

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

RENATO AKIRA IOSHIMURA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA GRANULOMÉTRICA NO PROCESSO DE
FILTRAÇÃO DIRETA COM APLICAÇÃO DE COAGULANTES NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2016**

RENATO AKIRA IOSHIMURA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA GRANULOMÉTRICA NO PROCESSO DE
FILTRAÇÃO DIRETA COM APLICAÇÃO DE COAGULANTES NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

Monografia apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do 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.

Coorientadora: Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro.

LONDRINA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná



Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA GRANULOMÉTRICA NO PROCESSO DE FILTRAÇÃO
DIRETA COM APLICAÇÃO DE COAGULANTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

por

Renato Akira Ioshimura

Monografia apresentada no dia 23 de novembro de 2016 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli
(UTFPR)

Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro
(UTFPR - Coorientadora)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR - Orientadora)

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

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por ter me dado força e competência para superar as dificuldades durante a graduação e principalmente da vida.

Aos meus familiares, em especial meus pais Oswaldo e Marina, pelo incentivo, confiança, conselhos, paciência e apoio incondicional em todos os momentos de minha vida.

A minha namorada Thaís, por sempre estar ao meu lado me apoiando em todos os momentos durante a graduação e por fazer a minha vida mais feliz.

Agradeço à minha orientadora Prof.^a Dr.^a Edilaine Regina Pereira, à co-orientadora Prof.^a Dr.^a Joseane Debora Peruço Theodoro e ao Prof.^o Joelmir André Borssoi, pela confiança, amizade, oportunidade e principalmente pelos ensinamentos adquiridos durante as aulas e este trabalho.

Aos alunos Fellipe Janz e João Carlos Belisário fico agradecido pela ajuda durante o ensaio, tornando possível a execução deste trabalho.

Agradeço aos professores de graduação do curso de Engenharia Ambiental, pelos conhecimentos adquiridos, pelo empenho, paciência e dedicação durante esta jornada.

Aos meus amigos, de dentro ou fora da universidade, que tanto me ajudaram durante esses anos, pelos momentos felizes, pelas amizades sinceras. Em especial ao pessoal de PDX, que fizeram do meu intercâmbio uma experiência inesquecível.

A Companhia de Abastecimento SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto) do município de Ibiporã – PR, pela disponibilização dos recursos necessários para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

IOSHIMURA, Renato Akira. **Estudo da eficiência granulométrica no processo de filtração direta com aplicação de coagulantes no tratamento de água**. 2016. 63 p. Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

Com o avanço tecnológico e o aumento da população, aumentou-se significativamente a demanda pela água, aumentando assim o cuidado com o seu tratamento. A utilização de coagulantes químicos no tratamento de água gera discussão, pois estes podem ser tóxicos a saúde humana. Devido a esses problemas, se despertou um interesse em buscar novos compostos como alternativa para o uso de coagulantes, como por exemplo, o extrato salino da semente de *Moringa oleifera*. Outro fator importante a se considerar no tratamento de água é a granulometria do material filtrante, em que areia de diferentes granulometrias influem na qualidade do tratamento. Este trabalho tem como objetivo comparar o desempenho do coagulante natural extraído da semente da *Moringa oleifera* e do coagulante químico Sulfato de Alumínio no processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração no tratamento de água, e verificar a melhor granulometria da areia utilizado no processo de filtração direta. Para tal, foram realizados ensaios no equipamento Jar-Test seguido de filtração descendente direta. A concentração para ambos os coagulantes foi de 300 mg.L⁻¹. Para a filtração foram utilizadas três granulometrias distintas: G1 (até 0,425 mm), G2 (0,425 a 850 mm) e G3 (0,850 a 1,70 mm). Os parâmetros analisados foram: pH, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, temperatura e sólidos totais. Após os ensaios, concluiu-se que de forma geral o coagulante natural foi mais eficiente na remoção dos parâmetros analisados. Durante a sedimentação o coagulante natural removeu 72% de cor aparente, 75% de turbidez e 60% de sólidos totais, enquanto que o sulfato de alumínio removeu 25%, 37% e 58%, respectivamente. Após a filtração a eficiência de remoção desses parâmetros aumentou significativamente, em que a granulometria G3 apresentou os melhores resultados para o coagulante natural (94%, 98% e 74%) e G2 apresentou melhores resultados para o coagulante químico (90%, 96% e 74%). Apesar de valores próximos, a granulometria G3 se mostrou moderadamente melhor. G1 também se mostrou eficiente nos tratamentos, porém com valores de remoções menores em relação a G2 e G3. De forma geral, o tratamento utilizando o extrato da semente de *Moringa oleifera* associado a filtração com granulometria G3 (0,850 a 1,70 mm) foi o que obteve os resultados mais satisfatórios, comprovando a eficiência do coagulante natural no tratamento de água.

Palavras chave: *Moringa oleifera*, Sulfato de Alumínio, filtração direta, granulometria, Tratamento de água.

ABSTRACT

IOSHMURA, Renato Akira. **Study of granulometric efficiency in the direct filtration process with the application of coagulants in water treatment.** 2016. 63 p. Graduate work (Environmental Engineering). Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2016.

Due to the technological advancement and increased population, the demand for water has increased significantly, thereby increasing the care of its treatment. The use of chemical coagulants in water treatment generates discussion, as these chemicals can be toxic to human health. Because of these problems there is an interest in finding new compounds as an alternative to the use of coagulants, such as *Moringa oleifera* seed extract. Another important factor to consider in water treatment is the granulometry of the filter material, in which different sand particle sizes influence the quality of the treatment. This study aims to compare the performance of the *Moringa oleifera* seed extracted coagulant and chemical aluminum sulfate coagulant in the process of coagulation / flocculation / sedimentation / filtration in water treatment, and check the best sand granulometry used in the process of direct filtration. The tests were carried out in the Jar-Test equipment followed by direct descendant filtration. The concentration for both coagulants was 300 mg.L⁻¹. In the filtration were used three different granulometries: G1 (up to 0.425 mm), G2 (0.425 to 850 mm) and G3 (0.850 to 1.70 mm). The parameters analyzed were: pH, apparent color, turbidity, electrical conductivity, temperature and total solids. After the tests, it was concluded that in general the natural coagulant was more efficient in the removal of the analyzed parameters. During the sedimentation, the natural coagulant removed 72% of apparent color, 75% of turbidity and 60% of total solids, while aluminum sulfate removed 25%, 37% and 58%, respectively. After filtration, the removal efficiency of these parameters increased significantly, where the granulometry G3 showed the best results for natural coagulant (94%, 98% and 74%) and G2 showed better results for the chemical coagulant (90%, 96% and 74%). Even with close values, granulometry G3 showed to be moderately better. G1 was also efficient in the treatments, but with smaller removal values in relation to G2 and G3. In general, treatment using *Moringa oleifera* seed extract associated with granulometry G3 filtration (0.850 to 1.70 mm) was the one that obtained the most satisfactory results, proving the efficiency of the natural coagulant in water treatment.

Keywords: *Moringa oleifera*, Aluminum Sulfate, direct filtration, granulometry, water treatment.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1 RECURSOS HÍDRICOS	11
3.2 TRATAMENTO DA ÁGUA	12
3.2.1 COAGULAÇÃO	13
3.2.2 FLOCULAÇÃO	15
3.2.3 SEDIMENTAÇÃO	16
3.2.4 FILTRAÇÃO	17
3.3 COAGULANTES.....	21
3.3.1 COAGULANTE QUÍMICO.....	21
3.3.1.1 SULFATO DE ALUMÍNIO	21
3.3.2 COAGULANTE NATURAL	23
3.3.2.1 MORINGA OLEIFERA.....	23
3.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	26
3.4.1 PORTARIA Nº 2914 DE 2011 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1 LOCAL DE COLETA.....	27
4.2 LOCAL DO ENSAIO	27
4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	28
4.4 PRÉ-ENSAIO.....	28
4.5 ENSAIO LABORATORIAL	28
4.5.1 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO	28
4.5.2 FILTRAÇÃO	29
4.6 ANÁLISE DOS PARÂMETROS	32
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1. PH	34
5.2. TEMPERATURA.....	36
5.3. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	37
5.4. COR APARENTE	39
5.5. TURBIDEZ.....	41
5.6. SÓLIDOS TOTAIS	44
5.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA	46
5.7.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA PH	46
5.7.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA TEMPERATURA	48
5.7.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	48
5.7.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA COR APARENTE	49
5.7.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA TURBIDEZ	51
5.7.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA SÓLIDOS TOTAIS	52
6. CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

A água é um bem natural finito e vulnerável de muita importância para a qualidade de vida dos seres humanos e para o desenvolvimento socioeconômico de qualquer nação. O seu uso tem grande importância no desenvolvimento de diversas atividades econômicas, como por exemplo na produção agrícola e nas indústrias. Existe uma estreita relação entre a acessibilidade à água de boa qualidade, adequação da infraestrutura de saneamento e a saúde humana. Com o avanço tecnológico e o aumento da população novos hábitos de consumo surgiram, e assim o aumento significativo da demanda dos recursos naturais, principalmente da água (PHILIPPI, 2005).

Dessa maneira, para se promover o abastecimento de água é necessário a potabilização das águas naturais. Água potável é uma água considerada própria para o consumo humano, cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos atendam os padrões de potabilidade determinados pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, e que não ofereça riscos à saúde. As águas naturais podem apresentar substâncias e microrganismos prejudiciais à saúde. Muitas doenças provêm de água de má qualidade. Para que a água se torne adequada para o consumo é necessário que ela passe por processos de tratamento realizados nas ETAs (Estações de Tratamento de Água), antes que seja distribuída à população (ZOLETT, 2012).

Especificamente na etapa de coagulação geralmente são utilizados coagulantes inorgânicos, de origem química, como o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o sulfato férrico, que são eficientes na remoção de impurezas da água. A utilização de coagulantes químicos está gerando discussão, pois a presença de metais residuais na água, como o alumínio, vem sendo associado a um possível surgimento de doenças neurológicas nos humanos (ROSALINO, 2011). Além disso, os resíduos gerados nas ETAs que são dispostos diretamente no solo ou corpos d'água podem gerar a sua contaminação.

Devido a esses problemas associados ao uso de coagulantes químicos, se despertou um interesse em buscar novos compostos como alternativa para o uso de coagulantes. Dentre os estudados pode-se citar o extrato salino da semente de *Moringa oleifera*. Além de ser um coagulante natural, apresenta importantes vantagens em relação aos coagulantes convencionais, sendo ela biodegradável, de

baixo custo, não-tóxico, não altera o pH da água e apresenta boa remoção de cor e turbidez. Além de produzir menor quantidade de lodo e com menores teores de metais (GHEBREMICHAEL et al., 2005).

Outro fator de grande importância dentro do processo de tratamento de água, está a determinação da granulometria do material filtrante. Lima et al. (2014) estudaram a distribuição granulométrica de areias empregadas em filtros de uma ETA, com objetivo de estudar a influência da granulometria sobre a eficiência da filtração. Constatou-se que as areias da ETA não apresentaram uma granulometria definida e destaca que areia de diferentes granulometrias influem na qualidade do tratamento de água. Diante desta importante constatação o estudo da melhor granulometria para utilização dos filtros segue como foco complementar nessa pesquisa.

Sendo assim, os objetivos desta pesquisa será avaliar a utilização do coagulante natural extraído da semente da *Moringa oleifera* no processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração no tratamento de água, comparando-a com o coagulante químico sulfato de alumínio, e ainda, verificar a melhor granulometria da areia utilizado no processo de filtração direta.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar o uso do coagulante natural extraído da semente de *Moringa oleifera* em comparação com o coagulante químico sulfato de alumínio no processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração e a determinação de uma melhor granulometria de areia utilizada nos filtros na etapa de filtração direta com fluxo descendente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a eficiência de remoção dos parâmetros turbidez, cor aparente e sólidos totais, e o comportamento dos parâmetros pH, temperatura e condutividade elétrica ao longo dos processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração para os coagulantes utilizados;
- Analisar a melhor granulometria de areia através da eficiência no tratamento de filtração;
- Comparar os valores dos resultados obtidos dos parâmetros analisados com os estabelecidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 RECURSOS HÍDRICOS

A água é de fundamental importância para a manutenção da vida no planeta. A sua presença ou ausência determina a ocupação de territórios, extingue e dá vida às espécies, determina o futuro de gerações, entre outros. A água é o que transforma nosso planeta em um ambiente apropriado para a vida (BACCI e PATACA, 2008).

De acordo com Grassi (2001) nosso planeta possui 75% de sua área coberta por água, onde cerca de 97,5% dessa água está presente nos oceanos e mares (água salgada), sendo imprópria para o consumo humano. Dos 2,5% restantes (água doce), aproximadamente 70% estão armazenados nas geleiras e calotas polares. Apenas cerca de 0,77% de toda a água está disponível para o nosso consumo, sendo encontrada na forma de rios, lagos, água subterrânea e outros. O Brasil conta com cerca de 12% da água doce disponível no mundo.

