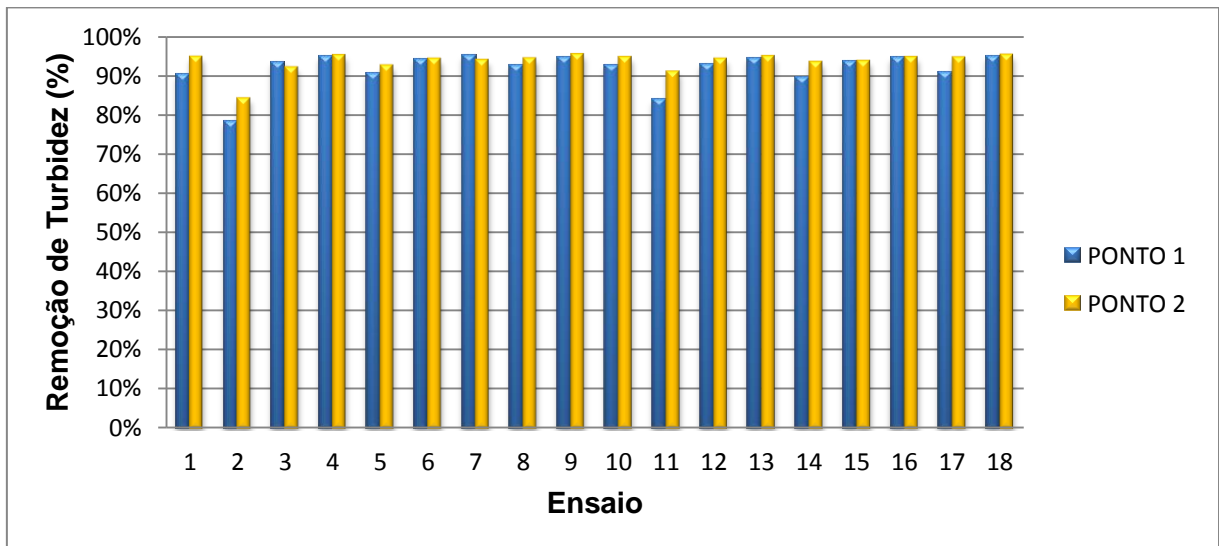
Os Gráficos 4, 5 e 6, resultantes da análise das Tabelas A1 e A2 (Apêndice A) mostram as remoções do parâmetro turbidez para os processos de coagulação/floculação/sedimentação (Gráfico 4), para o processo de filtração (Gráfico 5) e para o processo completo, coagulação/floculação/sedimentação/filtração (Gráfico 6) com o uso da *Moringa oleifera* em diferentes valores de concentração e pH.

**Gráfico 4- Remoção do parâmetro turbidez após o processo de coagulação/floculação/sedimentação.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

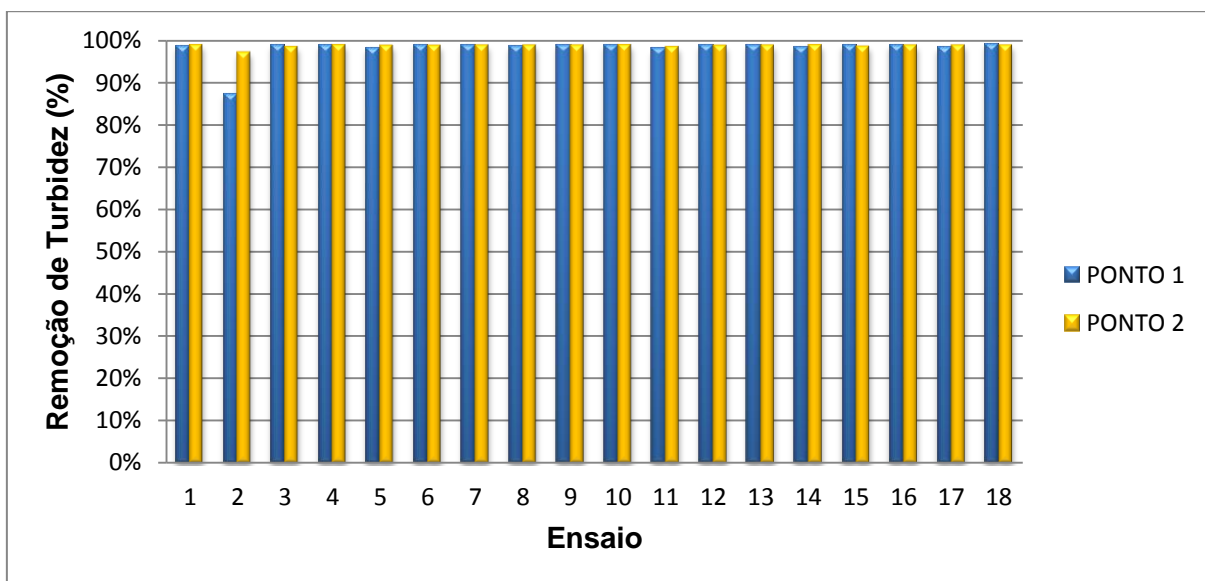
**Gráfico 5- Remoção do parâmetro turbidez após o processo de filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.



**Gráfico 6- Remoção do parâmetro turbidez após o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

Analisando os resultados apresentados no Gráfico 4 e 5 é possível verificar que tanto os processos de coagulação/floculação/sedimentação quanto o processo de filtração tiveram porcentagem de remoção do parâmetro turbidez bastante altas, em torno de 80% no Gráfico 4 e em torno de 90% no Gráfico 5. Com isso é possível entender que os processos juntos são de extrema importância para a remoção de turbidez no tratamento da água. Confirmando os dados apresentados no Gráfico 6 onde os processos juntos (tratamento completo) demonstrou em quase todos os ensaios porcentagem de remoção de turbidez próximos a 100%.

O que confirma estudos realizados por Higashi (2015) onde após o tratamento da água da Lago Igapó II através dos processos de coagulação/floculação/sedimentação com o uso do coagulante orgânico *Moringa oleifera* obteve resultados de remoção acima a 80%.

No Gráfico 4 pode-se verificar o ensaio 2 como sendo o ensaio com menor porcentagem de remoção de turbidez, esse ensaio teve suas variáveis independentes no planejamento experimental como (-1,0), ou seja, concentração de  $3 \text{ mg.L}^{-1}$  e pH neutro igual a 6,8. Porém, sua réplica no mesmo ponto foi a com maior valor de remoção, além de que no ponto 2 os valores de remoção de turbidez com essas mesmas variáveis também foram satisfatórias.

Todos os outros ensaios estão variando de 77% a 88% de remoção de turbidez após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.

No processo de filtração (Gráfico 5) também é possível verificar uma variação pequena das porcentagens de remoção de turbidez entre 89% e 95%, salvo os ensaios 2 e 11 do ponto 1 e do ponto 2, que são réplica um do outro. Esses tiveram valor de remoção entre 78% e 84%. Assim entende-se que para tal valor de pH e concentração o processo de filtração é levemente afetado.

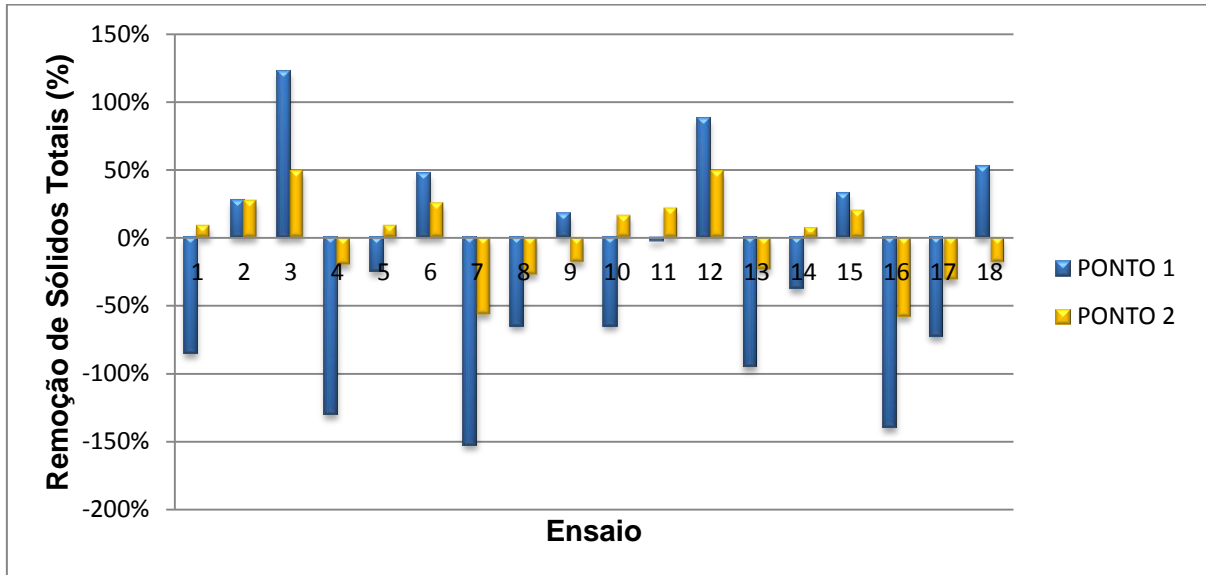
Com os dados dos Gráficos 4,5 e 6 é possível entender que o coagulante *Moringa oleifera* é eficaz em uma ampla faixa de pH e também de concentração, nesse caso, não alterando significadamente seus resultados de remoção de turbidez com a variação dessas variáveis. Confirmando estudos realizados por Cardoso et. al (2008) onde os resultados apontam que o coagulante orgânico *Moringa oleifera* pode ser utilizado em uma ampla faixa de pH.

Comparando os valores obtidos com os exigidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, apenas um ensaio não atendeu ao VMP de turbidez, o ensaio 2 do ponto 1. Todos os outros estão de acordo com o valor exigido para o uso da água para abastecimento urbano.

### 5.2.3 Remoção do parâmetro sólidos totais

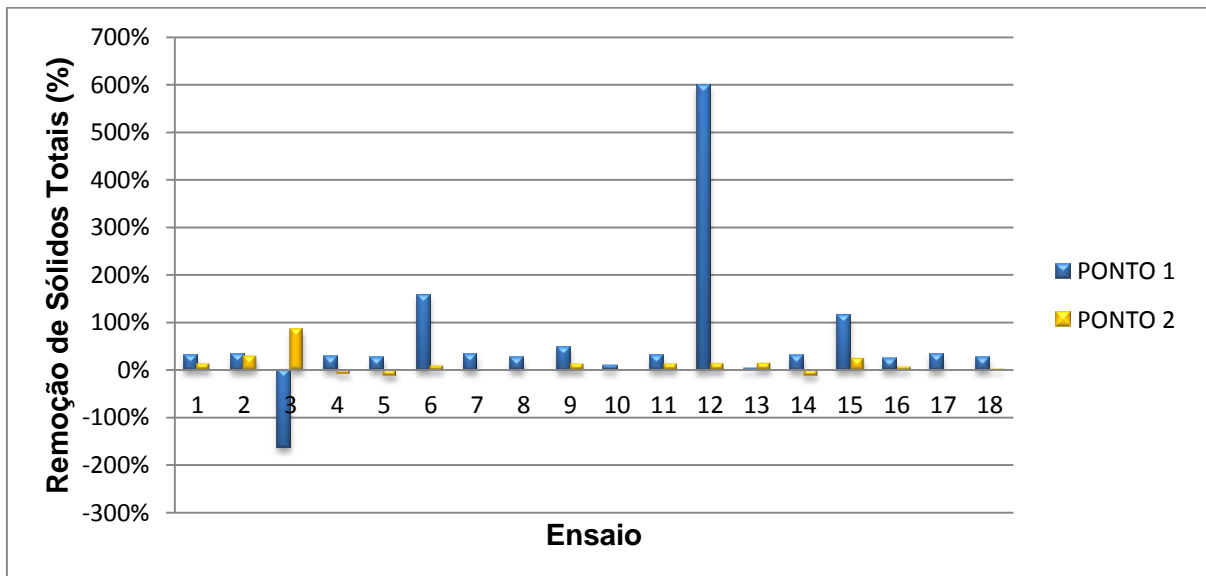
Os Gráficos 7, 8 e 9, resultantes da análise das Tabelas A1 e A2 (Apêndice A) mostram as remoções do parâmetro sólidos totais para os processos de coagulação/floculação/sedimentação (Gráfico 7), para o processo de filtração (Gráfico 8) e para o processo completo, coagulação/floculação/sedimentação/filtração (gráfico 9) com o uso da *Moringa oleifera* em diferentes valores de concentração e pH.

