

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LARISSA BOTURA DA SILVA

**COAGULANTE ORGÂNICO *Moringa oleifera* COMO ALTERNATIVA
AO USO DO COAGULANTE INORGÂNICO SULFATO DE ALUMÍNIO
NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2017

LARISSA BOTURA DA SILVA

**COAGULANTE ORGÂNICO *Moringa oleifera* COMO ALTERNATIVA
AO USO DO COAGULANTE INORGÂNICO SULFATO DE ALUMÍNIO
NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Câmpus Londrina, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina
Pereira.

**LONDRINA
2017**



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



TERMO DE APROVAÇÃO

Coagulante orgânico *Moringa oleifera* como alternativa ao uso do
coagulante inorgânico sulfato de alumínio no tratamento de água

por

Larissa Botura da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 24 de novembro de 2017
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.

Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira
(UTFPR)

Prof. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família, por todo amor, confiança e incentivo. Em especial minha mãe Janaina por ser minha base e exemplo de mulher e pelo incondicional apoio em todos os momentos e meus irmãos Maria Alice e Murilo por estarem sempre comigo. Sem vocês nada disso seria possível.

Ao meu namorado e melhor amigo, Junior, pela parceria, paciência e todo estímulo que me permitiu chegar até aqui, estando sempre ao meu lado e tornando a minha vida mais feliz.

Agradeço a todos os meus amigos de dentro e fora da Universidade, que tanto me ajudaram ao longo desses anos, em especial a Barbara e a Ingrid, que estiveram comigo desde o começo, me ouvindo, apoiando e incentivando em todas as situações. O “nosso trio” vai continuar presente sem dúvidas.

Agradeço imensamente a minha orientadora, Dra Edilaine Regina Pereira, por ter me escolhido, pela confiança e paciência, e, principalmente, por todos os ensinamentos proporcionados tanto profissional quanto pessoalmente.

Aos alunos Dandley, Felipe e Thaís pelo auxílio nas análises laboratoriais, ao Adriano pela ajuda nas análises microbiológicas e ao professor Joelmir André Borssoi pela disponibilidade e essencial auxílio nas análises estatísticas, tornando possível a execução deste trabalho.

Aos professores Edson Fontes de Oliveira e Joseane Debora Peruço Theodoro fico agradecida pela leitura e correção deste trabalho e por me permitirem aprimorá-lo.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a todos os professores de graduação do curso de Engenharia Ambiental pela dedicação, empenho e por todo o conhecimento adquirido durante essa jornada.

Muito obrigada!

RESUMO

SILVA, L. B. **Coagulante orgânico *Moringa oleifera* como alternativa ao uso do coagulante inorgânico sulfato de alumínio no tratamento de água em uma ETA.** 2017. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

Para que a água seja considerada adequada para consumo, atendendo aos padrões de potabilidade determinados pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, é necessário que ela passe por processos de tratamento que ocorrem dentro das estações de tratamento de água (ETAs) e, após isso, está apta a ser distribuída para a população. Um dos processos de tratamento é a coagulação, onde as partículas em suspensão são removidas com o auxílio de um coagulante, geralmente, os mais utilizados são de origem química, como o sulfato de alumínio. A *Moringa oleifera* é um coagulante orgânico utilizado para o tratamento de água, como uma das técnicas alternativas, em substituição ou complementação aos coagulantes inorgânicos. O objetivo deste trabalho foi determinar e comparar as características da água gerada no processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração utilizando tanto o coagulante orgânico *Moringa oleifera* quanto o coagulante inorgânico sulfato de alumínio. Por meio de ensaios com o equipamento Jar-Test seguidos de filtração direta com fluxo descendente utilizando filtros de areia, foram realizados três tratamentos (A1- Aplicação de 100% de *Moringa oleifera*; A2- Aplicação de 100% de sulfato de alumínio; e A3- Aplicação de 50% de *Moringa oleifera* + 50% de sulfato de alumínio). Os parâmetros analisados foram: condutividade elétrica; cor aparente; turbidez; pH; temperatura; coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*). Os resultados obtidos para a temperatura não apresentaram alteração significativa em nenhum tratamento permanecendo entre 24°C e 27°C, bem como o pH, que se manteve dentro dos padrões exigidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. A condutividade elétrica aumentou no tratamento A1, chegando a 0,40 mS.cm⁻¹, devido a liberação de espécies iônicas pelo coagulante orgânico, já para os demais tratamentos, o parâmetro se manteve equivalente ao valor obtido para a água bruta. Com relação a eficiência de remoção dos parâmetros analisados, o coagulante orgânico removeu após a filtração 73,37% da cor aparente, 94,74% da turbidez e 99,72% de *E. coli*. O tratamento A2 apresentou eficiência de remoção de 97,09% para cor aparente, 92,69% para turbidez e 89,54% para *E. coli*, enquanto o tratamento A3 removeu 42,28%, 91,46%, e 23,34%, respectivamente. Na análise estatística, a comparação das médias por meio do Teste de Tukey mostrou que, para a maioria dos ensaios, a interação entre Coagulante*Tempo não apresentou efeito significativo, indicando que o efeito do tempo não variou significativamente em função dos coagulantes, principalmente para o coagulante orgânico. Apesar de apresentarem eficiência de remoção bastante próximas, os resultados positivos tornam preferível o uso do coagulante orgânico ao invés do sulfato de alumínio, pois ele é de origem natural, possui baixo custo e não causa efeitos negativos ao meio ambiente e aos seres humanos, tornando-se uma potencial alternativa para o tratamento de água para abastecimento.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*, sulfato de alumínio, tratamento de água, potabilidade.

ABSTRACT

SILVA, L. B. **Organic coagulant *Moringa oleifera* as an alternative to the use of inorganic aluminum sulfate coagulant in the treatment of water in na ETA.** 2017. 60 p. Completion of Course Work (Degree in Environmental Engineering), Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2017.

In order for the water to be considered adequate for consumption, in accordance with the potability standards established by Ministry of Health Ordinance 2914/2011, it is necessary that it undergo treatment processes that occur within the water treatment plants (ETAs) and, after it is apt to be distributed to the population. One of the treatment processes is coagulation, where the particles in suspension are removed with the aid of a coagulant, usually the most used are of chemical origin, such as aluminum sulfate. *Moringa oleifera* is an organic coagulant used for the treatment of water as one of the alternative techniques, replacing or complementing inorganic coagulants. The objective of this work was to determine and compare the characteristics of the water generated in the coagulation/flocculation/sedimentation/filtration process using both the *Moringa oleifera* organic coagulant and the inorganic aluminum sulfate coagulant. By means of Jar-Test tests followed by direct down-flow filtration using sand filters, three treatments were performed (A1- Application of 100% of *Moringa oleifera*; A2- Application of 100% of aluminum sulfate; and A3- Application of 50% of *Moringa oleifera* + 50% of aluminum sulfate). The analyzed parameters were: electrical conductivity; apparent color; turbidity; pH; temperature; total coliforms and *Escherichia coli* (*E. coli*). The results obtained for the temperature did not present significant change in any treatment, remaining between 24°C and 27°C, as well as the pH, which remained within the standards required by Ministry of Health Ordinance 2914/2011. The electrical conductivity increased, reaching 0.40 mS.cm⁻¹, in the A1 treatment, due to the release of ionic species by the organic coagulant, while for the other treatments, the parameter remained the same as the value obtained for the raw water. In relation to the removal efficiency of the analyzed parameters, the organic coagulant removed after filtration 73,37% of the apparent color, 94,74% of the turbidity, and 99,72% of *E. coli*. The A2 treatment showed removal efficiency of 97,09% for apparent color, 92,69% for turbidity, and 89,54% for *E. coli*, while A3 treatment removed 42,28%, 91,46% and 23,43%, respectively. In the statistical analysis, the comparison of means by Tukey's test showed that, for most of the trials, the interaction between Coagulant*Time did not present a significant effect, indicating that the time effect did not vary significantly as a function of the coagulants, mainly for the organic coagulant. Although they have close percentages of removal, the positive results make it preferable to use organic coagulant instead of aluminum sulfate, since it is of natural origin, has low cost and does not cause negative effects to the environment and humans, making a potential alternative for the treatment of water for supply.

Key-words: *Moringa oleifera*, aluminum sulfate, water treatment, potability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo Convencional de Tratamento de Água.....	17
Figura 2 – Sementes de <i>Moringa oleífera</i> sem e com casca.....	23
Figura 3 – Equipamento Jar-Test.....	26
Figura 4 – Filtros de areia utilizados.....	28
Figura 5 – Cartela e Seladora utilizadas na análise de coliformes.....	29
Figura 6 – Teste de fluorescência das amostras de <i>E. coli</i>	30
Figura 7 – Comportamento da Condutividade Elétrica durante a sedimentação e ao final da filtração.....	33
Figura 8 – Remoção da Cor Aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração.....	36
Figura 9 – Remoção da Turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração.....	39
Figura 10 – Comportamento do pH durante a sedimentação e ao final da filtração.....	41
Figura 11 – Comportamento da Temperatura durante os tempos de sedimentação e ao final da filtração.....	44
Figura 12 – Remoção de <i>E. coli</i> ao final da sedimentação e da filtração.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrão de Potabilidade da Água.....	24
Tabela 2 – Parâmetros analisados, equipamentos utilizados e metodologia.....	29
Tabela 3 – Modelo de organização dos dados obtidos com a análise de variância.....	31
Tabela 4 – Caracterização da Água Bruta.....	32
Tabela 5 – Variação da Condutividade Elétrica durante os tempos de sedimentação e após a filtração.....	33
Tabela 6 – Resultados da análise de variância para a Condutividade Elétrica.....	34
Tabela 7 – Comparação das médias para a Condutividade Elétrica.....	35
Tabela 8 – Variação da Cor Aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração.....	36
Tabela 9 – Resultados da análise de variância para a Cor Aparente.....	37
Tabela 10 – Comparação das médias para a Cor Aparente.....	38
Tabela 11 – Variação da Turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração.....	38
Tabela 12 – Resultados da análise de variância para a Turbidez.....	40
Tabela 13 – Comparação das médias para a Turbidez.....	40
Tabela 14 – Variação do pH durante os tempos de sedimentação e após a filtração.....	41
Tabela 15 – Resultados da análise de variância para o pH.....	42
Tabela 16 – Comparação das médias para o pH.....	43
Tabela 17 – Variação da Temperatura durante os tempos de sedimentação e após a filtração.....	43
Tabela 18 – Resultados da análise de variância para a Temperatura.....	44
Tabela 19 – Comparação de médias para a Temperatura.....	45
Tabela 20 – Variação de Coliformes Totais ao final da sedimentação e da filtração.....	46

Tabela 21 – Variação de <i>E. coli</i> ao final da sedimentação e da filtração.....	47
Tabela 22 – Resultados da análise de variância para <i>E. coli</i>	49
Tabela 23 – Comparação de médias para <i>E. coli</i>	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL.....	15
3.2 TRATAMENTO DE ÁGUA.....	16
3.2.1 ETAPAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA.....	17
3.3 COAGULANTES ORGÂNICO E INORGÂNICO.....	20
3.4 SULFATO DE ALUMÍNIO <i>VERSUS Moringa oleifera</i>	21
3.6 LEGISLAÇÃO.....	23
3.6.1 Portaria N° 2914 de 2011 do Ministério da Saúde.....	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 COLETA DA ÁGUA.....	25
4.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES.....	25
4.3 PRÉ-ENSAIO.....	25
4.4 ENSAIO.....	26
4.4.1 Coagulação/Floculação/Sedimentação.....	26
4.4.2 Filtração.....	27
4.5 ANÁLISE DOS PARÂMETROS.....	28
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	32
5.1.1 Análise Estatística para a Condutividade Elétrica.....	34
5.2 COR APARENTE.....	35
5.2.1 Análise Estatística para a Cor Aparente.....	37
5.3 TURBIDEZ.....	38
5.3.1 Análise Estatística para a Turbidez.....	40
5.4 pH.....	41
5.4.1 Análise Estatística para o pH.....	42

5.5 TEMPERATURA.....	43
5.5.1 Análise Estatística para a Temperatura.....	44
5.6 COLIFORMES.....	45
5.6.1 Coliformes Totais.....	45
5.6.2 <i>E. coli</i>	47
5.6.2.1 Análise Estatística para <i>E. coli</i>	49
6 CONCLUSÕES.....	51
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
8 ANEXO.....	60

1 INTRODUÇÃO

A Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Água e Meio Ambiente (ICWE, 1992), dentre os seus princípios, cita que a água é um recurso finito e vulnerável, essencial para a manutenção da vida, do desenvolvimento e do meio ambiente e que a mesma deve ser considerada como um bem econômico.

Para Hespanhol (2008), dadas as perspectivas de crescimento populacional e industrial, a disponibilidade hídrica tende a diminuir ao longo do tempo. Isso, somado a gradativa degradação das águas superficiais e subterrâneas, faz com que o tratamento de água para consumo humano se torne cada vez mais dispendioso (VANACÔR, 2005).

Para que a água seja considerada adequada para consumo, atendendo os padrões de potabilidade determinados pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, é necessário que ela passe por processos de tratamento que ocorrem dentro das estações de tratamento de água (ETAs), onde ocorrem as etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração e, após isso, está apta a ser distribuída para a população.