Cada vez mais a relação do homem com o meio ambiente vem se modificando. A água deixou de ser um bem natural e passou a ser vista como recurso hídrico, um bem material. Passamos a usá-la indiscriminadamente, encontrando sempre novos usos, sem avaliar as consequências ambientais em relação à quantidade e qualidade da água (BACCI e PATACA, 2008).

A água é de vital importância e merece tratamento que garanta a sua sustentabilidade presente e futura. Dessa forma, pode-se pensar de imediato, na utilização racional desse bem, o que já seria um significativo passo à frente. Porém, apenas o uso racional não basta, outras medidas devem ser elaboradas a fim de evitar a poluição e o fim deste bem (CARLI, 2011).

Para Libânio (2005), a contaminação das águas naturais representa um dos principais riscos à saúde pública, sendo conhecida devido a estreita relação entre a qualidade de água e inúmeras enfermidades que prejudicam as populações, especialmente aquelas não assistidas por serviços de saneamento.

Bongiovani et al. (2010) afirmam que os principais recursos hídricos utilizados para abastecimento público são mananciais cuja qualidade da água se encontra degradada na maioria das vezes. Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde),

70% dos leitos hospitalares ocupados em todo o mundo, abrigam pessoas portadores de doenças de origem ou transmissão hídricas e aproximadamente 90% dos episódios anuais de diarreia pelo mundo, são atribuídos a deficiências no esgotamento sanitário (BORBA, 2001).

A água pode transportar um alto número de enfermidades e essa transmissão pode ocorrer por diferentes mecanismos. O mecanismo de transmissão mais lembrado e diretamente relacionado à qualidade da água é o da ingestão, onde um indivíduo ingere água que contenha algum agente nocivo à saúde, e esse componente provoca o aparecimento de doenças (BRASIL, 2006).

Os agentes contaminantes de maior importância são a matéria orgânica, os organismos patogênicos, os compostos organossintéticos e os metais pesados. A matéria orgânica tem sua principal origem nos esgotos domésticos e nas indústrias que processam matéria orgânica, como por exemplo, indústrias de laticínios, matadouros, frigoríficos, entre outros (BRASIL, 2006).

De acordo com Castro (2010), as principais doenças veiculadas pela água são causadas por: vírus, como por exemplo, poliomielite e hepatite infecciosa; bactérias, como a febre tifoide, disenteria bacilar, leptospirose, cólera e gastroenterites; por protozoários, como disenteria amebiana e giardíase; e por helmintos, como por exemplo a ancilostomose e ascaridíase.

Praticamente toda água consumida se transforma em esgoto que é reintroduzido nos corpos d'água. Estes mananciais, se contaminados, podem conter microrganismos causadores das várias doenças citadas acima. Além disso, esses mananciais podem conter partículas que também devem ser removidas antes do consumo humano. Por isso, fica a necessidade de se tratar a água para que esta se torne própria para o consumo humano.

3.2 TRATAMENTO DA ÁGUA

Conforme Brandão (2011), o tratamento de água envolve um conjunto de processos utilizados para tornar a água aceitável para a utilização desejada, seja doméstico, lazer, industrial, entre muitos outros.

A principal finalidade do tratamento da água é torná-la potável, eliminando impurezas e/ou corrigindo certas características que, se não estiverem conforme os padrões estabelecidos, impossibilitam ou dificultam o seu consumo (VANACOR, 2005).

O objetivo é servir a comunidade com água de boa qualidade do ponto de vista químico, físico e bacteriológico, atendendo finalidades higiênicas, estéticas e econômicas. A primeira diz respeito à remoção de bactérias, protozoários, vírus, substâncias tóxicas, redução do excesso de impurezas e de substâncias orgânicas. A segunda busca a correção de cor, odor, sabor e turbidez. Já a última tem como objetivo a redução da cor, turbidez, dureza, corrosividade, da presença de ferro e manganês (SOUZA, 2007).

Em uma estação de tratamento de água, as principais etapas são os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração.

3.2.1 Coagulação

A coagulação corresponde à desestabilização da dispersão coloidal, obtida através da redução das forças de repulsão entre as partículas de cargas negativas, por meio da adição de produtos químicos apropriados, geralmente com sais de ferro ou de alumínio ou de polímeros sintéticos, seguidos por agitação rápida, com o intuito de homogeneizar a mistura (PAVANELLI, 2001).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), esse processo transforma as impurezas que se encontram em suspensão fina, ou em solução, em partículas maiores (flocos), para que possam ser removidas por sedimentação e filtração.

De acordo com Franco (2009), é necessário realizar uma análise que compreenda as características físico-químicas da água em tratamento. Quando as condições propícias à coagulação são atendidas a atuação de quatro mecanismos, de forma distinta ou em associação, desencadeiam o mecanismo de coagulação propriamente dito, apresentados a seguir:

- Compressão da camada difusa: Mecanismo caracterizado pela eliminação da estabilidade estática por conta da predominância das forças de Van der

Waals, maximizadas pela adição de íons de carga contrária à das partículas coloidais em suspensão na água bruta (FRANCO, 2009).

Dois importantes aspectos devem ser considerados nesse mecanismo: a quantidade de eletrólitos para haver a coagulação é praticamente independente da concentração de coloides na água; impossibilidade a reversão de carga das partículas coloidais para qualquer quantidade adicionada de eletrólitos (DI BERNARDO, 1993).

- Adsorção e neutralização de cargas: Na dispersão coloidal, ao se adicionar o coagulante ocorrem interações entre coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente (PAVANELLI, 2001). As interações coagulante-solvente são responsáveis pela adsorção do coagulante na interface coloide-água. No caso de espécies hidrolisadas de alumínio e ferro ou de polímeros sintéticos catiônicos, é normal ocorrer a adsorção específica, causada pela interação entre coagulante e coloide (SCHOENHALS, 2006).

As principais diferenças encontradas entre o mecanismo de adsorção, neutralização de cargas e o de compreensão por camada difusa são: a desestabilização dos coloides ocorre com dosagens de coagulantes bem menores; possibilidade a reversão de carga superficial das partículas coloidais através de superdosagem de espécies adsorvíveis (DI BERNARDO, 2000).

- Varredura: é um mecanismo de remoção capaz de produzir flocos maiores e de melhor decantabilidade, sem envolver a neutralização de cargas. Geralmente a ocorrência da reação está relacionada ao pH e a dosagem de coagulante (FRANCO, 2009). Esse mecanismo é bastante empregado em estações de tratamento de água onde a floculação e sedimentação antecedem a filtração. Os flocos formados são maiores do que os formados pela adsorção e neutralização de cargas. Portanto, suas velocidades de sedimentação são maiores (PAVANELLI, 2001).
- Adsorção e formação de pontes: é desenvolvido pela utilização de compostos orgânicos sintéticos ou naturais como coagulantes. Estes podem apresentar sítios ionizáveis ao longo de suas cadeias, podendo ser classificados como catiônicos, aniônicos e anfóteros (MENDES, 1989). Os catiônicos possuem sítios ionizáveis positivos, sendo responsáveis pela neutralização de cargas negativas das partículas em suspensão, já os aniônicos são compostos por

sítios ionizáveis negativos e os anfóteros possuem ambos os sítios (FRANCO, 2009).

3.2.2 Floculação

Após a fase de coagulação ocorre a floculação onde há a formação de flocos devido a agregação de partículas neutralizadas na fase anterior. Os flocos aumentam de peso e tamanho permitindo a sua sedimentação por ação da gravidade, o que facilita a sua separação da água nos processos de sedimentação e filtração (CACHEIRA et al., 2012).

Segundo Paula (2004), a formação dos flocos pode ocorrer espontaneamente, apenas pelos sucessivos choques entre as várias partículas presentes, desde que o sistema possua energia disponível para tal. Porém, se houver uma agitação muito intensa pode ser com que os flocos formados se desagreguem. Por isso, quando há uma agitação mecânica da massa de água, a velocidade de agitação deve ser lenta, de modo a promover o bom contato entre as partículas e os flocos (CACHEIRA et al., 2012).

As interações que ocorrem entre as impurezas desestabilizadoras e os precipitados de metal ou espécies hidrolisadas se efetivam por conta da ação de três mecanismos distintos: sedimentação diferenciada, interação pericinética e interação ortocinética (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A sedimentação diferenciada ocorre devido à desigualdade entre as velocidades de decantação dos flocos formados. Essa diferença resulta no aumento do tamanho dos flocos e conseqüentemente no aumento da decantabilidade. As interações pericinéticas são responsáveis por proporcionar às partículas um movimento desordenado. Esse tipo de interação só surte efeito nas menores partículas já que as maiores não conseguem desenvolver movimento próprio por meio de sua energia (RICHTER e NETTO, 1991). Já as interações ortocinéticas são resultados dos choques provocados pelo gradiente de velocidade do meio. Essa interação é mais efetiva do que as interações pericinéticas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Segundo Heller e Pádua (2010), a função da floculação é acondicionar a água que será encaminhada aos decantadores com as partículas de tamanhos maiores para facilitar a sua remoção. Para as estações convencionais de tratamento a eficiência no êxito da floculação está relacionada pelas características da água decantada, através de monitoramento nos parâmetros turbidez e cor aparente. Para Libânio (2010), os principais fatores que interferem na variação dos valores desses parâmetros estão relacionados ao tempo de detenção ou tempo de floculação no tanque e o gradiente de velocidade.

As etapas de coagulação e a floculação são interdependentes, apesar de parecerem distintas. A diferença básica entre elas é o tempo em que cada uma ocorre e na diferença do valor adotado no gradiente hidráulico. A coagulação se processa na unidade de mistura rápida em um curto espaço de tempo, enquanto a floculação exige um sistema de baixa turbulência, onde a velocidade de agitação é lenta e o tempo de agitação maior (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; RICHTER e NETTO, 1991).

3.2.3 Sedimentação

O processo de sedimentação, também conhecido como decantação, baseia-se na utilização de forças gravitacionais para separação de partículas de densidade superior à da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. As partículas não removidas na sedimentação deverão ser removidas na filtração (CARVALHO, 2008). A sedimentação consiste na operação unitária que mostra a eficiência das etapas realizadas anteriormente, ou seja, coagulação e floculação. Sendo assim, não há adição de produto químico nessa etapa do tratamento.

Segundo Trevisan (2014), a velocidade de sedimentação dos flocos formados pela floculação depende principalmente da qualidade da água bruta, das características químicas da coagulação e dos parâmetros físicos da floculação.

Esse mecanismo pode ocorrer de forma contínua ou descontínua, em equipamentos chamados decantadores ou sedimentadores (CREMASCO, 2012). Estes geralmente apresentam operação contínua e uma parte cilíndrica e outra parte cônica, o que facilita a retirada da corrente de fundo. Na parte superior do decantador é onde ocorre a saída da água tratada por transbordamento. Já a alimentação do

decantador é realizada na parte central do equipamento (NUNES, 2008; DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Os flocos sedimentados formam uma camada de lodo no fundo dos decantadores. Essa camada deve ser removida periodicamente. Dependendo do porte da ETA, a remoção dos sólidos depositados pode ser realizada de forma mecanizada, hidráulica ou manual (RICHTER e NETTO, 1991). No caso de limpeza manual, a remoção é realizada após cerca de 30 a 60 dias de operação, com o esvaziamento da unidade e lavagem por jateamento de água sob alta pressão, resultando concentrações de sólidos totais entre 4 e 13% (GRANDIN, 1992).

Com o objetivo de obter estabilidade na formação dos flocos, os decantadores são projetados para evitar turbulências indesejáveis, conservando as condições hidráulicas ideais para a formação dos flocos no período de mistura lenta. As principais formas de decantadores utilizados são as circulares, quadrados e retangulares (FRANCO, 2009).

Segundo Cacheira et al. (2012), quanto maior o tamanho dos flocos, maior é o grau de sedimentação. Em seus estudos, os melhores resultados na aplicação de coagulantes se obtiveram quando houve uma maior velocidade de sedimentação, provocando um menor grau de turvação e formação de flocos de maiores dimensões.

Cardoso et al. (2008) observaram em seus estudos que, de forma geral, quanto maior o tempo de sedimentação, maior o valor obtido para a remoção dos parâmetros cor e turbidez. Isso se deve ao fato de que quanto maior o tempo de repouso, maior a quantidade de partículas floculadas que sedimentarão. Os ensaios realizados para um tempo de decantação superior a 60 minutos apresentaram bons valores de remoção dos parâmetros.

3.2.4 Filtração

De acordo com a CESAN (Companhia Espírita Santense de Saneamento), a filtração é um dos processos mais importantes no tratamento de água, pois é nele que todo o restante dos flocos que não foram removidos na sedimentação será retirado. Essa etapa é importante não só para remover a turbidez da água, mas nela também inicia a remoção de microrganismos patogênicos.

A filtração vai eliminar a maior parte das impurezas encontradas na água, pois essas partículas ficam retidas nos filtros por onde a água passa. Nessa etapa do tratamento toda sujeira é eliminada (Brandão, 2011).

A eliminação dos sólidos nos filtros está baseada no princípio de ação mecânica que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores que as dos poros da camada filtrante. As partículas vão sendo retidas nos poros do meio filtrante, proporcionando seu acúmulo e aumentando assim a perda de carga. Conforme for se desenvolvendo o processo de filtração, os vazios vão sendo obstruídos pelas partículas, reduzindo o diâmetro dos poros e passando a reter partículas de diâmetros cada vez menores, o que aumenta a eficiência de remoção de sólidos no sistema (POVINELLI e MARTINS, 1973).