**Gráfico 7- Remoção do parâmetro sólidos totais após o processo de coagulação/floculação/sedimentação.**



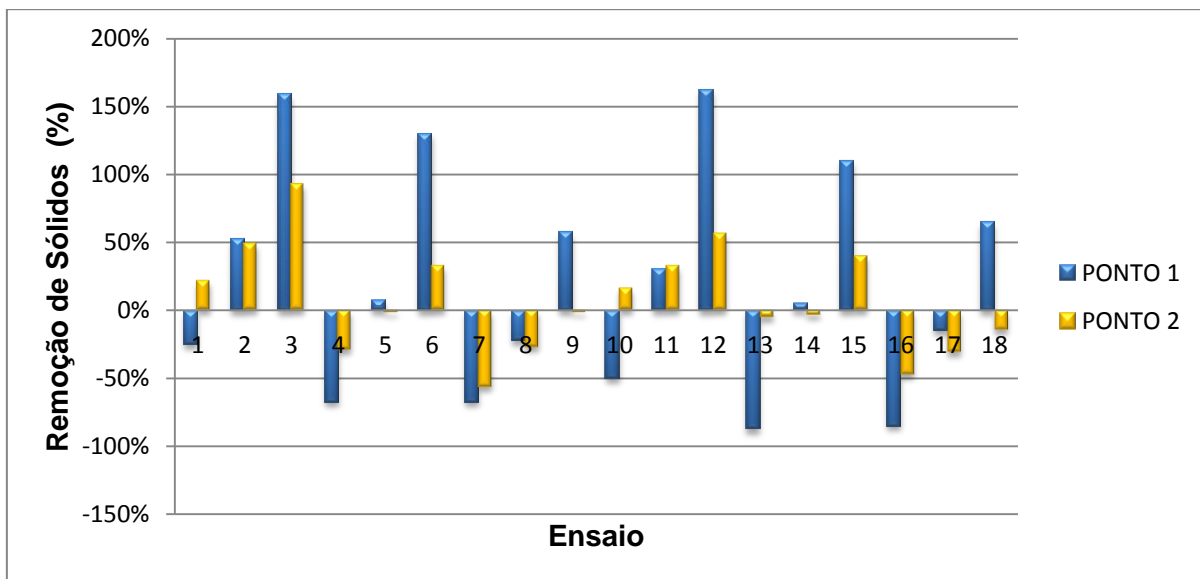
Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

**Gráfico 8- Remoção do parâmetro sólidos totais após o processo de filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

**Gráfico 9- Remoção do parâmetro sólidos totais após o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

Analisando os Gráficos 7, 8 e 9, podemos observar uma grande discrepância entre os valores obtidos. Resultados com percentagem de remoção de sólidos acima de 100 % e valores negativos em alguns ensaios tanto no ponto 1 quanto no ponto 2.

O parâmetro sólidos totais do ensaio (água bruta sintética) apresentou tanto no ponto 1 quanto no ponto 2 valores abaixo aos definidos pela Portaria 2914/2011 do MS, que descreve os VMPs para águas de abastecimento público. Ou seja, uma vez que a água bruta utilizada no ensaio já estava com esse índice baixo, 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 aderir-se aos sólidos e depois depositar-se 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 fez com que as próprias partículas dos coagulantes se tornassem os próprios sólidos presentes nas amostras coletadas, explicando os valores negativos na remoção de sólidos, observadas nos Gráficos 7,8 e 9.

Batista et al (2013) comprovou em seu estudo sobre ao tratamento de águas, que para amostras de águas utilizando *Moringa oleifera* como coagulante orgânico, houve aumento considerável nos valores dos sólidos dissolvidos, mostrando que

elevadas dosagens do coagulante incorporam vários sais e nutrientes presente na sua composição.

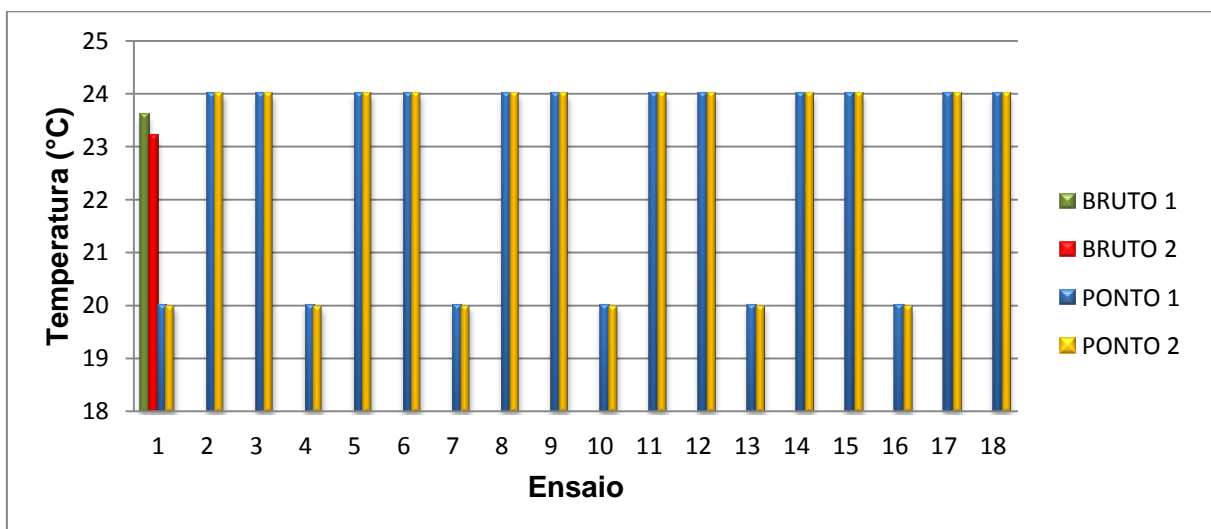
Outro ponto a ser destacado é que o volume utilizado nas análises foi pequeno o que pode ter facilitado erros na pesagem já que a quantidade de sólidos presentes nas amostras era pequena, além do que a balança utilizada apresentava pequeno defeito na sua estabilização o que deve ter contribuído para os presentes resultados equivocados.

Além disso, o aumento dos sólidos totais demonstradas pelos valores negativos pode ter sofrido influência do processo de decomposição da *Moringa oleifera* ao longo do ensaio já que a análise de sólidos se deu alguns dias após o ensaio. O que é confirmado segundo estudos realizados por Soriani (2015).

#### 5.2.4 Análise do parâmetro temperatura

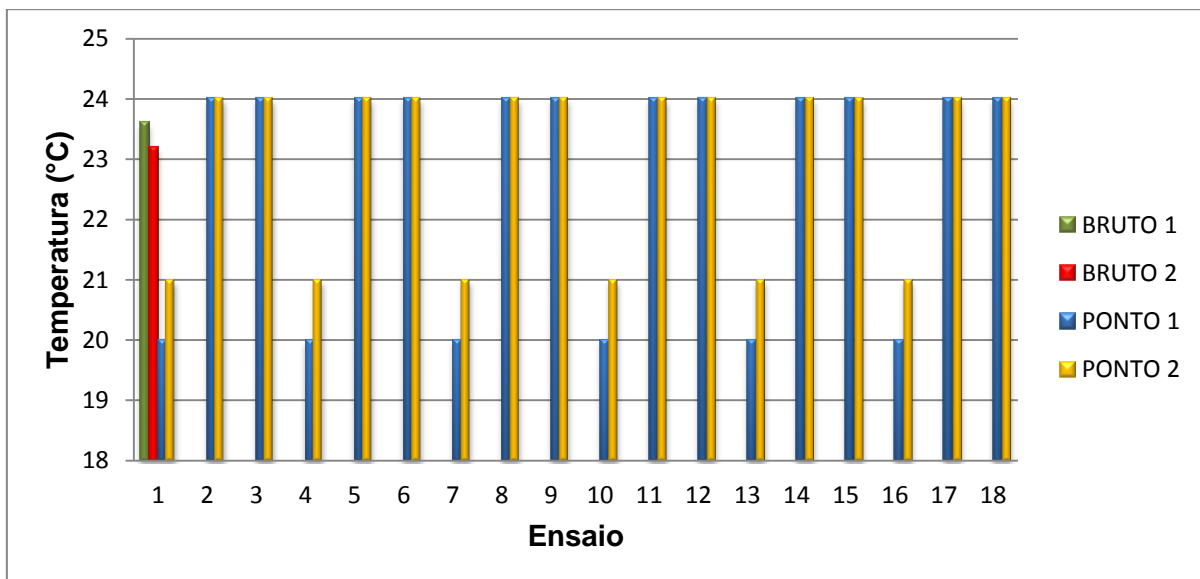
Os Gráficos 10 e 11, resultantes da análise das Tabelas A1 e A2 (Apêndice A) apresentam os resultados da variação de temperatura, após os processos de coagulação/floculação/sedimentação (Gráfico 10) e após o processo de filtração (Gráfico 11) com o uso da *Moringa oleifera* em diferentes valores de concentração e pH.

**Gráfico 10- Análise do parâmetro temperatura após o processo de coagulação/floculação/sedimentação.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

**Gráfico 11- Análise do parâmetro temperatura após o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

Pode-se observar nos Gráficos 10 e 11 que há uma pequena variação da temperatura nos ensaios, porém essa diferença se deu pelos diferentes horários de realização das medições, além disso, faz-se uso da geladeira para armazenar as amostras. Isso fez com que a temperatura se comportasse em relação à temperatura ambiente. Apenas os valores da água bruta do ponto 1 e 2 foram medidas no momento da coleta no lago Igapó II.

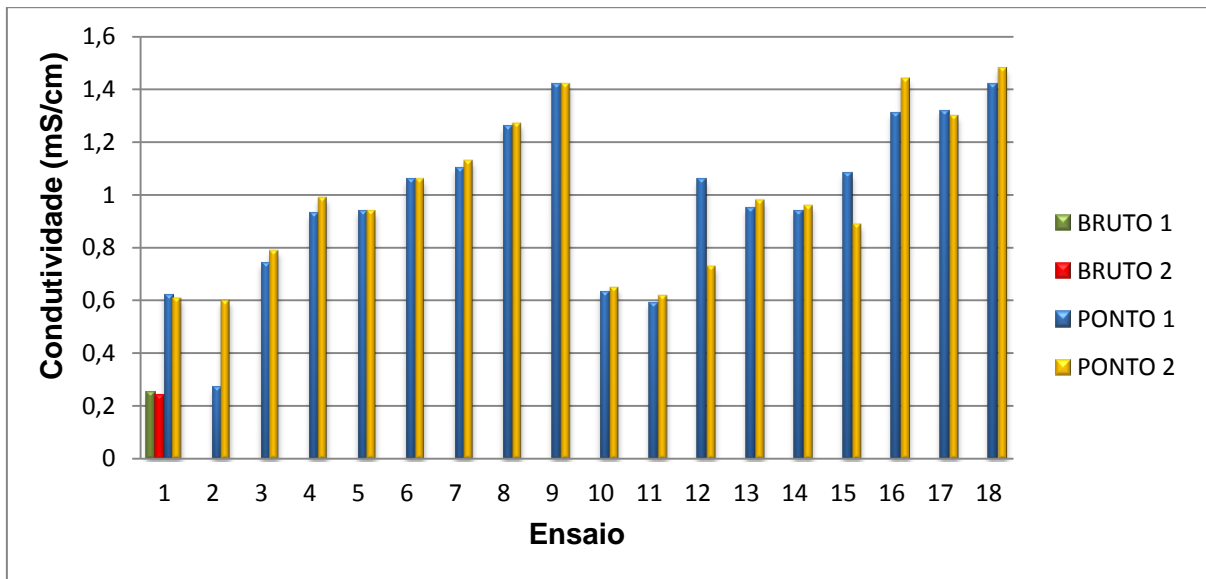
Segundo Pedrozo; Kapusta (2010) esse parâmetro influencia praticamente todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na água. Por isso faz-se necessário o acompanhamento do mesmo.

