

# AVALIAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO DOS COAGULANTES POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) E MORINGA NO TRATAMENTO DE ÁGUA

*EVALUATION OF THE ASSOCIATION OF COAGULANTS POLYALUMINUM CHLORIDE (PAC) AND MORINGA IN WATER TREATMENT*

*EVALUACIÓN DE LA ASOCIACIÓN DE COAGULANTES CLORURO DE POLIALUMINIO (PAC) Y MORINGA EN TRATAMIENTO DE AGUAS*

Leidy Dayane Paiva de Abreu<sup>1</sup> e Brenda de Assis Ferreira<sup>2</sup>

## RESUMO

**Objetivo:** O estudo propõe avaliar a eficiência da associação dos coagulantes PAC e Moringa Oleifera Lam na remoção de cor aparente e turbidez da água, a fim de se obter as condições de operações ideais para o processo de coagulação/floculação e sedimentação. **Método:** Foram realizadas duas etapas, em que cada etapa tinha cinco ensaios, com análise dos parâmetros de pH, turbidez, cor e alcalinidade, realizados no Jar Test. O tempo e o gradiente de mistura rápida foram, respectivamente, de 60 segundos e velocidade de 299 rpm. A mistura lenta dividiu-se em dois tempos de 10 minutos, com gradiente decrescente de 60 e 50 rpm. Depois do processo de coagulação e floculação, as amostras foram mantidas em repouso durante 2 horas, para que as partículas fossem sedimentadas. Durante a sedimentação, foram coletadas amostras de cada jarro, com volume de 20 ml, nos intervalos de tempo: 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 min. Na análise dos parâmetros de cor e turbidez, também houve duas etapas. Na primeira etapa, foi associado o auxiliar de coagulante, Moringa Oleifera Lam, nas concentrações de 200, 250, 300, 350 e 400 mg.L<sup>-1</sup>, com 15 mg.L<sup>-1</sup> de PAC fixo. **Resultados:** As análises mostraram que a concentração de 400 mg.L<sup>-1</sup> apresentou a melhor eficiência, com valores de 69% para a cor e 92% para a turbidez. Na segunda etapa, foram utilizadas as faixas de teste de 15, 30, 45 e 60 mg.L<sup>-1</sup> para o PAC, e concentração fixa de Moringa Oleifera Lam de 400 mg.L<sup>-1</sup>. Os ensaios demonstraram a maior eficiência na segunda etapa, com o aumento da dosagem do PAC. **Conclusão:** Logo, pode-se considerar de grande valia os ensaios realizados em Jar Test, uma vez que estes guiarão os procedimentos aplicáveis em escala real.

**Descritores:** Saúde Pública; Saneamento básico; Água potável.

## ABSTRACT

**Objective:** This study aims to evaluate the efficiency of the combination of PAC and Moringa Oleifera Lam coagulants in removing apparent color and turbidity from water, in order to obtain ideal operating conditions for the coagulation/flocculation and sedimentation process. **Method:** Two stages were performed, each stage having five tests, with analysis of the pH, turbidity, color and alkalinity parameters, performed in the Jar Test. The time and gradient of rapid mixing were, respectively, 60 seconds with a speed of 299 rpm. Slow mixing was divided into two 10-minute periods, with a decreasing gradient of 60 and 50 rpm. After the coagulation and flocculation process, the samples were left to rest for 2 hours so that the particles could sediment. During sedimentation, samples were collected from each jar, with a volume of 20 ml, at the following time intervals: 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90 and 120 min. In the analysis of the color and turbidity parameters, there were also two stages. In the first stage, the coagulant aid, Moringa Oleifera Lam, at concentrations of 200, 250, 300, 350 and 400 mg.L<sup>-1</sup>, was associated with 15 mg.L<sup>-1</sup> of fixed PAC. **Results:** The analyses showed that the concentration of 400 mg.L<sup>-1</sup> presented the best efficiency, with values of 69% for color and 92% for turbidity. In the second stage, the test ranges of 15, 30, 45 and 60 mg.L<sup>-1</sup> were used for PAC, and a fixed concentration of Moringa Oleifera Lam of 400 mg.L<sup>-1</sup>. The tests demonstrated the greatest efficiency in the second stage, with the increase in the PAC dosage. **Conclusion:** Therefore, the tests carried out in Jar Test can be considered of great value, since they will guide the procedures applicable on a real scale.

**Keywords:** Public Health; Basic sanitation; Drinking water.

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Ceará. Crateús/CE - Brasil.

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Fortaleza/CE - Brasil.

## RESUMEN

**Objetivo:** Este estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la combinación de los coagulantes PAC y Moringa Oleifera Lam en la remoción de color aparente y turbidez del agua, con el fin de obtener condiciones ideales de operación para el proceso de coagulación/floculación y sedimentación. **Método:** Se realizaron dos etapas, cada etapa con cinco pruebas, con análisis de los parámetros pH, turbidez, color y alcalinidad, realizados en el Jar Test. El tiempo y gradiente de mezcla rápida fueron, respectivamente, 60 segundos con una velocidad de 299 rpm. La mezcla lenta se dividió en dos períodos de 10 minutos, con un gradiente decreciente de 60 y 50 rpm. Después del proceso de coagulación y floculación, las muestras se dejaron reposar durante 2 horas para que las partículas sedimentaran. Durante la sedimentación, se recolectaron muestras de cada jarra, con un volumen de 20 ml, en los siguientes intervalos de tiempo: 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90 y 120 min. En el análisis de los parámetros de color y turbidez, también se contó con dos etapas. En la primera etapa, el coadyuvante coagulante, Moringa Oleifera Lam, en concentraciones de 200, 250, 300, 350 y 400 mg.L<sup>-1</sup>, se asoció a 15 mg.L<sup>-1</sup> de PAC fijado. **Resultados:** Los análisis mostraron que la concentración de 400 mg.L<sup>-1</sup> presentó la mejor eficiencia, con valores de 69% para color y 92% para turbidez. En la segunda etapa, se utilizaron los rangos de ensayo de 15, 30, 45 y 60 mg.L<sup>-1</sup> para PAC, y una concentración fija de Moringa Oleifera Lam de 400 mg.L<sup>-1</sup>. Los ensayos demostraron la mayor eficiencia en la segunda etapa, con el aumento de la dosis de PAC. **Conclusión:** Por tanto, las pruebas realizadas en Jar Test pueden considerarse de gran valor, ya que orientarán los procedimientos aplicables a escala real. **Descriptor:** Salud pública; Saneamiento básico; Agua potable.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a ocupação desordenada do uso dos solos, principalmente em regiões metropolitanas, vem contribuindo de forma significativa para a redução da qualidade dos recursos hídricos. Segundo Tundisi<sup>1</sup>, o avanço desordenado sobre os mananciais traz problemas considerados permanentes no que diz respeito à disponibilidade de água potável. Por esse motivo, a busca por novas tecnologias de tratamento de água se faz cada vez mais necessária.

No Brasil, a portaria que regulamenta o tratamento da água para fins de abastecimento, em diferentes processos e operações, para adequar a água dos mananciais aos padrões de potabilidade exigido pelo Ministério da Saúde, é a Portaria de Consolidação nº 20/2017, a qual “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”<sup>2</sup>.