Um dos processos de tratamento é a coagulação, onde as partículas em suspensão (ou coloidais) da água são removidas com o auxílio de um coagulante, geralmente, os mais utilizados são de origem química como o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio (SILVA, 2011).

De acordo com Muyibi e Evison (1995), a *Moringa oleifera* é um coagulante orgânico utilizado para o tratamento de água, como uma das técnicas alternativas, em substituição ou complementação aos coagulantes inorgânicos. Existem estudos que mostram que processos de clarificação utilizando coagulantes orgânicos podem ser utilizados por comunidades carentes de água potável (PATERNIANI *et al.*, 2010).

Nepomuceno (2016) alega que, além da facilidade de acesso ao coagulante e seu baixo custo, o lodo gerado por ele possui um volume menor, é biodegradável e não contém sais de metais pesados, ao contrário do que ocorre com o lodo gerado pela utilização de sulfato de alumínio, o que permite o depósito do resíduo em aterros exclusivos ou sanitários.

Apesar do sulfato de alumínio ser o coagulante inorgânico mais utilizado no Brasil, seu alto custo gera a impossibilidade de utilização no tratamento daquelas áreas que não são cobertas pelo serviço público de tratamento de água. Outro ponto

negativo é o volume de lodo gerado, com alto teor de sais de alumínio e compostos de difícil degradação. (LO MONACO *et al.*, 2010).

Vanacôr (2005) alerta que, ao utilizar um manancial como corpo receptor dos seus resíduos *in natura*, a ETA está não só degradando o mesmo (intervindo na flora e na fauna aquática e subaquática), como também pode tornar mais difícil e/ou custoso seu próprio processo produtivo ou o de outras ETAs. Por isso a escolha do coagulante a ser utilizado é importante, visto que ele influencia tanto na qualidade da água quanto nos aspectos ambientais e econômicos do tratamento.

Tendo em vista todos esses fatores, e com intuito de conhecer técnicas alternativas de tratamento de água que não agredam o meio ambiente, o presente trabalho verificará a eficiência da *Moringa oleifera*, comparada com o sulfato de alumínio, nos processos de tratamento de água, analisando e caracterizando a água gerada ao final do processo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral reconhecer e comparar as características da água gerada no processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração utilizando tanto o coagulante orgânico *Moringa oleifera* quanto o coagulante inorgânico sulfato de alumínio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a eficiência de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e coliformes (totais e fecais) na água tratada com o coagulante orgânico *Moringa oleifera* e com o coagulante inorgânico sulfato de alumínio;
- Acompanhar o comportamento dos parâmetros condutividade elétrica, pH e temperatura da água tratada;
- Constatar se a qualidade da água tratada com o coagulante orgânico e inorgânico está de acordo com os padrões de potabilidade exigidos pela Portaria n. 2914, de 2011, do Ministério da Saúde;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

O intenso crescimento demográfico e o consequente aumento da poluição por parte de indústrias e agricultura acabam comprometendo a qualidade de recursos hídricos superficiais, fato que torna mais difícil a obtenção de água potável para abastecimento público (TUNDISI, 2008).

O Brasil é privilegiado no que diz respeito à hidrologia, o país detém aproximadamente 12% de toda a água doce superficial que esorre pelo mundo. O problema está na má distribuição desse volume, onde 70% se encontra na Amazônia (região relativamente pouco habitada), 15% no Centro-Oeste, 6% no Sul e Sudeste e, por fim, apenas 3% se encontra no Nordeste (SUASSUNA, 2004). Além disso, Carvalho (2008) ressalta que a falta de uma política de preservação dos mananciais e de abastecimento acaba por comprometer a água disponível no que diz respeito a qualidade e quantidade.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2017), assim como na distribuição, a desigualdade também atinge o acesso à água tratada. Aproximadamente 82% da população brasileira é atendida com abastecimento de água tratada, esses dados nos mostram que mais de 31 milhões de pessoas não tem acesso a esse serviço básico, sendo, em sua maioria, habitantes da região norte do país, onde apenas 54,51% da população é atendida.

Segundo Ramos (2012), um dos principais problemas para garantir acesso à água tratada em áreas urbanas é que, além do crescimento desordenado, há uma demora na conclusão de obras de infraestrutura. Já em áreas rurais, o problema está no fato de que as casas ficam muito distantes umas das outras e isso dificulta a instalação de sistemas de água, coleta e tratamento de esgoto, pois custo unitário de acesso a esses sistemas é muito alto (PEREIRA, 2013).

A possibilidade de utilização de tecnologias alternativas para tratamento de água aplicadas à população residente distante das áreas urbanizadas, poderia facilitar o acesso dessas pessoas à água potável, melhorando sua qualidade de vida.

Para Heller; Pádua (2006) "Nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, há uma enorme tarefa a ser cumprida, no sentido de prover água segura a

todos, protegendo a saúde e assegurando uma relação sustentável com o meio ambiente.”

3.2 TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento de água engloba uma série de processos que são utilizados a fim de tornar admissível o uso da água para a finalidade desejada, seja ele doméstico, lazer, industrial, entre outros (BRANDÃO, 2011).

De acordo com o artigo 5º, II, da Portaria n. 2.914, de 2011, do Ministério da Saúde, para que a água destinada ao consumo humano seja potável, há a necessidade de que cumpra o padrão de potabilidade, de modo a não oferecer riscos à saúde humana. As estações de tratamento de água (ETA's), são as responsáveis por distribuir água de boa qualidade dentro dos padrões exigidos pela norma.

As operações e os processos responsáveis pela transformação de água bruta em água potável nas ETA's têm como consequência, em algumas etapas, a geração de resíduos.

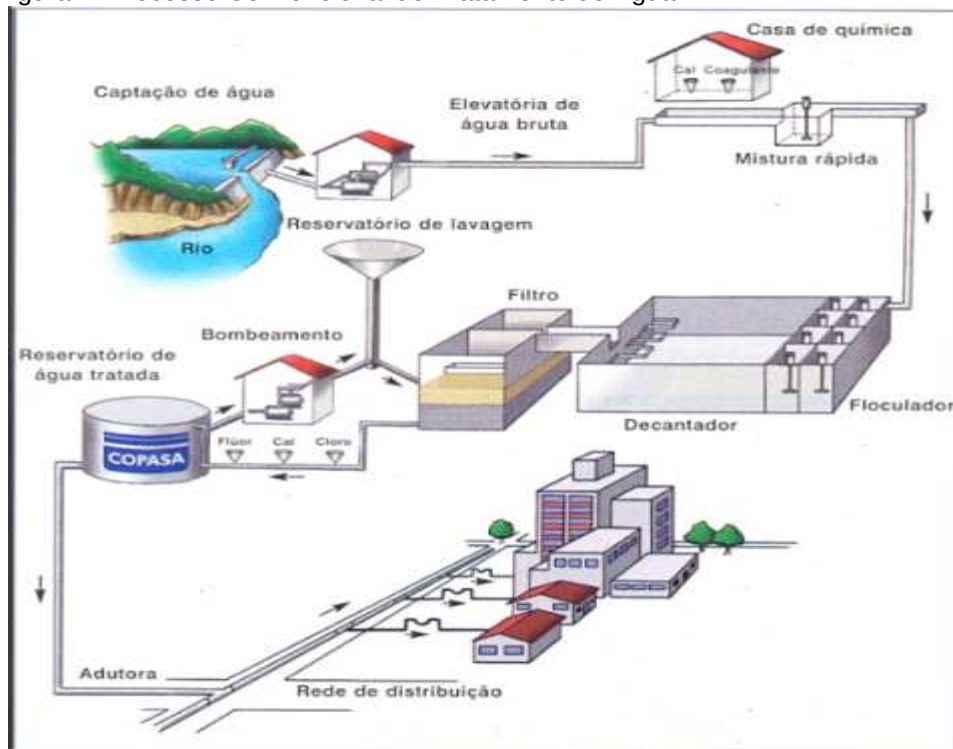
A demanda de água para consumo humano vem crescendo em função do tempo, devido ao desenvolvimento urbano. Guerra (2005) afirma que esse crescimento implica na degradação dos mananciais por contaminação, resultante do não tratamento apropriado dos resíduos gerados e de sua disposição final inadequada. O aumento na busca por água potável aumenta também o volume de captação, tornando o tratamento mais rigoroso. Desse modo, como a qualidade dos mananciais vêm diminuindo gradativamente, há a necessidade de se aplicar uma maior concentração de produtos químicos e isso, além de encarecer o processo, ainda gera maior quantidade de resíduos

Botero (2008) salienta que deve-se levar em conta alguns critérios antes de escolher o processo a ser empregado no tratamento de água, são eles: i) Características da água bruta; ii) Custos de implantação, manutenção e operação; iii) Manuseio e confiabilidade dos equipamentos; iv) Flexibilidade operacional; v) Localização geográfica e características da comunidade; vi) Disposição final do lodo.

3.2.1 Etapas do Tratamento da Água

A maioria das estações utiliza o sistema convencional de tratamento de água, ele é composto por adutoras, flocladores, decantadores, filtros e reservatórios e atende às necessidades de um processo de tratamento eficiente (SAAE, 2006), representado pela Figura 1.

Figura 1: Processo Convencional de Tratamento de Água



Fonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA (2016).

Chegando na estação a água percorre alguns tanques, o primeiro deles é onde ocorre o processo de coagulação. Essa etapa consiste, basicamente, na neutralização das partículas coloidais, permitindo que elas se aglutinem em partículas maiores (maior volume e maior massa). Isso ocorre através do uso de reagentes químicos (coagulantes), que eliminam a carga negativa da superfície das partículas, diminuindo a repulsão entre elas, e também através da agitação rápida, que promove o choque entre as partículas. Sais de ferro e alumínio estão entre os coagulantes mais utilizados, pois permitem a formação de flocos precipitando o hidróxido metálico juntamente com as impurezas por ele neutralizadas (CACHEIRA *et al.*, 2012).

Segundo Araújo (2006), em uma ETA, o processo de coagulação ocorre na unidade de mistura rápida, onde o tempo de mistura e o gradiente de velocidade são os parâmetros de projeto. O processo de mistura rápida tem como objetivo garantir uma coagulação homogênea e completa. A agitação intensa se faz necessária para que ocorra uniformemente a distribuição do coagulante na água, o que faz com que as partículas em suspensão entrem em contato antes mesmo de se completar a reação (GUERRA, 2005).

De acordo com Franco (2009), fatores como dosagem do coagulante, pH e propriedades da água (cor, turbidez, temperatura, entre outras) influenciam diretamente no processo de coagulação. Além disso, existe a variabilidade das características dos mananciais, que se dá tanto pela heterogeneidade da formação geológica da bacia, quanto, mais comumente, pela degradação causada por descarte incorreto de esgoto ou outros agentes poluidores. Somadas essas questões, percebe-se uma complexidade no tratamento, necessitando assim de maior flexibilidade operacional para que se atenda essas variações da qualidade da água.

A coagulação química é um dos primeiros processos de tratamento em uma ETA na entrada da água bruta coletada. Diante disso, segundo Carvalho (2008), é de extrema importância que os diversos tipos de coagulantes sejam estudados a fundo, visto que esse é um processo imprescindível para o tratamento da água.

Passada a etapa de coagulação, a água é transferida para outro tanque onde ocorre o processo de floculação. Nessa unidade, segundo a COPASA (2016), a água já coagulada, movimenta-se dentro dos tanques permitindo a mistura dos flocos.

Esses flocos vão aumentando a massa e o tamanho, o que contribui para sua sedimentação por ação da gravidade. Nesta fase ocorre uma agitação mecânica da massa de água, com menor velocidade, promovendo contato entre as partículas e os flocos, sem destruir aqueles já formados (CACHEIRA *et al.*, 2012).

A floculação ocorre logo após a coagulação, e, segundo Ribeiro (2007), uma agitação lenta da água é realizada fazendo com que as impurezas se choquem e, assim, se aglomerem em partículas maiores, permitindo que sejam removidas mais facilmente por meio da sedimentação.

O que permite diferenciar os processos de coagulação e floculação é o tempo de ocorrência de cada processo e o valor do seu gradiente hidráulico. A

coagulação se dá em um menor espaço de tempo em uma unidade de mistura rápida, enquanto que a floculação precisa de um tempo de agitação maior e de um sistema de agitação com velocidade relativamente menor, possibilitando, assim, a formação de flocos através da agregação das partículas (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Segundo Guerra (2005), o aumento do tamanho das partículas, resultantes do processo de floculação, permitirá uma sedimentação mais rápida. A sedimentação ocorrida após os processos de coagulação e floculação, é um método de clarificação utilizado por grande parte das ETA's, cujo objetivo é reduzir a carga de sólidos aplicada aos filtros (SILVA, 2011).

Para Araújo (2006), é esperado que a grande maioria do material em suspensão que existia na água bruta tenha sido aglutinada em flocos durante o processo de floculação, tendo tamanho e peso suficientes para que, no processo de decantação, possam ser separados da água.

Na decantação, os flocos formados anteriormente separam-se da água e, através da ação da gravidade, acabam sedimentando-se no fundo dos tanques. Essa sedimentação, segundo Ribeiro (2007), proporciona a clarificação do meio líquido, separando as fases líquida e sólida. É nesse processo também que ocorre a formação de lodo, que é depositado no fundo do decantador.