Os valores de temperatura não foram comparados com a portaria nº 2914/11, visto que não há valores pré-estabelecidos para o mesmo.

#### 5.2.5 Análise do parâmetro condutividade elétrica

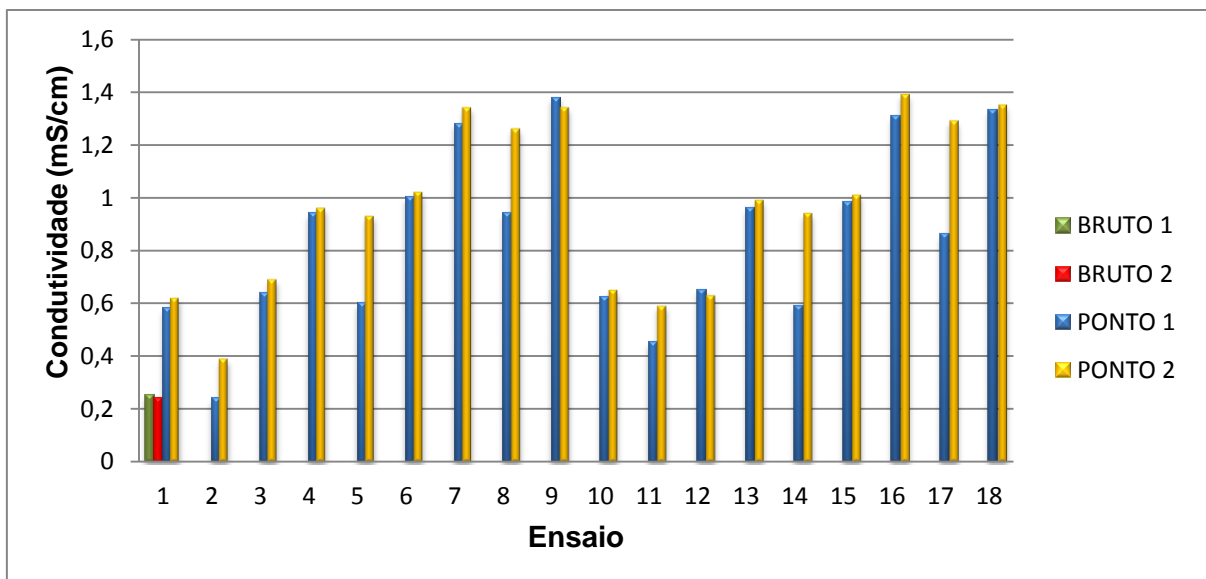
Os Gráficos 12 e 13, resultantes da análise das Tabelas A1 e A2 (Apêndice A) apresentam os resultados da variação da condutividade elétrica, após os processos de coagulação/floculação/sedimentação (Gráfico 12) e após o processo de filtração (Gráfico 13) com o uso da *Moringa oleifera* em diferentes valores de concentração e pH.

**Gráfico 12- Análise do parâmetro condutividade elétrica após o processo de coagulação/floculação/sedimentação.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

**Gráfico 13- Análise do parâmetro condutividade elétrica após o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

Verifica-se por meio dos Gráficos 12 e 13 que para todas as variações de concentrações e pH ocorreram um aumento dos valores de condutividade elétrica se comparado o valor bruto de  $0,25 \text{ mS.cm}^{-1}$  para o ponto 1 e  $0,24 \text{ mS.cm}^{-1}$  para o ponto 2, nota-se que há um aumento do parâmetro condutividade com a aplicação do coagulante *Moringa oleifera*. Isso faz sentido pelo fato da solução do coagulante

conter sal e proteína da semente, fazendo com que os valores de condutividade aumentem.

Através do Gráfico 12, percebe-se que a maior concentração (9 mg.L<sup>-1</sup>) foi a que apresentou os maiores valores de condutividade elétrica, variando entre 1,1 a 1,48 mS.cm<sup>-1</sup>. Já a menor concentração usada (3 mg.L<sup>-1</sup>) foi a responsável pelos menores valores, oscilando entre 0,27 mS.cm<sup>-1</sup> a 1,06 mS.cm<sup>-1</sup>, mostrando que a condutividade elétrica aumentou nitidamente em relação as concentrações. Vale lembrar que os valores de condutividade elétrica obtidos não foram comparados com a legislação, visto que não há valores pré-estabelecidos para o mesmo.

Oliveira et al. (2011) comprovou em seu trabalho sobre remoção de turbidez em águas naturais com semente de *Moringa oleifera*, que o parâmetro condutividade elétrica sofreu um aumento de 5,6% devido principalmente à adição de espécies iônicas à solução pelo extrato.

De acordo com Okuda et al (1999) a adição de sal ao coagulante da *Moringa oleifera* provoca um aumento da força iônica no meio que eleva a solubilidade dos compostos ativos responsáveis pela purificação. Quanto maior a quantidade de sal aplicada aos tratamentos, maior sua condutividade do meio.

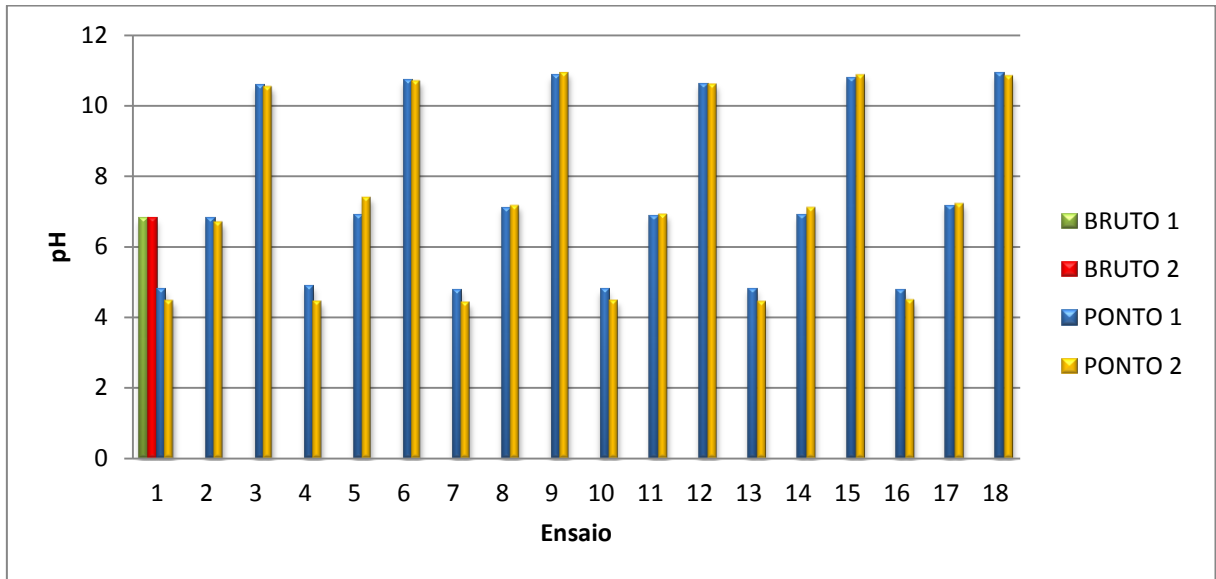
### 5.3 ANÁLISES DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DA ÁGUA

#### 5.3.1 Análise do parâmetro pH

Os Gráficos 14 e 15, resultantes da análise das Tabelas A1 e A2 (Apêndice A) apresentam os resultados de variação de pH, após os processos de coagulação/floculação/sedimentação (Gráfico 14) e após o processo de filtração (Gráfico 15) com o uso da *Moringa oleifera* em diferentes valores de concentração e pH.

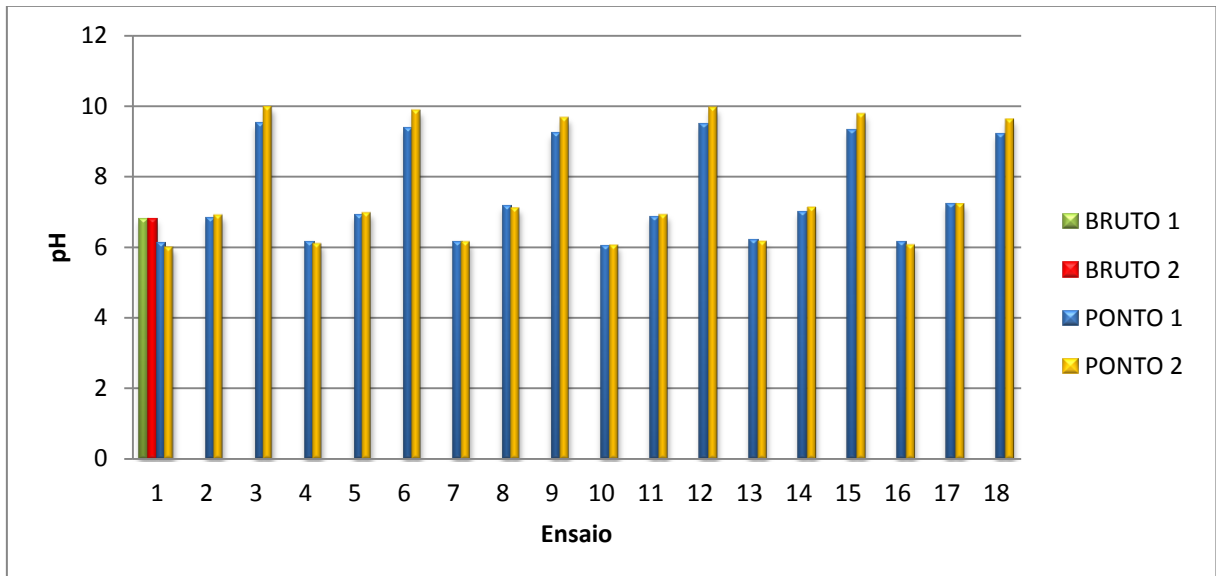


**Gráfico 14- Análise do parâmetro pH após o processo de coagulação/floculação/sedimentação.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

**Gráfico 15- Análise do parâmetro pH após o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

Por meio do Gráfico 14, verifica-se que não houve variação no pH após os processos de coagulação/floculação/sedimentação com o uso do coagulante *Moringa oleifera*. Tornando-se evidente, portanto, a característica da *Moringa oleifera* de não influenciar no pH durante o processo de tratamento.

Paterniani; Montovani; Sant'anna (2009), observou em seu experimento sobre o uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais que,

durante todos os ensaios os valores de pH não apresentaram alterações significativas permanecendo entre 6 e 7. Oliveira et al. (2011), comprovou em seu trabalho que o parâmetro pH não sofreu alteração significativa, indicando possivelmente que o extrato não contribui para alterações na relação  $H^+ / OH^-$  em solução.