Nos processos envolvidos no tratamento da água, uma das principais etapas na busca pela boa qualidade consiste na adição de coagulantes sintéticos ou naturais como, por exemplo, o Policloreto de Alumínio (PAC) e a Moringa Oleifera Lam, respectivamente.

De acordo com Moreti et al<sup>3</sup>, a utilização de produtos naturais, como a moringa no tratamento de água, demonstra ser uma forma pouco prejudicial ao ambiente e aos consumidores, bem como envolve baixos custos de produção. A Moringa Oleifera Lam se destaca como coagulante na clarificação de água, devido, principalmente, à presença de uma proteína coagulante catiônica solúvel capaz de reduzir a turbidez da água tratada<sup>4</sup>.

Já os coagulantes sintéticos mais empregados nas Estações de Tratamento de Água (ETA) são os inorgânicos, normalmente sais trivalentes de Ferro (Fe) e Alumínio (Al), principalmente por terem baixo custo e capacidade de coagular de forma eficiente a água. Um exemplo de coagulante sintético é o Policloreto de Alumínio (PAC), amplamente utilizado devido à sua eficiência e baixa toxicidade, sendo geralmente eficaz em uma faixa de pH compreendida entre 6 e 9<sup>4,5</sup>.

Apesar dos coagulantes químicos serem os mais utilizados, não é sempre que estão disponíveis a preços acessíveis para as populações de baixa renda ou comunidades rurais.

Para contornar essa dificuldade, têm-se testado/utilizado, por apresentar custos baixos, os coagulantes naturais, a exemplo da Moringa Oleifera Lam<sup>6</sup>. A moringa é uma planta pertencente à família Moringaceae, que é composta de apenas 1 gênero (Moringa) e 14 espécies. Contudo, o mecanismo de atuação ainda não está bem definido. Na caracterização da semente da Moringa Oleifera Lam, há um elevado teor de proteínas e lipídeos<sup>7</sup>. Gidde, Bhalerao e Malusare<sup>8</sup> observaram 37% de proteínas, 37% de lipídeos e 16% de carboidratos na composição da semente de moringa.

Nos estudos de Muthuraman, Sasikala e Prakash<sup>9</sup> e Pritchard et al<sup>10</sup>, não ficou comprovada a existência de riscos relacionados ao uso das sementes da moringa no tratamento de água, bem como não houve nenhuma evidência de que as sementes pudessem causar efeitos secundários como, por exemplo, a toxicidade para o homem, nas dosagens praticadas na etapa da coagulação.

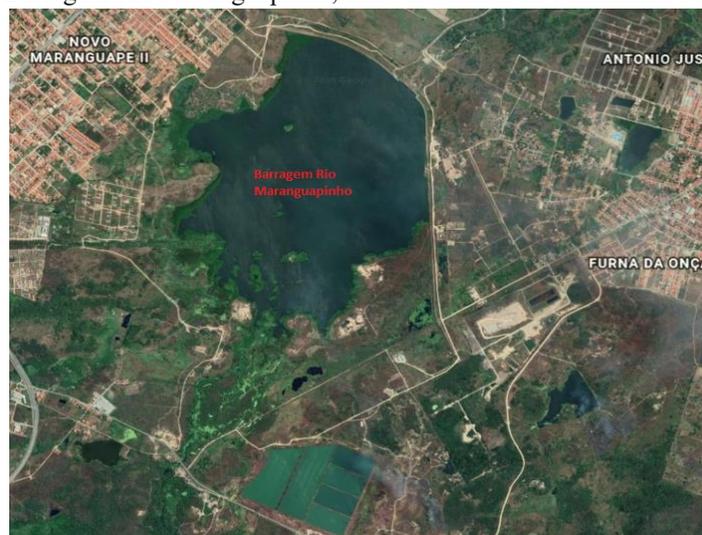
Dentro deste contexto, este estudo propõe avaliar a eficiência da associação dos coagulantes PAC e Moringa Oleifera Lam na remoção de cor aparente e turbidez da água, a fim de se obter as condições de operações ideais para o processo de coagulação/floculação e sedimentação.

## MÉTODOS

### COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

Foram coletadas amostras de água bruta da barragem do Rio Maranguapinho, localizada na cidade de Maranguape no estado do Ceará (CE), especificamente no bairro Novo Maranguape II. A barragem está situada entre os limites das cidades de Maracanaú e Maranguape e se localiza a aproximadamente 18 km do município de Fortaleza, conforme pode ser observado na Figura 1.

**Figura 1** - Barragem Rio Maranguapinho, entre as cidades de Maracanaú e Maranguape.



Fonte: Google Earth Pro

Para a coleta, foram utilizados três vasilhames, com capacidade unitária de 20 L. Os parâmetros analisados da água bruta foram: pH, Alcalinidade, Turbidez (NTU) e Cor (uH). As análises foram realizadas no Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e

Residuárias (LIAMAR) no Instituto Federal do Ceará (IFCE) – Campus Fortaleza. A Tabela 1 contém os métodos utilizados para a determinação dos referidos parâmetros, de acordo com o Manual de Análise físico-química de águas de abastecimento e residuárias de Silva<sup>11</sup>.

**Tabela 1** - Parâmetros analisados da água bruta do Rio Maranguapinho, Maranguape, Ceará (CE), Brasil, 2019.

Parâmetro	Método e Equipamento
pH	Eletrométrico e pHmetro
Alcalinidade	Potenciométrico
Cor	Espectrofotométrico e HACH/DR 2800
Turbidez	Nefelométrico e Turbidímetro

Fonte: Silva<sup>11</sup>

#### *PREPARO DA SOLUÇÃO MORINGA OLEIFERA LAM*

As vagens secas foram colhidas no campus da Universidade Federal do Ceará (UFC); em seguida, as sementes foram removidas das vagens, descascadas e maceradas no pilão, para se obter o pó fino. Após essa etapa, foi preparada a solução padrão 1% (m/v), em que: 1000 mg do pó da semente foi adicionado no balão volumétrico de 100 ml e completado com água destilada.

#### *PREPARO DA SOLUÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO [AL<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]*

A solução de Sulfato de Alumínio Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> foi preparada a partir de uma solução padrão 1%(m/v), com a adição de 10 g de PAC 23 Suall para 1 L de água destilada.

#### *ENSAIO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO*

Os ensaios foram realizados no Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Residuárias (LIAMAR), no Instituto Federal do Ceará (IFCE) – Campus Fortaleza, utilizando o *Jar Test*, de acordo com a Figura 2.

Cabe ressaltar que a coleta foi realizada no mês de novembro de 2019, período de pouca chuva, o que contribui para valores menores de turbidez e cor, diferente do período chuvoso, em que a cor e a turbidez podem ter um aumento significativo.

Foram realizadas 2 etapas: a primeira com cinco ensaios para determinar as condições ótimas da Moringa Oleifera Lam, e a segunda, subdividida em duas etapas: um ensaio para determinar a eficiência da Moringa sem associação e a segunda com quatro ensaios para determinar as condições ótimas do PAC, associado à moringa como auxiliar de coagulação. O *Jar Test* utilizado contém três jarros, com capacidade de 2L cada, de modo que todos foram preenchidos com a água coletada na barragem do Rio Maranguapinho.