Porém, a água ainda pode conter impurezas não sedimentadas no processo de decantação, assim, há a necessidade de passar por filtros, que podem ser constituídos de camadas de areia ou areia e antracito, suportadas por cascalhos de diversos tamanhos que retêm a sujeira ainda restante (COPASA, 2016).

De acordo com Di Bernardo (2005), a filtração é considerada a principal etapa do tratamento por possuir capacidade de produzir água com qualidade, que atenda às normas de potabilidade em quaisquer circunstâncias.

O processo de desinfecção é iniciado a partir do encerramento das etapas de limpeza física da água. Nessa parte do tratamento a água recebe determinada dosagem de cloro, com finalidade de eliminar germes que causam danos à saúde, além de manter sua qualidade tanto nos reservatórios quanto nas redes de distribuição.

Com intuito de proteger as canalizações das redes e das casas contra corrosão ou incrustação, uma dosagem de cal é adicionada na água, corrigindo seu pH. Por fim a água é fluoretada, atendendo à Portaria n. 2914, de 2011, do

Ministério da Saúde, fato que contribui para a redução da incidência de cárie dentária, principalmente em crianças (COPASA, 2016). Após a realização de todas essas etapas, a água segue para ser distribuída para a população.

3.3 COAGULANTES ORGÂNICO E INORGÂNICO

De acordo com Heller; Pádua (2006) a utilização de coagulantes facilita a remoção de impurezas nas etapas posteriores do tratamento. Isso se deve ao fato de que as espécies hidrolisadas originadas dos coagulantes tendem a reagir quimicamente, reduzindo a repulsão e, conseqüentemente, mantendo as impurezas estáveis.

Madrona *et al.* (2010) afirmam que existe uma grande variedade de coagulantes que podem ser utilizados em processos de tratamento convencionais, os quais podem ser de origem química (sintética) ou natural (orgânica).

Coagulantes químicos possuem função de estabilizar as partículas coloidais a fim de que elas se encontrem, se aglutinem e formem flocos que, posteriormente, irão sedimentar para que sejam eliminados da água (SANTOS, 2001).

Segundo Vaz *et al.* (2010), os sais de alumínio e ferro estão entre os coagulantes inorgânicos mais utilizados para tratar água, isso se deve principalmente ao fato de possuírem baixos custos. Porém, o autor ressalta que esses coagulantes apresentam algumas desvantagens, destacando-se o alumínio residual em águas tratadas e a produção de um grande volume de lodo, o que acaba gerando custos adicionais no tratamento da água.

Existe a necessidade de se buscar alternativas de tratamento que sejam mais viáveis do ponto de vista ambiental, já que os lodos produzidos por sais de ferro e alumínio podem tornar íons solúveis disponíveis, comprometendo a saúde humana, o que faz com que esses coagulantes sejam considerados ambientalmente indesejáveis (VAZ *et al.*, 2010).

Nepomuceno (2015) ressalta que a grande preocupação em utilizar coagulantes inorgânicos é que, alguns deles, são compostos por metais pesados, que são considerados os contaminantes principais dos coagulantes (que derivam de insumos utilizados em sua fabricação).

A substituição de sais de alumínio ou ferro, ou polímeros inorgânicos pelo uso de polímeros orgânicos preparados a partir de produtos naturais está sendo proposta como medida de minimizar a poluição em rios e lagoas nas áreas urbanas (MANGRICH *et al.*, 2013).

Além disso, a respeito de regiões com ausência de tratamento sanitário, Paterniani *et al.* (2009) defendem o uso de tecnologias para tratamento de água que permitam aos habitantes desses locais um processo de clarificação da água, que seja de baixo custo, de fácil implementação e ainda, que seja auto-sustentável.

Segundo Borba (2001), o mecanismo de coagulação e floculação de águas naturais utilizando esses polímeros não depende da acidez ou da alcalinidade da água, ocorrendo através de atrações eletrostáticas entre as partículas das impurezas e os sítios desequilibrados eletricamente, formando flocos.

O material sedimentado gerado no tratamento com produtos orgânicos é biodegradável, isso se torna uma vantagem já que, ao ser descartado no meio aquático, ele pode ser degradado por organismos decompositores (NEPOMUCENO, 2016).

Vaz *et al.* (2010) salientam que, por serem de origem orgânica, esses coagulantes não alteram a alcalinidade da água (desconsiderando a decomposição da matéria orgânica), além disso, geram um menor volume de lodo contendo menor concentração de metais pesados.

A fim de se cumprir necessidades como eficiência no processo de coagulação, menor geração de resíduos e baixos custos operacionais, muito tem-se buscado saber a respeito de coagulantes orgânicos, visto que eles apresentam vantagens sobre os coagulantes inorgânicos (SILVA *et al.*, 2004).

3.4 SULFATO DE ALUMÍNIO *VERSUS Moringa oleifera*

No que diz respeito ao tratamento de água para abastecimento público, o sulfato de alumínio é o coagulante químico mais utilizado no Brasil. Isso porque ele apresenta alta eficiência ao remover sólidos suspensos, e ainda, seu custo de aquisição é relativamente baixo (LO MONACO *et al.*, 2010).

Santos (2001) afirma que o sulfato de alumínio é de fácil transporte e manejo, além disso, ele é produzido em diversos locais do Brasil. Entretanto, em

áreas mais afastadas, o uso desse coagulante acaba sendo economicamente inviável, pois seu transporte exige custos elevados (LO MONACO *et al.*, 2010).

Fora isso, Silva *et al.* (2007) discorrem sobre um alto consumo de alcalinidade da água tratada com sais de alumínio, fazendo com que seu pH necessite de correção, o que gera custos adicionais com produtos químicos durante o tratamento. Existem ainda outras discussões acerca do uso extensivo de alumínio, pois, além de se constatar remanescentes desse metal na água tratada, ele também produz uma quantidade expressiva de lodo (VALVERDE, 2014).

De acordo com Muniz; Duarte; e Oliveira (2015), entre os coagulantes orgânicos conhecidos estão as sementes de *Moringa oleifera*, que vêm sendo utilizadas para o abastecimento, principalmente em comunidades rurais que não possuem tratamento de água. Quando comparado ao sulfato de alumínio, o coagulante a base de semente de *Moringa oleifera* traz vantagens às pequenas propriedades, visto que o mesmo tem condições de ser preparado no próprio local (AMAGLOH & BENANG, 2009).

A *Moringa oleifera* é uma planta tropical, pertencente à família Moringaceae que é composta apenas pelo gênero *Moringa* e possui mais de quatorze espécies conhecidas (KATAYON *et al.*, 2006).

De acordo com Santana *et al.* (2010), essa planta possui rápido crescimento, se desenvolve atualmente em diversos países dos trópicos, suporta longos períodos de estiagem e ainda consegue se adaptar a diferentes faixas de solos.

Muitos estudos têm sido realizados acerca da *Moringa oleifera*, levando em conta a possibilidade de utilizar a sua semente como coagulante no tratamento de água (AMORIM; BAJTER; OGUSUCU, 2011).

Essa planta, segundo Nunes *et al.* (2014), possui proteínas hidrossolúveis que contém propriedades coagulantes, podendo ser utilizada para tratar água. Sua semente se comporta como coagulante natural, podendo ser comparada ao sulfato de alumínio.

Por possuir quantidades significativas de proteínas solúveis com carga positiva, a semente da *Moringa oleifera* (Figura 2), quando em contato com a água turva, atrai partículas negativamente carregadas como argila, bactérias, solo, dentre outras partículas tóxicas que podem estar presentes na água (AMAGLOH & BENANG, 2009; SILVA *et al.*, 2011).

Figura 2: Sementes de *Moringa oleifera* sem e com casca.



Fonte: Autoria própria.

Nishi *et al.* (2011) afirmam que a *Moringa oleifera* não só melhora parâmetros químicos da água, como também apresentam eficientes índices de redução de contaminantes microbiológicos, como protozoários e bactérias.

Devido aos problemas que podem ser provocados com a utilização de altas concentrações de coagulantes químicos, a *Moringa oleifera* surge como uma alternativa saudável e ecologicamente viável para o tratamento de água (SANTOS *et al.*, 2015).

3.5 LEGISLAÇÃO

3.5.1 Portaria N° 2914 de 2011 do Ministério da Saúde

Dentre os padrões de qualidade das águas existentes está o padrão de utilização estabelecido pela Portaria n° 2914 de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

De acordo com essa Portaria, o próprio sistema de abastecimento é responsável por controlar a qualidade da água em todos os processos operacionais (captação, adução, tratamento, reservação e distribuição). Além disso, compete ao sistema também garantir que todos os profissionais envolvidos, tanto no fornecimento quanto no controle da qualidade da água a ser consumida, sejam capacitados e atualizados.

É através da Portaria 2914/2011 que são definidos a frequência de coletas de amostras de água, bem como os valores máximos permitidos para cada parâmetro característico da água potável, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Padrão de Potabilidade da Água.

Parâmetros	Valores Máximos
Coliformes Fecais	Ausência em 100 mL
Coliformes Totais	Ausência em 100 mL
Condutividade	Não se aplica
Cor Aparente	15 uH
pH	6,0 a 9,5
Temperatura	Não se aplica
Turbidez	0,5 uT

Fonte: BRASIL (2011).

No que diz respeito as metodologias analíticas a serem utilizadas na determinação desses parâmetros, elas devem atender as normas nacionais ou internacionais mais recentes, como por exemplo, as metodologias propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), ou ainda a Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de autoria das instituições American Public Health Association (APHA, 2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 COLETA DA ÁGUA

A amostra de água bruta utilizada no presente estudo foi coletada no tanque de entrada de uma estação de tratamento de água que é abastecida pelo Ribeirão Jacutinga.

Foram coletados 50L de água, que foram acondicionados em galões e transferidos para o Laboratório de Poluentes Atmosféricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, para a realização dos ensaios.

4.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES

Para a realização dos ensaios foi necessário preparar a solução dos coagulantes abordados no estudo. O preparo do coagulante inorgânico consistiu na diluição de 1 g do sulfato de alumínio em 1L de água destilada. Para o coagulante orgânico foi necessário extrair seus componentes ativos. Esse processo se deu adicionando 10 gramas da semente de *Moringa oleifera*, descascadas, lavadas e trituradas em liquidificador com 1 molar de solução salina (NaCl), a 1 L de água destilada, em seguida essa mistura foi coada com o auxílio de um coador de pano.

4.3 PRÉ-ENSAIO

O pré-ensaio do processo de coagulação/floculação foi necessário para definir a melhor concentração a ser utilizada de cada coagulante. Seguindo adaptações da metodologia proposta por Theodoro (2012), nas quais se realizaram testes, onde se adicionou diferentes concentrações de coagulante a um béquer contendo 100 mL da amostra de água, com a finalidade de verificar em que

momento ocorreu o processo de coagulação/floculação, a concentração que se mostrou mais eficiente para ambos os coagulantes foi a de 3 mg.L^{-1} .

4.4 ENSAIO

4.4.1 Coagulação/Floculação/Sedimentação

As etapas de coagulação, floculação e sedimentação foram determinadas utilizando o Jar-Test (Nova Ética, modelo 218 – LDB/06), um equipamento de reatores estáticos que simula as etapas que ocorrem em estações de tratamento de água através do controle da velocidade, do tempo de mistura, do gradiente de agitação e ainda, do tempo de sedimentação do lodo gerado. O aparelho é composto por seis jarros de 2 litros cada e por pás rotativas que permitem controlar a velocidade de agitação (Figura 3).

Figura 3: Equipamento Jar-Test.



Fonte: Autoria própria.

Para a obtenção de melhores resultados, os ensaios foram realizados em triplicata totalizando nove amostragens, divididas entre coagulante químico, coagulante natural e uma mistura de ambos os coagulantes, sendo distribuídas da seguinte forma:

Tratamento A1 – Aplicação de 100% de *Moringa oleífera*;

Tratamento A2 – Aplicação de 100% de sulfato de alumínio;

Tratamento A3 – Aplicação de 50% de sulfato de alumínio + 50% de *Moringa oleífera*,

Onde A = aplicação.

Em cada jarro foi adicionada a amostra de água a ser tratada seguida, simultaneamente, pelo respectivo coagulante. Os tempos de mistura e rotação seguiram procedimento proposto por Theodoro (2012), conforme as seguintes adaptações: no processo de coagulação, onde ocorre a mistura rápida, a velocidade de rotação foi de 150 rpm e tempo de mistura de 3 minutos. Para o processo de floculação, onde ocorre a mistura lenta, a velocidade de rotação foi de 15 rpm e o tempo de mistura de 10 minutos. Em seguida o aparelho foi desligado para que se iniciasse o processo de sedimentação. A primeira coleta de água se deu após um tempo de espera (T1) de 3 minutos, a partir daí foram feitas mais 3 coletas (T2, T3 e T4), a cada 10 minutos, até que se completasse um tempo total de sedimentação de 33 minutos.

O tempo de sedimentação de 33 minutos foi estipulado para que, após esse processo, ainda houvesse volume de água suficiente para passar pelos filtros.

4.4.2 Filtração

Ao final da sedimentação, iniciou-se uma simulação de filtração direta com fluxo descendente. Para isso, foram utilizados 6 filtros em paralelo adaptados logo abaixo do Jar-Test, permitindo que a água saísse diretamente do jarro para os filtros.