Segundo a SNatural, uma empresa especializada em tratamento de água e efluente, um meio filtrante ideal possui diâmetro grande o suficiente para formar poros de dimensão capazes de reter grandes quantidades de flocos e diâmetro pequeno o suficiente para evitar a passagem de sólidos em suspensão. Possui também profundidade adequada para permitir corridas de filtração suficientemente longas. Conforme Pizarro Cabelo (1996), o processo de retenção de sólidos suspensos no meio poroso ocorre por meio de três ações distintas:

- Peneiramento ou coamento: fenômeno superficial que vai reter partículas de tamanho superior aos poros.
- Sedimentação: a passagem da água pelos poros permite que cada espaço poroso funcione como um pequeno decantador, favorecido pela redução da velocidade da água.
- Adesão e coesão: o contato entre uma partícula em suspensão com o grão do material filtrante ou sedimentos cria forças de atração elétrica, o que explica como os filtros retêm partículas muito menores que o tamanho dos poros.

A performance de um filtro pode ser determinada de acordo com a água a ser filtrada, pelas características do material particulado presentes, pelo produto coagulante, bem como pela construção do filtro, meio filtrante e condições operacionais. Sendo assim, o desenvolvimento na tecnologia da filtração pode ser considerado sob dois diferentes aspectos: condicionamento químico do particulado e, construção, manutenção e operação do filtro (RIBEIRO e KOWATA, 1998).

Um dos materiais utilizados em ETAs convencionais é a areia. Segundo Testezlaf (2008), para a seleção correta da areia devem ser utilizados dois parâmetros: diâmetro efetivo médio das partículas e o coeficiente de uniformidade. Para Brinck (2009), a eficácia do material granular como meios de filtração é dependente do tamanho, da uniformidade, e da composição dos grãos.

A SSAESMA (Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Mateus) (2013) do estado de Espírito Santo utiliza a areia como meio filtrante juntamente com o pedregulho. A areia possui diâmetro entre 0,60 mm e 1,40 mm. A camada de pedregulho é o suporte do leito filtrante. A ETA apresenta uma boa remoção de bactérias, cor e turbidez, pouca remoção de odor e sabor.

Os filtros de areia são constituídos, basicamente, em tanques ou reservatórios cilíndricos metálicos ou de poliéster, em cujo interior se coloca camadas de areias, com diferentes granulometrias. O filtro de areia apresenta um desempenho superior em reter material orgânico quando comparado com outros tipos de filtros devido a sua capacidade de coletar esses contaminantes ao longo da trajetória percorrida na camada de areia (KELLER e BLIESNER, 1990).

A eficiência de filtração dos filtros de areia é medida de acordo com sua capacidade de remover partículas de um determinado tamanho, e essa eficiência aumenta com a redução da granulometria do elemento. Areias muito grossas podem resultar em filtração ineficiente e pode ocasionar o entupimento dos emissores, enquanto areias muito finas podem entupir rapidamente seus poros e requerer retrolavagens frequentes.

Não existem normas específicas no Brasil que dizem respeito à caracterização de material filtrante utilizado em filtros de areia, havendo somente a norma EB-2097 (ABNT, 1990), que fixa as condições para recebimento e colocação de areia, antracito e pedregulho como camada suporte em filtros de abastecimento público de água. Souza (2007), classifica os filtros conforme os critérios abaixo:

- Quanto a taxa de filtração:
 - Filtro lentos: baixa taxa de filtração (2,4 a 9,6 m³/m²);
 - Filtros rápidos: alta taxa de filtração (120 a 480 m³/m²).
- Quanto ao sentido do fluxo da água a ser filtrada:
 - Filtros de fluxos ascendente: quando a água a ser filtrada segue o fluxo de baixo para cima;

- Filtros de fluxos descendente: quando a água a ser filtrada segue o fluxo de cima para baixo.
- Quanto ao número de camadas filtrantes:
 - Filtros de camada simples: só tem uma camada filtrante;
 - Filtros de múltiplas camadas: têm mais de uma camada filtrante.
- Quanto a pressão de operação:
 - Filtros de pressão: são filtros que operam com pressão acima da atmosférica;
 - Filtros de gravidade: são aqueles abertos cuja água está em contato direto com a atmosfera.

A remoção das partículas e microrganismos que não foram removidos na etapa de sedimentação pode ser realizada com o auxílio da filtração lenta ou rápida. A filtração lenta é recomendada para águas de baixa turbidez e possui uma estrutura de funcionamento simplificada, sem o uso de produtos químicos. No entanto o tipo de filtro mais utilizado é o filtro de areia rápido por gravidade. Esse sistema é composto por camadas de areia e brita, que são revestidas por uma estrutura de concreto, dotadas de drenos que regularizam o fluxo da água filtrada (DI BERNARDO, 1993; SCALIZE, 1997).

O uso inadequado de filtros de areia em alguns lugares é favorecido pela falta de informação sobre a classificação do meio poroso baseado em suas características físicas e em seu desempenho hidráulico dentro dos limites recomendados (TESTESLAF, 2008).

O uso de uma granulometria de areia mais fina, associado a maiores taxas de filtração, resulta em maiores perdas de pressão, o que proporciona uma maior remoção de partículas (MESQUITA et al., 2012). Segundo Puig-Bargués et al. (2005), o filtro de areia apresenta eficiência positiva na remoção de partículas a partir de 25 μm e pode atingir até 100% de eficiência a partir do diâmetro de 125 μm .

Nos estudos de Ribeiro e Kowata (1998), foram analisados os valores de pH, cor aparente e turbidez da água filtrada por filtros diretos ascendentes bem como da água bruta analisada. No caso da água bruta, houve redução progressiva na cor aparente, turbidez em virtude da recirculação, ou seja, a água filtrada era encaminhada para o reservatório de água bruta, promovendo a diluição. A remoção da cor e da turbidez, em um intervalo de 100 horas, foi de 69% e 82% respectivamente.

3.3 COAGULANTES

Os coagulantes usualmente utilizados nos processos de tratamento de água são os químicos, principalmente o sulfato de alumínio e cloreto férrico (KAWAMURA, 2000). A escolha do coagulante é muito importante para que haja um bom funcionamento do processo de coagulação. A escolha dependerá principalmente das características da água ou efluente a ser tratado, da tecnologia do tratamento e do custo do coagulante (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). A dosagem de coagulante a se utilizar depende das características da água a ser tratada, do custo com produtos químicos e dos valores de parâmetros de cor e turbidez que se pretende alcançar.

Os coagulantes químicos são efetivos na remoção de uma ampla variedade de impurezas da água, como partículas coloidais e substâncias orgânicas. Porém, o uso destes coagulantes tem sido discutido devido à presença de metais remanescente na água tratada e no lodo gerado ao final do processo, podendo apresentar altas concentrações, o que dificulta a disposição do mesmo (CORAL, 2009).

Segundo Heller e Pádua (2006), a utilização de coagulantes naturais no tratamento da água bruta pode ser uma boa alternativa, pois pode se obter certas vantagens como: aumentar a vida útil dos filtros, reduzir gastos com produtos químicos, diminuir o volume de lodo gerado, aumentar a eficiência na remoção de cor e turbidez, entre outros.

3.3.1 Coagulante Químico

3.3.1.1 Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio é o coagulante mais utilizado no tratamento de água devido a sua boa eficiência, ser de fácil transporte e manejo, e ser produzido em várias regiões brasileiras. Quando adicionado à água, esse coagulante químico sofre um processo de hidrólise formando uma série de reações complexas de hidrólise (CARVALHO, 2008; KAWAMURA, 2000).

A acidez livre da solução de sulfato de alumínio influi ativamente na eficiência da coagulação, o seu valor depende da qualidade da água bruta. A coagulação no

mecanismo da varredura é mais eficiente quando empregadas soluções de sulfato de alumínio com menor valor de acidez livre, enquanto o mecanismo de adsorção-neutralização de cargas resulta mais eficiente com maiores valores de acidez livre (VANACOR, 2005).

Conforme as reações de hidrólise vão ocorrendo, são formados íons H^+ que, a partir do momento em que sua quantidade aumenta na água, o pH da mesma diminui. Conforme o pH da mesma se torna mais ácido, forma-se menos precipitado e por isso a eficiência da coagulação do sulfato de alumínio na água diminui. O sulfato de alumínio é eficiente quando o pH se encontra entre 5,5 a 8,5. Fora dessa variação, os íons de alumínio se tornam solúveis em água, portanto não precipitam, tornando ineficiente a coagulação (ROSALINO, 2011).

De acordo com Piantá (2008), o sulfato de alumínio é muito eficiente na redução da cor, turbidez e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), podendo diminuir os valores iniciais desses parâmetros em até 43%. No entanto, a utilização de sulfato de alumínio como coagulante no tratamento de água gera certas críticas, pois sua presença na água vem sendo associado a ocorrência de doenças neurológicas no ser humano.

Silva e Lauria (2006) observaram em seus estudos que o pH da água bruta onde o sulfato de alumínio apresenta melhores resultados de coagulação é de 8,5. Em todas as dosagens estudadas pelos autores as reduções de cor e turbidez foram satisfatórias. Para o melhor resultado observado, a redução de cor foi de 120 uC para menos de 10 uC. Já o parâmetro turbidez foi reduzido de 16,5 NTU para 1,54 NTU. Em relação ao custo, o sulfato de alumínio é preferível quando comparado ao cloreto férrico, por exemplo.

Padilha et al. (2011) testou em seu estudo 5 diferentes dosagens de sulfato de alumínio e cloreto férrico no tratamento de água, sendo as dosagens de 10, 15, 20, 30 e 40 $mg L^{-1}$. Em uma água bruta com turbidez de 41,5 NTU e pH de 6,6 a dosagem de sulfato de alumínio que apresentou uma melhor remoção de turbidez foi a de 15 $mg L^{-1}$, apresentando uma turbidez remanescente inferior a 5 NTU. Para todas as dosagens a turbidez remanescente foi inferior a 20 NTU.

Existem dois tipos de sulfato de alumínio, o líquido e o granulado. O líquido é produzido a partir de hidrato de alumínio, onde se mantém um teor de água suficiente para impedir sua cristalização. É comercializado com 7 a 8% de alumina (Al_2O_3) em

sua composição, se tiver teores acima disso o produto cristaliza. Quando em boa qualidade, não apresenta resíduos insolúveis e é incolor (PAVANELLI, 2001).

O sulfato de alumínio líquido tem sido adotado em muitas ETAs de comunidades que se encontram mais próximas do fabricante, pois apresenta menos impureza que o granulado em concentrações relativamente altas, algo em torno de 45 a 50%. O sulfato de alumínio granulado não deve ser empregado quando a água se apresentar com valores relativamente altos de pH e alcalinidade (DI BERNARDO, CONCEIÇÃO e DI BERNARDO, 1996).

Existem alguns empecilhos relacionado ao uso do sulfato de alumínio. Quando ele reage com a alcalinidade natural da água, forma-se o sulfato de cálcio. Quando há quantidades consideráveis de compostos de sódio e potássio, pode ocorrer o aparecimento de flocos de sulfato de alumínio em partículas insignificantes. Além de ineficazes na coagulação, estas partículas não decantam e passam através de um filtro de areia. Para remediar esse problema aumenta-se a quantidade de sulfato de alumínio, porém nem sempre isso funciona (VANACOR, 2005).

Outro problema relacionado a esse coagulante é que o lodo proveniente do decantador e das retrolavagens do filtro não é biodegradável, causando assim um problema sério em relação a dificuldade de tratamento e disposição final do lodo gerado (CARVALHO, 2008). O sulfato de alumínio pode ser tóxico para os seres humanos, dependendo da dosagem pode provocar doenças de demência e coordenação motora, como Alzheimer e Mal de Parkinson. Por esses motivos, estudos vem sendo realizados para desenvolver e utilizar outros coagulantes na água para substituição do sulfato de alumínio como coagulante no tratamento de água (PIANTÁ, 2008).

3.3.2 Coagulante Natural

3.3.2.1 *Moringa oleifera*

Uma alternativa para o tratamento de águas e de efluentes que vem sendo discutida ultimamente é a utilização da semente de *Moringa oleifera* como coagulante natural. Este coagulante é extraído da semente quando ela é descascada e triturada.

Moringa oleifera é uma planta tropical pertencente à família *Moringaceae* (KATAYON et al., 2006), com 14 espécies conhecidas. A *Moringa oleifera* é nativa da Índia, mas atualmente pode ser encontrada em diversos países da Ásia, África e América Latina (BHATIA et al., 2007). A Figura 1 representa sementes de *Moringa oleifera*.