**Figura 2** - Ensaio com o uso do *Jar Test*.

Fonte: Autor (2019)

De acordo com Veras, Mendonça e Ferreira<sup>12</sup>, a barragem do Rio Maranguapinho recebe contribuições de esgoto a céu aberto, pastagens de bovinos e lixo queimado na área da barragem. Tais cenários ocasionam um aumento de nutrientes e, conseqüentemente, eleva a cor aparente da água. Nesse contexto, fez-se necessária a aplicação de um oxidante para reduzir a matéria orgânica presente nas amostras de água coletada, a fim de facilitar as etapas de coagulação, floculação e sedimentação. Para a etapa de oxidação, foi utilizado 20 mg.L<sup>-1</sup> de Hipoclorito de Cálcio [Ca(ClO)<sub>2</sub>], com base na metodologia adotada por Veronezi-Viana et al<sup>13</sup>, com gradiente de velocidade de 100 s<sup>-1</sup> e tempo de detenção de 20 minutos.

#### *TESTE PARA DETERMINAR A QUANTIDADE ÓTIMA DE SOLUÇÃO MORINGA OLEIFERA LAM*

Após a realização dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, foram definidas as concentrações do auxiliar de coagulante para a realização de cinco ensaios com concentrações distintas para os jarros: 200; 250; 300; 350 e 400 (mg.L<sup>-1</sup>). Estas concentrações foram utilizadas a partir da metodologia adotada por Rorato<sup>14</sup>, na qual o autor adotou a faixa com maior eficiência no tratamento. Em seguida, para o coagulante PAC, foi definido um único valor de 15 mg.L<sup>-1</sup> para cada ensaio, o que permitiu obter o valor de maior eficiência da faixa adotada, para a água tratada. O tempo de mistura rápida foi fixado em 60s, com gradiente de velocidade de 6 13,2 s<sup>-1</sup>. Já a mistura lenta dividiu-se em dois tempos de 10 minutos, com gradiente de velocidade decrescente de 52,12 e 40,88 s<sup>-1</sup>. Após o processo de coagulação e floculação, para que as partículas fossem sedimentadas, as amostras foram mantidas em repouso durante 2 horas.

Durante a sedimentação, para a análise dos parâmetros de cor e turbidez, foram coletadas amostras de cada jarro, com volume aproximado de 20 ml, nos seguintes intervalos de tempo: 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 min.

Com o fim do processo de sedimentação, foi possível obter o intervalo na qual a solução de moringa se mostrou mais eficaz, adotando-se, então, esse valor, como valor único, para a etapa posterior. Os parâmetros de pH e Alcalinidade da água pós-tratada também foram analisados para cada ensaio.

#### *TESTE PARA DETERMINAR A QUANTIDADE ÓTIMA DE SOLUÇÃO POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC)*

Nesta etapa, o intervalo da solução de moringa, que se mostrou mais eficiente, foi adotado para a realização dos cinco ensaios. Ressalta-se que, para o primeiro ensaio, foi utilizado apenas o oxidante de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  e a solução de moringa, que teve como finalidade mostrar a eficiência do coagulante natural na remoção de partículas coloidais e suspensas na água. Portanto, utilizou-se  $400 \text{ mg.L}^{-1}$  de moringa, a concentração mais eficiente.

A quantidade de PAC fixada na etapa de determinar a quantidade ótima de moringa foi de  $20 \text{ mg.L}^{-1}$ , e para obter um intervalo teste que possa observar a eficiência do coagulante com concentrações menores e maiores, ao que já foi usado, utilizou-se as seguintes quantidades nos quatro ensaios: 15, 30, 45 e  $60 \text{ mg.L}^{-1}$ . Os valores de tempo de mistura lenta, mistura rápida, sedimentação e gradiente de velocidade, como também a determinação dos parâmetros de pH e alcalinidade, foram os mesmos utilizados na etapa de determinar a quantidade ótima de moringa, descritos no item anterior.

## RESULTADOS

### *CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA*

Os resultados obtidos na caracterização da água bruta, para a realização dos ensaios com PAC, associado à moringa, estão na Tabela 2, com os parâmetros analisados e seus respectivos resultados.

**Tabela 2** - Caracterização da água bruta do Rio Maranguapinho, Maranguape, Ceará (CE), Brasil, 2019.

<b>Parâmetros Analisados</b>	<b>Resultados</b>
Cor aparente (uH)	155
Turbidez (NTU)	42
pH	8,25
Alcalinidade	88,08

**Fonte:** Autor (2019)

Observa-se que a turbidez e cor, na primeira análise, foram relativamente altas. Ressalta-se que, ao lado do Rio Maranguapinho, existe um aterro sanitário que recebe o lixo doméstico e industrial de Maracanaú e Maranguape, o que, de acordo com normas técnicas, trata-se de um procedimento inadequado no acondicionamento de resíduos industriais. Os efluentes da estação de tratamento de chorume do aterro sanitário de Maracanaú são destinados a um canal a céu aberto, o qual escoar para um afluente do Rio Maranguapinho, influenciando diretamente na cor e turbidez da água.

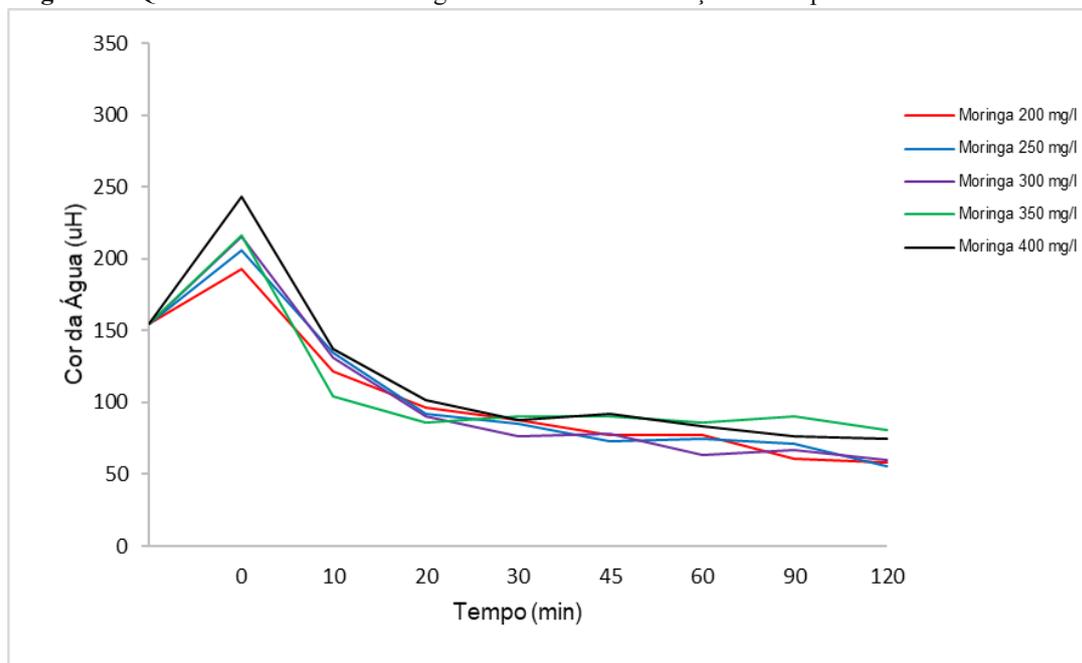
Além disso, próximo à barragem, não há saneamento básico, e as áreas mais distantes poluem os trechos urbanos dos rios tributários com esgotos clandestinos, o que

acarreta em um aumento do processo de eutrofização, assim como na diminuição da qualidade da água, acarretando a presença de microalgas e cianobactérias e microrganismos patogênicos, acarretando também dificuldades no tratamento da água e doenças para a população. Daí a importância do processo da pré-oxidação para a remoção de tais organismos. Diante disso, pode-se notar a eficiência da utilização de oxidantes no tratamento de águas com cianobactérias, como a água estudada na barragem do Rio Maranguapinho.

