

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CÍNTIA MARIA RITTER

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS NATURAIS**  
*Abelmoschus esculentus* (L.) MOENCH (MALVACEAE) E *Moringa*  
*oleifera* LAM (MORINGACEAE) NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE  
**ABASTECIMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO  
2013

CÍNTIA MARIA RITTER

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS NATURAIS**  
***Abelmoschus esculentus* (L.) MOENCH (MALVACEAE) E *Moringa***  
***oleifera* LAM (MORINGACEAE) NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE**  
**ABASTECIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Ambiental da Coordenação de Engenharia Ambiental – COEAM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Campo Mourão, como requisito parcial para obtenção de nota na disciplina.

Orientadora: Prof. Dra. Flávia Vieira da Silva Medeiros

CAMPO MOURÃO  
2013



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS NATURAIS *Abelmoschus esculentus* (L.) MOENCH (MALVACEAE) E *Moringa oleifera* LAM (MORINGACEAE) NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

por

**CÍNTIA MARIA RITTER**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 10 de setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Flávia Vieira da Silva Medeiros  
Prof. Orientador

---

Diana Fátima Formentini  
Membro titular

---

Patrícia Valderrama  
Membro titular

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

Dedico este trabalho e todas as conquistas da minha vida, aos meus queridos pais, Elias e Renati, e a todos que sempre acreditaram e me deram apoio para a realização desse sonho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por estar presente em todos os dias da minha vida, por me fortalecer nos momentos de dificuldade e por ser tão generoso, colocando pessoas maravilhosas no meu caminho.

Agradeço aos meus queridos pais, Elias e Renati, por todo amor, dedicação e confiança que sempre depositaram em mim. Pela educação e exemplo de trabalho e honestidade. Por fazerem do meu sonho, o deles. Agradeço também, às minhas irmãs Silvana e Simoni, pelo exemplo, apoio, e por sempre buscarem esclarecer as minhas dúvidas.

Agradeço à professora Flávia, pela confiança, paciência e dedicação com que sempre me ajudou. Pelos ensinamentos, ricos conselhos e exemplo de profissionalismo.

Gostaria de agradecer a todos os amigos que fiz em Campo Mourão, por terem, em algum momento, compartilhado alegrias, dificuldades, sonhos e por terem sido como uma família pra mim. Em especial, à Turma 3, 02/2008, de Engenharia Ambiental que está se formando comigo, pela amizade e companheirismo.

Agradeço ao meu querido grupo de amigos: Fran, Laia, Lu, Maísa, Henrique e Tábata, pelos momentos que passamos juntos, estudando ou descontraindo. Vocês sempre estarão guardados no meu coração. Também, à minha amiga Thaís, com que morei durante 9 de 10 períodos acadêmicos pela excelente convivência e amizade.

Ao meu querido namorado Allan, por todo o amor e carinho, por entender minhas ausências, minhas dificuldades e meus momentos de nervosismo e também, por apoiar meus sonhos e ser sempre o meu porto seguro.

Ao grupo do Laboratório de Saneamento: Gi, Doléu, Bruna e Laís, pela ajuda na realização desse trabalho e pela amizade.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão, pelos equipamentos, espaço físico e bolsa concedida, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa.

A Companhia Paranaense de Saneamento- Sanepar, pelo apoio na coleta das amostras de água bruta e por ceder os reagentes.

## RESUMO

RITTER, Cíntia M. Estudo da utilização de polímeros naturais *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (Malvaceae) e *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae) no tratamento de água de abastecimento. 2013. 52 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