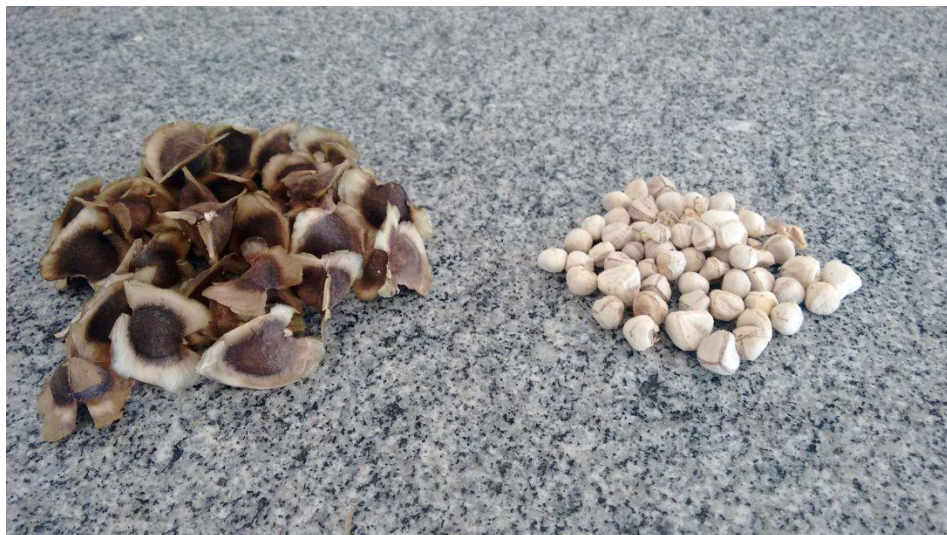


Figura 1 - Sementes de *Moringa oleifera* com e sem casca.
Fonte: Autoria própria.

É importante destacar que o uso do extrato da semente de *Moringa oleifera* como coagulante natural apresenta algumas vantagens importantes quando comparado ao uso de coagulantes químicos convencionais, dentre elas podemos citar: não requer ajustes de pH e alcalinidade, não causa problemas de corrosão, possui um baixo custo, não altera o pH da água e produz baixo volume de lodo (GHEBREMICHAEL, 2004; VAZ, 2009).

De acordo com Paterniani et al. (2009), as sementes de *Moringa oleifera* possuem proteínas com baixo peso molecular e quando dissolvido em água, já triturado, adquirem carga carregadas positivamente que atraem partículas de cargas negativas tais como, argilas e siltes, formando flocos densos que sedimentam.

As sementes de *Moringa oleifera* são uma alternativa viável de agente coagulante para substituir os sais de alumínio e cloreto férrico, que são utilizados no tratamento de água em todo o mundo. Em recente estudo avaliando o potencial coagulante da semente integral e a torta da extração, também denominado farelo desengordurado, obteve-se nas mesmas concentrações de coagulantes valores mais baixos de turbidez, tempo ótimo de estabilização e redução da matéria orgânica (KABORE et al., 2013).

É importante destacar que o ideal é utilizar sementes colhidas recentemente para o tratamento de água, pois uma má conservação das sementes de *Moringa oleifera* pode ser responsável pela degradação de sua proteína coagulante (BORBA, 2001).

Camacho et al. (2014) realizaram um estudo para avaliar a eficiência do coagulante natural extraído da semente de *Moringa oleifera* na remoção das células de cianobactéria presente na água. Amostras contaminadas artificialmente foram submetidas ao processo de coagulação/floculação em equipamento Jar-test, onde foi avaliada a remoção de cianobactéria, cor e turbidez. A remoção de cianobactérias variou de 65 a 92%, a remoção de cor variou de 86 a 94% e a remoção de turbidez variou de 81 a 91%, o que mostra uma alta eficiência do coagulante natural.

Schwarz (2000) observou em seus estudos que o uso de *Moringa oleifera* não garante que a água bruta fique completamente livre de germes patogênicos, não a purificando completamente. Porém, o seu uso reduz drasticamente o número de partículas em suspensão, como também reduz a quantidade de microrganismos na água bruta. Consequentemente, reduz o número de doenças de veiculação hídrica.

Em estudos realizados por Paterniani (2009) notou-se que a solução coagulante obtida das sementes de *Moringa oleifera* se mostrou eficiente para tratar águas com turbidez variando de 50 a 100 NTU, seja por sedimentação simples quanto por filtração lenta. As reduções médias da turbidez e da cor aparente são de 90 e 96% nos processos de sedimentação simples e filtração lenta, respectivamente. Quanto maior a turbidez da água bruta a ser tratada maior deve ser a concentração do coagulante empregado.

Nenhuma evidência de que estas sementes possam causar algum efeito nos seres humanos foi encontrada. Sendo assim, pode-se afirmar que o tratamento da água com a semente de *Moringa oleifera* não apresenta riscos à saúde, já que além de atuar como agente coagulador, em algumas localidades essas sementes também possuem inúmeros usos na alimentação humana (CARDOSO et al., 2008).

3.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

3.4.1 Portaria Nº 2914 de 2011 do Ministério da Saúde

Dentre as leis que regem os recursos hídricos a critério nacional, podemos citar uma em especial. A Portaria Nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A portaria impõe que compete ao responsável pelo sistema de abastecimento exercer o controle da qualidade da água, tendo controle operacional dos pontos de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição. Além de garantir a capacitação e atualização técnica de todos os profissionais que atuam de forma direta no fornecimento e controle da qualidade da água para consumo humano.

As metodologias analíticas para determinação dos parâmetros previstos na Portaria Nº 2914/2011 devem atender às normas nacionais ou internacionais mais recentes, como por exemplo, a Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de autoria das instituições American Public Health Association (APHA, 2012), e as metodologias propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

A Portaria Nº 2914/2011 define, entre outros, os valores máximos permitidos das características da água potável e a frequência em que as amostras de água devem ser coletadas. Dentre os parâmetros da água, alguns merecem destaque tais como cor, turbidez, pH e sólidos totais. O valor máximo permitido para cor aparente da água de acordo com o documento é de 15 uH. Já para a turbidez o valor máximo permitido é de 5 uT, que deve ser assegurado em todo o sistema de distribuição. O pH recomenda-se que no sistema de distribuição se mantenha na faixa de 6 a 9,5. Para os resíduos sólidos totais o valor máximo permitido para os sólidos dissolvidos totais é de 1000 mg L⁻¹. O Anexo X da Portaria Nº 2914/2011, que diz respeito ao padrão organoléptico de potabilidade da água, aponta que o valor máximo permitido para o alumínio é de 0,2 mg L⁻¹.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE COLETA

A água utilizada para a realização desse trabalho foi coletada na estação de tratamento da SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto) localizada no município de Ibiporã – PR à aproximadamente 15 km de Londrina. A água em questão é captada do manancial Ribeirão Jacutinga, um corpo d'água de Classe II situado nas proximidades dessas cidades.

4.2 LOCAL DO ENSAIO

As amostras de água foram coletas em galões de 20 litros e encaminhadas para os Laboratórios de Saneamento e o Laboratório de Poluentes Atmosféricos (Figura 2) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Londrina, localizado à latitude 23°18'25,7"S e longitude 51°06'57,6"O, onde foram executadas as análises experimentais.



Figura 2. Laboratório de Saneamento e Laboratório de Poluentes Atmosféricos, UTFPR – Londrina.

Fonte: Autoria própria.

4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Antes da execução dos ensaios foi necessário o preparo da solução dos coagulantes. Para a *Moringa oleifera* ser utilizada como coagulante foi preciso extrair seus componentes ativos. Em uma proporção de 10 gramas de sementes para 1L em balão volumétrico de água destilada as sementes foram descascadas, lavadas, trituradas no liquidificador, misturadas à uma solução salina de concentração de 1 molar de NaCl (Cloroeto de sódio), e coada em um coador de pano. Já para o preparo do coagulante químico sulfato de alumínio foi diluído 1 mL de sulfato de alumínio para 1L de água destilada.

4.4 PRÉ-ENSAIO

Após a preparação dos coagulantes foi necessário definir as melhores concentrações para cada um deles. Para tal objetivo foi realizado um pré-ensaio de coagulação/floculação onde esses testes foram executados utilizando béqueres com 100 mL da amostra de água no qual foram adicionadas diferentes concentrações de coagulante para se verificar o momento em que ocorresse a coagulação/floculação. Foi escolhido a melhor concentração para cada coagulante, que foi aplicado nos ensaios seguintes. Tanto para o coagulante natural extraído da semente de *Moringa oleifera* quanto para o coagulante químico sulfato de alumínio, a concentração que obteve melhores resultados foi de 300 mg.L⁻¹.

4.5 ENSAIO LABORATORIAL

4.5.1 Coagulação/Floculação/Sedimentação

Para a realização dos experimentos foi utilizado um equipamento de reatores estáticos chamado Jar-Test da marca Nova Ética, modelo 218 – LDB/06. Este

equipamento tem como objetivo a determinação da condição ótima para que ocorra a coagulação/floculação/sedimentação da água por meio do tempo de agitação e gradiente de agitação. O objeto possui 6 jarros de acrílico de 2 litros cada e pás rotativas por onde se controla a velocidade de agitação (Figura 3).



Figura 3. Equipamento Jar-Test.
Fonte: Autoria própria.

No experimento foi adicionado a água a ser tratada nos jarros. Em seguida foi adicionado o coagulante em cada jarro simultaneamente e o tempo de mistura e rotação foram adaptados de Theodoro (2012). Para o processo de coagulação, onde ocorre a mistura rápida, o tempo de mistura foi de 3 minutos e velocidade de rotação de 150 rpm. Já para o processo de floculação, de mistura lenta, o tempo foi de 10 minutos e velocidade de rotação de 15 rpm. Após esse tempo o equipamento foi desligado, começando assim o processo de sedimentação. Após 3 minutos as coletas foram iniciadas num período de 10 em 10 minutos até completar 23 minutos de sedimentação.

4.5.2 Filtração

Para o processo de filtração, foram construídos 6 filtros em paralelo adaptados logo abaixo do Jar-Test de forma que a água saia diretamente do jarro para os filtros após os 23 minutos de sedimentação, simulando uma filtração direta com fluxo

descendente. Para a construção dos filtros foi adaptada uma estrutura metálica que suportava os filtros de garrafas de Polietileno Tereftalato (PET). As camadas filtrantes foram compostas por cascalho e areia, enquanto algodão e filtro de papel foram utilizados como suporte para o meio filtrante (Figura 4).



Figura 4. Filtros de areia utilizados no experimento.
Fonte: Autoria própria.

As granulometrias das areias foram diferentes com objetivo de avaliar as diferenças na eficiência do tratamento. Os filtros F1 e F2 apresentam granulometria de até 0,425 mm, os filtros F3 e F4 na faixa de 0,425 a 850 μ m, e os filtros F5 e F6 apresentam granulometria na faixa de 0,850 a 1,70 mm. Para a montagem de cada filtro a areia foi colocada em um béquer, adicionado água destilada e com um bastão de vidro mexeu-se continuamente. Em seguida a areia foi colocada nos filtros adicionando-se simultaneamente água destilada. Foi padronizada a compactação da areia para evitar formação de vazios ou bolsas de ar. Esse procedimento foi repetido até se atingir uma espessura de 15 cm (DI BERNARDO, 2003).

Para a classificação da granulometria de areia, foi utilizado um agitador eletromagnético juntamente a um conjunto de peneiras com diferentes granulometrias (Figura 5), empilhadas de forma que as peneiras de maior abertura fiquem em cima, com o intuito de separar a areia nas faixas de granulometrias citadas.



Figura 5. Agitador eletromagnético e peneiras.
Fonte: Autoria própria.

Durante o processo de filtração foi monitorado continuamente a vazão de água filtrada, ajustando a posição da barra coletora na saída do Jar-Test, de modo que a taxa de filtração fosse constante ao longo do tempo. Para o controle da vazão foi fixado um transferidor na extremidade da barra coletora e as angulações utilizadas se encontram na Tabela 1. O tempo de filtração foi de 6 minutos ou até ser obtido um volume suficiente para a medição dos parâmetros desejados. Após a filtração, as águas foram coletadas para análise. Sendo assim, os tratamentos foram constituídos da seguinte forma:

- C1 – aplicação da *Moringa oleifera* (100%)
- C2 – aplicação do Sulfato de Alumínio (100%)

Todas as análises foram realizadas em duplicata para melhor acompanhamento dos resultados.

Tabela 1 – Variação da inclinação da barra coletora

Tempo (minutos)	Angulações (graus)
0 - 2	70
2 - 4	60
4 - 6	50

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2015).

4.6 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

Para todas as amostras de cada coagulante foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, pH e sólidos totais. As análises foram efetuadas conforme os procedimentos descritos pelo Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) de acordo com o Quadro 1.

Parâmetro	Equipamento	Metodologia
Turbidez	Turbidímetro HACH 4000	2030 B
Cor Aparente	Espectrofotômetro HACH 4000	2120 C
Condutividade Elétrica	Conduvímetero Mca 150	2510 B
pH	pHmetro mPA - 210	4500 B
Sólidos Totais	Estufa SL 100, Mufla MA 385, Balança AW 220	2540 B
Temperatura	Termômetro Digital	-

Quadro 1. Parâmetros analisados, equipamentos e metodologia.

Fonte: APHA (2012).