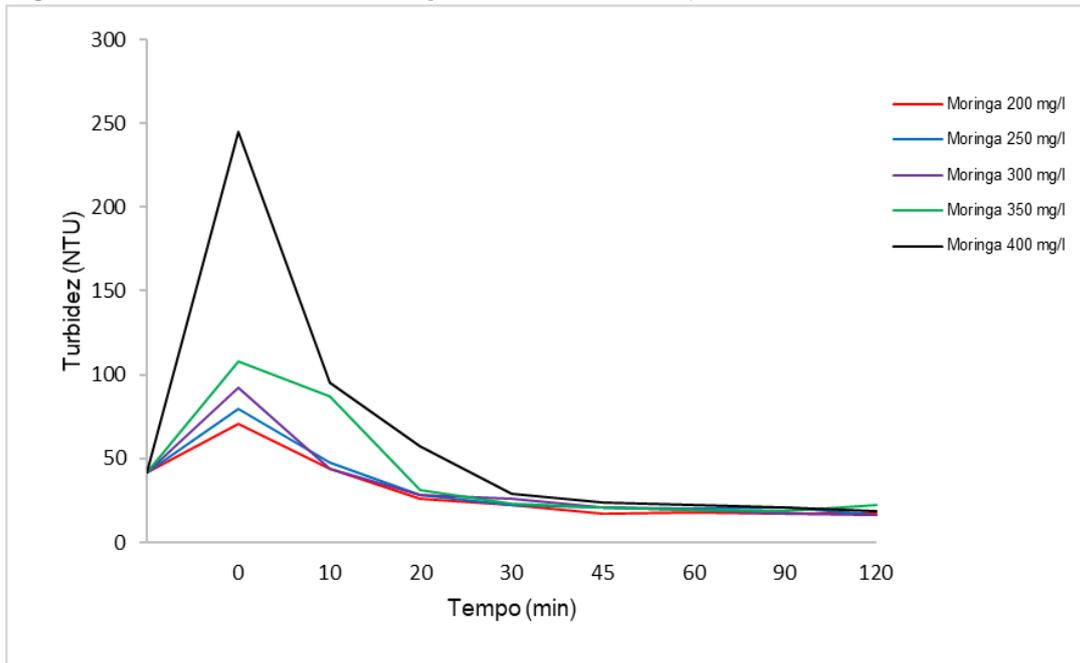
#### RESULTADO DA QUANTIDADE ÓTIMA DA MORINGA OLEIFERA LAM

Enfatiza-se a ação dos coagulantes essenciais para a desestabilização das partículas coloidais e suspensas realizada pela conjunção de ações físicas e reações químicas. E por meio da análise dos resultados obtidos, na associação do auxiliar de coagulante Moringa Oleifera Lam, com as concentrações de 200, 250, 300, 350 e 400 ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e com  $20 \text{ mg.L}^{-1}$  de PAC, para identificar a quantidade de moringa mais eficiente, o que mostrou melhor resultado foi a concentração de  $400 \text{ mg.L}^{-1}$ , com eficiência de 69% na redução da cor e 92% na remoção de turbidez. As demais concentrações de 200, 250, 300 e 350 ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) tiveram eficiência de: 70% (cor) e 76% (turbidez); 73% (cor) e 79% (turbidez); 72% (cor) e 82% (turbidez); 63% (cor) e 83% (turbidez). Nas figuras 3 e 4, pode-se observar como a cor e a turbidez, respectivamente, se comportaram ao longo dos 120 min da sedimentação.

**Figura 3** - Quantidade ótima de Moringa Oleifera Lam em relação à cor aparente.



Fonte: Autor (2019)

**Figura 4** - Quantidade ótima de Moringa Oleifera Lam em relação à turbidez.

Fonte: Autor (2019)

No início do experimento, após a adição do oxidante ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ), o auxiliar de coagulante (Moringa Oleifera Lam) e o coagulante (PAC), houve um aumento considerável no tempo 0 (zero) da turbidez e da cor aparente, em que tais parâmetros iniciaram no gráfico com valores da água bruta. E com o passar do experimento, houve um decréscimo, como visto nas Figuras 03 e 04.

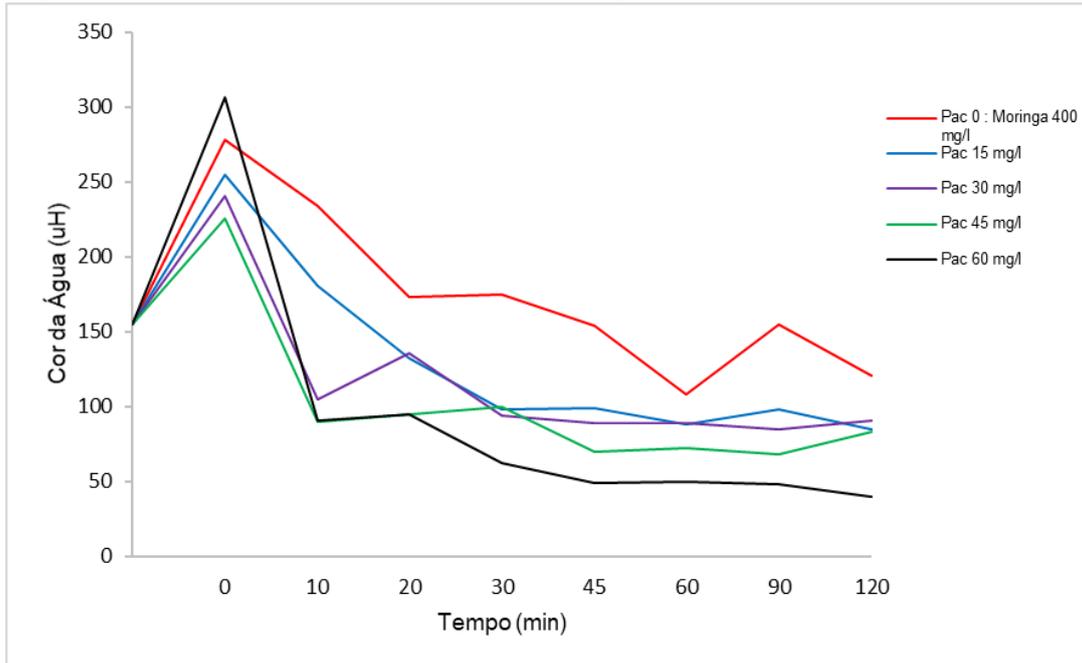
Após a determinação da quantidade mais eficiente da moringa, fez-se necessário seu uso sem associação com o PAC, para observar seu efeito na água da barragem, sendo que a mesma é um coagulante natural, deste modo mais acessível para comunidades, como também mais sustentável.