Foram utilizados filtros de garrafas de Polietileno Tereftalato (PET), que ficaram alocados em uma estrutura metálica adaptada. Os componentes das camadas filtrantes foram pedra brita e areia, com granulometria na faixa de 0,850 a 1,70 mm, seguindo a metodologia proposta por Ioshimura (2016). Além disso, foram utilizados algodão e filtro de papel como suporte para o meio filtrante (Figura 4).

Figura 4: Filtros de areia utilizados.



Fonte: Autoria própria.

A vazão da água foi monitorada continuamente durante o processo de filtração ajustando, quando necessário, a barra coletora que fica na saída do Jar-Test, para garantir que a taxa de filtração permanecesse constante ao longo do tempo.

O controle da vazão da água filtrada foi realizado utilizando um transferidor, fixado na extremidade da barra coletora, cuja angulação variou com o tempo. Tendo, nos primeiros 2 minutos, uma angulação de 70° , de 2 a 4 minutos uma angulação de 60° e, de 4 a 6 minutos uma angulação de 50° . Assim, o tempo de filtração (T5) foi de 6 minutos e, após esse processo, as amostras de água foram coletadas para realização da análise dos parâmetros desejados (ANDRADE, 2015).

4.5 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

Os parâmetros analisados para cada amostra foram: condutividade elétrica, cor aparente, turbidez, pH, e temperatura. Os coliformes totais e *E. coli* foram analisados apenas ao final dos processos de sedimentação e de filtração.

Com exceção da análise dos coliformes, todos os outros procedimentos seguiram a metodologia descrita pelo Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros analisados, equipamentos e metodologia.

Parâmetro	Equipamento	Metodologia
Condutividade Elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 B
Cor Aparente	Espectrofotômetro HACH 4000	2120 C
Turbidez	Turbidímetro HACH 4000	2030 B
pH	pHmetro mPA - 210	4500 B
Temperatura	Termômetro Digital	-

Fonte: APHA (2012).

A análise dos coliformes totais e *E. coli* foi realizada através do Sistema de Substratos Definidos Cromogênicos, utilizando o substrato Colilert (IDEXX, 2017). As amostras de água para análise foram coletadas ao final da sedimentação (T4) e após o processo de filtração (T5), cada amostra recebeu o substrato e, após homogeneizadas, foram transferidas para uma cartela Quantitray e seladas em uma seladora própria da marca IDEXX Quanty-Tray (Figura 5).

Figura 5. Cartela e seladora utilizadas na análise de coliformes.



Fonte: Autoria própria.

Após isso, as cartelas foram para uma estufa e permaneceram a uma temperatura de 35°C por 24 horas. Os resultados de coliformes totais, ocasionalmente presentes nas amostras, foram observados através da coloração amarela apresentada após a incubação, já os *E. coli* foram fornecidos por meio do número de células na cartela que apresentaram fluorescência após serem submetidas a iluminação ultravioleta, como mostra a Figura 6. Os números mais prováveis (NMP) de coliformes totais e *E. coli* foram estimados de acordo com a tabela do fabricante associada ao teste (Anexo 1).

Figura 6. Teste de fluorescência das amostras de *E. coli*.



Fonte: Autoria própria.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O modelo estatístico utilizado para analisar os valores obtidos nos ensaios foi o delineamento em blocos casualizados com repetições. O modelo estatístico considerou o efeito dos fatores Coagulante e Tempo e da interação entre eles.

Quando há interação entre os tratamentos e blocos, o modelo estatístico será dado pela equação:

$$Y_{ijl} = \mu + T_i + B_j + TB_{ij} + \varepsilon_{ijl}, \quad \text{para } i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, b \text{ e } l = 1, \dots, r$$

Onde:

Y_{ijl} : variável resposta coletada sobre o i -ésimo nível do Coagulante no Tempo j e na l -ésima repetição;

μ : média global comum a todas as observações;

T_i : efeito do i -ésimo nível do fator, ou seja, efeito Coagulante;

B_j : efeito do j -ésimo bloco, ou seja, efeito do Tempo;

TB_{ij} : efeito da interação entre Coagulante e Tempo;

ε_{ijl} : componente do erro aleatório associado a observação Y_{ijl} .

As suposições associadas a este modelo são de que os erros são independentes, possuem variância constante, e que os mesmos são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, tendo distribuição normal com média zero e variância constante. Nos casos em que não há normalidade dos erros, aplica-se a transformação de Box em Cox.

Quando não há interação entre os tratamentos e blocos, o modelo é considerado aditivo, ou seja, os coagulantes têm o mesmo efeito em todos os tempos.

Para realizar a análise de variância e comparar as médias nos parâmetros, utilizou-se um nível de significância de 5%. Todos os resultados obtidos foram agrupados em uma tabela conforme proposto por Martins (2006), como mostra a Tabela 3:

Tabela 3. Modelo de organização dos dados obtidos com a análise de variância.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante					
Tempo					
Coagulante*Tempo					

Resíduo
Total

Fonte: Martins (2006).

Notas: GL= Grau de Liberdade; SQ= Soma dos Quadrados; QM= Quadrados Médios; Fc= F Calculado.

Destaca-se que o p-valor verifica a interação entre Coagulante e Tempo considerando o nível de significância adotado. Caso o p-valor seja menor que 5%, o grau de interação entre os dois fatores é considerado significativo.

Para realizar as comparações médias foi utilizado o Teste de Tukey.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização da água bruta utilizada no desenvolvimento do trabalho está descrita na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização da água bruta.

Parâmetro	Valor
Condutividade Elétrica (mS.cm ⁻¹)	0,17
Cor Aparente (mg PtCo.L ⁻¹)	149
Turbidez (NTU)	103
pH	6,3
Temperatura (°C)	25,2
Coliformes Totais (NMP)	>2419,6
<i>E. coli</i> (NMP)	178,9

De acordo com a metodologia descrita no item 4.4 foram realizados os ensaios para cada amostra, em triplicata, das aplicações realizadas de acordo com os tempos de sedimentação e após a filtração, ao final do processo. Os resultados obtidos foram organizados da seguinte forma: Condutividade elétrica (5.1), Cor aparente (5.2), Turbidez (5.3), pH (5.4), Temperatura (5.5), e Coliformes (5.6).

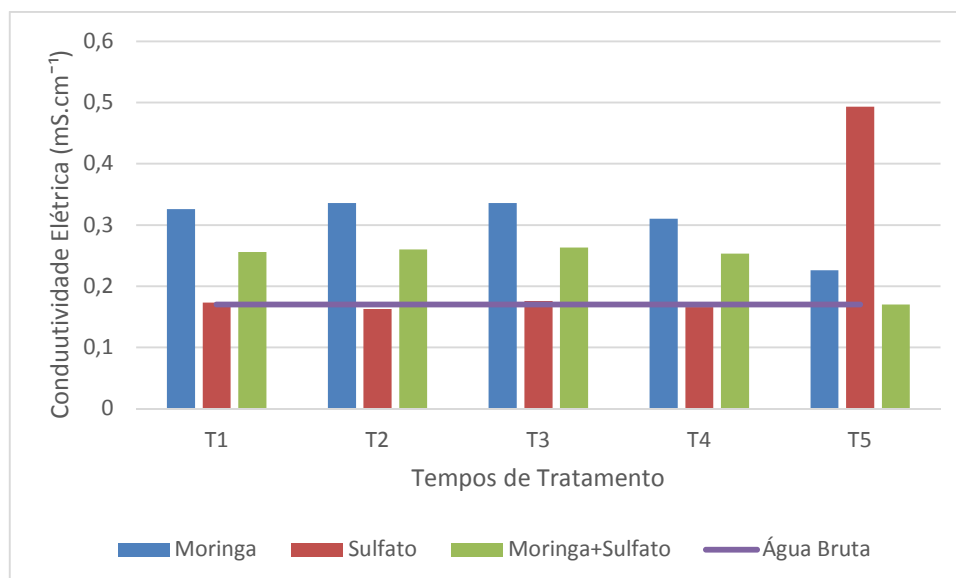
5.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A Tabela 5 mostra os valores de condutividade elétrica para cada amostra e a Figura 7 apresenta o comportamento do parâmetro.

Tabela 5. Variação da condutividade elétrica durante os tempos sedimentação e após a filtração.

Tratamento	Amostras	T1	T2	T3	T4	T5
A1	M 1	0,27	0,28	0,28	0,20	0,21
	M 2	0,33	0,34	0,33	0,34	0,14
	M 3	0,38	0,39	0,40	0,39	0,33
A2	S 1	0,17	0,14	0,17	0,17	0,73
	S 2	0,17	0,17	0,18	0,15	0,48
	S 3	0,18	0,18	0,18	0,18	0,27
A3	M+S 1	0,26	0,25	0,26	0,25	0,19
	M+S 2	0,25	0,26	0,26	0,26	0,16
	M+S 3	0,26	0,27	0,27	0,25	0,16

Figura 7: Comportamento das médias da condutividade elétrica durante a sedimentação e ao final da filtração.



A Portaria n. 2914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece valores máximos e/ou mínimos para a condutividade elétrica.

Em comparação ao valor bruto de $0,17 \text{ mS.cm}^{-1}$, não houve alteração no valor da condutividade elétrica no tratamento com o sulfato de alumínio durante a sedimentação, porém, após a filtração esses valores aumentaram. De acordo com Lopes (2014), esse mesmo comportamento pode ser observado devido a adição do íon alumínio na água, confirmando a explicação dada por Iwamura (2016) em seu trabalho, onde ele afirma que, como o sulfato de alumínio se trata de um sal, ao ser adicionado na água aumenta a condutividade da solução. Outra possível justificativa para esse fato é que a limpeza do filtro não deve ter sido realizada corretamente, deixando resquícios de sais ou outros componentes provenientes de experimentos anteriores realizados com o mesmo, influenciando no valor final.

Já a *Moringa oleifera* apresentou um aumento considerável desse parâmetro durante a sedimentação, chegando a $0,40 \text{ mS.cm}^{-1}$. A explicação que se dá é que na solução estão presentes sais e proteínas. Oliveira *et al* (2011) constataram em seu estudo sobre remoção da turbidez em águas naturais com a semente da *Moringa oleifera*, que o aumento desse parâmetro está ligado a liberação de espécies iônicas pelo coagulante, bem como no estudo realizado por Soriani (2015), onde foi concluído que a adição de sal ao coagulante eleva a solubilidade dos seus compostos ativos, aumentando a condutividade. Após a filtração, houve uma queda pouco significativa nos valores, o que indica que os filtros podem ter retido parte dos sais contidos na solução.

No caso da mistura dos dois coagulantes (A3) a condutividade elétrica aumentou durante a sedimentação e após a filtração manteve-se equivalente ao valor da água bruta, os fatores que influenciaram esses resultados são os mesmos citados com o uso individual de cada coagulante.

5.1.1 Análise Estatística para a Condutividade Elétrica

Os dados obtidos para a análise de variância do parâmetro estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados da análise de variância para a Condutividade Elétrica.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	0,27787	0,138933	20,4896	0,00000
Tempo	4	0,01878	0,004694	0,6923	0,60332
Coagulante*Tempo	8	0,32921	0,041152	6,0690	0,00013
Resíduo	29	0,19664	0,006781		
Total	43	0,82250			

Analisando os resultados da Tabela 6, verifica-se que o p-valor foi maior do que 0,05 para o efeito do Tempo, indicando que esse fator não foi significativo. Já os efeitos da interação (Coagulante*Tempo) e do Coagulante apresentaram significância, sendo realizada a comparação das médias para os mesmos.

A comparação das médias através do Teste de Tukey para a condutividade elétrica é dada pela Tabela 7.

Tabela 7. Comparação das médias para a Condutividade Elétrica.

Coagulante	Tempo				
	T1	T2	T3	T4	T5
Moringa (A1)	0,3266667 aA	0,3366667 aA	0,3366667 aA	0,3100000 aA	0,2266667 aA
M+S (A3)	0,2566667 aA	0,2600000 aA	0,2633333 aA	0,2533333 aA	0,1700000 aA
Salumínio (A2)	0,1733333 bA	0,1633333 bA	0,1766667 bA	0,1666667 bA	0,3750000 bB

Nota: Letras iguais representam tratamentos iguais; Avaliar letras minúsculas na coluna e letras maiúsculas na linha.

Na Tabela 7 observa-se que os valores de condutividade elétrica nos tratamentos A1 e A3 são estatisticamente iguais para ambos os fatores, enquanto que o tratamento A2 foi estatisticamente menor.