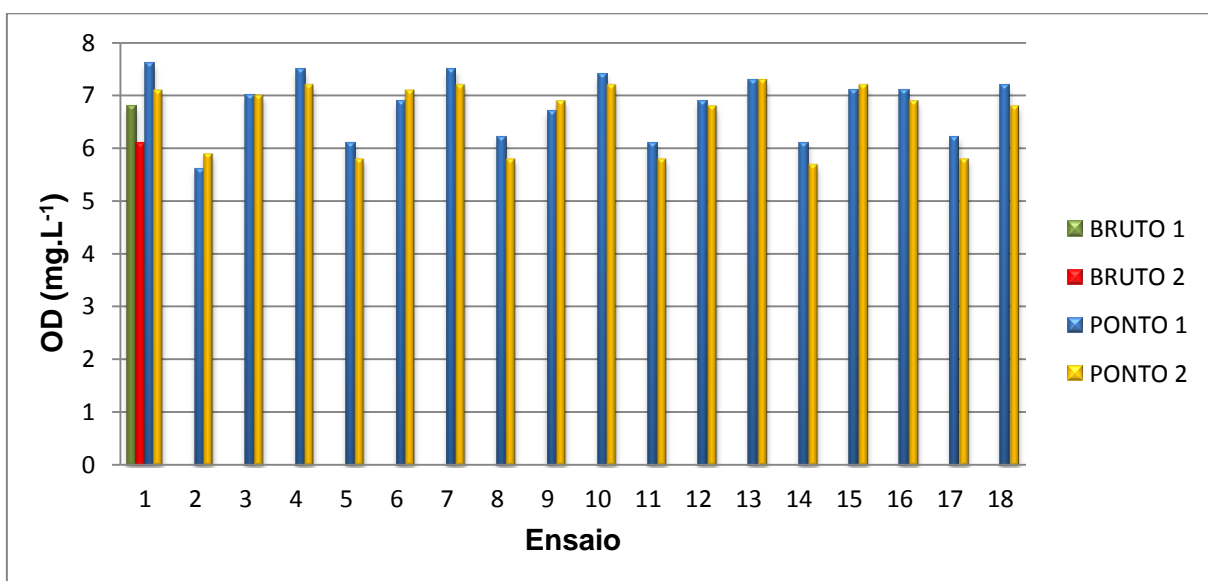
Já no Gráfico 15, pode-se perceber uma pequena variação do pH após o processo de filtração, tendendo para o pH neutro (7).

Comparando os valores obtidos com os exigidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, apenas os ensaios em que não foram alterados o pH da água, deixando a água com pH natural (neutro) foram os ensaios que atenderam ao VMP de pH. Já os ensaios em que o pH foi corrigido para mais e para menos necessitaram de nova correção para atender a Portaria 2914/2011.

### 5.3.2 Análise do parâmetro oxigênio dissolvido

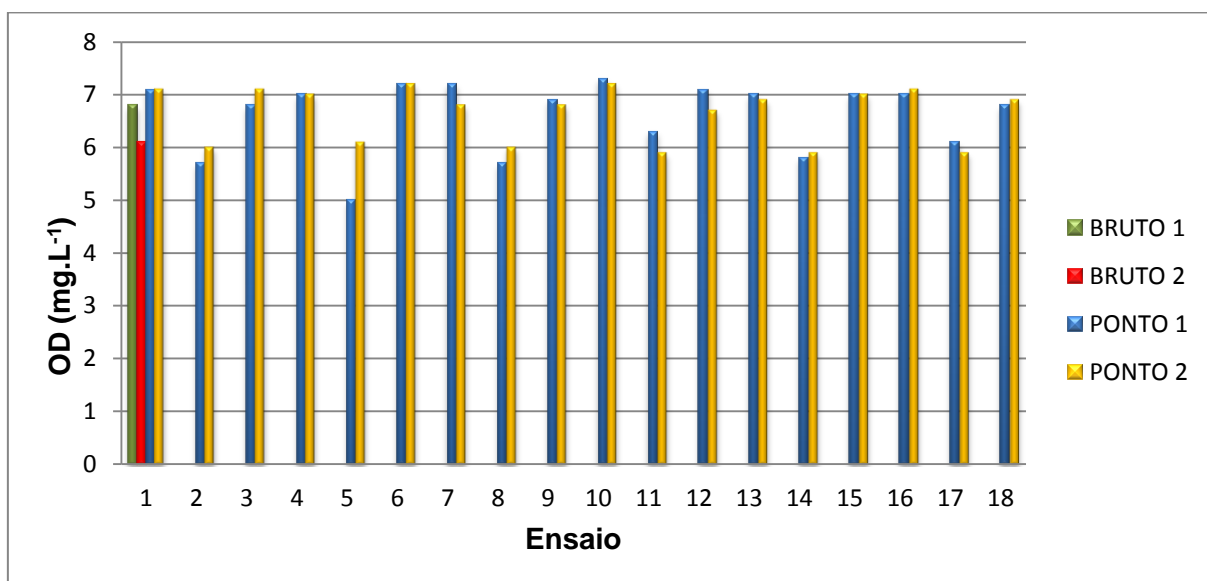
Os Gráficos 16 e 17, resultantes da análise das Tabelas A1 e A2 (Apêndice A) apresentam os resultados de variação de oxigênio dissolvido, após os processos de coagulação/floculação/sedimentação (Gráfico 15) e após o processo de filtração (Gráfico 16) com o uso da *Moringa oleifera* em diferentes valores de concentração e pH.

**Gráfico 16- Análise do parâmetro OD após o processo de coagulação/floculação/sedimentação.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

**Gráfico 17- Análise do parâmetro OD após o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**



Fonte: Apêndice A Tabelas A1 e A2.

Observa-se nos Gráficos 16 e 17 uma pequena variação de oxigênio dissolvido nos ensaios, porém essa diferença aconteceu pelos diferentes horários de medições do parâmetro OD, além disso, as amostras precisaram ser armazenadas para a realização de todos os ensaios, e também acabaram sofrendo uma pequena aeração na queda da saída do filtro, o que pode ter ajudado a modificar os resultados do parâmetro OD.

Segundo Richter; Netto (1991) o oxigênio dissolvido é um dos principais indicadores da qualidade da água, pois é de essencial importância para os organismos aeróbicos, principalmente os de vida superior como os peixes. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, é possível a geração de maus odores.

De acordo com Von Sperling (2005) a presença de matéria orgânica faz com que diminua o OD, já que a diminuição de oxigênio em ambientes aquáticos deve-se principalmente aos processos de oxidação, tais como a respiração e a decomposição. Os valores da água bruta do ponto 1 e 2 foram medidas no próprio lago Igapó II.

Os valores de oxigênio dissolvido obtidos não foram comparados com a legislação, visto que não há valores pré-estabelecidos para o mesmo.

## 5.4 ANÁLISE CONFORME O PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Utilizando o software Statistica 13.1, da fabricante Dell, foi possível aplicar a análise fatorial, de acordo com planejamento experimental do trabalho. Com essa ferramenta foi possível realizar uma análise multivariável mais precisa. Neste item a análise dos resultados será após os processos de coagulação/floculação/sedimentação e após o processo de filtração para o ponto 1 e ponto 2 com o uso da *Moringa oleifera* em diferentes valores de concentração e pH. Para essas análises excluímos o parâmetro sólidos totais, já que os resultados desse parâmetro não saíram como o desejados devidos as circunstâncias discutidas no item 5.2.3.

### 5.4.1 Ponto 1 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação

Na Figura 12 são mostrados os resultados do teste multivariados de significância (teste estatístico de Wilks).

**Figura 12- Teste de significância (Wilks) para o ponto 1 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.**

Testes multivariados de Significância (Ponto 1 C/F/S) parametrização restringiu-Sigma decomposição hipótese eficaz						
Efeito	Teste	Valor	F	Efeito df	Erro df	p
Intercept	Wilks	0.000012	84727,74	5	5,00000	0,000000
Concentração	Wilks	0.028141	4,96	10	10,00000	0,009208
pH	Wilks	0.000000	2295,61	10	10,00000	0,000000
Concentração*pH	Wilks	0.019147	2,01	20	17,53300	0,072682

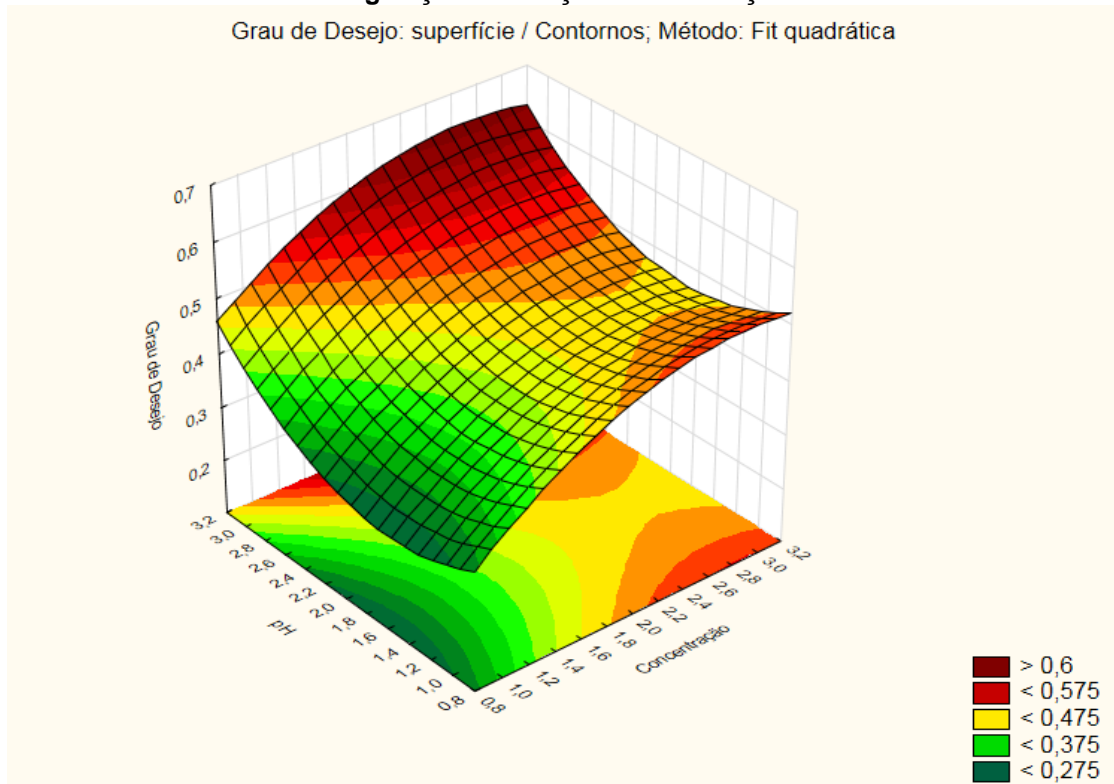
Fonte: Statistica 13.1.

Com os dados obtidos após os processos de coagulação/floculação/sedimentação no ponto 1 pode-se observar na Figura 12 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%. O valor de “p” representa o nível de significância. Se o valor de “p” for inferior a 0,05, significa que a variável ou a interação entre as variáveis é significativa.

Na Figura 12, observa-se que o valor de “p” é menor que 0,05 para as variáveis concentração e pH. Isso indica que estes são fatores que apresentaram diferenciação relevante (acima de 5%) nas médias das variáveis de resposta.

A Figura 13 mostra os resultados do gráfico de superfície para a interação entre as variáveis concentração e pH.