A concentração de  $400 \text{ mg.L}^{-1}$  de moringa mostrou a seguinte eficiência: 61% (cor) e 72% (turbidez), conforme Figura 5 e 6. O resultado demonstra que o seu uso, sem a associação, não possui uma eficiência ótima.

#### *RESULTADO DA QUANTIDADE ÓTIMA DE POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC)*

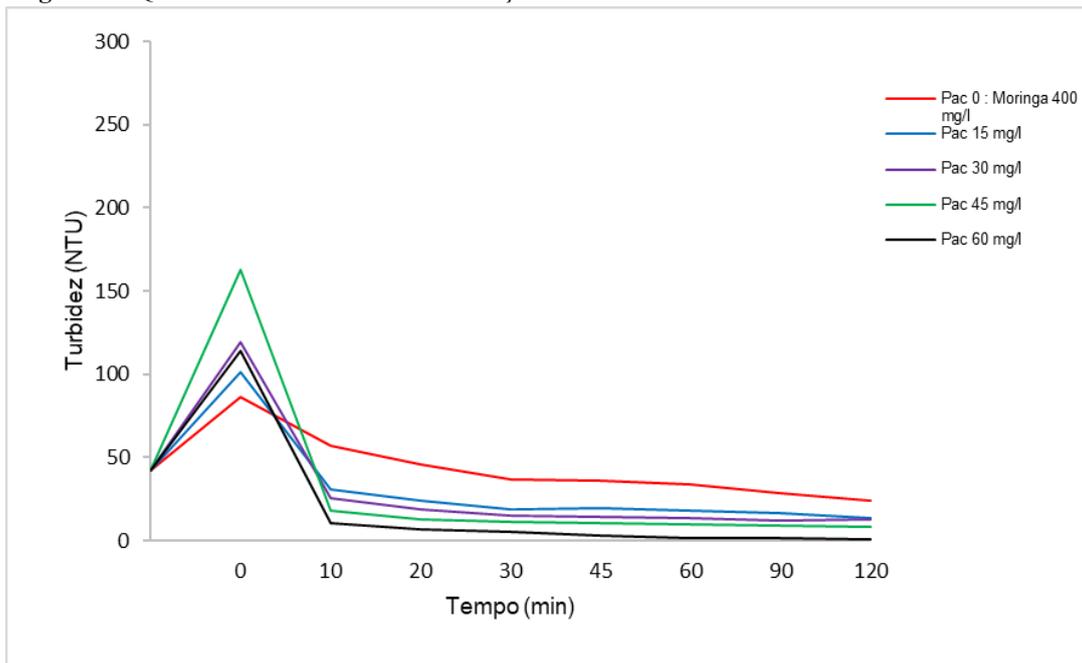
Logo após fixar a quantidade da concentração de Moringa Oleifera Lam de  $400 \text{ mg.L}^{-1}$ , a faixa de teste utilizada de 15, 30, 45 e  $60 \text{ mg.L}^{-1}$  tiveram, respectivamente, a seguinte eficiência: 67% (cor) e 86% (turbidez); 63% (cor) e 90% (turbidez); 70% (cor) e 95% (turbidez); 87% (cor) e 99% (turbidez). A concentração que teve melhor eficiência foi a de  $60 \text{ mg.L}^{-1}$ , o que pode-se observar na faixa de testes melhores resultados quando aumentava a dose de coagulante. As Figuras 5 e 6, mostram os valores dos parâmetros, cor e turbidez, ao longo da sedimentação.

**Figura 5** - Quantidade ótima de PAC em relação a cor aparente.



Fonte: Autor (2019)

**Figura 6** - Quantidade ótima de PAC em relação a turbidez.



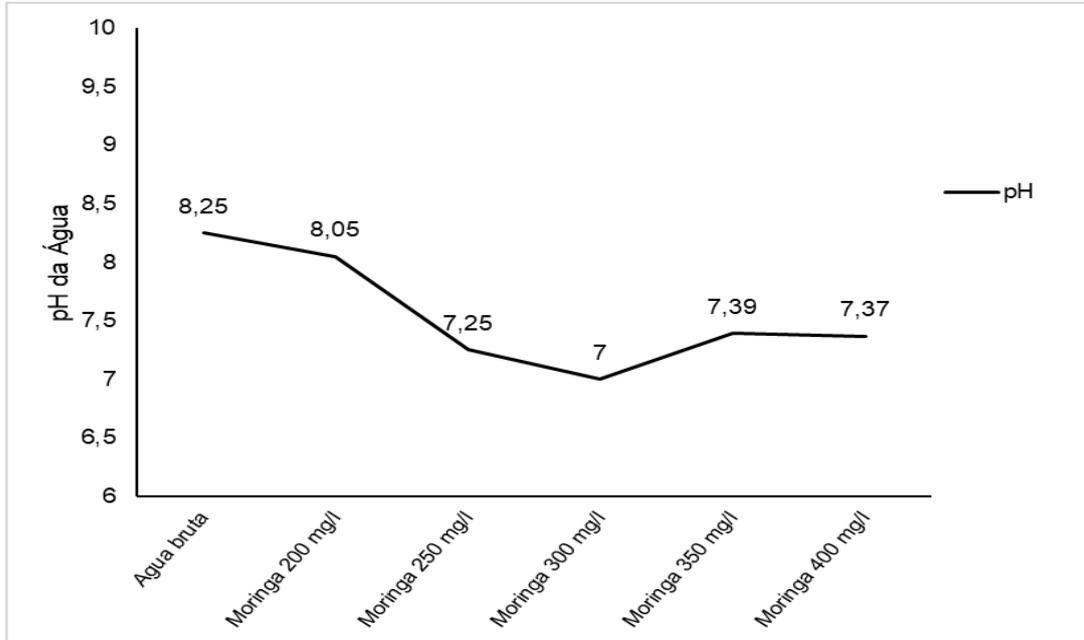
Fonte: Autor (2019)

É possível analisar que a eficiência da redução de turbidez e cor aparente está relacionada com o aumento da concentração da solução coagulante. Ou seja, quanto mais concentrada a solução coagulante PAC, melhor foi a remoção. Esses valores indicam que a concentração de coagulante deve ser proporcional à turbidez da água bruta a ser tratada, isto é, quanto maior a turbidez, mais concentrada deve ser a solução coagulante a ser aplicada.