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3. O modelo estatístico considerou, além do efeito dos fatores Coagulante (em dois níveis), Tempo (em três níveis) ou Granulometria (em três níveis), o efeito da interação entre os fatores. Assim, o modelo estatístico multiplicativo fica dado pela Equação 1.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk}, \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

- Y_{ijk} = observação correspondente à r -ésima unidade experimental submetida ao i -ésimo nível do fator Coagulante e j -ésimo nível do fator Concentração ou Tempo;
- μ = média global comum a todas as observações;

- α_i = efeito do i -ésimo nível do fator Coagulante;
- β_j = efeito do j -ésimo nível do fator Concentração ou Tempo;
- $\alpha\beta_{ij}$ = é o efeito de interação entre o i -ésimo nível do fator Coagulante e o j -ésimo nível do fator Concentração ou Tempo;
- e_{ijk} = componente do erro aleatório associado à observação Y_{ijk} .

O modelo está sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^2 \alpha_i = 0 \quad \sum_{j=1}^3 \beta_j = 0 \quad \sum_{i=1}^2 \alpha\beta_{ij} = 0 \quad \sum_{j=1}^3 \alpha\beta_{ij} = 0,$$

Para: $i = 1, 2$ (nº de níveis de α : coagulante);

$j = 1, 2, 3$ (nº de níveis de β : concentração do coagulante);

$k = 1, 2, 3$ (nº de repetições).

As suposições associadas ao modelo são que os erros, e_{ijk} , são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (IID), com distribuição normal de probabilidade, com média zero e variância constante (homocedasticidade) – $e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$.

Tanto para a análise de variância quanto para as comparações de médias foi considerado um nível de 5% de significância. Para as comparações de médias foi utilizado o teste de Tukey.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água bruta utilizada para o desenvolvimento desse trabalho foi caracterizada e os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização da água bruta.

Parâmetro	Valor
pH	6,98
Temperatura (°C)	27
Condutividade elétrica (mS.cm ⁻¹)	0,18
Cor aparente (mg PtCo.L ⁻¹)	242
Turbidez (NTU)	113
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	210

Por meio da aplicação da metodologia descrita no item 4.5 foram realizados os ensaios para cada coagulante e os resultados obtidos foram organizados da seguinte forma: pH (5.1), Temperatura (5.2), Condutividade elétrica (5.3), Cor aparente (5.4), Turbidez (5.5), Sólidos Totais (5.6) e Análise estatística (5.7).

5.1. pH

A Tabela 3 apresenta a variação dos valores de pH para cada jarro do Jar-Test de acordo com os tempos de sedimentação T1 (3 min), T2 (13 min) e T3 (23 min).

Tabela 3. Variação de pH durante a sedimentação.

pH	Sulfato de Alumínio			<i>Moringa oleifera</i>		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
J1	6,59	6,60	6,78	6,36	6,59	6,73
J2	6,60	6,76	6,79	6,39	6,69	6,75
J3	6,68	6,86	6,86	6,46	6,75	6,69
J4	6,73	6,71	6,92	6,54	6,70	6,77
J5	6,77	6,88	6,88	6,58	6,75	6,83
J6	6,75	6,87	6,93	6,61	6,76	6,74
MÉDIA	6,69	6,78	6,86	6,49	6,71	6,75

Por meio dos dados, verifica-se que houve uma pequena variação do pH quando se comparado ao valor da amostra bruta (6,98) tanto para o coagulante químico Sulfato de Alumínio quanto para o coagulante natural *Moringa oleifera*. Observando os valores médios de cada tempo de sedimentação é possível observar uma variação de pH de 6,69 a 6,86 para o Sulfato de Alumínio, e de 6,49 a 6,75 para o coagulante natural.

Conforme o esperado, o coagulante natural não mostrou significativas alterações no pH da amostra. Paterniani (2009) observou durante os seus ensaios de tratamento de água superficiais que os valores de pH não apresentaram alterações significativas, permanecendo entre 6 e 7. Moreti et al. (2013), utilizou o coagulante de *Moringa oleifera* no tratamento de água para fins potáveis e verificou que a adição do coagulante não influencia o pH da água tratada, mantendo-se estável em torno de 7 em todas as concentrações aplicadas. Índícios que o extrato não contribui para alterações na relação H^+ / OH^- em solução.

Para o Sulfato de Alumínio esperava-se que o pH sofresse alterações em relação ao pH bruto, fato esse que não ocorreu como pode-se observar nos dados acima. Coral (2009) observou em seus estudos com Sulfato de Alumínio no tratamento de água para consumo, que ocorre uma redução de pH de acordo com o aumento da concentração do coagulante, o que pode ser justificado pelo fato do sulfato de alumínio ser um coagulante ácido, podendo abaixar significativamente o pH de uma solução. Silva e Lauria (2006) verificaram em seus estudos com diferentes tipos de coagulantes químicos que o pH em que o Sulfato de Alumínio apresenta melhores resultados de coagulação é 8,5, e que conforme se aumenta a dosagem do coagulante o pH diminui.

A Tabela 4 mostra a variação média de pH após o processo de filtração.

Tabela 4. Variação média do pH após a filtração.

Variação de Granulometria	pH	
	Sulfato de Alumínio	<i>Moringa oleifera</i>
G1	6,91	6,86
G2	7,14	6,94
G3	7,15	6,75

É possível observar que o pH da água tratada com ambos os coagulantes não sofreu alterações significativas quando comparado ao pH bruto de 6,98. Sendo assim, é possível afirmar que a filtração, assim como as diferentes granulometrias de areia, não teve influência sobre o pH da água tratada.

Após o ensaio, temos que para ambos os coagulantes o pH está de acordo com a legislação Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde, no qual recomenda-se que no sistema de distribuição, o pH seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

5.2. Temperatura

A Tabela 5 mostra a variação de temperatura durante os diferentes tempos de sedimentação.

Tabela 5. Variação de Temperatura durante a sedimentação.

Temperatura (°C)	Sulfato de Alumínio			<i>Moringa oleifera</i>		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
J1	26	26	27	19	20	20
J2	26	26	27	20	20	20
J3	26	26	27	20	20	20
J4	26	27	27	19	20	20
J5	26	27	27	20	20	20
J6	26	27	27	19	20	20
MÉDIA	26	26,5	27	19,5	20	20

É possível observar que não houve variação significativa na temperatura durante a sedimentação. Os diferentes valores entre os coagulantes se deve ao fato de que os ensaios para cada coagulante foram realizados em dias e horários distintos. A temperatura da amostra bruta foi de 27°C pois a caracterização da mesma foi realizada no mesmo dia que o ensaio com o coagulante químico Sulfato de Alumínio. O mesmo comportamento pode ser observado para os dados após a filtração, conforme a Tabela 6. As diferentes granulometrias de areia não têm influência sobre a temperatura da água tratada tanto com Sulfato de Alumínio quanto com *Moringa oleifera*.

Tabela 6. Temperatura média após a filtração.

Variação de Granulometria	Temperatura (°C)	
	Sulfato de Alumínio	<i>Moringa oleifera</i>
G1	26	20
G2	26	20
G3	27	20

5.3. Condutividade Elétrica

A Tabela 7 apresenta os valores de condutividade elétrica durante os diferentes tempos de sedimentação.

Tabela 7. Variação de Cond. Elétrica durante a sedimentação.

Condutividade Elétrica (mS.cm ⁻¹)	Sulfato de Alumínio			<i>Moringa oleifera</i>		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
J1	0,17	0,17	0,17	0,54	0,54	0,57
J2	0,17	0,17	0,17	0,56	0,56	0,57
J3	0,17	0,17	0,17	0,56	0,56	0,58
J4	0,17	0,17	0,17	0,57	0,59	0,57
J5	0,17	0,17	0,17	0,56	0,58	0,59
J6	0,17	0,16	0,17	0,58	0,58	0,59
MÉDIA	0,17	0,17	0,17	0,56	0,57	0,58

Se comparado ao valor bruto de 0,18 mS.cm⁻¹, pode-se verificar que não houve alteração significativa de condutividade elétrica para o Sulfato de alumínio. Já para o coagulante de *Moringa oleifera* houve um aumento considerável desse parâmetro, de 0,18 para 0,58 mS.cm⁻¹. Isso pode ser explicado pela presença de sais e proteínas presentes na solução. Henriques et al. (2014) observaram em seus estudos no uso da *Moringa oleifera* na clarificação de água para abastecimento, que a condutividade elétrica tende a sofrer um aumento, podendo isso ser atribuído à liberação de espécies iônicas pelo coagulante. Oliveira et al. (2011) observou em seu estudo sobre remoção de turbidez em águas naturais utilizando extrato de sementes de *Moringa oleifera*, que a condutividade elétrica sofreu um aumento devido

principalmente à adição de espécies iônicas à solução pelo extrato. A Tabela 8 representa os valores médios de condutividade elétrica após o processo de filtração.

Tabela 8. Cond. Elétrica média após a filtração.

Variação de Granulometria	Condutividade Elétrica (mS.cm ⁻¹)	
	Sulfato de Alumínio	<i>Moringa oleifera</i>
G1	0,47	0,40
G2	0,41	0,25
G3	0,34	0,40

De acordo com a Tabela 8, após a filtração a condutividade sofreu alteração tanto para o coagulante químico quanto para o natural. Para o Sulfato de Alumínio o parâmetro analisado aumentou consideravelmente. Segundo Lopes (2014), que em seus estudos sobre eficiência de coagulantes na remoção de concentrações de ferro e manganês em ETA observou o mesmo comportamento, isso ocorre devido a adição do íon alumínio na água. Esse aumento está relacionado à presença de alumínio residual na água após o tratamento.

Para o coagulante natural ocorreu o inverso, a condutividade elétrica diminuiu quando se comparado aos valores durante a sedimentação, o que pode ser explicado pela retenção parcial nos filtros dos sais presentes na solução do coagulante que aumenta a condutividade elétrica.

Em relação a granulometria da areia, observa-se para o Sulfato de Alumínio que quanto maior a granulometria menor é a condutividade elétrica. Para o coagulante natural, o mesmo comportamento não ocorre. As granulometrias menores (até 0,425 mm) e maiores (0,850 a 1,70 mm) obtiveram o mesmo valor de 0,40 mS.cm⁻¹, enquanto a granulometria mediana obteve o valor de 0,25 mS.cm⁻¹. Porém para todas as granulometrias e coagulantes o parâmetro continua maior se comparado ao valor bruto de 0,18 mS.cm⁻¹.

A Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece valores para o parâmetro condutividade elétrica.

5.4. Cor Aparente

A Tabela 9 e Figura 6 apresentam os valores de Cor aparente durante a sedimentação e a eficiência de remoção do parâmetro, respectivamente.

Tabela 9. Variação de Cor aparente durante a sedimentação.

Cor aparente (mg PtCo.L ⁻¹)	Sulfato de Alumínio			<i>Moringa oleifera</i>		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
J1	227	188	182	104	82	72
J2	209	191	180	99	87	70
J3	212	193	185	93	87	67
J4	216	193	183	99	84	69
J5	223	202	182	87	84	64
J6	232	191	182	106	98	64
MÉDIA	219	193	182	98	87	67

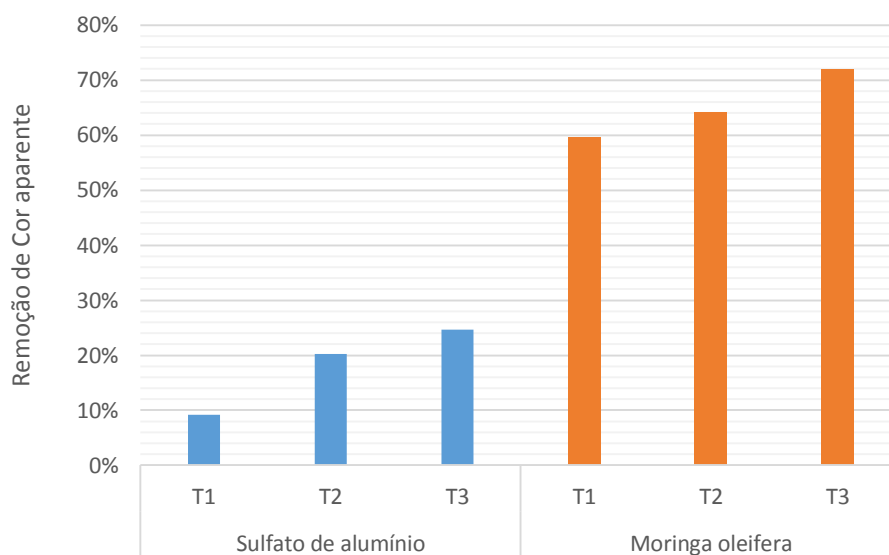


Figura 6. Remoção de Cor aparente durante sedimentação.

É possível observar uma redução no parâmetro cor aparente para ambos os coagulantes quando comparado ao valor bruto (242 mg PtCo.L⁻¹), porém o coagulante natural obteve resultados significativamente melhores. Houve uma remoção de aproximada de 25% e 72% na cor aparente para o coagulante químico e natural após a sedimentação (T3), respectivamente.