**Figura 13- Gráficos de superfície de resposta para o ponto 1 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.**

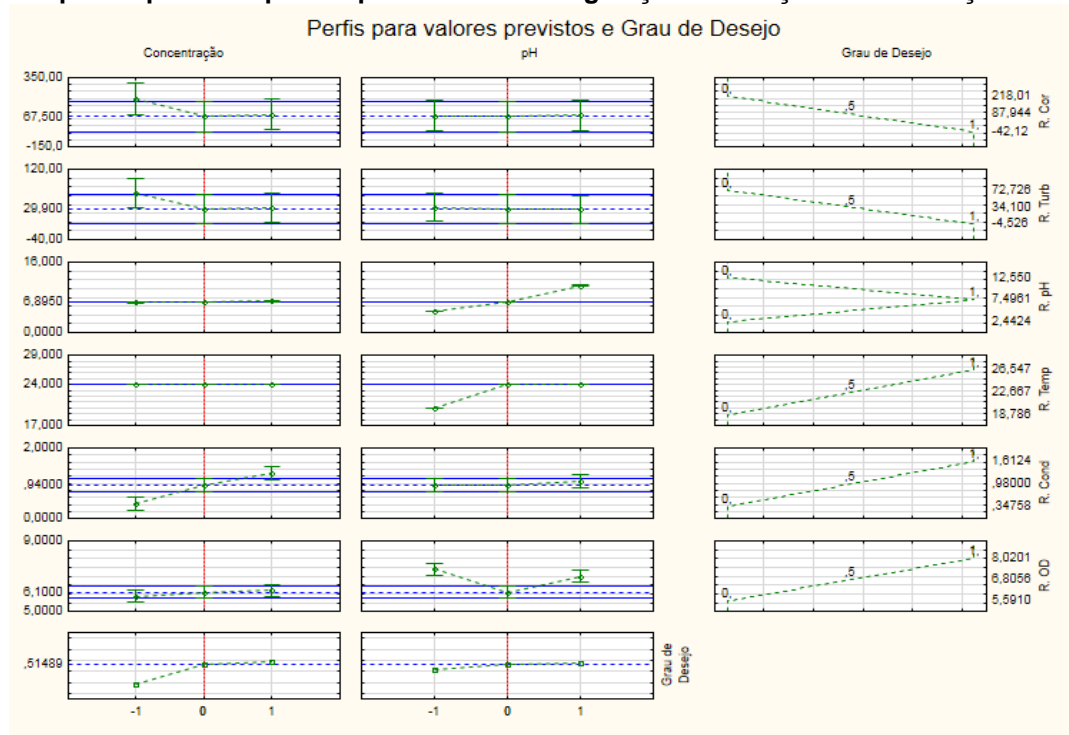


A Figura 13 mostra a interação entre as variáveis independentes nos eixos X e Y, e o eixo Z demonstra o grau de desejo, ou seja, mostra como a interação entre as variáveis independentes influenciam na obtenção dos resultados desejados.

Nesse caso o gráfico de superfície não demonstra diferenciação significativa nas respostas entre a interação das variáveis independentes concentração e pH, apenas isoladamente. Já que para o teste de Wilks na Figura 12 essa interação não apresentou valor de “p” menor que 0,05.

Na Figura 14 é possível ver os pontos de melhor valor para cada variável independente, quando analisadas separadamente.

**Figura 14- Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o ponto 1 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.**



Fonte: Statistica 13.1.

De acordo com a Figura 14 o ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 0 ( $6 \text{ mg.L}^{-1}$ ), e o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (6,8). O que é confirmado quando se compara essas análises com as análises individuais de remoção de cor e turbidez no item 5.2.1 e 5.2.2, onde os ensaios 5 e 14 do ponto 1 estão entre os ensaios com melhor valor de remoção de cor e turbidez.

#### 5.4.2 Ponto 1 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração

Na Figura 15 são mostrados os resultados do teste multivariados de significância (teste estatístico de Wilks).

**Figura 15- Teste de significância (Wilks) para o ponto 1 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**

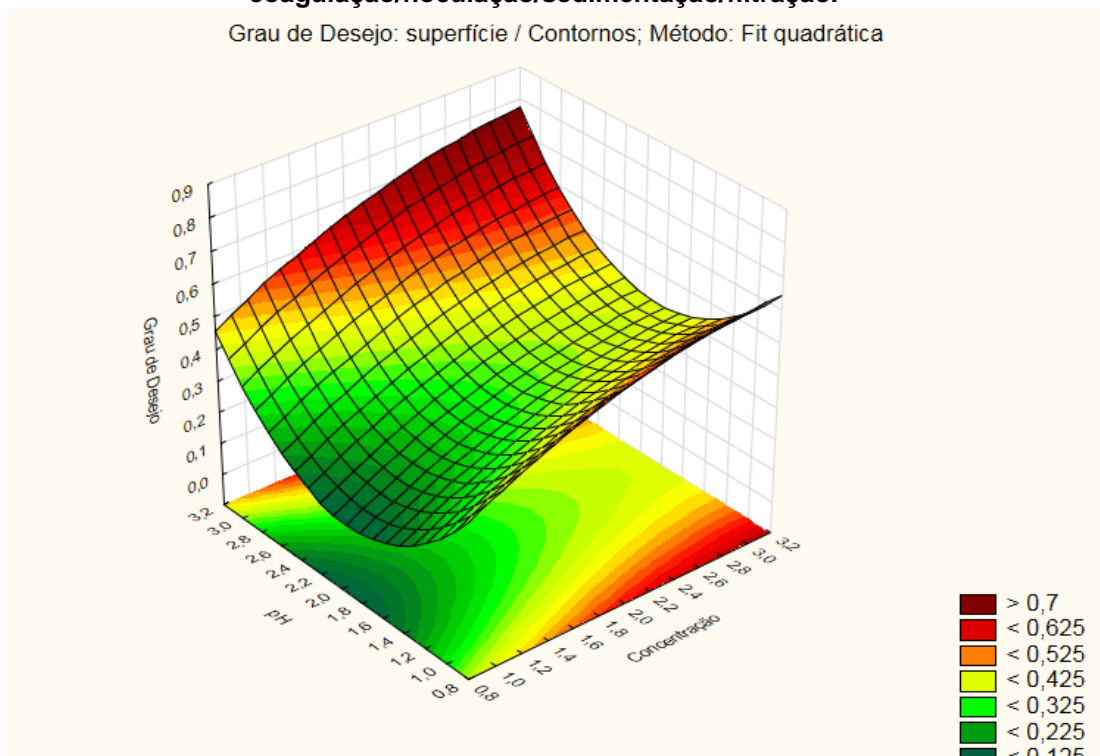
Testes multivariados de Significância (Ponto 2 C/F/S/F) parametrização restringiu-Sigma decomposição hipótese eficaz						
Efeito	Teste	Valor	F	Efeito df	Erro df	p
Interceptação	Wilks	0,000036	28015,17	5	5,00000	0,000000
Concentração	Wilks	0,001305	26,68	10	10,00000	0,000007
pH	Wilks	0,000004	515,19	10	10,00000	0,000000
Concentração*pH	Wilks	0,002381	4,54	20	17,53300	0,001193

Fonte: Statistica 13.1.

Com os dados obtidos após o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração do ponto 1 pode-se observar na Figura 15 os resultados para o teste estatístico de Wilks. O valor de “p” é menor que 0,05 para as variáveis concentração, pH e para interação entre as variáveis concentração e pH, considerando um nível de significância de 5%.

A Figura 16 demonstra os resultados do gráfico de superfície para a interação entre as variáveis concentração e pH.

**Figura 16- Gráficos de superfície de resposta para o ponto 1 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**

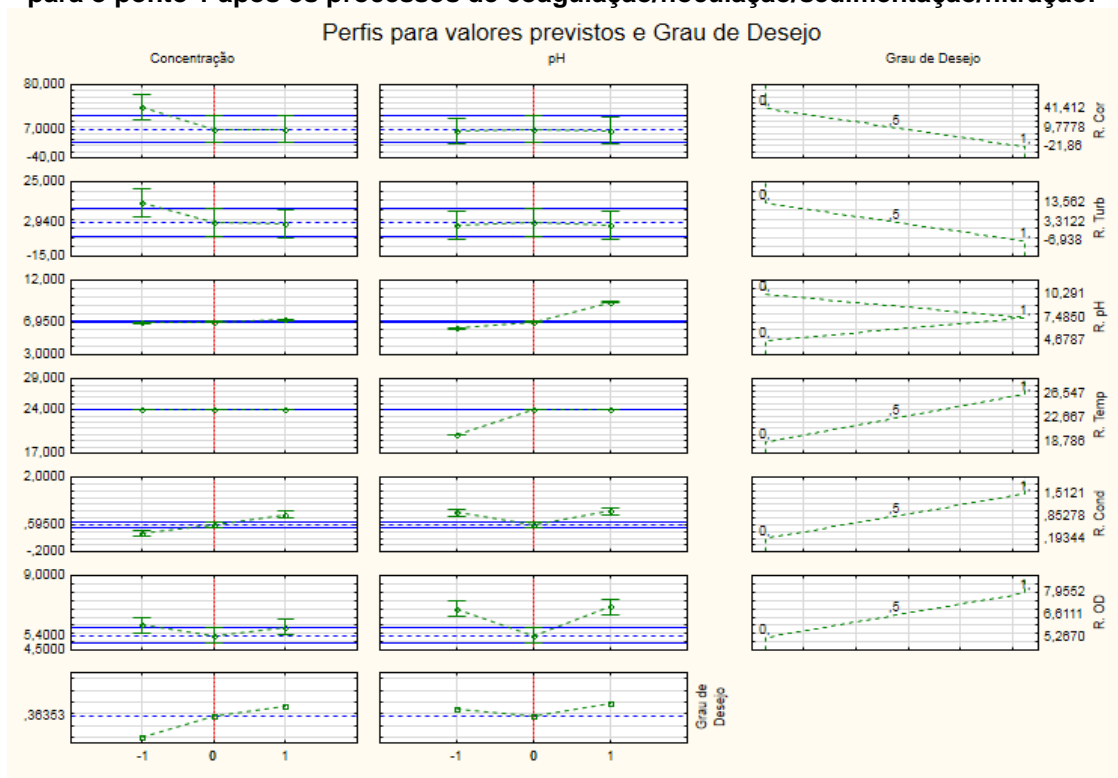


Fonte: Statistica 13.1.

Pode-se observar na Figura 16 que a superfície se encaminha para valores mais altos quando os valores de concentração tendem a valores mais altos, já para o pH os valores de desejo mais altos são observados nas extremidades, ou seja, valores de pH ácidos e pH básicos.

Na Figura 17 é possível ver os gráficos de ponto de melhor valor para cada variável independente, quando analisadas separadamente.

**Figura 17- Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o ponto 1 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**



Fonte: Statistica 13.1.

De acordo com a Figura 17 o melhor ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 0 ( $6 \text{ mg.L}^{-1}$ ), e o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (6,8). O que é confirmado quando se compara essas análises com as análises individuais de remoção de cor e turbidez no item 5.2.1 e 5.2.2, onde os ensaios 5 e 14 do ponto 1 estão entre os ensaios com melhor valor de remoção de cor e turbidez.



### 5.4.3 Ponto 2 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação

Na Figura 18 são mostrados os resultados do teste multivariados de significância (teste estatístico de Wilks).