### pH E ALCALINIDADE

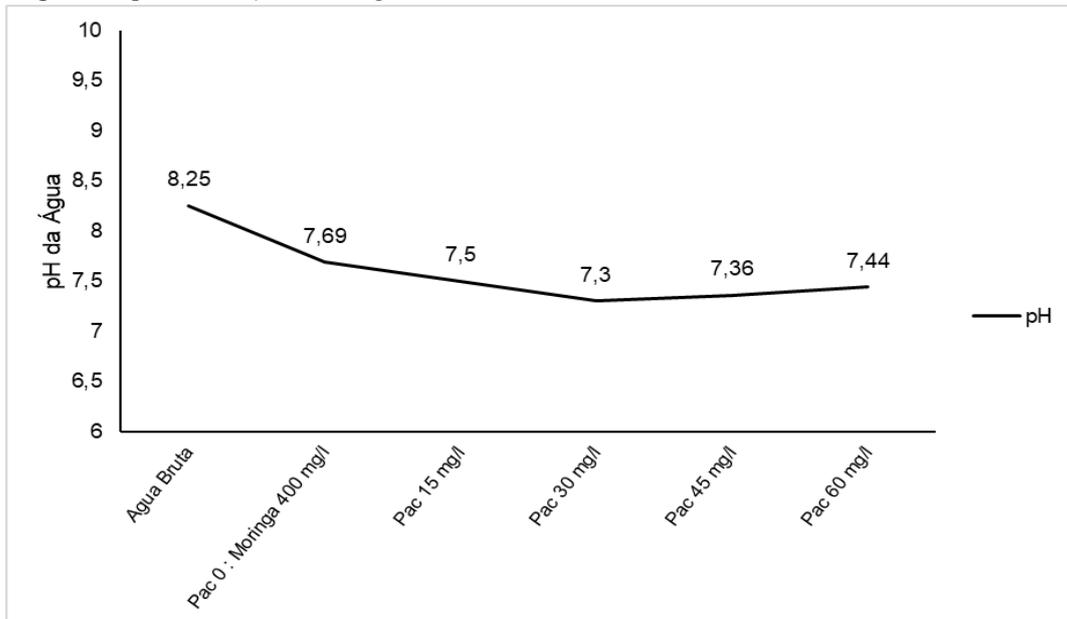
E por meio da análise dos resultados obtidos na associação dos coagulantes Moringa Oleifera Lam com PAC e o  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , foram observadas variações similares do pH entre 7 e 8, como visto nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - pH em relação as dosagens de Moringa Oleifera Lam.



Fonte: Autor (2019)

Figura 8 - pH em relação às dosagens de PAC.

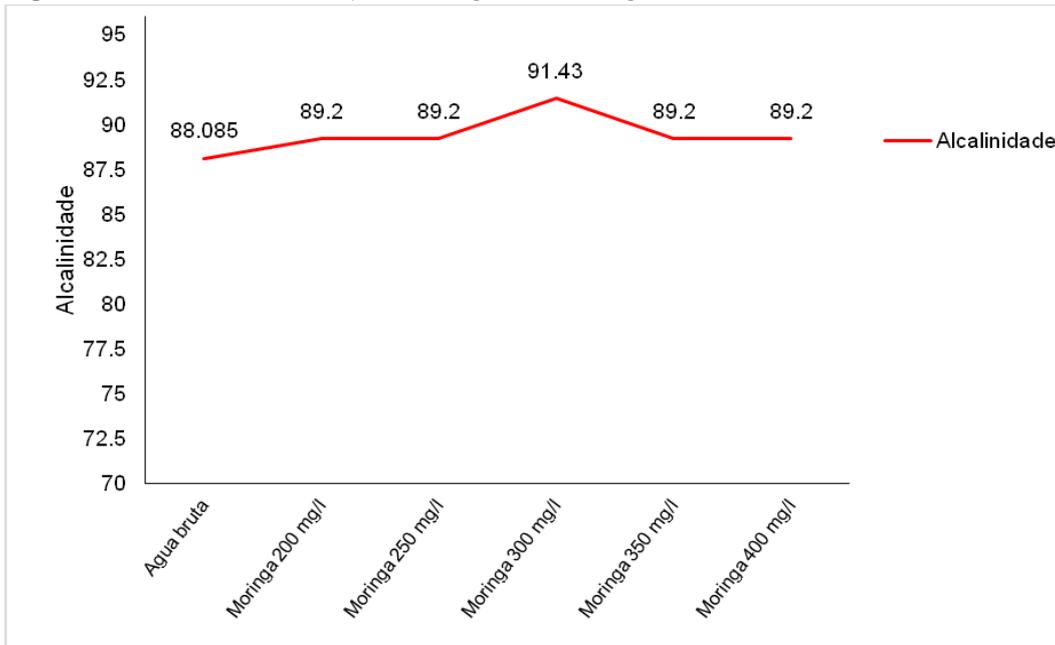


Fonte: Autor (2019)

Observa-se, nas figuras 7 e 8, que os coagulantes Moringa Oleifera Lam e PAC variaram de pH básico para neutro e, apesar da variação, enfatiza-se que estes estão de acordo com a Portaria nº 2914.

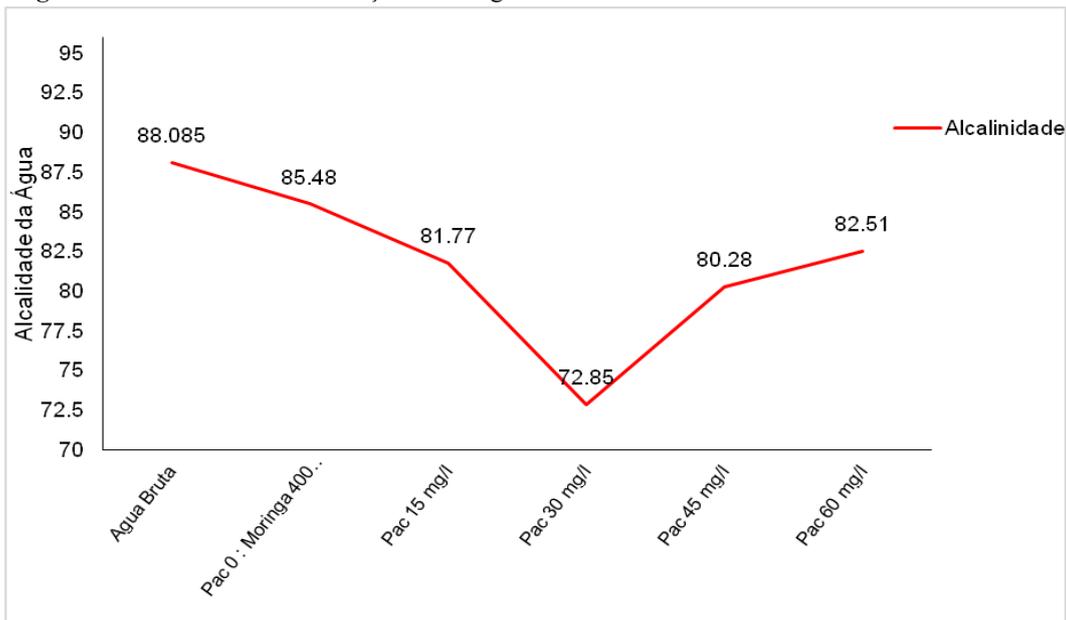
Já em relação à alcalinidade, é visto que o parâmetro de alcalinidade não sofreu variações significativas nos cinco ensaios com concentrações variadas de M. Olifera, como pode ser visto na Figura 09. Já em relação ao PAC, Figura 10, obteve uma variação significativa de 72,85 na dosagem de 30mg.L.