Para o Sulfato de Alumínio esperava-se um resultado melhor, visto que autores como Vaz (2009), Silva e Lauria (2006) e Piantá (2008) obtiveram em seus estudos com o mesmo coagulante remoções acima de 40% e chegando até 90%. Para

o coagulante natural de *Moringa oleifera*, Cardoso (2008) observou em seu estudo sobre otimização dos tempos de mistura e decantação na coagulação/floculação, uma remoção para o parâmetro cor acima de 80% para diferentes tempos de mistura e dosagens do coagulante natural.

Verifica-se que quanto maior o tempo de sedimentação, maior os valores obtidos para a remoção do parâmetro. Isso se deve ao fato de que quanto maior o tempo de repouso, maior a quantidade de partículas coaguladas/floculadas que decantarão.

A Figura 7 representa a porcentagem de remoção de cor aparente após o processo de filtração.

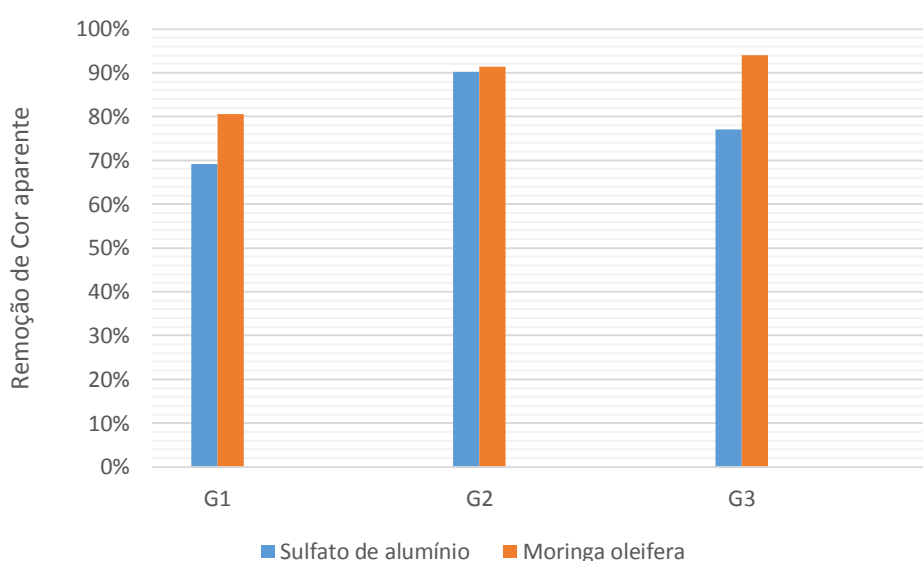


Figura 7. Remoção de Cor aparente após filtração.

Conforme a Figura 7, após a filtração verifica-se um aumento significativo na eficiência de remoção de cor aparente para ambos os coagulantes. Para o Sulfato de Alumínio a eficiência aumentou de 25% para 69%, 90%, 77% para as granulometrias G1, G2 e G3 respectivamente.

Para a *Moringa oleifera* a eficiência de remoção de cor aparente aumentou de 72% (após sedimentação) para 80%, 91% e 94% para as granulometrias G1, G2 e G3 respectivamente. Henriques et al. (2014) observaram em seu estudo no uso da *Moringa oleifera* na clarificação de água para abastecimento que mesmo não atingindo os padrões estabelecidos pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde

(15 uH), o uso de *Moringa oleifera* seguido da filtração obteve resultados satisfatórios para a remoção de cor aparente da água.

A granulometria que mostrou melhores resultados em relação a remoção de cor aparente foi a G2 (0,425 a 0,850 mm) para o Sulfato de Alumínio (90%), enquanto que para o coagulante natural foi a G3 (0,850 a 1,70 mm) com remoção de 94%.

Apesar de todos os tratamentos apresentarem boas eficiências de remoção após a filtração, apenas o tratamento com coagulante natural de *Moringa oleifera* e filtro de granulometria G3 obteve o valor de cor aparente (14,5 mg Pt-Co.L⁻¹) dentro do estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (15 uH). As unidades mg Pt-Co.L⁻¹ e uH são equivalentes.

5.5. Turbidez

A Tabela 10 e Figura 8 apresentam os valores de turbidez durante a sedimentação e a eficiência de remoção do parâmetro, respectivamente.

Tabela 10. Variação dos valores de turbidez durante a sedimentação.

Turbidez (NTU)	Sulfato de Alumínio			<i>Moringa oleifera</i>		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
J1	92,50	76,40	71,00	43,80	33,70	27,30
J2	84,20	77,30	69,50	42,80	38,40	27,10
J3	82,70	77,20	71,40	40,00	39,60	29,10
J4	83,60	78,40	70,10	43,40	33,70	29,40
J5	84,80	75,00	70,90	38,50	40,00	31,50
J6	85,50	70,70	70,60	43,90	32,10	26,10
MÉDIA	85,55	75,83	70,58	42,07	36,25	28,42

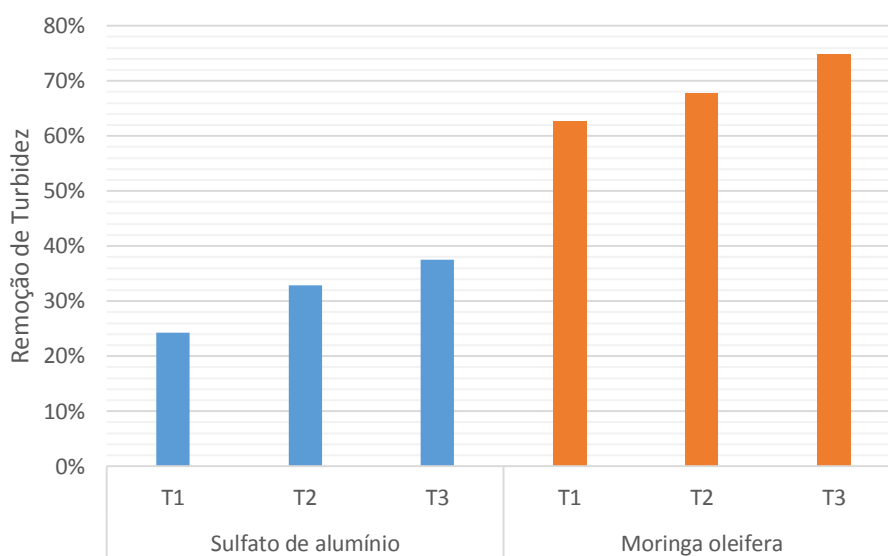


Figura 8. Remoção de turbidez durante a sedimentação.

É possível observar a remoção no parâmetro turbidez para ambos os coagulantes, e similarmente ao parâmetro cor aparente, o coagulante natural de *Moringa oleifera* obteve resultados significativamente melhores quando comparado ao valor bruto de 113 NTU. Após a sedimentação, o Sulfato de Alumínio teve uma remoção de aproximadamente de 37% enquanto o coagulante natural teve 75%. E assim como para a cor aparente, quanto maior o tempo de sedimentação, maior os valores obtidos para a remoção do parâmetro.

Pavanelli (2001), em seu estudo com diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada, observou na utilização de Sulfato de Alumínio para tratar uma água com turbidez de 102 NTU que quanto maior a dosagem do coagulante maior a eficiência de remoção do parâmetro.

Para a *Moringa oleifera*, Cardoso (2008) observou em seu estudo sobre otimização dos tempos de mistura e decantação na coagulação/floculação, que os melhores resultados obtidos foram, no tempo de mistura rápida e lenta, de 3 e 15 min. respectivamente (mesmo valores utilizados nesse trabalho), pois foram encontrados bons valores de remoção de turbidez (acima de 85%), com baixa dosagem de coagulante (250 mg.L^{-1}).

A Figura 9 representa a porcentagem de remoção de turbidez para ambos os coagulantes após o processo de filtração.

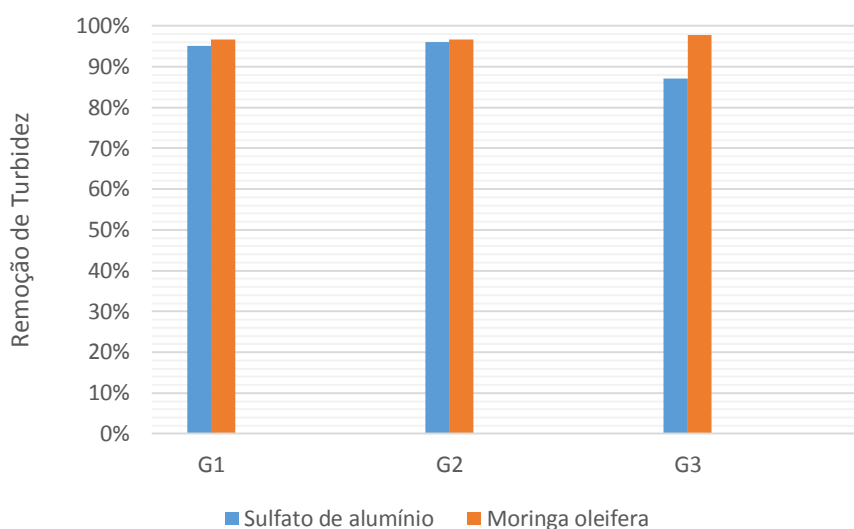


Figura 9. Remoção de turbidez após a filtração.

Após o processo de filtração, observa-se um aumento significativo na eficiência de remoção de turbidez para ambos os coagulantes. Para o Sulfato de Alumínio a eficiência aumentou de 37% (após a sedimentação) para 95%, 96%, 87% para as granulometrias G1, G2 e G3 respectivamente. Esse aumento na remoção de turbidez foi esperado, pois Teixeira (2004), Di Bernardo (2003) e Ribeiro e Kowata (1998) constataram em seus estudos sobre tratamento de água para abastecimento que a filtração direta proporciona uma remoção (acima de 82%) satisfatória desse parâmetro. Porém, vale destacar que esses estudos foram realizados com água de baixa turbidez inicial.

Para a *Moringa oleifera* a eficiência de remoção de turbidez aumentou de 75% (após a sedimentação) para 97%, 97% e 98% para as granulometrias G1, G2 e G3 respectivamente. Pinto e Hermes (2006), utilizaram em seu estudo para melhoria da qualidade da água em comunidades rurais três sistemas de tratamento, sementes da *Moringa oleifera* seguido de filtração, sementes de *Moringa oleifera* sem filtração, e o sistema simples de tratamento utilizando apenas filtração. Foi observado que o sistema com melhores resultados foi o de sementes da *Moringa oleifera* seguido de filtração (lenta) obtendo valores de turbidez dentro do estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde.

A granulometria que mostrou melhores resultados em relação a remoção de turbidez foi a de 0,425 a 0,850 mm para o Sulfato de Alumínio, enquanto que para o coagulante natural foi a de 0,850 a 1,70 mm, mesmos resultados obtidos para o

parâmetro cor aparente. Porém, as três granulometrias tiveram resultados semelhantes para a *Moringa oleifera*.

Apenas o tratamento com Sulfato de Alumínio e filtro de granulometria G3 não obteve um valor dentro do estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (5 NTU), os demais tratamentos atingiram valores aceitáveis pela legislação.

5.6. Sólidos Totais

A Tabela 11 e Figura 10 apresentam os valores de sólidos totais após a sedimentação e a sua eficiência de remoção.

Tabela 11. Valores de sólidos totais após a sedimentação.

Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	Sulfato de Alumínio	<i>Moringa oleifera</i>
	T3	T3
J1	120	80
J2	110	110
J3	90	90
J4	70	70
J5	90	70
J6	50	80
MÉDIA	88,33	83,33

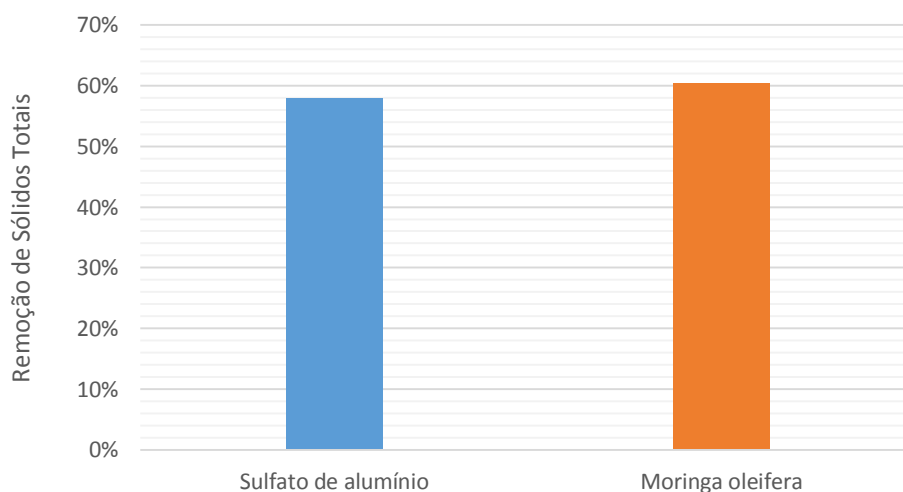


Figura 10. Remoção de sólidos totais após sedimentação.