**Figura 18- Teste de significância (Wilks) para o ponto 2 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.**

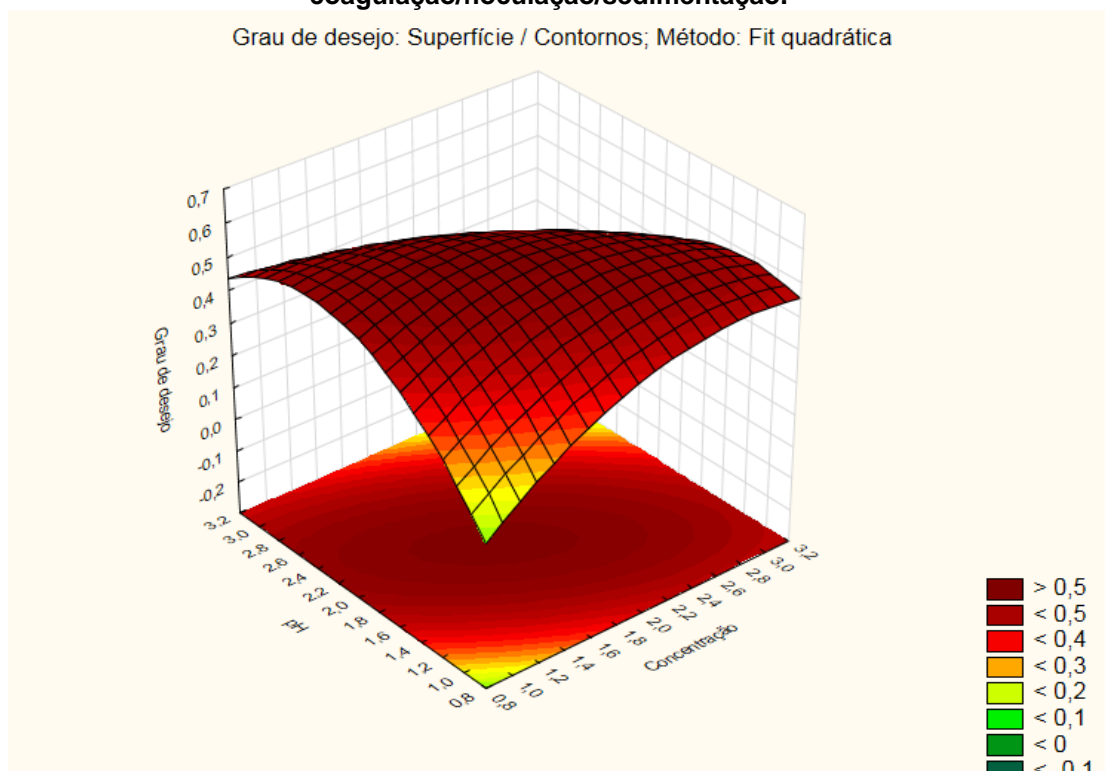
Testes multivariados de Significância (Ponto 2 C/F/S) parametrização restringiu-Sigma decomposição hipótese eficaz						
Efeito	Teste	valor	F	Efeito df	Erro df	p
Interceptação	Wilks	0,000004	243155,6	5	5,00000	0,000000
Concentração	Wilks	0,008767	9,7	10	10,00000	0,000656
pH	Wilks	0,000001	885,1	10	10,00000	0,000000
Concentração*pH	Wilks	0,026779	1,7	20	17,53300	0,124963

Fonte: Statistica 13.1.

Com os dados obtidos após os processos de coagulação/floculação/sedimentação do ponto 2 pode-se observar na Figura 18 os resultados para o teste estatístico de Wilks. O valor de “p” é menor que 0,05 para as variáveis concentração e pH, considerando um nível de significância de 5%.

A Figura 19 demonstra os resultados do gráfico de superfície para a interação entre as variáveis concentração e pH.

**Figura 19- Gráficos de superfície de resposta para o ponto 2 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.**

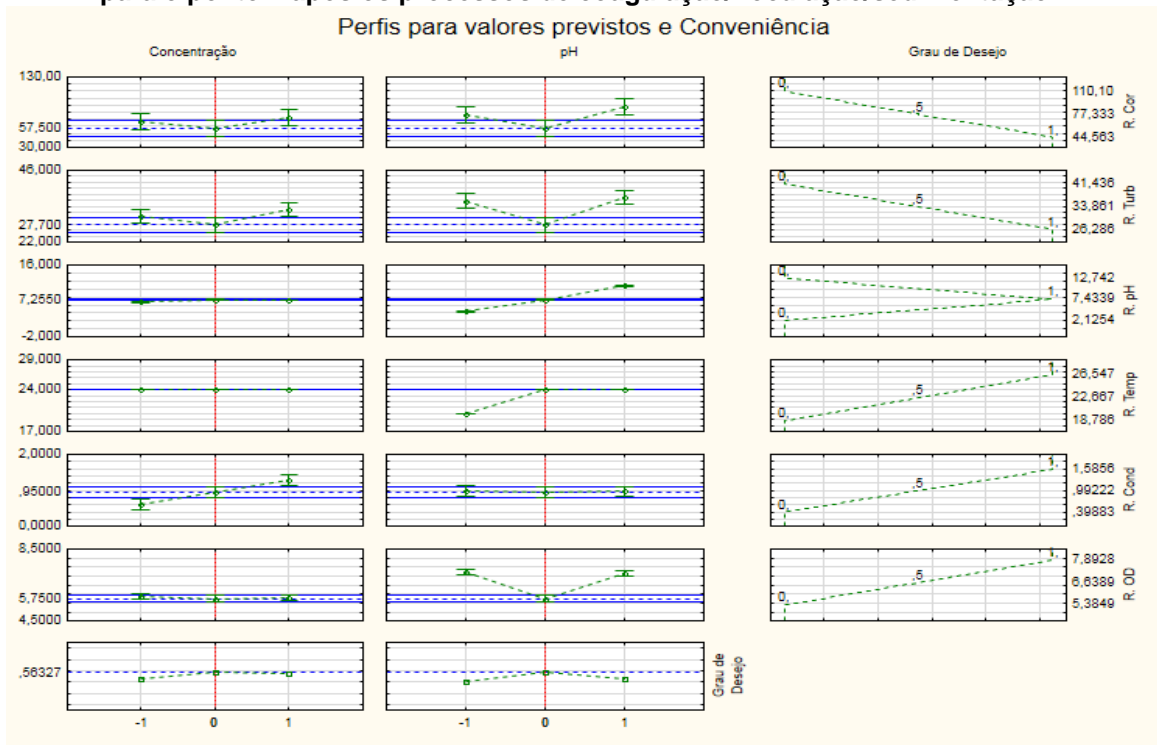


Fonte: Statistica 13.1.

De acordo com a Figura 18 a interação das variáveis concentração e pH não são significativas a um nível de 5%, portanto o gráfico de superfície (Figura 19) nesse caso não demonstra diferenciação significativa nas respostas entre a interação das variáveis independentes, apenas isoladamente.

Na Figura 20 é possível ver os gráficos de ponto de melhor valor para cada variável independente, quando analisadas separadamente.

**Figura 20- Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o ponto 2 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.**



Fonte: Statistica 13.1.

De acordo com a Figura 20 o melhor ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 0 ( $6 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (6,8). O que é confirmado quando se compara essas análises com as análises individuais de remoção de cor e turbidez no item 5.2.1 e 5.2.2, onde os ensaios 5 e 14 do ponto 2 são os ensaios com melhor valor de remoção de cor e turbidez.

#### 5.4.4 Ponto 2 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração

Na Figura 21 são mostrados os resultados do teste multivariados de significância (teste estatístico de Wilks).

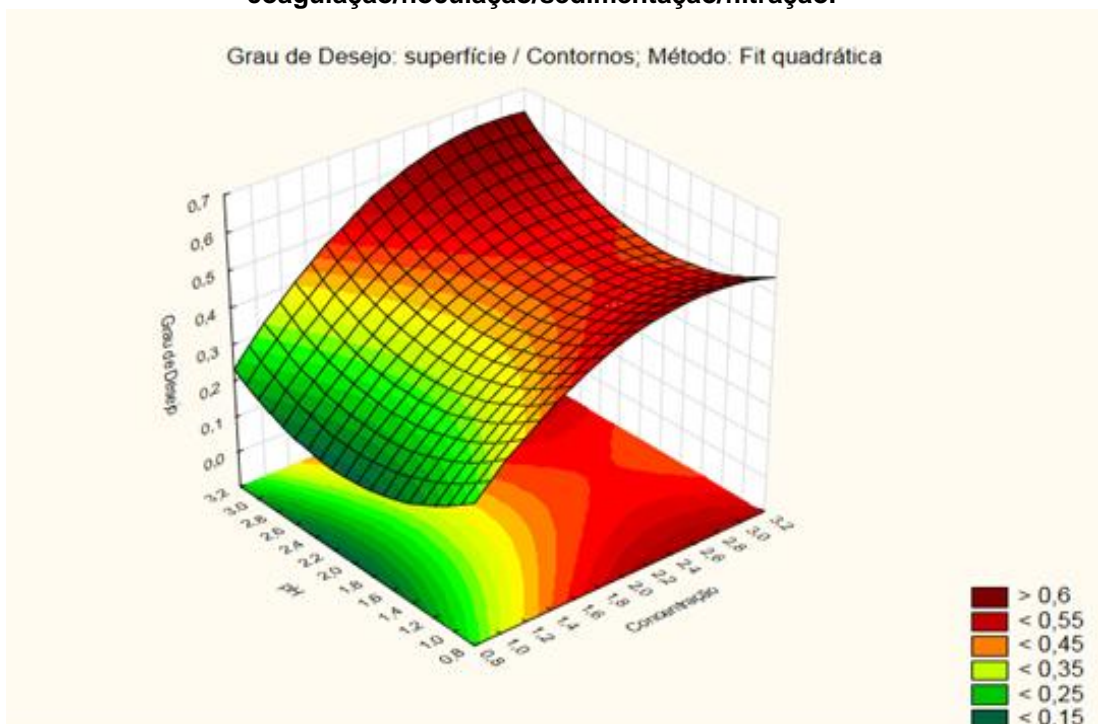
**Figura 21- Teste de significância (Wilks) para o ponto 2 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**

Testes multivariados de Significância (Ponto 2 C/F/S/F) parametrização restringiu-Sigma decomposição hipótese eficaz						
Efeito	Teste	Valor	F	Efeito df	Erro df	p
Interceptação	Wilks	0,000003	295028,8	5	5,00000	0,000000
Concentração	Wilks	0,001726	23,1	10	10,00000	0,000014
pH	Wilks	0,000001	910,6	10	10,00000	0,000000
Concentração*pH	Wilks	0,006765	3,1	20	17,53300	0,010650

Fonte: Statistica 13.1.

Com os dados obtidos após o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração do ponto 2 pode-se observar na Figura 21 os resultados para o teste estatístico de Wilks. O valor de “p” é menor que 0,05 para as variáveis concentração, pH e para a interação entre as variáveis concentração e pH, considerando um nível de significância de 5%. A Figura 22 demonstra os resultados do gráfico de superfície para a interação entre as variáveis concentração e pH.

**Figura 22- Gráficos de superfície de resposta para o ponto 2 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.**

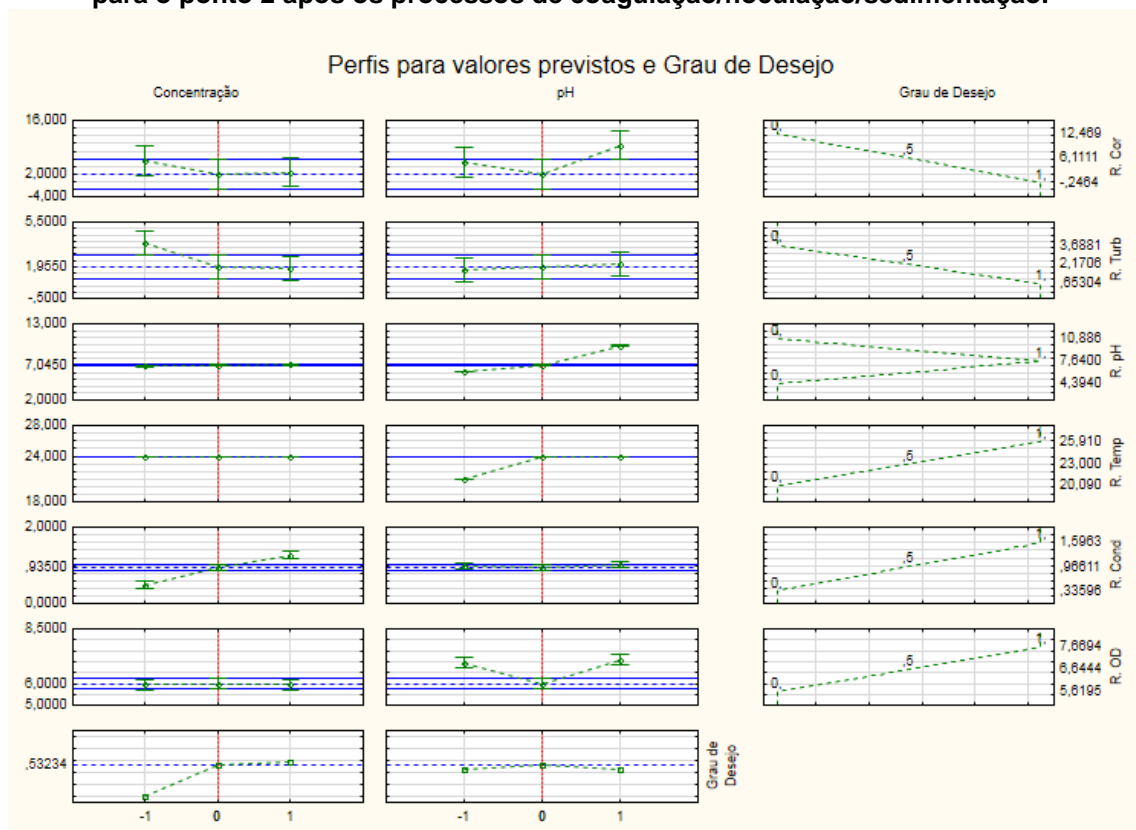


Fonte: Statistica 13.1.