**Figura 9** - Alcalinidade em relação às dosagens de Moringa.



Fonte: Autor (2019)

**Figura 10** - Alcalinidade em relação às dosagens de PAC.



Fonte: Autor (2019)

É possível observar que a alcalinidade da água bruta apresenta alta, com 88,08 mg/L CaCO<sub>3</sub>, necessário na etapa de coagulação, uma vez que a reação de neutralização das impurezas altera significativamente o pH da água. Logo, a alcalinidade auxilia na manutenção desse pH, ajudando a manter a faixa de atuação do agente coagulante empregado.

Os coagulantes comumente têm atuação com ácidos em solução, reduzindo a alcalinidade e baixando o valor de pH. Caso a alcalinidade baixe, a coagulação pode exigir a adição de alcalinizante para o ajuste do pH e equilíbrio do mesmo.

Diante dos resultados, é visto que o uso da M.olifera, associada com o PAC, tem resultados satisfatórios, uma vez que o uso de moringa, como auxiliar de coagulação, reduz o consumo dos coagulantes sintéticos em até 50%, podendo trazer melhorias no saneamento de água de forma prática e sustentável, porque a moringa pode ser cultivada localmente.

## DISCUSSÃO

Segundo Silva et al<sup>15</sup>, a presença de organismos fitoplanctônicos (microalgas e cianobactérias) e microrganismos patogênicos, quando presentes em mananciais destinados ao abastecimento, acarretam dificuldades no tratamento, o que compromete a eficiência das ETA's. Diante disso, o processo da pré-oxidação representa uma etapa importantíssima para a remoção de tais organismos. Resultados obtidos por Veronezi-Viana et al<sup>13</sup> comprovam o que foi dito anteriormente, em que a pré-oxidação, utilizando a dosagem de 1,2 mg.L<sup>-1</sup>, de Ca(ClO)<sub>2</sub>, com tempo de contato de 30 min, apresentou uma eficiência de 80% na remoção de organismos.

Ressalta-se que o estudo usou o auxiliar de coagulante (Moringa Oleifera Lam) e o coagulante (PAC). Cenário que pode ser justificado pela pesquisa de Alves<sup>17</sup>, a qual relata que o coagulante extraído da Moringa Oleifera Lam libera bastante matéria orgânica, o que torna a água mais turva.

Moreti et al<sup>3</sup>, no seu estudo, menciona a pouca eficiência da Moringa Oleifera Lam para águas de baixa turbidez inicial, verificando dificuldade na diminuição de cor e turbidez. No entanto, para famílias que não dispõem de água potável, a Moringa Oleifera Lam é uma ótima alternativa de baixo custo para obter água de melhor qualidade.

No estudo realizado por Resende et al<sup>16</sup>, a moringa mostrou melhores resultados para a remoção de turbidez com maiores concentrações, sendo elas de 500 a 1000 mg.L<sup>-1</sup>, o que corrobora com o resultado desta pesquisa.

Um estudo de Casagrande<sup>18</sup> corrobora com os resultados desse estudo, uma vez que os melhores resultados foram obtidos com uso do coagulante PAC, com eficiências na remoção de 98% para turbidez residual, 97% para cor aparente, 90%.

O uso do PAC pode ser explicado pelo fato de que esse coagulante sintético é geralmente eficaz em uma faixa de pH entre 6 e 9, atuando também em pH 10<sup>19</sup>. Logo, o pH é um parâmetro importante no processo de coagulação/floculação, uma vez que cada coagulante tem uma faixa ótima de operação<sup>20</sup>. Além disso, a utilização da M. Olifera não alterou significativamente o parâmetro pH, indicando possivelmente que o extrato não contribui para alterações na relação H<sup>+</sup> /OH<sup>-</sup> em solução<sup>21</sup>.

O coagulante PAC é um polímero catiônico amplamente aceito no mercado pela sua eficiência e capacidade de atuar numa amplitude de pH maior, muito recomendado para uso em estações de tratamento de água, a fim de substituir os coagulantes convencionais usados (sais de alumínio e sais de ferro), uma vez que o PAC possui uma melhor eficiência de clarificação<sup>19</sup>.

Ressalta-se que o pH, tanto na primeira como na segunda etapa, estão de acordo com a Portaria n° 29140<sup>1</sup> do Ministério da Saúde, que apresenta como recomendação uma faixa de 6.0 a 9.0 no sistema de distribuição.

Segundo Awad et al<sup>22</sup>, o pH tem grande influência no processo de tratamento de água, pois está relacionado diretamente com a eficiência do coagulante e, caso seja necessário, poderá ser ajustado com produtos alcalinizantes para haver floculação.

Diversos fatores interferem no processo de coagulação, destacando-se o pH e a alcalinidade da água bruta e o tipo e a dosagem dos produtos químicos aplicados<sup>23</sup>. Para Di Bernardo e Dantas<sup>24</sup>, a alcalinidade influi na coagulação química quando se utilizam sais metálicos como agentes coagulantes, visto que são doadores de prótons em solução.

Valverde et al recomendam, em casos de baixa eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade, a associação da moringa com outro coagulante, para que haja resultados mais promissores, como no caso do PAC. Como também, Abaliwano et al<sup>26</sup> enfatizam o uso de moringa como auxiliar de coagulação, podendo reduzir o consumo dos coagulantes sintéticos em até 50%. Dalen et al<sup>27</sup> destacam que a associação dos coagulantes pode melhorar efetivamente o saneamento de água em países subdesenvolvidos, principalmente porque a Moringa Oleifera Lam pode ser cultivada localmente.

O uso de coagulantes no tratamento de água é uma prática comum para remover impurezas da água para consumo. O PAC e extratos de Moringa oleifera têm se destacado, especialmente em contextos de populações carentes que enfrentam dificuldades de acesso ao tratamento adequado de água. A implementação de técnicas de tratamento acessíveis, utilizando PAC e/ou Moringa, contribui para a melhoria da qualidade de vida e da saúde pública em comunidades com poucos recursos, oferecendo uma solução viável e sustentável para o acesso a água potável<sup>25-27</sup>.

Assim, a criação de estratégias para que a moringa e outras associações com matéria prima local que possam ser utilizadas é essencial, além de serem mais compatíveis com as questões ambientais atuais. Logo, faz-se necessário ações e estratégias coletivas de forma integrada e articulada com as políticas públicas Ambientais<sup>28</sup>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios demonstraram a maior eficiência na segunda etapa, na qual, com o aumento da dosagem do PAC, houve uma eficiência de 87 e 99% na remoção da cor e turbidez, respectivamente. Ao comparar com a primeira etapa, a concentração que teve mais eficiência foi a de 60 mg.L<sup>-1</sup> PAC.

Ressalta-se que a pesquisa enfrenta algumas limitações, especialmente ao se avaliar a associação entre esses dois coagulantes, assim como a existência de poucos estudos e a correlação com a área da saúde, como também a interferência de parâmetros

de água bruta: A eficiência da coagulação depende da qualidade inicial da água (pH, turbidez, matéria orgânica, etc). Diferenças nesses parâmetros podem impactar a performance dos coagulantes e dificultar a padronização dos resultados.