Devido às vantagens associadas a sua aplicação, a utilização de polímeros naturais como auxiliares de coagulação e floculação vem sendo estudada e torna-se uma alternativa promissora. Neste trabalho, avaliou-se o emprego dos polímeros naturais no tratamento de água para consumo humano, extraídos dos frutos maduros de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (quiabo), como auxiliar de floculação e de sementes de *Moringa oleifera* Lam (moringa), como auxiliar de coagulação, avaliando-se também, o emprego conjunto de quiabo e moringa. Com o uso do quiabo, foram obtidos bons resultados de remoção de cor e turbidez, atingindo-se 96,6 % e 98,9 % de remoção, respectivamente, utilizando a concentração de 1,4 ppm. Com o uso da moringa, também foram obtidos bons resultados de remoção dos parâmetros cor e turbidez, atingindo-se 83,3 % e 97,6 % de remoção, respectivamente, utilizando a concentração de 360 ppm. Nos ensaios em que o emprego conjunto de quiabo e moringa foi avaliado, com as concentrações de 1,4 ppm de quiabo e 250 ppm de moringa, obteve-se 80 % e 81,2 % remoção de cor e turbidez, respectivamente. Nos três ensaios, outros parâmetros, como sólidos e bacteriológicos, também foram consideravelmente reduzidos, apresentando-se como um aspecto positivo por possivelmente facilitar as etapas seguintes do tratamento, aumentando a vida útil dos filtros e necessitando de quantidade menor de desinfetante. Além disso, foram utilizadas concentrações mais baixas de coagulante químico do que as usadas na Estação de Tratamento de Água (ETA). Com isso, é possível propor uma diminuição no uso dos coagulantes metálicos, trazendo benefícios às pessoas que consumirão menores quantidades de produtos químicos, possibilitar maior facilidade na disposição final do lodo proveniente da ETA além de reforçar a proposta da Química Verde.

**Palavras-chave:** Quiabo. Floculação. Moringa. Coagulação. Água para abastecimento.

## ABSTRACT

RITTER, Cíntia M. Study of the use of natural polymers *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (Malvaceae), and *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae) in the treatment of drinking water. 2013. 52 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

Due to advantages associated with their implementation, the use of natural polymers as aids coagulation and flocculation, is being studied and it is a promising alternative. In this study, we evaluated the use of natural polymers in the treatment of drinking water, extracted from the ripe fruits of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (okra), as flocculation aid, and seeds of *Moringa oleifera* Lam (Moringa) as coagulation aid, also evaluating the combined use of okra and moringa. With the use of okra, were obtained good results removal with color and turbidity, reaching 96.6% and 98.9% removal, respectively, using the concentration of 1.4 ppm. With the use of Moringa, were also obtained good results of removing color and turbidity parameters, reaching 83.3% and 97.6% removal, respectively, using a concentration of 360 ppm. In trials in which the use of okra and moringa in set was evaluated, with concentrations of 1.4 ppm of okra and 250 ppm of moringa, there was obtained 80% and 81.2% of removing color and turbidity, respectively. In three studies, other parameters such as solids and microbiological also been significantly reduced, presenting itself as a positive aspect to possibly facilitate the next steps of treatment, extending the life of the filters and requiring fewer disinfectant. In addition, we used lower concentrations of coagulant chemicals than those used in the Water Treatment Plant (WTP). This makes it possible to propose a reduction in the use of metal coagulants, bringing benefits to people who consume smaller amounts of chemicals, allow greater ease of disposal of sludge from the ETA and reinforce the proposal of Green Chemistry.

**Keywords:** Okra. Flocculation. Moringa. Coagulation. Water supply.

## LISTA DE FIGURAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1-  | Planta e frutos de quiabo ( <i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench.....                                   | 16 |
| Figura 2-  | Planta e sementes de moringa ( <i>Moringa oleifera</i> Lam).....   | 17 |
| Figura 3-  | Localização da Estação de Tratamento de Água e captação da SANEPAR- Campo Mourão- PR.....                    | 21 |
| Figura 4-  | Resultados do ensaio de escolha da concentração ótima de PAC, para o parâmetro cor (uC).....                 | 29 |
| Figura 5-  | Resultados do ensaio de escolha da concentração ótima de PAC, para o parâmetro turbidez (uT).....            | 29 |
| Figura 6-  | Resultados do ensaio com baixas concentrações de quiabo, para o parâmetro cor (uC).....                      | 30 |
| Figura 7-  | Resultados do ensaio com baixas concentrações de quiabo, para o parâmetro turbidez (uT).....                 | 30 |
| Figura 8-  | Resultados do ensaio com altas concentrações de quiabo, para o parâmetro cor (uC).....                       | 31 |
| Figura 9-  | Figura 9- Resultados do ensaio com altas concentrações de quiabo, para o parâmetro turbidez (uT).....        | 31 |
| Figura 10- | Figura 10- Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de quiabo, para o parâmetro cor (uC).....      | 32 |
| Figura 11- | Figura 11- Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de quiabo, para o parâmetro turbidez (uT)..... | 33 |
| Figura 12- | Figura 12- Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de quiabo, para o parâmetro cor (uC).....      | 33 |
| Figura 13- | Figura 13- Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de quiabo, para o parâmetro turbidez (uT)..... | 34 |
| Figura 14- | Figura 14- Resultados do ensaio de escolha da concentração ideal de PAC, para o parâmetro cor (uC).....      | 36 |
| Figura 15- | Figura 15- Resultados do ensaio de escolha da concentração ótima de PAC, para o parâmetro turbidez (uT)..... | 36 |
| Figura 16- | Figura 16- Resultados do ensaio com baixas concentrações de moringa, para o parâmetro cor (uC).....          | 37 |
| Figura 17- | Figura 17- Resultados do ensaio com baixas concentrações de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....     | 37 |
| Figura 18- | Figura 18- Resultados do ensaio com altas concentrações de moringa, para o parâmetro cor (uC).....           | 38 |
| Figura 19- | Figura 19- Resultados do ensaio com altas concentrações de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....      | 38 |
| Figura 20- | Figura 20- Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro cor (uC).....     | 39 |
| Figura 21- | Figura 21- Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de   |    |