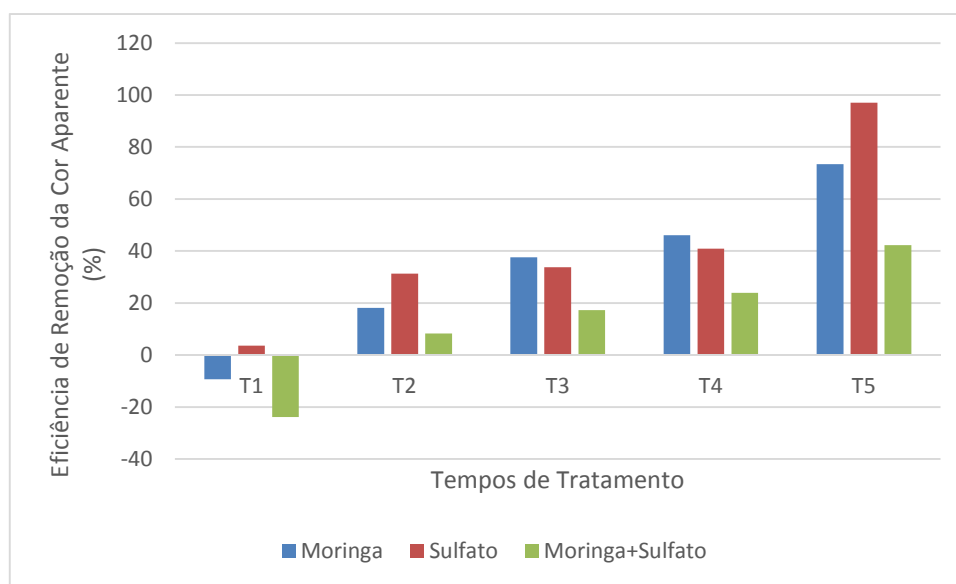
5.2 COR APARENTE

A Tabela 8 mostra a variação dos valores de cor aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração, e a Figura 8 apresenta a eficiência de remoção do parâmetro.

Tabela 8. Variação da cor aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração.

Aplicação	Amostras	T1	T2	T3	T4	T5
A1	M 1	87	47	30	7	1
	M 2	218	181	135	126	60
	M 3	184	138	114	108	58
A2	S 1	148	97	96	91	13
	S 2	142	103	101	94	0
	S 3	141	107	99	79	0
A3	M+S 1	180	138	130	118	109
	M+S 2	197	153	126	115	80
	M+S 3	177	119	114	107	69

Figura 8: Média de remoção da cor aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração



Analisando a Figura 8 pode-se perceber que os maiores índices de remoção ocorreram após a filtração, com médias de 97,09% para o sulfato de alumínio, 73,37% para a *Moringa oleifera*, e no caso do tratamento A3 (mistura dos dois coagulantes) a média de remoção foi de 42,28%.

Observando o comportamento dos coagulantes no Tempo 1, verifica-se que os tratamentos que utilizam a *Moringa oleifera* como coagulante (A1 e A3) apresentaram eficiência negativa, ou seja, o coagulante liberou muita matéria orgânica, “sujando” a água antes de remover a cor aparente.

É possível notar que, com o aumento no tempo de sedimentação, aumentam também os valores de remoção do parâmetro, isso devido a decantação de partículas floculadas que é proporcional ao tempo de repouso, ou seja, quanto mais tempo de repouso, mais partículas são sedimentadas, diminuindo a cor aparente da água.

A Portaria n. 2914/2011 do Ministério da Saúde estabelece valor máximo para cor aparente de 15 uH. As unidades uH e mg PtCo.L⁻¹ são equivalentes, dessa forma, cinco amostras atingiram o padrão estabelecido, sendo: S1, S2 e S3 (A2) após a filtração; e M1 nos tempos T4 e T5 (final da sedimentação e após a filtração, respectivamente).

5.2.1 Análise Estatística para a Cor Aparente

Na Tabela 9 estão dispostos os valores obtidos para a análise de variância desse parâmetro.

Tabela 9. Resultados da análise de variância para a Cor Aparente.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	13577	6788,6	5,4377	0,00966
Tempo	4	68542	17135,6	13,7258	0,00000
Coagulante*Tempo	8	4143	517,8	0,4148	0,90294
Resíduo	30	37453	1248,4		
Total	44	123715			

A interação entre Coagulante*Tempo não foi significativa, apresentando p-valor maior que 5%, sendo assim, foram avaliados os efeitos do Coagulante e do Tempo isoladamente. Porém, como o objeto de interesse do estudo é a comparação entre os coagulantes, a tabela de comparação de médias para o Tempo não será apresentada.

A comparação das médias através do Teste de Tukey para a cor aparente é dada pela Tabela 10.

Tabela 10. Comparação de médias para a Cor Aparente.

Coagulante	Média
M+S (A3)	128,8 a
Moringa (A1)	99,6 ab
Salumínio (A2)	87,4 b

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais

De acordo com a Tabela 10 é possível concluir que o sulfato de alumínio apresenta média de eficiência de remoção do parâmetro superior a *Moringa oleifera*, porém, eles podem ser considerados estatisticamente iguais.

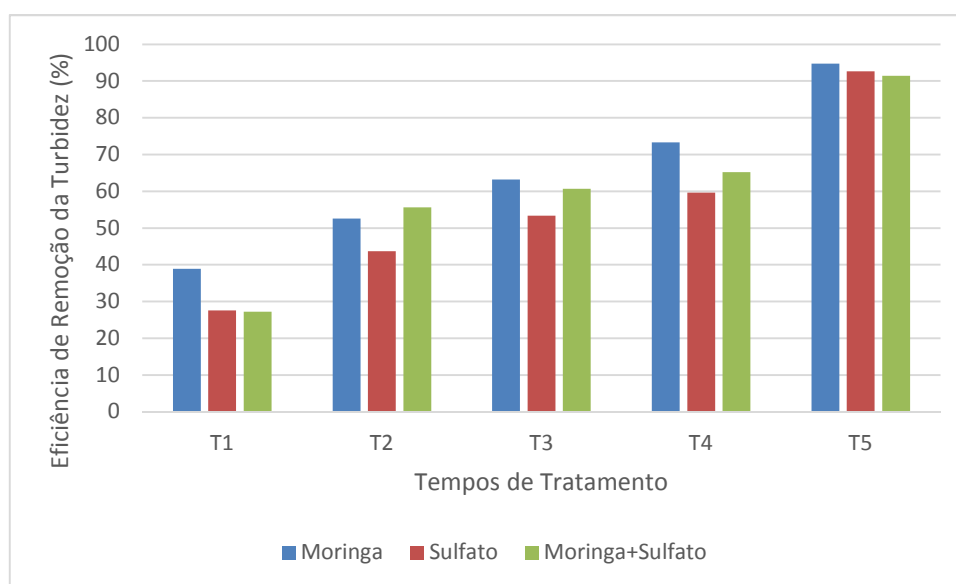
5.3 TURBIDEZ

A Tabela 11 mostra a variação dos valores de turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração e a Figura 9 apresenta a eficiência de remoção do parâmetro.

Tabela 11. Variação da turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração.

Aplicação	Amostras	T1	T2	T3	T4	T5
A1	M 1	56,4	44,1	36,2	15,6	7,22
	M 2	77,3	62,5	43,4	37,9	4,86
	M 3	55	40	34,2	28,9	4,18
A2	S 1	79,7	57,3	47,5	40,2	8,84
	S 2	73,5	56,9	48,1	41	8,08
	S 3	70,7	59,7	48,6	43,5	5,64
A3	M+S 1	73,5	45,7	41,1	37,4	11,7
	M+S 2	77,7	50	42,2	36,4	8,52
	M+S 3	73,7	41,4	38,1	33,6	6,15

Figura 9: Média de remoção da turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração.



Com relação a remoção da turbidez, o tratamento A1 se mostrou mais eficiente, alcançando uma eficiência média de 73,33% ao final da sedimentação (T4) e 94,74% após a filtração (T5). Na realização de seu trabalho usando a *Moringa oleifera* como coagulante, Bathia (2007) confirma que os resultados de remoção de turbidez são usualmente satisfatórios, chegando a uma eficiência que varia de 80% a 99%. Quanto mais elevada a turbidez da água a ser tratada, mais eficiente é a remoção por parte do coagulante natural (PATERNIANI *et al*, 2009).

Durante os tempos de sedimentação, o tratamento A3 obteve melhores resultados do que o A2, apresentando eficiências médias de remoção de 65,24% e 59,64% respectivamente. Já após a filtração, os valores ficaram bastante equivalentes, superando os 90% de remoção. Em seu estudo sobre filtração direta, Di Bernardo (2003) afirma que os valores obtidos para remoção de turbidez são bastante satisfatórios, permanecendo acima de 82%.

Apesar de apresentar bons índices de remoção em todas as aplicações, nenhum tratamento obteve valores dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria n. 2914/2011 do Ministério da Saúde, que sugere até 0,5 NTU.

5.3.1 Análise Estatística para a Turbidez

Os resultados da análise de variância obtidos para a turbidez são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Resultados da análise de variância para a Turbidez.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	4,578	2,289	9,631	0,00059
Tempo	4	183,532	45,883	193,066	0,00000
Coagulante*Tempo	8	1,929	0,241	1,015	0,44620
Residuo	30	7,130	0,238		
Total	44	197,168			

A interação entre Coagulante*Tempo não foi significativa, apresentando p-valor maior que 0,05, sendo assim, foram avaliados os efeitos do Coagulante e do Tempo isoladamente. Porém, como o objeto de interesse do estudo é a comparação

entre os coagulantes, a tabela de comparação de médias para o Tempo não será apresentada.

A comparação das médias através do Teste de Tukey para esse parâmetro é dada pela Tabela 13.

Tabela 13. Comparação de médias para a Turbidez.

Coagulante	Média
	45,95067
Salumínio (A2)	a
M+S	41,14467
(A3)	a
	36,51733
Moringa (A1)	b

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais.

Analisando a Tabela 13, é possível observar que a *Moringa oleífera* é estatisticamente menor quando comparada aos demais coagulantes, apresentando maior eficiência de remoção do parâmetro. Já o desempenho dos tratamentos A2 e A3 é considerado estatisticamente igual.

5.4 pH

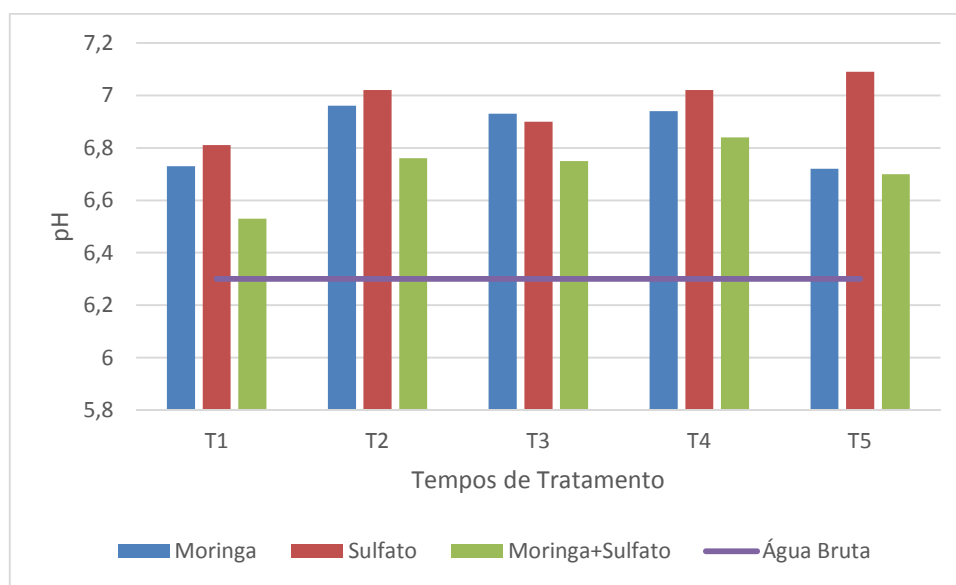
A Tabela 14 mostra a variação dos valores de pH durante os tempos de sedimentação e após a filtração, e a Figura 10 apresenta o comportamento do parâmetro para cada amostra das aplicações realizadas.

Tabela 14. Variação do pH durante os tempos de sedimentação e após a filtração.

Aplicação	Amostras	T1	T2	T3	T4	T5
A1	M 1	6,6	7	7,07	7,06	6,62
	M 2	6,59	6,93	6,77	6,96	6,81
	M 3	7,02	6,97	6,96	6,8	6,74
A2	S 1	6,83	6,97	6,9	7	7,08
	S 2	6,75	7,11	6,95	7,03	7,2

A3	S 3	6,86	6,98	6,87	7,04	7
	M+S 1	6,2	6,75	6,8	6,83	6,88
	M+S 2	6,81	6,77	6,72	6,87	6,76
	M+S 3	6,59	6,77	6,75	6,84	6,47

Figura 10: Comportamento das médias do pH durante a sedimentação e ao final da filtração.



Pode-se verificar uma pequena variação de pH em comparação ao valor obtido para a água bruta (6,3) para as três aplicações. Os dados obtidos permitem concluir que a filtração não interferiu consideravelmente sobre o pH da água tratada.

Paterniani (2009) usou sementes de *Moringa oleifera* para tratar águas superficiais e observou, durante seus ensaios, que o uso desse coagulante não altera significativamente o pH da água, mantendo-se em torno de 7. Madrona (2010) ressalta que é vantajoso trabalhar com o coagulante orgânico, visto que o mesmo não proporciona grandes alterações nos valores de pH, resultando na redução de custos para esse fim.

Ao contrário do que era esperado, a concentração de sulfato de alumínio utilizada também não apresentou grandes variações no valor desse parâmetro. Por se tratar de um coagulante ácido, esperava-se que seus valores de pH reduzissem em comparação a água bruta.

Todas as aplicações realizadas apresentaram resultados dentro dos padrões exigidos pela legislação, onde é recomendado que a faixa de variação do pH seja de 6,0 a 9,0.