Observa-se na Figura 22 que a superfície se encaminha para valores mais altos quando os valores de concentração tendem a valores mais altos, já para o pH os valores de desejo mais altos são observados nas extremidades, ou seja, valores de pH ácidos e pH básicos. Porém, é possível verificar que o coagulante é eficiente em uma ampla faixa de pH.

Na Figura 23 é possível ver os gráficos de ponto de melhor valor para cada variável independente, quando analisadas separadamente.

**Figura 23- Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o ponto 2 após os processos de coagulação/floculação/sedimentação.**



Fonte: Statistica 13.1.

De acordo com a Figura 23 o melhor ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 0 ( $6 \text{ mg.L}^{-1}$ ), e ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 0 (6,8). O que é confirmado quando se compara essas análises com as análises individuais de remoção de cor e turbidez no item 5.2.1 e 5.2.2, onde os ensaios 5 e 14 do ponto 2 são os ensaios com melhor valor de remoção de cor e turbidez.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados do presente trabalho mostraram que a utilização de coagulante orgânico proveniente da semente de *Moringa oleifera* utilizado em solução salina (NaCl 1M) foi muito eficiente na remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez.

Considerando-se a análise individual de cada parâmetro e com o auxílio da análise do planejamento experimental foi possível verificar que para o tratamento físico e químico da água do lago igapó II a melhor concentração encontrada foi a de 6 mg.L<sup>-1</sup> e o melhor valor de pH foi o de pH neutro (6,8).

Além disso, ainda em relação ao pH foi possível comprovar a eficiência desse coagulante orgânico na clarificação da água em uma ampla faixa de pH além de não alterar o pH do meio com a sua utilização.

Para os parâmetros de cor aparente e turbidez, todos os ensaios, ao final do tratamento completo, apresentaram remoção de quase 100%. Sendo que apenas o ensaio 2 do ponto 1 não atenderam os VMP da Portaria 2914/2011.

Nas análises de sólidos totais algumas falhas técnicas e de equipamentos fizeram com que os resultados apresentados ficassem fora da realidade, afetando as análises desse parâmetro. Mesmo assim todos os resultados para esse parâmetro ficaram dentro do exigido pela Portaria 2914/2011.

Também pode ser observado que não houve muita alteração nos resultados de temperatura e oxigênio dissolvido. A temperatura se manteve próxima à temperatura da água bruta, apresentando temperatura máxima de 24 °C e temperatura mínima de 20°C durante e após os processos de tratamento. Os resultados de OD também se mantiveram próximo ao da água bruta, variando levemente para mais e para menos. Esses parâmetros não foram comparados com a Portaria 2914/2011, já que Portaria 2914/2011, visto que não há valores pré-estabelecidos para esses parâmetros.

É possível dizer que a utilização do coagulante orgânico *Moringa oleifera* alteram significativamente os valores de condutividade elétrica em relação aos valores da água bruta. O aumento do valor da condutividade elétrica é proporcional ao aumento do valor da concentração da solução do coagulante.

Em relação aos diferentes processos de tratamento verificou-se que os processos de coagulação/floculação/sedimentação e o processo de filtração são

complementares e essenciais para eficiência do tratamento de água em corpos lânticos, visto que juntos foram capazes de remover valores acima de 99% nos parâmetros cor aparente e turbidez além de manter os valores de pH, temperatura e OD entre os valores máximos permitidos pela Portaria 2914/2011.

Os resultados encontrados da água bruta e após o tratamento completo para cada ponto nos faz entender sobre o comportamento uniforme ao longo da extensão do lago Igapó II. Isso porque os parâmetros analisados não apresentaram nenhuma grande variação de um ponto para outro. Isso leva a compreensão de que para qualquer ponto de coleta tenha-se as mesmas circunstâncias e que correspondem ao comportamento real do lago.

Com isso conclui-se que a proteína extraída da semente da *Moringa oleifera* utilizada numa solução salina como coagulante orgânico pode ser considerada vantajosa na intenção de melhorar os processos de tratamento de água para abastecimento, fazendo com que se torne uma alternativa mais sustentável e biodegradável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. C. **Avaliação do Índice de Qualidade da Água na lagoa dos Patos**. 2013. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ANA – Agência Nacional de águas. **Parâmetros de Qualidade da água**. 2011. Disponível em:

<[http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Cursos\\_Anexos/Attachments/32/Par%C3%A2metros.pdf](http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Cursos_Anexos/Attachments/32/Par%C3%A2metros.pdf)> Acesso em: 24 de junho de 2016.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22<sup>a</sup> ed. Washington, 2012.

ARANTES, C. C. et al. **Diferentes formas da semente de *Moringa oleifera* no tratamento de água**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.19, n.3, p.266–272, 2015. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n3/1415-4366-rbeaa-19-03-0266.pdf>>. Acesso em: 08 agosto 2016.

BATISTA, R. O. et al. **Tecnologias limpas aplicadas ao tratamento de água superficial no semiárido brasileiro**. Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.9, N.16; p. 2013

BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G.; FILHO, S. M. **Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato**. Horticultura Brasileira, v.22, n.2, p.295-299, 2004.

BORGHETTI, N. R. BORGHETTI, J. R.; FILHO, E. F. R. **A integração das águas: Revelando o verdadeiro aquífero guarani**. [S.l.],2001. 275 p.

BOTELHO, J. C. **Tratamento de água de corpo lântico com uso de coagulante orgânico e inorgânico – lago Igapó II**. 2016. 60p. Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

BRASIL- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 357**, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em:

<71L71P://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 22 de fevereiro 2016.

BRASIL- Portaria do Ministério da Saúde. **Resolução n. 2914**, de 14 de dezembro de 2011, Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade **Diário Oficial da União**. Brasília.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <71L71P://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em 07 de abril de 2016.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília. Funasa, 2014. 112 p.

BRITO, R. O. **Qualidade da água e bacia hidrográfica**. Gestão Ambiental e Futuro. 2009. Disponível em: < <http://roosanee2.blogspot.com.br/2009/08/qualidade-da-aqua-e-bacia-hidrografica.html> >. Acesso em: 08 agosto 2016.

CAPANEMA, S. P. **Instrumentação e Controle do Processo de Coagulação em uma Estação de Tratamento de Água**. Belo Horizonte, 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

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

CLAUDINO, C. R. **Avaliação da eficiência na remoção de ferro e manganês em estação de tratamento de água pelo método de flotação por ar disperso. Estudo de caso: ETA da comunidade praia paraíso, torres, RS**. Criciúma. 2009. .



Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental)  
Universidade do Extremo Sul Catarinense.

DI BERNARDO, L. et al. **Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração direta**. Luiz Di Bernardo (coordenador) – Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. Projeto PROSAB 498 p.

DI BERNARDO, Luis. **Algas e suas Influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1995. 127p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2ª Edição. São Carlos: Rima, 2005.

FREITAS, D. B. **Estudo de melhorias dos sistemas de cloração da água de abastecimento na corsan pela instalação de evaporadores de cloro e lavadores de gases**. Porto Alegre. 2011. Trabalho de diplomação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GIRARD, L. **Tratamento de águas de abastecimento coagulação e mistura rápida**. 2013. Dissertação (Graduação em Engenharia Sanitária) Universidade Federal Do Pará - Instituto De Tecnologia Faculdade De Engenharia Sanitária Ambiental. Pará. 2013

GOMES A. S.; CLAVICO, E. **Propriedades Físico-Químicas da Água**. Universidade Federal Fluminense. Departamento de Biologia Marinha. 2005. Disponível em: <<http://www.uff.br/ecosed/PropriedadesH2O.pdf>> Acesso em: 29 de Setembro de 2015

GRASSI, M. T. **As Águas do Planeta Terra**: 2001. Disponível em: <<http://qnesc.sbj.org.br/online/cadernos/01/aguas.pdf>>. Acesso em: 23 mar/2016

HIGASHI, V. Y. **Uso de Coagulante químico e orgânico no tratamento de água proveniente de sistema lêntico - Estudo de caso – Lago Igapó II**. 85 f. 2015. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

LORENZO, M. P. **Caracterização dos impactos ambientais negativos e medidas mitigatórias do processo de assoreamento do lago Igapó, Londrina – PR**. 2011. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. Londrina, Centro Universitário Filadélfia – UNIFIL. 2011, Londrina, 2011. 68 p.

MACÊDO, J. A. B. **Águas & Águas**: 3 ed. Belo Horizonte. MG: CRQ-MG, 2007. 1048p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde**, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde) ISBN 85-334-1240-1 1. Controle da qualidade da água. 2. Vigilância sanitária de ambientes. I. Título. II. Série.

MULLER, A. C. **Introdução à Ciência Ambiental**. Curitiba: PUCPR, 2002. V. 01. 98p. Disponível em: <  
[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/impactos\\_sobre\\_as\\_aguas/a\\_origem\\_da\\_poluicao\\_hidrica.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/impactos_sobre_as_aguas/a_origem_da_poluicao_hidrica.html) > Acesso em: 22 fev/ 2016.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. **Moringa oleifera seeds for softening hardwater**. Water Research, vol. 29 (4), 1995, 1099-1104 p.

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

OKUDA, T. et al. **Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed**. Water Res. V.33, n.15, p.3373-3378. 1999.

OLIVEIRA, B. S. S. **Qualidade da água associada à vulnerabilidade climática e riscos sanitários no baixo Rio Jarí- AP. Macapá**. 2013. 60f. Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Pró-Reitoria de Ensino de Graduação, Curso de Ciências Ambientais.

OLIVEIRA, L. L. C. et al. **Análise da taxa de remoção de turbidez em águas naturais utilizando-se extrato de sementes de Moringa oleifera Lam**. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.1, n.1, p.204- 210, Julho, 2011.

PATERNIANI, J. E. S.; MONTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. **Uso de sementes de Moringa oleifera para tratamento de águas superficiais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. V.13, n.6, p.765–771, 2009.

PAVENELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. São Carlos, 2001. 216p.

Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PEDROZO, C. S.; KAPUSTA, S. C. **Indicadores ambientais em ecossistemas aquáticos. Porto Alegre** : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2010. 72 p.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como Alternativa ao uso do Sulfato de Alumínio no Tratamento de água.** 2008. 78f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RIBEIRO, A. T. A. **Aplicação Da *Moringa Oleifera* No Tratamento De Água Para Consumo Humano: Remoção de poluentes por coagulação-floculação.** 2010. 69p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental), Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. 2010.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada.** São Paulo: BLUCHER, 1991. 332p

ROVERI, V. **Recursos Hídricos Eutrofizados: Descrição de métodos preventivos e corretivos para sua recuperação.** 2001. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS. UNAERP. CAMPUS GUARUJÁ.

SAAE. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Sistemas de Tratamento de Água.** Aracruz. 2006. Disponível em:  
<[http://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento\\_de\\_Agua.pdf](http://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf)> Acesso em: 05 jun de 2016.

SAMAE – **Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto.** 2010. 35p. Disponível em:<  
<http://www.samaecaxias.com.br/Concurso/DownloadArquivoConcurso/Apostila%20Operador%20ETAE.pdf/>> Acesso em 24 de junho de 2016.