|            |  |    |
|------------|--|----|
|            | moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....   | 40 |
| Figura 22- | Figura 22- Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro cor (uC).....               | 40 |
| Figura 23- | Figura 23- Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....          | 41 |
| Figura 24- | Figura 24- Resultados do ensaio com as melhores concentrações de quiabo e moringa, para o parâmetro cor (uC).....      | 43 |
| Figura 25- | Figura 25- Resultados do ensaio com as melhores concentrações de quiabo e moringa, para o parâmetro turbidez (uT)..... | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Resultados das análises dos parâmetros físicos- químicos e microbiológicos da água bruta utilizada nos testes com quiabo e moringa.....                  | 28 |
| Tabela 2 - Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 45 minutos, com diferentes concentrações de quiabo.....                       | 32 |
| Tabela 3 - Resultados físico-químicos e microbiológicos para água bruta e água tratada com quiabo.....  | 34 |
| Tabela 4 - Tabela 4- Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa.....            | 38 |
| Tabela 5 - Tabela 5- Resultados físico-químicos e microbiológicos para água bruta e água tratada com moringa.....   | 41 |
| Tabela 6 - Tabela 6- Dosagens de PAC, geocal <sup>®</sup> quiabo e moringa utilizadas no ensaio.....  | 43 |
| Tabela 7 - Tabela 7- Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 60 minutos, com diferentes concentrações de moringa.....            | 44 |
| Tabela 8- Tabela 8- Resultados físico-químicos e microbiológicos para água bruta e água tratada com moringa (MO) e quiabo (QUI).....                                | 45 |
| Tabela 9- Resultados dos parâmetros físicos- químicos e bacteriológicos para as melhores concentrações de quiabo, moringa, e quiabo e moringa em uso combinado..... | 47 |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>11</b> |
| 2        | OBJETIVOS.....  | 13        |
| 2.1      | OBJETIVO GERAL.....   | 13        |
| 2.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 13        |
| <b>3</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>   | <b>14</b> |
| 3.1      | QUIABO- <i>Abelmuoschus eschulentus</i> .....   | 15        |
| 3.2      | MORINGA- <i>Moringa oleífera</i> .....  | 16        |
| 3.3      | COAGULAÇÃO.....   | 17        |
| 3.4      | POTENCIAL ZETA.....   | 18        |
| 3.5      | FLOCULAÇÃO.....   | 19        |
| 3.6      | SEDIMENTAÇÃO.....   | 19        |
| <b>4</b> | <b>PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....</b>   | <b>21</b> |
| 4.1      | PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA.....   | 22        |
| 4.1.1    | Cor.....  | 22        |
| 4.1.2    | Turbidez.....   | 22        |
| 4.1.3    | Sólidos.....  | 23        |
| 4.1.4    | Potencial Hidrogeniônico (pH).....  | 23        |
| 4.1.5    | Nutrientes- Nitrogênio e Fósforo.....   | 23        |
| 4.1.6    | Acidez e alcalinidade.....  | 24        |
| 4.1.7    | Bacteriológico.....   | 24        |
| 4.2      | ENSAIOS COM AUXILIARES NATURAIS.....  | 25        |
| 4.2.1    | Preparação das soluções.....  | 25        |
| 4.2.2    | Ensaio com quiabo como auxiliar de floculação.....  | 26        |
| 4.2.3    | Ensaio com moringa como auxiliar de coagulação.....   | 26        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>  | <b>28</b> |
| 5.1      | RESULTADOS DOS ENSAIOS COM QUIABO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO.....  | 28        |
| 5.2      | RESULTADOS DOS ENSAIOS COM MORINGA COMO AUXILIAR DE COAGULAÇÃO.....   | 35        |
| 5.3      | RESULTADOS DOS ENSAIOS COMBINANDO QUIABO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO E MORINGA COMO AUXILIAR DE COAGULAÇÃO..... | 42        |
| 5.4      | SÍNTESE DOS MELHORES RESULTADOS.....  | 46        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>   | <b>48</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>49</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O acesso à água em quantidade e qualidade é garantido pela Lei 9433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil, entretanto, a realidade de parte dos lares brasileiros não condiz com essa informação. Por esse motivo, é necessário que se busquem alternativas viáveis para o tratamento de água em grandes aglomerados urbanos, ou mesmo em pequenos agrupamentos de pessoas.

Uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos (BRAGA et al., 2004). As características físicas da água são determinantes na escolha da tecnologia do tratamento a ser utilizado (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Os processos usados para o tratamento de água para consumo humano podem variar em função de critérios estéticos, econômicos e higiênicos, estabelecidos pela Estação de Tratamento de Água (ETA), assegurando a segurança e satisfação do consumidor (RIBEIRO, 2010).

Polímeros têm sido usados como auxiliares em tratamento de água desde o início da década de 50, principalmente na coagulação e floculação, sendo a maior vantagem do uso destes auxiliares o desenvolvimento dos flocos mais resistentes às forças de cisalhamento (ABREU LIMA, 2007).

Os diferentes polímeros naturais testados como auxiliares nos processos de coagulação, floculação e filtração apresentam, além de melhorar a qualidade da água tratada, benefícios para o meio ambiente e para a saúde dos consumidores, por meio da redução do uso dos coagulantes metálicos que estarão presentes em menores concentrações na água tratada que será ingerida e no lodo das estações de tratamento, possivelmente facilitando sua disposição final.

Dentre os diversos polímeros naturais usados como auxiliares em tratamento de água de abastecimento, o mais comumente utilizado é o amido (KIRCHMER, ARBOLEDA e CASTRO, 1975). No Brasil, de acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), os mais utilizados são os amidos de batata, e depois os amidos de mandioca e de milho, porém outros polímeros têm sido pesquisados.

De acordo com Silva (1999), o tanino extraído da acácia negra tem sido usado em muitas estações de tratamento de água e esgoto, com nomes comerciais como Tanac e Tanfloc. O extrato de cactos, de acordo com Diouri (2004), e da babosa, conforme Hespanhol (1982), foram usados em aplicações restritas. A *Moringa oleifera* Lam (Malvaceae) tem sido usada como coagulante e auxiliar de coagulação, com aplicação

em países da África, mas os estudos iniciais foram feitos na Alemanha e Inglaterra (BORBA, 2001).

Em estudos realizados por Cardoso (2007), ficou comprovada a eficiência da utilização da *Moringa oleífera* Lam (Moringaceae) como auxiliar de coagulação juntamente com o sulfato de alumínio.

Em pesquisas realizadas por Abreu Lima (2007), com o uso *Abelmoschus eschulentus* (L.) Moench como auxiliar de floculação, o tratamento apresentou melhora significativa na qualidade da água decantada, e a dosagem do sulfato de alumínio foi reduzida, com igual eficiência de remoção dos parâmetros avaliados.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de coagulação, floculação e sedimentação utilizando *Moringa oleifera* como auxiliar de coagulação e *Abelmoschus eschulentus* como auxiliar de floculação no tratamento de água para abastecimento humano.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficiência da solução de *Abelmoschus eschulentus* como auxiliar de floculação, através de ensaios em *Jar test*.
- Avaliar a eficiência da solução de *Moringa oleifera* como auxiliar de coagulação, através de ensaios em *Jar test*.
- Verificar a eficiência do uso combinado dos polímeros naturais *Abelmoschus eschulentus* e *Moringa oleifera* na melhoria da qualidade da água, através de ensaios em *Jar test*.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com a Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (MS) (BRASIL, 2011), toda a água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade, ou seja, os parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e radioativos determinados por essa Portaria devem ser atendidos.