5.4.1 Análise Estatística para o pH

Na Tabela 15 estão dispostos os valores obtidos para a análise de variância desse parâmetro.

Tabela 15. Resultados da análise de variância para o pH.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	0,47321	0,236607	12,9278	0,00009
Tempo	4	0,32844	0,082109	4,4863	0,00584
Coagulante*Tempo	8	0,15316	0,019146	1,0461	0,42515
Resíduo	30	0,54907	0,018302		
Total	44	1,50388			

Analisando os resultados da Tabela 15, verifica-se que o p-valor foi maior do que 0,05 para o efeito da interação entre Coagulante*Tempo, indicando que esse fator não foi significativo. Sendo assim, foram avaliados os efeitos do Coagulante e do Tempo isoladamente.

A comparação das médias através do Teste de Tukey para a cor aparente é dada pela Tabela 16.

Tabela 16. Comparação de médias para o pH.

Coagulante	Média
Salumínio (A2)	6,97133 a
Moringa (A1)	6,86 a
M+S (A3)	6,72067 b

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais.

A Tabela 16 mostra que, apesar de apresentarem pouca variabilidade nos resultados, o tratamento A3 apresentou uma média estatisticamente menor quando comparada aos demais tratamentos. Já o comportamento do sulfato de alumínio e da *Moringa oleifera* pode ser considerado como estatisticamente igual.

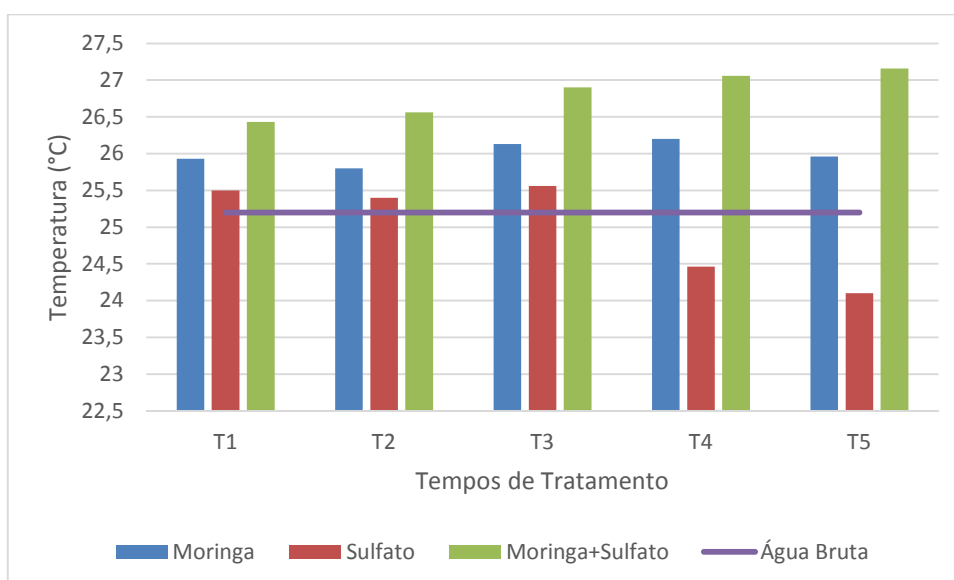
5.5 TEMPERATURA

A Tabela 17 mostra a variação dos valores de temperatura para os tempos de sedimentação e após a filtração, e a Figura 11 apresenta o comportamento do parâmetro para cada amostra das aplicações realizadas.

Tabela 17. Variação de temperatura durante os tempos de sedimentação e após a filtração.

Aplicação	Amostras	T1	T2	T3	T4	T5
A1	M 1	25,6	25,5	25,8	25,7	24,7
	M 2	26,7	26,4	27	27,1	27,2
	M 3	25,5	25,5	25,6	25,8	26
A2	S 1	25,7	25,3	25,5	24,7	24,4
	S 2	25,4	25,5	25,7	24,5	23,7
	S 3	25,4	25,4	25,5	24,2	24,2
A3	M+S 1	26,8	26,4	26,8	27	27,3
	M+S 2	26,4	26,6	27	27,2	27,1
	M+S 3	26,1	26,7	26,9	27	27,1

Figura 11: Comportamento das médias de Temperatura durante a sedimentação e ao final da filtração.



É possível observar que os valores de temperatura não sofreram alterações consideráveis em relação ao valor da água bruta (25,2°C), se mantendo entre 24°C e 27°C, indicando que tal parâmetro não interferiu no processo.

5.5.1 Análise Estatística da Temperatura

Os dados obtidos para a análise de variância do parâmetro estão dispostos na Tabela 18.

Tabela 18. Resultados da análise de variância para a Temperatura.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	24,924	12,4620	48,054	0,00000
Tempo	4	0,963	0,2408	0,928	0,46061
Coagulante*Tempo	8	6,025	0,7531	2,904	0,01597
Resíduo	30	7,780	0,2593		
Total	44	39,692			

A interação entre Coagulante*Tempo não foi significativa, apresentando p-valor maior que 0,05, sendo assim, foram avaliados os efeitos do Coagulante e do Tempo isoladamente.

A comparação das médias através do Teste de Tukey para a temperatura é dada pela Tabela 19.

Tabela 19. Comparação de médias para a Temperatura.

Coagulante	Média
M+S (A3)	26,82667 a
Moringa (A1)	26,00667 b
Salumínio (A2)	25,00667 c

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais.

Apesar de apresentarem um índice de variabilidade pequeno, os valores de temperatura para todos os tratamentos foram considerados estatisticamente diferentes.

5.6 COLIFORMES

A análise dos coliformes, tanto totais quanto E. coli se deu apenas ao final dos processos de sedimentação (T4) e filtração (T5).

5.6.1 Coliformes Totais

A Tabela 20 apresenta a variação dos valores de Coliformes Totais para cada amostra das aplicações analisadas de acordo com os tempos de sedimentação e filtração. Devido a ocorrência de alguns erros foi necessária uma repetição do processo de filtração da amostra M3, com isso, como o número de material para análise de coliformes era restrito, não foi possível realizá-la para essa amostra.

Tabela 20. Variação de Coliformes Totais ao final da sedimentação e da filtração.

Aplicação	Amostra	T4	T5
A1	M 1	>2419,6	>2419,6
	M 2	>2419,6	770,1
	M 3	>2419,6	-
A2	S 1	>2419,6	>2419,6
	S 2	>2419,6	>2419,6
	S 3	>2419,6	>2419,6
A3	M+S 1	>2419,6	>2419,6
	M+S 2	>2419,6	>2419,6
	M+S 3	>2419,6	>2419,6

Analisando os resultados, verifica-se que, assim como na água bruta, todas as amostras apresentaram presença de coliformes totais em até 100 mL de água, estando acima do número permitido pela legislação no padrão de potabilidade da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que determina ausência de coliformes totais em até 100 mL de água.

Como não foi realizada nenhuma diluição, não foi possível constatar o número exato de coliformes nas amostras, sendo assim, não dá para saber se houve aumento ou diminuição no número de coliformes com relação a água bruta. A única exceção foi a amostra M3-T5 que, mesmo sem diluição, apresentou valor exato de 770,1 NMP de coliformes totais em 100 mL de água, o que indica que a *Moringa oleifera* apresentou melhor resultado quando comparada aos outros tratamentos.

Era esperada uma diminuição nesses números, acompanhando a redução da cor aparente e da turbidez, visto que esses parâmetros estão diretamente relacionados com a probabilidade de presença de microrganismos na água. Segundo Siqueira *et al.* (2015) partículas presentes em água com elevada turbidez e/ou cor aparente podem proteger os microrganismos de ações desinfetantes, tornando-se um meio de fixação para os mesmos.

Como esse parâmetro não apresentou variabilidade nos resultados, não realizou-se análise estatística.

5.6.2 *E. coli*

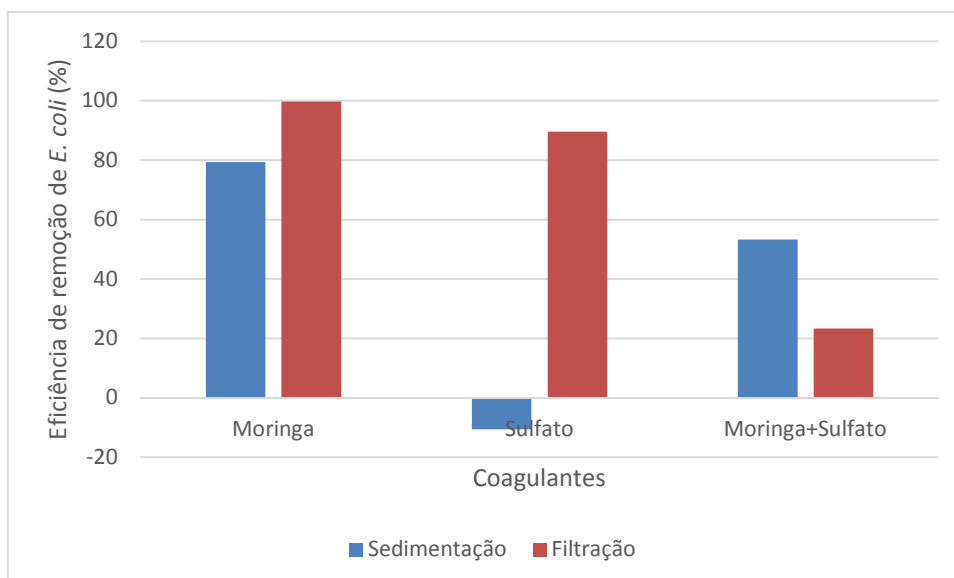
A Tabela 21 apresenta a variação dos valores de *E. coli* para cada amostra das aplicações analisadas de acordo com os tempos de sedimentação e filtração e a Figura 12 apresenta a eficiência de remoção do parâmetro.

Tabela 21. Variação de *E. coli* ao final da sedimentação e da filtração.

Aplicação	Amostra	T4	T5
A1	M 1	30,9	<1,0
	M 2	42,6	1,0

A2	M 3	37,3	-
	S 1	206,4	18,9
	S 2	290,9	30,9
	S 3	261,3	6,3
A3	M+S 1	95,8	121
	M+S 2	77,6	142,1
	M+S 3	77,6	148,3

Figura 12. Média de remoção de *E. coli* ao final da sedimentação e da filtração.



Observando os resultados é possível verificar que no tratamento A1, ao final da sedimentação, houve uma taxa média de remoção que variou de 79,35%. Apesar de ser uma eficiência considerável, o número não se encontra dentro do padrão de potabilidade proposto pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que sugere ausência de coliformes em até 100 mL de água. Amagloh & Benang (2009) citam em seu trabalho utilizando a *Moringa oleifera* que uma das desvantagens é que, apesar de ser capaz de eliminar grande parte dos microrganismos patogênicos, para que a água se torne potável ainda é necessário um tratamento posterior. Esse fato pode ser confirmado pelos resultados obtidos após a filtração, onde o coagulante natural se mostrou mais eficiente, removendo mais de 99% dos *E. coli*.

No caso do tratamento A2 nota-se que, durante a sedimentação, há um aumento no número de *E. coli* quando comparado com a água bruta. Isso pode ser atribuído a erros experimentais, onde pode ter havido contaminação ao se manusear as amostras. Após a filtração, a eficiência média de remoção foi de 89,54%.

O tratamento com ambos os coagulantes (A3) foi o menos eficiente em termos de remoção do parâmetro, variando de 53,23% durante a sedimentação e 23,34% após a filtração. O aumento no número de *E. coli* após a filtração também pode ter ocorrido devido a contaminação externa durante a manipulação.

5.6.2.1 Análise Estatística para *E. coli*

Na Tabela 22 estão dispostos os valores obtidos para a análise de variância desse parâmetro.

Tabela 22. Resultados da análise de variância para *E. coli*.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	37745	18873	44,368	5,4198e-06
Tempo	1	23591	23591	55,459	1,2819e-05
Coagulante*Tempo	2	64541	32271	75,865	3,6690e-07
Resíduo	11	4679	425	-	-
Total	16	130556	-	-	-

É possível observar na Tabela 22 que tanto os efeitos do Coagulante quanto do Tempo e da interação entre Coagulante*Tempo tiveram p-valor menor do que 0,05, apresentando significância. Foi realizada a comparação das médias para todos eles.

A comparação das médias através do Teste de Tukey para *E. coli* é dada pela Tabela 23.

Tabela 23. Comparação de médias para *E. coli*.

Coagulante	Tempo	
	T4	T5
Salumínio (A2)	252,8667 aA	18,7 bB
M+S (A3)	83,66667 bA	137,1333 aB
Moringa (A1)	36,93333 cA	0,5 bA

Nota: Letras iguais representam tratamentos iguais; Avaliar letras minúsculas na coluna e letras maiúsculas na linha.

As informações da Tabela 23 indicam que no final da sedimentação (T4), fixando o fator Tempo, todas as médias foram estatisticamente diferentes entre os coagulantes analisados, sendo que a *Moringa oleifera* apresentou o menor valor, indicando melhor desempenho de remoção do parâmetro. Já ao final da filtração (T5), mantendo o fator Tempo fixo, as médias do sulfato de alumínio e da *Moringa oleifera* são estatisticamente iguais (apesar de apresentarem alto grau de variabilidade entre os valores).