SANTOS, F. R. **Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí, Estado do Paraná, a Partir da Utilização de Parâmetros Físico, Químicos e Microbiológicos.** 2013. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

SCHOENHALS, M. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO APLICADO AO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTES DE ABATEDOURO AVÍCOLA.** 2006. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) -

Universidade Federal De Santa Catarina Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Química. Florianópolis. 2006.

SOARES, D. H. G. **Ecosystemas no contexto ecológico**. Pernambuco. Monografia (Graduação) Centro de Ensino Superior Arcoverde, 2005.

SORIANI, M. **Eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento**. 2015. 74 p. Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

SOUZA, D. F. **CONCEITO DE SISTEMAS HIDROLÓGICOS LÊNTICOS NATURAIS E SUAS ESCASSAS DIFERENCIAÇÕES NA LITERATURA BRASILEIRA**. X Fórum Ambiental da Alta Paulista, São Paulo, v. 10, n. 2, 2014, 75L. 483-489. 2014. Disponível em:  
<[http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/viewFile/893/97](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/viewFile/893/97)>. Acesso em: 20 out/ 2015.

TREVISAN, T. S. **Análise do coagulante Tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal**. 130 f. 2014. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Lagos e Reservatórios**. Qualidade da Água: O Impacto da Eutrofização. V.3. São Carlos: IIE, 2002.

VANACÔR, R. N. **Avaliação do Coagulante Orgânico veta Organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento Público**. Porto Alegre. 2005. Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VAZ, L. G. et al. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia**. *Eclética Química*. São Paulo vol.35. n.4. 2010. Disponível em:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-46702010000400006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702010000400006)>  
> Acesso em: 05 jun. de 2016.

VAZ, L. G. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento o efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 2009. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

VERSIANI, L. C. F. **Caracterização das propriedades coagulantes e adsorventes de íons Cd(II) em soluções aquosas apresentadas por biomateriais derivados da *Moringa oleifera***. 2008. 96p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Ambiental) Universidade de Ouro Preto. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Mestrado em Engenharia Ambiental. Ouro preto. 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. 236p. v.1.

## APÊNDICE A – Dados de análises.

**Tabela A1- Resultados após tratamento completo do ponto 1.**

Planejamento Estatístico				Resposta após sedimentação							Resposta após filtração							Ef. de remoção Bru/Sed			Ef. De remoção Sed/fil			Ef. de remoção Bru/ fil		
Ensaio	Réplica	Conc.	pH	Cor	Turb.	pH	Sóli.	Temp.	Cond.	OD	Cor	Turb.	pH	Sóli.	Temp.	Cond.	OD	Cor	Turb.	Sóli.	Cor	Turb.	Sóli.	Cor	Turb.	Sóli.
1	1	-1	-1	57	22,5	4,79	740	20	0,62	7,6	5	2,17	6,1	500	20	0,58	7,1	90,81%	88,10%	-85,00%	91,23%	90,36%	32,43%	99,19%	98,85%	-25,00%
2	1	-1	0	344	110	6,8	290	24	0,27	5,6	72	23,7	6,82	190	24	0,24	5,7	44,52%	41,80%	27,50%	79,07%	78,45%	34,48%	88,39%	87,46%	52,50%
3	1	-1	1	73	26,7	10,6	-90	24	0,74	7	11	1,71	9,51	-237	24	0,64	6,8	88,23%	85,87%	122,50%	84,93%	93,60%	-163,33%	98,23%	99,10%	159,25%
4	1	0	-1	77	33,8	4,88	920	20	0,93	7,5	4	1,7	6,15	670	20	0,94	7	87,58%	82,12%	-130,00%	94,81%	94,97%	27,17%	99,35%	99,10%	-67,50%
5	2	0	0	70	31,8	6,9	500	24	0,94	6,1	7	2,99	6,9	370	24	0,6	5	88,71%	83,17%	-25,00%	90,00%	90,60%	26,00%	98,87%	98,42%	7,50%
6	2	0	1	73	29,3	10,7	210	24	1,06	6,9	5	1,66	9,36	-120	24	1	7,2	88,23%	84,50%	47,50%	93,15%	94,33%	157,14%	99,19%	99,12%	130,00%
7	1	1	-1	77	35,7	4,78	1010	20	1,1	7,5	4	1,7	6,15	670	20	1,28	7,2	87,58%	81,11%	-152,50%	94,81%	95,24%	33,66%	99,35%	99,10%	-67,50%
8	1	1	0	72	33,5	7,1	660	24	1,26	6,2	5	2,39	7,15	490	24	0,94	5,7	88,39%	82,28%	-65,00%	93,06%	92,87%	25,76%	99,19%	98,74%	-22,50%
9	2	1	1	85	32	10,9	330	24	1,42	6,7	4	1,69	9,22	170	24	1,38	6,9	86,29%	83,07%	17,50%	95,29%	94,72%	48,48%	99,35%	99,11%	57,50%
10	2	-1	-1	56	26,9	4,79	660	20	0,63	7,4	4	1,91	6	600	20	0,62	7,3	90,97%	85,77%	-65,00%	92,86%	92,90%	9,09%	99,35%	98,99%	-50,00%
11	2	-1	0	50	22,9	6,86	410	24	0,59	6,1	15	3,7	6,86	280	24	0,45	6,3	91,94%	87,88%	-2,50%	70,00%	83,84%	31,71%	97,58%	98,04%	30,00%
12	2	-1	1	66	27,7	10,6	50	24	1,06	6,9	5	1,91	9,46	-250	24	0,65	7,1	89,35%	85,34%	87,50%	92,42%	93,10%	600,00%	99,19%	98,99%	162,50%
13	2	0	-1	73	34,6	4,8	780	20	0,95	7,3	4	1,89	6,2	750	20	0,96	7	88,23%	81,69%	-95,00%	94,52%	94,54%	3,85%	99,35%	99,00%	-87,50%
14	1	0	0	65	28	6,89	550	24	0,94	6,1	7	2,89	7	380	24	0,59	5,8	89,52%	85,19%	-37,50%	89,23%	89,68%	30,91%	98,87%	98,47%	5,00%
15	1	0	1	82	27,1	10,8	270	24	1,08	7,1	4	1,7	9,3	-40	24	0,98	7	86,77%	85,66%	32,50%	95,12%	93,73%	114,81%	99,35%	99,10%	110,00%
16	2	1	-1	72	32	4,77	960	20	1,31	7,1	5	1,7	6,14	740	20	1,31	7	88,39%	83,07%	-140,00%	93,06%	94,69%	22,92%	99,19%	99,10%	-85,00%
17	2	1	0	93	31,4	7,15	690	24	1,32	6,2	10	2,83	7,22	460	24	0,86	6,1	85,00%	83,39%	-72,50%	89,25%	90,99%	33,33%	98,39%	98,50%	-15,00%
18	1	1	1	98	27,9	10,9	190	24	1,42	7,2	5	1,38	9,19	140	24	1,33	6,8	84,19%	85,24%	52,50%	94,90%	95,05%	26,32%	99,19%	99,27%	65,00%

Fonte: Próprio autor.

Tabela A2- Resultados após tratamento completo do ponto 2.

Planejamento Estatístico				Resposta após sedimentação							Resposta após filtração							Ef. de remoção Bru/Sed			Ef. De remoção Sed/fil			Ef. de remoção Bru/ fil		
Ensaio	Réplica	Conc.	pH	Cor	Turb.	pH	Sóli.	Temp.	Cond.	OD	Cor	Turb.	pH	Sóli.	Temp.	Cond.	OD	Cor	Turb.	Sóli.	Cor	Turb.	Sóli.	Cor	Turb.	Sóli.
1	1	-1	-1	77	33,8	4,48	500	20	0,61	7,1	7	1,78	6	430	21	0,62	7,1	84,44%	81,73%	9,09%	90,91%	94,73%	14,00%	98,59%	99,04%	21,82%
2	1	-1	0	66	31,6	6,7	400	24	0,6	5,9	9	5	6,9	280	24	0,39	6	86,67%	82,92%	27,27%	86,36%	84,18%	30,00%	98,18%	97,30%	49,09%
3	1	-1	1	67	33,1	10,5	280	24	0,79	7	9	2,64	9,96	40	24	0,69	7,1	86,46%	82,11%	49,09%	86,57%	92,02%	85,71%	98,18%	98,57%	92,73%
4	1	0	-1	75	35,2	4,46	660	20	0,99	7,2	2	1,72	6,1	710	21	0,96	7	84,85%	80,97%	-20,00%	97,33%	95,11%	-7,58%	99,60%	99,07%	-29,09%
5	2	0	0	57	27,9	7,4	500	24	0,94	5,8	2	2,1	6,97	560	24	0,93	6,1	88,48%	84,92%	9,09%	96,49%	92,47%	-12,00%	99,60%	98,86%	-1,82%
6	2	0	1	89	35,8	10,7	410	24	1,06	7,1	8	2,08	9,86	370	24	1,02	7,2	82,02%	80,65%	25,45%	91,01%	94,19%	9,76%	98,38%	98,88%	32,73%
7	1	1	-1	66	30,8	4,43	860	20	1,13	7,2	7	1,88	6,15	860	21	1,34	6,8	86,67%	83,35%	-56,36%	89,39%	93,90%	0,00%	98,59%	98,98%	-56,36%
8	1	1	0	68	32,3	7,17	700	24	1,27	5,8	2	1,84	7,1	700	24	1,26	6	86,26%	82,54%	-27,27%	97,06%	94,30%	0,00%	99,60%	99,01%	-27,27%
9	2	1	1	122	41,7	10,9	650	24	1,42	6,9	8	1,92	9,65	560	24	1,34	6,8	75,35%	77,46%	-18,18%	93,44%	95,40%	13,85%	98,38%	98,96%	-1,82%
10	2	-1	-1	73	33,2	4,49	460	20	0,65	7,2	6	1,78	6,05	460	21	0,65	7,2	85,25%	82,05%	16,36%	91,78%	94,64%	0,00%	98,79%	99,04%	16,36%
11	2	-1	0	68	29,3	6,92	430	24	0,62	5,8	2	2,64	6,91	370	24	0,59	5,9	86,26%	84,16%	21,82%	97,06%	90,99%	13,95%	99,60%	98,57%	32,73%
12	2	-1	1	91	34,2	10,6	280	24	0,73	6,8	11	1,98	9,94	240	24	0,63	6,7	81,62%	81,51%	49,09%	87,91%	94,21%	14,29%	97,78%	98,93%	56,36%
13	2	0	-1	78	36,5	4,45	680	20	0,98	7,3	8	1,86	6,16	580	21	0,99	6,9	84,24%	80,27%	-23,64%	89,74%	94,90%	14,71%	98,38%	98,99%	-5,45%
14	1	0	0	58	27,5	7,11	510	24	0,96	5,7	2	1,81	7,12	570	24	0,94	5,9	88,28%	85,14%	7,27%	96,55%	93,42%	-11,76%	99,60%	99,02%	-3,64%
15	1	0	1	88	37,8	10,9	440	24	0,89	7,2	11	2,39	9,76	330	24	1,01	7	82,22%	79,57%	20,00%	87,50%	93,68%	25,00%	97,78%	98,71%	40,00%
16	2	1	-1	69	35,2	4,5	870	20	1,44	6,9	6	1,9	6,06	810	21	1,39	7,1	86,06%	80,97%	-58,18%	91,30%	94,60%	6,90%	98,79%	98,97%	-47,27%
17	2	1	0	76	33,6	7,22	720	24	1,3	5,8	3	1,83	7,22	720	24	1,29	5,9	84,65%	81,84%	-30,91%	96,05%	94,55%	0,00%	99,39%	99,01%	-30,91%
18	1	1	1	104	40	10,8	650	24	1,48	6,8	7	1,92	9,61	630	24	1,35	6,9	78,99%	78,38%	-18,18%	93,27%	95,20%	3,08%	98,59%	98,96%	-14,55%

Fonte: Próprio autor.