No tratamento de águas para abastecimento público e águas residuárias, os coagulantes são amplamente usados. O sulfato de alumínio destaca-se como o coagulante químico mais utilizado no Brasil, devido à boa eficiência e ao baixo custo. No entanto, como o alumínio não é biodegradável, elevadas concentrações desse composto podem gerar um elevado volume de lodo (NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998), além de provocar problemas à saúde humana, inclusive o aceleração do processo degenerativo do Mal de Alzheimer (CLAYTON, 1989).

A combinação de auxiliares de coagulação está associada à provável redução da dosagem do coagulante inorgânico, que promove menor geração de lodo seco, com consequentes benefícios de seu tratamento e disposição final. Além disso, permite a desestabilização de partículas coloidais que não tenham condições de serem incorporadas pela precipitação do coagulante metálico, quando da operação do processo de coagulação no mecanismo de varredura (STUMM et al., 1996).

Como auxiliares de coagulação e de floculação, os polímeros apresentam vantagens em uma estação de tratamento (ETA), tais como: melhoria da qualidade da água decantada e filtrada, redução do consumo do coagulante primário, redução dos gastos com produtos químicos, redução no volume do lodo no decantador, aumento da eficiência da desinfecção como consequência da redução da concentração de sólidos suspensos na água filtrada, diminuição da ocorrência da deposição de lodo na rede e nos reservatórios de distribuição (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Como alternativa aos polímeros sintéticos, é possível utilizar polímeros naturais, que apresentam menor custo e não representam riscos à saúde humana. Quando usados em conjunto com o sulfato de alumínio, esses produtos podem reduzir a dosagem deste coagulante metálico, com mesma eficiência de remoção de particulados e matéria orgânica natural, possibilitando menores concentrações de alumínio residual na água tratada, minimizando a possibilidade de danos neurológicos que estes íons possam provocar (ABREU LIMA, 2007; CARDOSO, 2007).

### 3.1 QUIABO- *Abelmoschus esculentus*

*O Abelmoschus esculentus* (Figura 1), pertence à família Malvaceae, tratando-se de uma planta arbustiva anual, com caule ereto esverdeado ou avermelhado, e atinge de 1 a 1,7 metros de altura. É uma hortaliça de clima quente e por isso é uma das cultivares mais bem adaptadas ao clima tropical brasileiro. Temperaturas baixas causam danos aos frutos e impedem seu pleno crescimento (ABREU LIMA, 2007).

O quiabo, como auxiliar de floculação, tem bom desempenho e também mais possibilidade de utilização, devido à forma de comercialização deste vegetal, em que o consumidor rejeita o fruto maduro, utilizável no tratamento de águas. Quando moído, do pó se faz a solução, que é dosada em conjunto com os coagulantes metálicos de alumínio e ferro, melhorando a eficiência da floculação e das etapas posteriores, como sedimentação ou flotação, filtração e desinfecção (ABREU LIMA, 2007).

De acordo com Agarwal (2001 e 2003), o quiabo possui um polissacarídeo aniônico, que pode ser usado como floculante, por ser polímero natural, e virtualmente biodegradável. Não é tóxico, é estável e tende a ser intensivamente usado no tratamento de águas de abastecimento, de esgoto doméstico e de efluentes de curtume.

A utilização do quiabo em conjunto com o sulfato de alumínio pode reduzir a dosagem deste coagulante metálico, mantendo a eficiência do processo. Em relação aos polímeros aniônicos sintéticos, apresentam menor custo e, como faz parte da alimentação humana em vários continentes, não apresentam risco de danos à saúde humana (ABREU LIMA, 2007).





**Figura 1 - Planta e frutos de quiabo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.**  
**Fonte: (A) Adaptado de <http://www.infoescola.com>**  
**(B) Adaptado de <http://forum.mundofotografico.com.br>**

### 3.2 MORINGA- *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* (Figura 2) pertence à família Moringaceae, que é composta apenas de um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies conhecidas. Nativa do Norte da Índia desenvolve-se atualmente em vários países dos trópicos. É um arbusto ou árvore de pequeno porte, de crescimento rápido, que alcança 12 m de altura, podendo chegar até 4 m no primeiro ano.

Essa planta pode ser facilmente propagada, e as sementes podem ser plantadas diretamente no local definitivo ou em sementeiras (RANGEL, 2005), tendo rápido crescimento e pode frutificar no seu primeiro ano de vida (GERDES, 1996).