As análises de sólidos totais foram realizadas apenas após todo o tempo de sedimentação (T3, 23min). A média de remoção dos sólidos totais para os coagulantes químico e natural foi semelhante, 58% e 60% respectivamente, porém se analisarmos cada jarro, através da Tabela 11, é possível verificar algumas diferenças na remoção em relação aos coagulantes. Para o coagulante Sulfato de alumínio os valores de sólidos totais variam de 50 a 120 mg.L⁻¹ (mínimo e máximo), porém se comparado ao bruto de 210 mg.L⁻¹ é possível observar que todos os jarros apresentam remoção do parâmetro. Já para o coagulante natural a variação é de 70 a 110 mg.L⁻¹, mostrando uma homogeneidade levemente melhor na remoção.

Marchetti (2014) observou em seu estudo no tratamento de efluente líquido com sulfato de alumínio e biopolímero Ecofloc, que o coagulante químico obteve uma eficiência na remoção de sólidos totais de 96%.

Para o coagulante natural, Francisco (2014) verificou em seu trabalho sobre efeito do extrato de sementes de *Moringa oleifera Lam* na eficiência de filtros orgânicos no tratamento de águas residuárias que, o extrato obteve resultados satisfatórios na remoção de sólidos totais. Observou ainda que quanto maior a concentração do extrato menor a remoção do parâmetro, pois o material particulado originado das sementes contribuiu para um aumento de sólidos na água, comportamento não observado nesse trabalho.

A Figura 11 apresenta os resultados de porcentagem de remoção de sólidos totais após o processo de filtração.

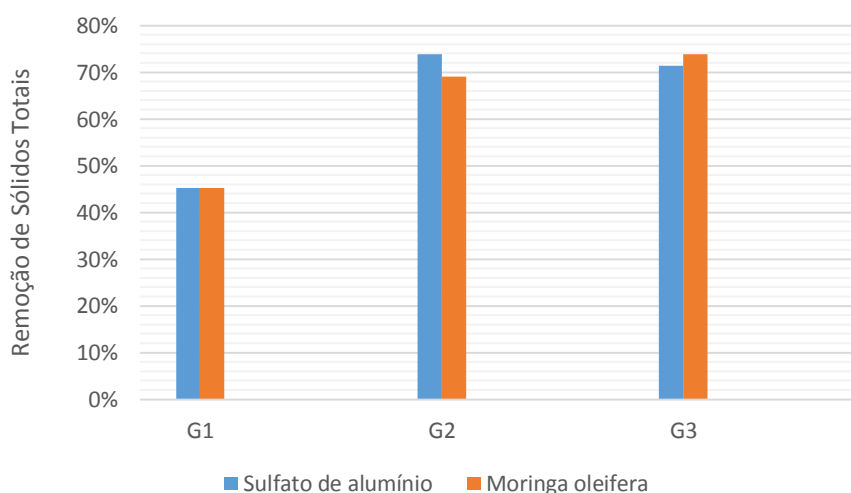


Figura 11. Remoção de sólidos totais após filtração.

Após a filtração, verifica-se que eficiência de remoção de sólidos totais diminui para os filtros de granulometrias G1 (até 0,425 mm) enquanto que aumentou para os filtros de G2 e G3. A diminuição de eficiência para G1 pode ser explicado pelo carreamento de sólidos do filtro para a água, devido ao fato de G1 não possuir um limite mínimo de granulometria para a areia, podendo conter partículas muito finas. Para o Sulfato de Alumínio a granulometria G2 e G3 obtiveram remoções de 74% e 71%, enquanto para a *Moringa oleifera* a remoção foi de 69% e 74%, respectivamente.

Verifica-se que para o coagulante químico a granulometria G2 foi moderadamente mais eficiente na remoção do parâmetro se comparado ao coagulante natural, e que o inverso ocorre para G3. Porém, é possível afirmar que há uma semelhança no tratamento entre os diferentes coagulantes e as diferentes granulometrias de areia.

Em relação a legislação, a Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece um valor máximo aceitável de sólidos totais, apenas para sólidos dissolvidos totais (1000 mg.L⁻¹).

5.7. Análise estatística

Este tópico apresentará os resultados da análise estatística realizada com os dados obtidos nos ensaios. A análise foi realizada separadamente para os processos de sedimentação e filtração, e para cada parâmetro estudado. Todas as análises das tabelas apresentadas nesse tópico devem ser realizadas apenas por coluna, em que letras iguais indicam médias estatisticamente iguais.

5.7.1. Análise estatística para pH

Para o processo de sedimentação não houve interação significativa entre os fatores Coagulante e Tempo. Portanto, avaliou-se os efeitos dos fatores separadamente. A Tabela 12 apresenta a comparação entre as médias dos fatores pelo teste de Tukey.

Tabela 12. Comparações de médias pelo teste de Tukey para o pH.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	6,64944 a
Sulfato de alumínio	6,77555 b
Tempo de sedimentação	Média
T1	6,588333 a
T2	6,743333 b
T3	6,805833 b

Verifica-se que as médias obtidas para os diferentes coagulantes são estaticamente distintas. Para os diferentes tempos de sedimentação temos que T2 (13 min.) e T3 (23 min.) apresentaram resultados considerados iguais.

A Tabela 13 apresenta um resumo das comparações de médias para os desdobramentos para a filtração.

Tabela 13. Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos para o pH.

Coagulante	Granulometria		
	G1	G2	G3
<i>Moringa oleifera</i>	6,860 a	6,935 a	6,750 a
Sulfato de alumínio	6,910 a	7,135 b	7,205 b
Granulometria	Coagulante		
	<i>Moringa oleifera</i>	Sulfato de alumínio	
G1	6,860 a	6,910 a	
G2	6,935 a	7,135 ab	
G3	6,750 a	7,205 b	

A granulometria G1 teve resultados estatisticamente iguais para ambos os coagulantes, já as granulometrias G2 e G3 obtiveram resultados estatisticamente diferentes em que o Sulfato de alumínio apresenta médias superiores a *Moringa oleifera*. É possível verificar que para o coagulante natural as três granulometrias apresentam resultados estatisticamente iguais, já para o Sulfato de alumínio o mesmo não ocorreu. As granulometrias G1 e G2 apresentaram médias iguais, assim como G2 e G3. Porém, G1 e G3 possuem médias estatisticamente diferentes.

5.7.2. Análise estatística para Temperatura

Como os ensaios para cada coagulante foram realizados em dias e horários diferentes, a análise estatística do comportamento da temperatura não é válida, uma vez que a temperatura da água se manteve constante conforme a temperatura ambiente.

5.7.3. Análise estatística para Condutividade elétrica

Para o processo de sedimentação não houve interação significativa entre os fatores Coagulante e Tempo, avaliando assim os efeitos dos fatores separadamente. A Tabela 14 apresenta a comparação entre as médias dos fatores pelo teste de Tukey para esse parâmetro.

Tabela 14. Comparações de médias pelo teste de Tukey para Condutividade elétrica.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	0,5694 a
Sulfato de alumínio	0,1694 b
Tempo de sedimentação	Média
T1	0,3658 a
T2	0,3683 a
T3	0,3741 a

Observa-se que as médias obtidas para os diferentes coagulantes são estaticamente distintas. A *Moringa oleifera* apresentou valores maiores devido a presença de sais e proteínas presentes na solução. Já para o fator Tempo, temos que T1, T2 e T3 apresentam médias estatisticamente iguais.

Para a filtração, a interação entre os fatores Coagulante e Granulometria foi estatisticamente significativa. A Tabela 15 apresenta um resumo das comparações de médias para os desdobramentos para a filtração.

Tabela 15. Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos para a Condutividade Elétrica.

Coagulante	Granulometria		
	G1	G2	G3
<i>Moringa oleifera</i>	0,400 a	0,250 a	0,400 a
Sulfato de alumínio	0,465 b	0,405 b	0,335 b
Granulometria	Coagulante		
	<i>Moringa oleifera</i>	Sulfato de alumínio	
G1	0,40 a	0,465 a	
G2	0,25 b	0,405 ab	
G3	0,40 a	0,335 b	

As três granulometrias estudadas (G1, G2 e G3) apresentaram resultados estatisticamente distintos para ambos os coagulantes. É possível verificar que para o coagulante natural as granulometrias G1 e G3 apresentam resultados iguais, já para o Sulfato de alumínio o mesmo não ocorreu. As granulometrias G1 e G2 apresentaram médias iguais, assim como G2 e G3. Porém, G1 e G3 possuem médias estatisticamente diferentes.

5.7.4. Análise estatística para Cor aparente

Diferentes dos outros parâmetros analisados, para o processo de sedimentação houve interação significativa entre os fatores Coagulante e Tempo. A Tabela 16 apresenta a comparações de médias para os desdobramentos para a sedimentação.

Tabela 16. Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos para Cor aparente para a sedimentação.

Coagulante	Tempo de sedimentação		
	T1	T2	T3
<i>Moringa oleifera</i>	98,00 a	87,00 a	67,66 a
Sulfato de alumínio	219,83 b	193,00 b	182,23 b

Tempo de sedimentação	Coagulante	
	<i>Moringa oleifera</i>	Sulfato de alumínio
T1	98,00 a	219,83 a
T2	87,00 b	193,00 b
T3	67,66 c	182,23 c

Para os três tempos de sedimentação (T1, T2 e T3) os resultados obtidos são estatisticamente distintos comparando os dois coagulantes. Porém, mesmo com valores distintos é possível observar uma remoção linear do parâmetro Cor aparente para ambos os coagulantes, conforme aumenta o tempo de sedimentação aumenta a remoção do parâmetro.

Para o processo de filtração também houve interação significativa entre os fatores Coagulante e Granulometria para o parâmetro Cor aparente. A Tabela 17 apresenta a comparações de médias para os desdobramentos para a filtração.

Tabela 17. Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos para Cor aparente para a filtração.

Coagulante	Granulometria		
	G1	G2	G3
<i>Moringa oleifera</i>	3,3673 a	3,0341 a	2,6591 a
Sulfato de alumínio	4,2714 b	3,1550 a	4,0144 b
Granulometria	Coagulante		
	<i>Moringa oleifera</i>	Sulfato de alumínio	
G1	3,3673 a	4,2714 a	
G2	3,0341 ab	3,1550 b	
G3	2,6591 b	4,0144 a	

Para a granulometria apenas a G2 apresenta médias estatisticamente iguais para os dois coagulantes. G1 e G3 apresentam médias diferentes em que o sulfato de alumínio obteve os maiores valores. O coagulante natural apresentou médias estatisticamente iguais para as granulometrias G1 e G2, e para G2 e G3. Porém, G1

e G3 possuem médias estatisticamente diferentes. É possível observar que conforme aumenta a granulometria diminui os valores do parâmetro. Já para o Sulfato de alumínio, apenas para G1 e G3 possuem médias estatisticamente iguais.

5.7.5. Análise estatística para Turbidez

Como a interação entre os fatores Coagulante e Tempo não foi significativa, avaliou-se os efeitos dos fatores separadamente. A Tabela 18 apresenta a comparação entre as médias dos fatores pelo teste de Tukey para esse parâmetro.

Tabela 18. Comparações de médias pelo teste de Tukey para Turbidez.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	35,578 a
Sulfato de alumínio	77,322 b
Tempo de sedimentação	Média
T1	63,81 a
T2	56,04 b
T3	49,50 c

Observa-se que as médias obtidas para os diferentes coagulantes são estatisticamente distintas, em que o Sulfato de alumínio apresentou um valor de média maior, indicando a menor remoção do parâmetro. Já para o fator Tempo, temos que T1, T2 e T3 apresentam médias estatisticamente diferentes, indicando que quanto maior o tempo de sedimentação maior a remoção da turbidez da água.

Para o processo de filtração houve uma interação significativa entre os fatores Coagulante e Granulometria para o parâmetro. A Tabela 19 apresenta a comparações de médias para os desdobramentos para a filtração.

Tabela 19. Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos para Turbidez.

Coagulante	Granulometria		
	G1	G2	G3
<i>Moringa oleifera</i>	3,780 a	4,750 a	2,455 a
Sulfato de alumínio	5,565 a	4,455 a	14,650 b

Granulometria	Coagulante	
	<i>Moringa oleifera</i>	Sulfato de alumínio
G1	3,780 a	5,565 a
G2	4,750 a	4,455 a
G3	2,455 a	14,650 b

É possível observar que as granulometrias G1 e G2 apresentaram médias estatisticamente iguais para os dois coagulantes. Apesar de estatisticamente iguais, o valor da média em G1 foi maior para o coagulante sulfato de alumínio enquanto que para G2 o maior valor da média foi para a *Moringa oleifera*. Para o coagulante natural as três granulometrias (G1, G2 e G3) apresentam resultados estatisticamente iguais, com o melhor resultado em G3. Já para o sulfato de alumínio a granulometria G3 apresentou média diferente em relação as outras granulometrias, com o melhor resultado em G2.

5.7.6. Análise estatística para Sólidos Totais

Para esse parâmetro não foi possível avaliar a interação entre os fatores Coagulante e Tempo, pois a análise de sólidos totais foi realizada apenas para o tempo T3 de sedimentação.

Para o processo de filtração não houve uma interação significativa entre os fatores Coagulante e Granulometria para o parâmetro, avaliou-se assim os efeitos dos fatores separadamente. A Tabela 20 apresenta a comparações de médias de Tukey para a filtração.