Fixando o fator Coagulante, as médias para os tratamentos A2 e A3 foram estatisticamente diferentes, indicando alteração de comportamento na remoção de *E. coli*. Já para a *Moringa oleifera* as médias se mantiveram estatisticamente iguais, confirmando sua melhor eficiência na remoção do parâmetro.

6 CONCLUSÕES

Através do presente estudo foi possível concluir que no tratamento de água para abastecimento utilizando os processos de coagulação, sedimentação, floculação e filtração, o coagulante orgânico *Moringa oleifera* apresentou, no geral, resultados mais expressivos de porcentagem de remoção dos parâmetros analisados.

Os resultados obtidos com o uso do coagulante inorgânico sulfato de alumínio também foram satisfatórios, já com relação ao tratamento A3 (mistura dos coagulantes *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio) foi obtido desempenho reduzido durante os processos, não apresentando resultados tão expressivos quanto os outros tratamentos.

Com isso, é possível concluir que a *Moringa oleifera* pode ser uma boa fonte alternativa de coagulante para tratamento de água para abastecimento pois além de apresentar, nesse estudo, resultados semelhantes e até superiores ao sulfato de alumínio, ela ainda é de origem natural, possui baixo custo, é de fácil implementação e não agride nem os seres humanos e nem o meio ambiente.

Para a realização de futuros trabalhos, pode-se sugerir que sejam utilizadas outras faixas granulométricas para os filtros de areia, a fim de encontrar a que melhor se adapte a cada coagulante.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. **Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA – Lei 12.305/2010**. In: XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. 45º Assembléia Nacional do ASSEMAE, de 24 à 29 de maio de 2015, Poços de Caldas, MG, Brasil, 2015. 2p.

AMAGLOH, F. K.; BENANG, A. **Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification**. *African Journal of Agricultural Research*, v. 4, n. 1, p. 119-123, 2009.

AMORIM, A. P.; BAJTER, G. R.; OGOSUCU, R. **Uso do extrato das sementes de *Moringa oleifera* para a filtração e retirada de coliformes fecais da água**. p. 1-2, 2011.

ANDRADE, G. C. **Eficiência dos processos de flotação e filtração com uso de coagulante natural e químico no tratamento de efluente de laticínio**. 81 p. TCC – (Graduação). Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Londrina-PR, 2015.

APHA. **Standard Methods for de Examination of Water and Watewater**. 22^a ed. Washington, 2012.

ARAÚJO, A. P. M. **Avaliação operacional e características do lodo gerado na indústria da água do litoral sul de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife – PE, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BATHIA, S.; OTHMAN, Z.; AHMAD, A. L. **Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as a natural coagulant.** Journal of Hazardous Materials, v. 145, p. 120-126, 2007.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades.** 2001. 96 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

BOTERO, W. G. **Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola.** 2008. 97 p. Dissertação (Pós-Graduação em Química) – Instituto de Química UNESP – Araraquara, 2008.

BRANDÃO, V. A. C. **A importância do tratamento adequado da água para eliminação de microrganismos.** 36 f. Monografia (Especialização) - Curso de Biologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

BRASIL. 2011 nº 2914, de 12 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.** Portaria Nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011. Brasília, 14 de dez. 2011. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914-11.pdf> Acesso em: 12 nov. 2016.

CACHEIRA, C. S.; SANTOS, J. P. S.; FARIA, J. P. N.; VARANDAS, M. M.; SILVA, M. F. C. R. P.; COSTA, M. A. P. **Processo de Coagulação – Floculação.** 2012. 2 p. Dissertação (Mestrado Integrado de Engenharia do Ambiente) – Universidade do Porto, Porto, 2012.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável.** Dissertação de Mestrado, Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá – PR, 2008.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). Tratamento de Água. 2016. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agua-de-qualidade/tratamento-da-agua>> Acesso em: 12 nov. 2016.

CORNWELL, D. A. **Water treatment plant residuals.** In: LETTERMAN, R. D., Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 5 ed. American Water Works Association, Mc Grall – Hill, New York. Cap. 16. p. 16.1-16.51, 1999.

DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.** Luiz Di Bernardo (coordenador) – Rio de Janeiro-RJ: ABES, 2003. Projeto PROSAB 498 p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** 2 ed., v. 1. São Carlos: RiMa, 2005.

FRANCO, E. S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água.** 2009. 187 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GUERRA, R. C. **Caracterização e biodegradabilidade de lodo de estação de tratamento de água para descarte em aterro sanitário.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista – Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada). Rio Claro, 2005.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para o consumo humano.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

HESPAÑHOL, I. **Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. Estud. av.** (Estudos Avançados), São Paulo, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008.

ICWE. **The Dublin Statement and Report on the Conference and the International Conference on Water and the Environmental Development Issues for the Twenty-first century.** WMO. Genève, Switzerland, 1992.

IDEXX Laboratories (2017). Disponível em: <<http://al.idexx.com/agua/>> Acesso em: 13 de outubro de 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Água potável para todos.** 2017. Disponível em: <<http://tratabrasil.org.br/agua-potavel-para-todos>> Acesso em: 25 mar. 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Água potável – Um recurso cada vez mais escasso.** 2017. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/agua-potavel-um-recurso-cada-vez-mais-escasso>> Acesso em: 25 mar. 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Situação do Saneamento no Brasil.** 2013. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>> Acesso em: 12 nov. 2016.

IOSHIMURA, R. A. **Estudo da Eficiência Granulométrica no Processo de Filtração Direta com Aplicação de Coagulantes no Tratamento de Água.** 2016. 65 p. Monografia (Curso Superior de Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Londrina*, Paraná, 2016.

KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: Uma análise crítica.** 2012. 1-6 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

KATAYON, S.; NOOR, M. J. M. M.; ASMA, M.; GHANI, L. A. A.; THAMER, R. A. M.; AZNI, I. *et al.* **Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation.** *Bioresource Technology*, v. 97, p. 1455-1460, 2006.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; RIBEIRO, I. C. A.; NASCIMENTO, F. S.; SARMENTO, A. P. **Utilização de extrato de sementes de moringa como agente**

coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. *Revista Ambiente e Água*, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.

LOPES, B. V. **Eficiência de coagulantes na remoção de diferentes concentrações de Ferro e Manganês para ETA Terras Baixas.** 52 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, 2014.

MADRONA, G. S. **Extração/Purificação do composto ativo da semente da *Moringa oleifera* Lam e sua utilização no tratamento de água para consumo humano.** 2010. 176 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MANGRICH, G. L.; DUARTE, F. V.; OLIVEIRA, S. B. **Uso de sementes de *Moringa oleifera* na remoção da turbidez de água para abastecimento.** *Revista Ambiente e Água*, Taubaté, v. 10, n. 2, p. 454-463, 2015.

MARTINS, G. A. **Estatística Geral e Aplicada.** 3 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., p. 237-238, 2006.

MUYIBI, S. A.; EVISION, L. M. ***Moringa oleifera* seeds for softening hardwater.** *Water Research*, v. 9, n. 4, p. 1099-1105, 1995.

NEPOMUCENO, T. C. **Estudo da aplicabilidade de coagulantes orgânicos e inorgânicos no tratamento de água para abastecimento público.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2016.

NISHI, L.; MADRONA, G. S.; VIEIRA, A. M. S.; BASSETTI, F. J.; SILVA, G. S.; BERGAMASCO, R. **Coagulação/Floculação com sementes de *Moringa oleifera* Lam para remoção de Cistos de *Giardia* spp. E Ocistos de *Cryptosporidium* spp. da água.** In: 3 International Workshop/ Advances in cleaner production, de 18 a 20 de maio de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

NUNES, N. A.; NAGEL, G. W.; SILVA, B. S. G.; COSTA, M. T. V.; MILANI, I. C. B. **Avaliação da eficiência da utilização da semente de *Moringa oleífera* no tratamento de água.** In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014.

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

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

PEREIRA, A. C. **O saneamento em comunidades isoladas no município de Itapetininga (SP).** Monografia de Especialização. Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública Municipal, UTFPR – Curitiba, 2013.

RAMOS, V. **Acesso à água potável no Brasil ainda permanece como desafio.** Rede Brasil Atual. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.redebrasilatual.com.br/ambiente/2012/03/desafios-no-acesso-a-agua-potavel-no-brasil-permanecem>> Acesso em: 12 nov. 2016.

REALLI, M. A. P. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.** Rio de Janeiro: PROSAB, 1999.

RIBEIRO, F. L. M. **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito – MG.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Ouro Preto-MG, 2007.

SAAE. **SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.** Disponível em: <http://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2016.

SANTANA, C. R.; PEREIRA, D. F.; ARAÚJO, N. A.; CAVALCANTI, E. B.; SILVA, G. F. **Caracterização físico-química da moringa (*Moringa leifera* Lam).** *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 12, n. 1, p. 55-60, 2010.

SANTOS, A. F.; SILVA, G. F.; SANTOS, R. M.; GARCEZ, S. S. J.; RUSSO, S. L. **Prospecção Tecnológica da *Moringa oleifera* no tratamento da água.** In: International Symposium on Technological Innovation. Encontro Nordeste de Etnobiologia e Etnoecologia, de 23 a 25 de setembro de 2015. Aracaju, SE, Brasil, 2015, p. 254-262.

SANTOS, H. R. **Aplicação de coagulantes no afluente de reator anaeróbio de leite expandido alimentado com esgoto doméstico.** 2001. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SILVA, C. A. **Biodegradabilidade do lodo de água para consumo humano formado durante o processo de coagulação/floculação com os coagulantes policloreto de alumínio e *Moringa oleifera*.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Maringá-PR, 2011.

SILVA, G. F.; SANTOS, W. R.; MATOS, D. B.; OLIVEIRA, B. M.; SANTANA, T. M.; SANTANA, M. M. **Estudo do tratamento e clarificação de água com torta de sementes de *Moringa oleifera* Lam.** *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 295-299, 2004.

SILVA, M. J. M.; PATERNIANI, J. E. S.; FRANCISCO, A. R.; SILVA, G. K. **Aplicação de sementes de *Moringa oleifera* como auxiliar de pré-filtração em sistemas de filtração em múltiplas etapas.** *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4, p. 146-154, out./dez. 2011.

SILVA, M. E. R.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. **Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por**

coagulantes naturais e não-naturais. *Revista Tecnológica*, v. 28, n. 2, p. 178-190, 2007.

SIQUEIRA, M. S. S.; SILVA, M. A. S.; SILVA, W. M. F.; LIMA, S. M. S. **Viabilidade de utilização da *Moringa oleífera* como método alternativo de tratamento de água no semiárido nordestino.** *Revista Acadêmico-Científica (SCIRE)* v. 8 – num. 2 – Agosto, 2015.

SORIANI, M. **Eficiência da *Moringa oleífera* como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento.** Projeto de Pesquisa - Curso Superior de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Londrina* – PR, 2015.

SUASSUNA, J. **A má distribuição da água no Brasil.** *Repórter Brasil*, 2004. Disponível em: < <http://reporterbrasil.org.br/2004/04/b-artigo-b-a-ma-distribuicao-da-agua-no-brasil/>> Acesso em: 20 nov. 2016.

THEODORO, J.D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano.** 2012. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro.** *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 1-2, 2008.

VALVERDE, K. C. **Avaliação do processo de tratamento de água utilizando a associação do coagulante natural *Moringa oleífera* Lam e coagulantes químicos.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

VANACÔR, R. N. **Avaliação do coagulante orgânico Veta Organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público.** 2005. 129 f.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; BARBIERO T. A.; BERGAMASCO, R. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia.** *Revista Eclética Química*. São Paulo, v. 35, n. 4, 2010.

WOLFF, E.; SCHWABE, W. K.; LANDIM, A. B.; VITORINO, M. D. **Caracterização do lodo gerado na Estação de Tratamento de Água de Cenibra.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Mato Grosso, 2005; Anais. Mato Grosso: CBESA, 2005.

8 ANEXOS

Anexo 1: Tabela de Número mais provável de coliformes totais e *E. coli* estimados com o uso do método Colilert (frente).