Mas é possível observar a potencialidade do estudo, uma vez que a Moringa Oleifera Lam, por ser um coagulante natural, é considerada sustentável e de baixo custo, o que torna importante seu estudo para o tratamento de água. Durante a pesquisa, a M. oleifera se mostrou eficiente quando associada a outro coagulante, de maneira distinta quando utilizada sozinha. A concentração mais eficiente foi de 400 mg.L<sup>-1</sup>. Além disso, a etapa da pré-oxidação foi de extrema importância para auxiliar na remoção de partículas suspensas e coloidais na água.

Analisando o resultado do experimento com a Portaria n° 2914/2011, observa-se que as concentrações de 60 mg.L<sup>-1</sup> PAC e 400 mg.L<sup>-1</sup>, de Moringa Oleifera Lam, obtiveram resultados dentro do padrão para consumo humano estabelecido pela Portaria n° 2914/2011 para o parâmetro turbidez, bem como o tempo 120 min apresentou turbidez de 0,7 NUT.

Logo, pode-se considerar de grande valia os ensaios realizados em Jar Test, uma vez que estes guiarão os procedimentos aplicáveis em escala real. Além disso, deve-se levar em conta todos os fatores de influência nos processos de coagulação, floculação e sedimentação, uma vez que estes traduzirão a eficiência de todo o tratamento de água.

Evidenciou-se, com isso, que os ensaios com diferentes tipos de coagulantes auxiliam na melhor escolha dos produtos utilizados no tratamento de água para abastecimento, partindo dos parâmetros disponíveis e das características próprias de cada manancial.

## REFERÊNCIAS

1. Tundisi JG. A crise mundial da água. In: Nussenzveig HM (Org.). O futuro da Terra. Rio de Janeiro: Editora FGV; 2011. p.61-88.
2. Ministério da Saúde (BR). Portaria n° 2914, de 12 dez. 2011. Dispõe Sobre os Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo e seu Padrão de Potabilidade.
3. Moreti LOR, et al. Emprego das sementes de Moringa Oleifera Lam, como coagulante alternativo ao policloreto de alumínio (PAC), no tratamento de água para fins potáveis. E-xacta. 2013;6(1):153-65.
4. Bongiovani MC, Valverde KC, Bergamasco R. Utilização do processo combinado coagulação/floculação/UF como processo alternativo ao tratamento convencional utilizando como coagulante a Moringa Oleifera Lam. Per Electr Fórum Amb Alta Paul. 2013;9(11):65-76.
5. Constantino AF, Yamamura VC. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. In: SIMPGEU, ago 2009, Maringá, Brasil. Simpósio de Pós-graduação em Engenharia Urbana. 2009. Maringá: 2009.
6. Franco M. Uso de coagulante extraído de sementes de Moringa Oleifera como auxiliar no tratamento de água por filtração em múltiplas etapas. Campinas, SP; 2010.
7. Lea M. Bioremediation of turbid surface water using seed extract from Moringa Oleifera Lam. (drumstick) tree. Current Protocols in Microbiology. Wiley Interscience. 2010 feb.;1(1G.2):1-14. Acesso em: 13 jan. 2016.
8. Gidde MR, Bhalerao AR, Malusare CN. Comparative study of different forms of Moringa Oleifera extracts for turbidity removal. Inter J Engin Res Develop. 2012 jul.;2(1):14-21.
9. Muthuraman G, Sasikala S, Prakash N. Proteins from natural coagulant for potential application of turbidity removal in water. Inter J Engin Innov Tech. 2013 jul;3(1):278-83.

10. Pritchard M, et al. A comparison between Moringa Oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Phys Chem Earth Parts A/B/C*. 2010 dez.;35(13-14): 798-805.
11. Silva S. Manual de Análise físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias. Salomão Anselmo Silva Rui de Oliveir. Campina Grande, Paraíba: O autor, 2001. 266p.
12. Veras PMC, Mendonça BHS, Ferreira YB. Observações sobre os impactos hidrológicos na barragem do rio maranguapinho em Maranguape-CE. *Rev Geoc Nordeste*. 2016 27 out.;2:395-404.
13. Veronesi-Viana M, et al. Avaliação da remoção de saxitoxinas por meio de técnicas de tratamento das águas de abastecimento. *Rev Eng Sanit Amb*. 2009;14(2):193-204.
14. Rorato ER. Utilização de Moringa Oleifera Lam como auxiliar no processo de coagulação/floculação/filtração para o tratamento de água de abastecimento [Trabalho de Conclusão de Curso]. Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 50 p; 2013.
15. Silva GG, et al. Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular. *Eng Sanit Amb*. 2012;17(1):71-80.
16. Resende D, et al. Redução do íon nitrato de água coletada em fontes subterrâneas da região de maringá- pr, com sementes de Moringa Oleifera lam. 9p. Encontro Nacional de Moringa. Maringá-Pr. 2014.
17. Alves MM. Uso da semente de moringa oleifera no tratamento físico químico de água residuária de piscicultura. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
18. Casagrande LEM. Sistema de bancada de flotação e filtração-adsortiva para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios [Trabalho de Conclusão de Curso]. Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 61 p;2014.
19. Constantino AF, Yamamura VC. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. In: SIMPGEU, ago 2009, Maringá, Brasil. Simpósio de Pós-graduação em Engenharia Urbana. 2009. Maringá: 2009. 1-10.
20. Vaz LGL, et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. *Eclét Quím*. 2010;35(4).
21. Oliveira LL. Análise da taxa de remoção de turbidez em águas naturais utilizando-se extrato de sementes de Moringa oleifera Lam. *Rev Bras Agropec Sustentável (RBAS)*. 2011 jul.;1(1):204-10.
22. Awad M, Wang H, Li F. Preliminary study on combined use of Moringa seeds extract and PAC for water treatment. *Res J Rec Sci*. 213 ago.;2(8):52-5.
23. Santos EPCC, et al. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. *Rev Eng Sanit Amb*. 2007;12(4).
24. Di Bernardo L, Dantas ADB. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. ed., v. 1. São Carlos: RiMa; 2005.
25. Valverde KC, et al. Estudo da clarificação da água superficial por meio da associação dos agentes coagulantes Moringa Oleifera Lam e policloreto de alumínio. *E-xacta*. 2016;9(2):1-8.
26. Abaliwano JK, Ghebremichael KA, Amy GL. Application of the purified Moringa Oleifera coagulant for surface water treatment. *WaterMill Working Paper Series*. 2008;5:1-19.
27. Dalen MB, et al. Synergy between Moringa Oleifera seed powder and alum in the purification of domestic water. *Sci World J*. 2009;4(4):6-11.
28. Ramos MJM, Bezerra MIC, Paiva GM. Saúde, ambiente e qualidade de vida: Reflexões da experiência da Residência Multiprofissional em Saúde da Família e Comunidade de Fortaleza-CE. *Cadernos ESP [Internet]*. 2019 set. 30[citado em: 2024 out. 15];7(2):53-65. Disponível em: <https://cadernos.esp.ce.gov.br/index.php/cadernos/article/view/84>.