Tabela 20. Comparações de médias pelo teste de Tukey para Sólidos Totais.

Coagulante	Média
<i>Moringa oleifera</i>	78,333 a
Sulfato de alumínio	76,666 a

Granulometria	Média
G1	115,0 a
G2	60,0 b
G3	57,5 b

Os valores das médias para os coagulantes são estatisticamente iguais, o que não indica uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. Para a granulometria temos que apenas G2 e G3 são estatisticamente iguais. É possível observar também que com o aumento da granulometria se diminuiu os sólidos totais.

6. CONCLUSÕES

Pode-se concluir através deste estudo que o tratamento de água para abastecimento por meio dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, utilizando os coagulantes Sulfato de alumínio (químico) e *Moringa oleifera* (natural), apresentou resultados satisfatórios em relação a remoção dos parâmetros analisados, com melhores resultados para o coagulante natural.

Para o parâmetro pH ambos os coagulantes apresentaram valores aceitáveis pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (6 a 9,5). A temperatura se manteve constante, próxima a temperatura ambiente dos dias e horários da realização dos ensaios.

No tratamento em geral, sedimentação e filtração, a condutividade elétrica sofreu um aumento para ambos os coagulantes devido a presença de sais e proteínas (*Moringa oleifera*), e íons de alumínio (Sulfato de alumínio) na água tratada.

Para o parâmetro cor aparente o coagulante natural teve remoção de 72% para a sedimentação e aumentou para até 94% após a filtração com granulometria G3, enquanto que o sulfato de alumínio removeu 25% para sedimentação e chegando até 90% após filtração para granulometria G2. Apenas o tratamento com a *Moringa oleifera* e filtração em G3 obteve valor dentro do estabelecido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Na remoção de turbidez a *Moringa oleifera* aumentou de 75% (sedimentação) para 98% após a filtração em G3. Já o sulfato de alumínio teve um aumento de 37%, que ocorreu durante a sedimentação, para 96% após a filtração em granulometria G2. Ambos atingindo o valor estabelecido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Para os sólidos totais, utilizando o coagulante natural a remoção aumentou de 60%, durante sedimentação, para 74% em granulometria G3 após a filtração. O sulfato de alumínio teve um aumento na remoção do parâmetro de 58% para 74% após a filtração em G2.

É possível concluir que o processo de filtração aumentou significativamente a eficiência de remoção para a maioria dos parâmetros analisados para ambos os coagulantes. Em relação a granulometria, verifica-se que para o tratamento com sulfato de alumínio a melhor foi G2 (0,425 a 0,800 mm), enquanto que para o coagulante natural a melhor granulometria foi G3 (0,800 a 1,700 mm). Porém, pelo

fato de apresentar eficiências de remoções moderadamente maiores, a granulometria G3 se mostra ligeiramente melhor se comparada as outras. A granulometria G1 apresentou resultados satisfatório para a maioria dos parâmetros estudados, porém seus resultados não foram os melhores para nenhum dos coagulantes utilizados nesse trabalho. É possível observar que cada granulometria é mais eficiente para determinado coagulante, fato que deve ser considerado no planejamento de uma ETA.

No geral a *Moringa oleifera* se mostra como uma boa alternativa no tratamento de água para abastecimento, pois tem sua origem natural e não causam efeitos negativos nos seres humanos, fato que pode ocorrer com a utilização de coagulantes químicos. Além de ter obtido, nesse estudo, resultados semelhantes e até melhores que o sulfato de alumínio.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **EB 2097: Material filtrante - areia, antracito e pedregulho** - Especificação. 7 p, 1990.

ANDRADE, G. C. **Eficiência dos processos de flotação e filtração com uso de coagulante natural e químico no tratamento de efluente de laticínio**. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

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

BACCI, D. de La C., PATACA, Ermelinda Moutinho. **Educação para a água**. Estudos avançados, vol.22, n.63, p. 211-226, 2008.

BHATIA, S. et al. **Coagulation–flocculation process for POME treatment using *Moringa oleifera* seeds extract: Optimization studies**. Chemical Engineering Journal, v. 133, p. 205-212. 2007.

BONGIOVANI, M. C. et al. **Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para obtenção de água potável**. Acta Scientiarum. Technology. Maringá, v.32, n. 2, p. 167-170, 2010.

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

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. Ministério da Saúde. Portaria 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. **Diário Oficial da União**. Poder executivo, Brasília, DF, 12 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 15 de março 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRINCK, N.C.P. **Avaliação do tipo de material filtrante no comportamento hidráulico de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento**. 393 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CACHEIRA, C. S.; SANTOS, J. P. S.; FARIA NETO, J. P.. **Processo de COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO**. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.

CAMACHO, F. P. et al. **Uso do coagulante natural *Moringa oleifera lam* no tratamento de água com florações de cianobactérias**. Revista Tecnológica – Edição Especial 2014, Maringá, p.305-313, 2014.

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

CARLI, A. A. **Um breve olhar sobre a importância da água potável para o home, demais seres vivos e para a natureza**. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/20441>>. Acesso em: 16 de março 2016.

CARVALHO, M. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Maringá, 2008.

CASTRO, M.A. **Importância do tratamento de água ETA 006 saneatins Palmas-TO**. Católica do Tocantins, Gestão Ambiental, 2010.

CESAN. **Apostila tratamento de água**. Disponível em: <http://www.cesan.com.br/wpcontent/uploads/2013/08/APOSTILA_DE_TRATAMENTO_DE_AGUA-.pdf>. Acesso em: 18 de março 2016.

CORAL, L.; BERGAMASCO, R.; BASSETTIC, F.J.. **Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de**

Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. In: International Workshop | Advances in Cleaner Production, São Paulo, 2009.

CREMASCO, M. A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidodinâmicos.** São Paulo: Ed. Blucher, 2012.

DI BERNARDO, L. **Influência das condições de aplicação de polímeros catiônicos na eficiência da floculação.** 207p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

DI BERNARDO, L.. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Volumes I e II.** Associação Brasileira de engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 481 p. Rio de Janeiro, 1993.

DI BERNARDO, L., CONCEIÇÃO, R.A.P. e DI BERNARDO, A. **Efeito da acidez da solução de sulfato de alumínio na eficiência da coagulação.** Revista BI. ABES, Rio de Janeiro, vol. 4, ano 1, p.144-149, 1996.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** 2. ed. São Carlos: Rima Editora, v. 2. 1584 p, 2005.

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

FRANCISCO, J.P. **Avaliação do efeito do extrato de sementes de *Moringa oleifera Lam* na eficiência de filtros orgânicos no tratamento de águas residuárias de bovinocultura de leite.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p.143-152, 2014.

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.** 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GHEBREMICHAEL, K. A. ***Moringa* seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment.** Stockolm: Department of Land and Water Resources Engineering, 2004.

GHEBREMICHAEL, K. A., GUNARATIN, K. R., HENRIKSSON, H., BRUMER, H., DALHAMMAN, G. **A Simple Purification and Activity Assay of the Coagulant Protein from *Moringa oleifera* Seed**. Water Research, V. 39, P. 2338-2344, 2005.

GRANDIN, S. **Desidratação de lodos produzidos em estações de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

GRASSI, M. T. **As águas do Planeta Terra**. Cadernos Temáticos de Química. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/aguas.pdf>>. Acesso em: 22 março 2001.

HENRIQUES, J. A. et al. **Potencial de uso da *Moringa oleifera* Lamarck na clarificação de água para abastecimento em comunidades difusas de áreas semiáridas**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, Campina Grande, v. 1, n. 31, p.76-83, 2014.

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

KABORE, A; SAVADOGO, B.; ROSILLON, F.; TRAORE, A.; DIANOU, D. **Effectiveness of *Moringa oleifera* Defatted Cake versus Seed in the Treatment of Unsafe Drinking Water: Case Study of Surface and Well Waters in Burkina Faso**. Journal of Water Resource and Protection, n 5, p. 1076-1086, 2013.

KATAYON, S.; NORR, M. J.; ASMA, M.; GHANI, L. A.; THAMER, A. M.; AZNI, I.; AHMAD, J.; KHOR, B. C.; SULEYMAN, A. M. **Effects of Storage Conditions of *Moringa oleifera* Seeds on its Performance in Coagulation**. Bioresource Technology, v. 97, n. 13, p. 1455-1460, 2006.

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

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 652 p, 1990.

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

LIBÂNIO, P. A. C. et al. **A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v 10, n 3, Rio de Janeiro, 2005.

LIMA, R. R.; MARTINS, R. A.; BUENO, K. L.; MEDEIROS, C. O.; DIEL, J. V.; RODRIGUES, L. M.; SOUZA, T. R. **Granulometria de areias de filtros industriais para o tratamento de água de processo**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014. São Paulo, 2014.

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, 2014.

MARCHETTI, T. **Tratamento de efluente líquido da indústria de cosméticos com sulfato de alumínio e biopolímero**. Revista da Graduação - Publicações de Tcc, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p.18-38, 2014.

MENDES, C.G.N. **Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis**. 144p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade do Estado de São Paulo, São Carlos, 1989.

MESQUITA, M.; TESTEZLAF, R.; RAMIREZ, J.C.S. **The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss**. Agricultural Water Management, v.115, p.178-185, 2012.

MORETI, L. O.R.; CAMACHO, F. P.; BONGIOVANI, M. C. **Emprego das sementes de *Moringa oleifera lam*, como coagulante alternativo ao policloreto de alumínio (PAC), no tratamento de água para fins potáveis**. E-xacta, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, p.153-165, nov. 2013.

NUNES, F. J. - **Estudo da sedimentação gravitacional de suspensão floculante** - Dissertação de sedimentação de Pós-Graduação em Engenharia Química - Uberlândia/MG, 2008.

OLIVEIRA, L.L. et al. **Análise da taxa de remoção de turbidez em águas naturais utilizando-se extrato de sementes de *Moringa oleifera Lam***. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.1, n.1, p.204210, Julho, 2011.

PADILHA, D.J.; CERUTI F.C.; VIDAL C.M.; MARTINS C.H. **Análise da utilização de três diferentes coagulantes na remoção da turbidez de água de manancial de abastecimento.** VII Encontro Internacional de Produção Científica. Maringá, 2011.

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

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

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 233 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PHILIPPI, A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um Desenvolvimento Sustentável.** Ed. Manoele. Barueri, São Paulo. 2005.

PIANTÁ, C. A. V.. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água.** 78 p. Projeto de pesquisa – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. **Sistema Simplificado para Melhoria da Qualidade da Água Consumida nas Comunidades Rurais do Semi-Árido do Brasil.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

PIZARRO CABELO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia.** Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 511 p, 1996.

POVINELLI, J.; MARTINS, F. **Pesquisa sobre eficiência de filtros lentos em unidades piloto.** 20 p. Congresso brasileiro de engenharia sanitária, Salvador, BA, 1973. Separata. São Carlos, 1973.

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; CARTAGENA, F.R. **Effluent particle removal by microirrigation system filters.** Spanish Journal of Agricultural Research, v.3, p.182-191, 2005.

RIBEIRO, J.T.; KOWATA, E. A. **Tratamento de água por filtração direta ascendente para fins de reuso**. Campinas: Editora da Unicamp, 1998.

RICHTER, C. A., AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTD, 1991.

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

SAAESMA. **Tratamento De Água**. Disponível em: <<http://www.saaesma.com.br/tratamento>>. Acesso em: 21 agosto 2016.

SABESP. **Água no planeta**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=97>>. Acesso em: 16 de março 2016.

SCALIZE, P. S. **Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

SCHOENHALS, M.. **Avaliação Da Eficiência Do Processo De Flotação Aplicado Ao Tratamento Primário De Efluentes De Abatedouro Avícola**. 87f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SCHWARZ D. **Water Clarification using *Moringa oleifera***. Gate technical Information Service. Eschborn, 2000.

SILVA, C. N. F.; LAURIA, R. G.. **Estudo da viabilidade técnica e econômica da substituição do sulfato de alumínio pelo cloreto férrico ou sulfato férrico no tratamento de água de abastecimento**. 126 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdades Unificadas da Fundação Educacional de Barretos, Barretos, 2006.

SNATURAL. **Tratamento de água – Filtração**. Disponível em: <<http://www.snatural.com.br/Filtracao-Agua.html>>. Acesso em: 20 de Março 2016.

SOUZA, W. A. **Tratamento de Água**. Natal: Editora do Cefet-RN, 149 p, 2007.

TEIXEIRA, A.R.. **Tratabilidade de água com baixa turbidez por filtração direta ascendente e descendente**. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, San Juan, p 1-9, 2004.

TESTEZLAF, R.. **Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática**. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p.604-613, 2008.

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.

TREVISAN, T. S. **Coagulante Tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA cafezal**. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

VANACÔR, R. N. **Avaliação do coagulante orgânico Veta Organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público**. 191 f. Dissertação- Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

VAZ, L. G. L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Unioeste, Toledo, 2009.

ZOLETT E. R. **Uso de polímero natural a base de tanino (Tanfloc) para o tratamento de água para o consumo humano**. XVII SICITE. Pato Branco, 2012.