Pocillos pequeños positivos

# Posições Grandes Positivos	# Posições pequenos positivos																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	<1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	141	151	161	171	181	191	202	212	222	233	243
1	10	20	30	40	50	60	71	81	91	101	111	121	132	142	152	162	173	183	193	204	214	224	235	245	256
2	20	30	41	51	61	71	81	92	102	112	122	133	143	153	164	174	185	195	206	216	227	237	248	258	269
3	31	41	51	61	72	82	92	103	113	124	134	145	155	165	176	186	197	208	218	229	239	250	261	271	282
4	41	52	62	72	83	93	104	114	125	135	146	156	167	178	188	199	210	220	231	242	253	263	274	285	296
5	52	63	73	84	94	105	115	126	137	147	158	169	179	190	201	212	222	233	244	255	266	277	288	299	310
6	63	74	84	95	106	116	127	138	149	160	170	181	192	203	214	225	236	247	258	269	280	291	302	313	324
7	75	85	96	107	118	128	139	150	161	172	183	194	205	216	227	238	249	260	271	283	294	305	316	328	339
8	86	97	108	119	130	141	152	163	174	185	196	207	218	229	241	252	263	274	286	297	308	320	331	343	354
9	98	109	120	131	142	153	164	176	187	198	209	220	232	243	254	266	277	289	300	312	323	335	346	358	370
10	110	121	132	144	155	166	177	189	200	211	223	234	246	257	269	280	292	303	315	327	338	350	362	374	386
11	122	134	145	156	168	179	191	202	214	225	237	248	260	272	283	295	307	319	330	342	354	366	378	390	402
12	135	146	158	169	181	193	204	216	228	239	251	263	275	286	298	310	322	334	346	358	370	382	395	407	419
13	148	160	171	183	195	206	218	230	242	254	266	278	290	302	314	326	338	350	362	375	387	399	412	424	436
14	161	173	185	197	209	221	233	245	257	269	281	293	305	317	330	342	354	367	379	391	416	429	442	454	466
15	175	187	199	211	223	235	247	259	272	284	296	309	321	333	346	358	371	384	396	409	422	434	447	460	473
16	189	201	213	226	238	250	262	275	287	300	312	325	337	350	363	375	388	401	414	427	440	453	466	479	492
17	203	216	228	241	253	266	278	291	303	316	329	341	354	367	380	393	406	419	432	445	459	472	485	498	511
18	218	231	243	256	269	281	294	307	320	333	346	359	372	385	398	411	424	438	451	465	478	492	505	519	532
19	233	246	259	272	285	298	311	324	337	350	363	376	390	403	416	430	443	457	471	484	498	513	526	540	554
20	249	262	275	288	301	315	328	341	354	368	381	395	408	422	436	449	463	477	491	505	519	533	547	561	576
21	265	279	292	305	318	332	345	359	373	386	400	414	428	441	455	469	484	498	512	526	541	555	569	584	599
22	282	295	309	323	336	350	364	377	391	405	419	433	448	462	476	490	505	519	534	548	563	578	593	608	623
23	299	313	327	341	355	368	383	397	411	425	439	454	468	483	497	512	527	542	556	571	586	602	617	632	647
24	317	331	345	359	373	388	402	417	431	446	460	475	490	505	520	535	550	565	580	595	611	626	642	658	673
25	336	350	364	379	393	408	422	437	452	467	482	497	512	527	543	558	573	589	605	620	636	652	668	684	700
26	355	369	384	399	414	428	443	459	474	489	504	520	535	551	567	582	598	614	630	647	663	679	696	712	729
27	374	389	404	420	435	450	465	481	496	512	528	544	560	576	592	608	624	641	657	673	691	708	725	743	759
28	395	410	426	441	457	473	488	504	520	536	552	568	585	602	618	635	652	669	686	703	720	737	755	773	790
29	417	432	448	464	480	496	512	528	545	561	578	595	612	629	646	663	680	698	715	733	751	769	787	805	824
30	439	455	471	487	504	520	537	554	571	588	605	623	640	657	675	693	710	729	747	765	783	802	821	840	859
31	462	479	495	512	529	546	563	581	598	616	633	651	669	687	705	724	742	761	779	799	818	837	857	876	896
32	487	504	521	538	556	573	591	609	627	645	663	682	700	719	738	757	776	795	815	835	854	875	895	915	936
33	512	530	548	565	583	602	620	638	657	676	695	714	733	752	772	792	812	832	852	873	894	915	936	957	978
34	539	557	576	594	613	631	650	670	689	708	728	748	768	788	808	829	850	871	892	914	935	957	979	1002	1024
35	568	586	605	624	644	663	683	703	723	743	763	783	805	826	847	869	891	913	935	957	980	1003	1026	1050	1073
36	598	617	637	657	677	697	717	738	758	780	802	823	845	867	889	912	935	958	981	1005	1029	1053	1077	1102	1127
37	629	649	669	691	712	733	754	776	798	820	842	865	888	911	934	958	982	1006	1031	1056	1081	1107	1133	1159	1186
38	663	684	706	727	749	771	794	816	839	862	886	910	934	958	983	1008	1034	1059	1086	1112	1139	1166	1194	1222	1250
39	700	722	744	767	789	813	836	860	884	909	934	959	984	1010	1036	1063	1090	1116	1146	1174	1203	1232	1261	1292	1321
40	738	762	784	809	833	857	882	908	933	959	985	1012	1039	1067	1095	1124	1153	1182	1212	1243	1274	1305	1337	1370	1403
41	780	805	830	855	880	906	933	959	987	1016	1043	1071	1100	1130	1160	1191	1222	1254	1287	1320	1354	1388	1423	1459	1495
42	826	852	878	905	932	960	988	1017	1046	1076	1106	1137	1169	1201	1234	1267	1301	1336	1372	1408	1443	1483	1522	1561	1602
43	876	904	932	960	990	1019	1050	1081	1112	1145	1178	1211	1246	1281	1317	1354	1391	1430	1470	1510	1552	1594	1638	1682	1728
44	931	961	991	1022	1054	1086	1119	1153	1187	1223	1259	1296	1334	1374	1414	1455	1497	1541	1585	1631	1677	1727	1777	1829	1882
45	993	1025	1058	1092	1126	1162	1199	1236	1274	1314	1354	1396	1439	1483	1529	1576	1624	1674	1726	1780	1835	1892	1951	2012	2075
46	1063	1098	1134	1172	1210	1250	1291	1333	1376	1421	1467	1515	1565	1616	1670	1725	1782	1842	1904	1968	2035	2105	2176	2254	2333
47	1143	1183	1224	1266	1309	1353	1401	1450	1500	1553	1607	1664	1723	1785	1848	1918	1989	2064	2142	2224	2310	2400	2495	2595	2700
48	1239	1284	1331	1379	1430	1484	1539	1597	1658	1722	1789	1860	1935	2014	2098	2187	2282	2382	2489	2603	2723	2851	2987	3130	3282
49	1355	1408	1464	1523	1585	1650	1720	1793	1872	1956	2046	2143	2247	2359	2481	2613	2755	2909	3076	3448	3664	3873	4106	4352	4609

IDEXX Quanti-Tray/2000 Tabla, número más probable

# Peticiones Grandes Positivos	# Peticiones pequeños positivos																							
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
0	253	264	274	284	295	305	315	326	336	347	357	368	378	389	400	410	421	431	442	453	463	474	485	495
1	286	277	287	298	308	319	329	340	350	361	372	382	392	404	414	425	436	447	457	468	479	490	501	512
2	279	290	300	311	322	332	343	354	365	375	386	397	408	419	430	440	451	462	473	484	495	506	517	528
3	293	304	314	325	336	347	358	368	379	390	401	412	423	434	445	456	467	478	489	500	512	523	534	545
4	307	318	328	339	350	361	372	383	394	405	416	428	439	450	461	472	483	495	506	517	529	540	551	563
5	321	332	343	354	365	376	387	399	410	421	432	444	455	466	477	489	500	512	523	535	546	558	569	581
6	335	347	358	369	380	392	403	414	426	437	448	460	471	483	494	506	517	529	541	552	564	576	587	599
7	350	362	373	384	396	407	419	430	442	453	465	477	488	500	512	523	535	547	559	571	583	594	606	618
8	366	377	389	400	412	423	435	446	458	470	482	494	506	518	530	541	553	565	577	590	602	614	626	638
9	381	393	405	416	428	440	452	464	476	488	500	512	524	536	548	560	572	584	597	609	621	634	646	658
10	397	409	421	433	445	457	469	481	493	506	518	530	542	555	567	579	592	604	617	629	642	654	667	679
11	414	426	438	450	463	475	487	499	512	524	537	549	561	574	586	599	612	624	637	650	663	675	688	701
12	431	443	456	468	481	493	506	518	531	543	556	568	581	594	607	620	632	645	658	671	684	697	710	724
13	449	461	474	486	499	512	525	537	550	563	576	589	602	615	628	641	654	667	680	693	707	720	733	747
14	467	480	493	505	518	531	544	557	570	583	596	609	623	636	649	663	676	689	703	716	730	744	757	771
15	486	499	512	525	538	551	564	578	591	604	618	631	645	658	672	685	699	713	726	740	754	768	782	796
16	505	518	532	545	558	572	585	599	612	626	640	653	667	681	695	709	723	737	751	765	779	793	808	822
17	525	539	552	566	580	593	607	621	635	649	663	677	691	705	719	733	748	762	776	791	805	820	835	849
18	546	560	574	588	602	616	630	644	658	672	686	701	715	730	744	759	773	788	803	818	833	848	863	878
19	568	582	596	610	624	639	653	668	682	697	711	726	741	755	770	785	800	815	831	846	861	876	892	907
20	590	604	619	633	648	663	677	692	707	722	737	752	767	782	798	813	828	844	859	875	891	907	922	938
21	613	628	643	658	673	688	703	718	733	749	764	779	794	811	826	842	858	874	890	906	922	938	954	971
22	638	653	668	683	698	714	729	745	761	776	792	808	824	840	856	872	889	905	921	938	955	971	988	1005
23	663	678	694	710	725	741	757	773	789	805	822	838	854	871	887	904	921	938	955	972	989	1006	1024	1041
24	689	705	721	737	753	770	786	803	819	836	852	869	886	903	920	938	955	972	990	1007	1025	1043	1061	1079
25	717	733	750	766	783	800	817	834	851	868	885	902	920	937	955	973	991	1009	1027	1045	1063	1082	1100	1118
26	746	763	780	797	814	831	848	866	884	901	919	937	955	973	992	1010	1029	1047	1066	1085	1104	1123	1142	1162
27	776	794	811	829	846	864	882	900	919	937	955	974	993	1012	1031	1050	1069	1088	1108	1127	1147	1167	1187	1207
28	808	826	844	863	881	899	918	937	956	975	994	1013	1033	1052	1072	1092	1112	1132	1152	1173	1193	1214	1235	1256
29	842	861	879	898	917	937	956	975	995	1015	1035	1055	1075	1095	1116	1137	1157	1178	1200	1221	1242	1264	1286	1308
30	878	897	917	936	956	976	996	1016	1037	1057	1078	1099	1120	1142	1163	1185	1206	1228	1251	1273	1295	1318	1341	1364
31	916	936	956	977	997	1018	1039	1060	1082	1103	1125	1147	1169	1191	1214	1236	1259	1282	1305	1329	1353	1377	1401	1425
32	957	978	999	1020	1042	1063	1085	1107	1130	1152	1175	1198	1221	1245	1268	1292	1316	1340	1365	1390	1415	1440	1466	1491
33	1000	1022	1044	1066	1088	1112	1135	1158	1182	1205	1229	1254	1278	1303	1328	1353	1378	1404	1430	1456	1483	1509	1537	1564
34	1047	1070	1093	1117	1140	1164	1189	1213	1238	1263	1288	1314	1340	1366	1392	1419	1446	1474	1501	1529	1557	1586	1615	1644
35	1097	1122	1146	1171	1196	1222	1247	1273	1299	1326	1353	1380	1408	1436	1464	1492	1521	1550	1580	1610	1640	1671	1702	1733
36	1152	1178	1204	1230	1257	1284	1311	1339	1367	1395	1424	1453	1483	1513	1543	1573	1603	1636	1668	1700	1733	1766	1799	1833
37	1213	1240	1268	1296	1324	1353	1382	1412	1442	1473	1503	1535	1567	1599	1631	1665	1698	1732	1767	1802	1837	1873	1910	1947
38	1279	1308	1338	1368	1399	1430	1464	1494	1526	1559	1592	1626	1661	1696	1732	1768	1804	1842	1880	1918	1957	1997	2037	2077
39	1353	1385	1417	1450	1483	1517	1551	1586	1621	1657	1694	1731	1768	1807	1847	1887	1927	1968	2010	2053	2096	2140	2185	2230
40	1437	1471	1506	1542	1578	1615	1653	1691	1730	1770	1811	1852	1894	1937	1981	2025	2071	2117	2164	2211	2260	2310	2362	2414
41	1532	1570	1609	1648	1689	1730	1772	1815	1858	1903	1948	1995	2042	2091	2140	2191	2242	2294	2348	2402	2458	2515	2572	2631
42	1643	1686	1729	1773	1819	1865	1913	1961	2011	2062	2114	2167	2222	2277	2334	2392	2452	2513	2575	2638	2703	2769	2836	2905
43	1775	1823	1873	1924	1976	2029	2084	2140	2198	2258	2318	2381	2445	2510	2577	2646	2717	2789	2863	2938	3015	3094	3174	3257
44	1936	1993	2051	2110	2172	2235	2300	2367	2436	2508	2581	2656	2733	2812	2894	2978	3063	3151	3241	3333	3428	3524	3623	3724
45	2141	2209	2279	2352	2427	2504	2584	2667	2753	2841	2933	3026	3123	3223	3325	3430	3538	3649	3762	3878	3998	4120	4245	4374
46	2415	2500	2589	2682	2778	2878	2981	3088	3199	3314	3433	3555	3681	3811	3945	4083	4225	4371	4520	4674	4833	4996	5163	5335
47	2809	2924	3044	3169	3300	3436	3578	3725	3877	4034	4198	4368	4541	4721	4907	5098	5298	5504	5717	5938	6167	6405	6653	6910
48	3441	3609	3784	3968	4160	4360	4569	4786	5012	5247	5493	5748	6015	6294	6596	6893	7215	7556	7915	8297	8704	9139	9606	10112
49	4611	4884	5172	5475	5794	6131	6488	6867	7270	7701	8164	8664	9208	9804	10462	11199	12033	12997	14136	15531	17329	19663	24196	>24196