De acordo com Silva (2005), a eficiência do uso das sementes de *Moringa oleifera* vem sendo confirmada em laboratório e em projetos de abastecimento de água para residências da zona rural no Brasil e no mundo.

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



Figura 2 - Planta e sementes de moringa (*Moringa oleifera* Lam).

Fonte: (A) Adaptado de <http://ideiaweb.org>

(B) Adaptado de <http://terraia.wordpress.com>

### 3.3 COAGULAÇÃO

Segundo Di Bernardo & Dantas (2005), partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos normalmente possuem carga negativa na água. Quando essas partículas coloidais se aproximam, devido ao movimento browniano que as mantém em constante movimento, atuam sobre elas forças de atração (Forças de Van der Waals) e forças de repulsão (devido à força eletrostática ou da dupla camada elétrica), o que

impede a agregação entre as partículas, e dessa forma, impede também a formação de flocos.

A coagulação é um processo químico que tem por função desestabilizar as partículas coloidais. Ocorre através da adição de um agente químico para gerar íons carregados positivamente na água, que contém colóides carregados negativamente e apresenta como resultado, uma redução na repulsão existente entre as partículas (SILVA, 2005).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a coagulação é resultante da ação individual ou combinada de quatro mecanismos distintos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de pontes.

Brown, LeMay e Bursten (2005), definem a coagulação como a adição de eletrólitos que neutralizam as cargas superficiais das partículas, e conseqüentemente, remove as repulsões eletrostáticas que evitam que se agrupem.

De acordo com Qasim, Mothley e Zhu (2000), o condicionamento químico dos colóides é conhecido como coagulação e envolve a adição de produtos químicos que modificam as propriedades dos colóides, ampliando a remoção.

De forma geral, pode-se dizer que a coagulação tem como objetivo aumentar a quantidade de material suspenso, que será removido nas etapas seguintes. SPINELLI (2001), afirma que, as etapas de coagulação e floculação constituem a parte mais delicada do tratamento de água para abastecimento, pois qualquer falha nesse setor pode acarretar grandes prejuízos na qualidade e custo do produto distribuído à população.

### 3.4 POTENCIAL ZETA

O potencial zeta, de acordo com Pavanelli (2001), é um parâmetro utilizado para determinação da carga eletrostática superficial das partículas coloidais presentes na água. Sua medida pode ser considerada como um bom índice para medir a magnitude das interações repulsivas entre tais partículas.

Entende-se por potencial Zeta a medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta que se desenvolve em torno da partícula e do meio líquido

que a contém. A eliminação das cargas eletrostáticas superficiais é dada pela diminuição do potencial Zeta (SVAROVSKY, 2000).

Somado ao potencial Zeta da água bruta, outras características podem afetar a coagulação como a condutividade elétrica, pH, temperatura e outros. A influência que o pH de coagulação possui no potencial Zeta, foi comprovada por meio de estudos nos quais se tem o potencial Zeta em função da dosagem de sulfato de alumínio, mantendo-se constante, mediante o uso de hidróxido de sódio ou ácido clorídrico, o pH de coagulação (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

### 3.5 FLOCULAÇÃO

Na etapa seguinte da coagulação, ocorre a floculação, que é a aglomeração dos colóides sem carga eletrostática, que resulta dos sucessivos choques mecânicos causados por um processo de agitação mecânica.

Segundo Di Bernardo et al (2002), a floculação, corresponde ao processo em que são fornecidas condições para agregação das partículas que foram previamente desestabilizadas pela etapa de coagulação, que de tal forma possam ser formados flocos com tamanho e densidade suficiente para remoção por outros processos físicos como sedimentação, flotação ou filtração direta.

O desempenho das unidades de mistura rápida e de floculação tem direta influência sob a qualidade das águas produzidas na ETA, tendo, conseqüentemente, influência na duração da carreira de filtração (DI BERNARDO et al, 2002).

### 3.6 SEDIMENTAÇÃO

A sedimentação pode ser descrita como a separação de uma suspensão diluída pela ação da força da gravidade, com o objetivo de obter um fluido límpido e uma “lama” com a maior parte de sólidos.

A sedimentação é o processo seguinte à floculação e pode ser definida como um fenômeno físico de separação de fases (sólido-líquido) em que as partículas apresentam

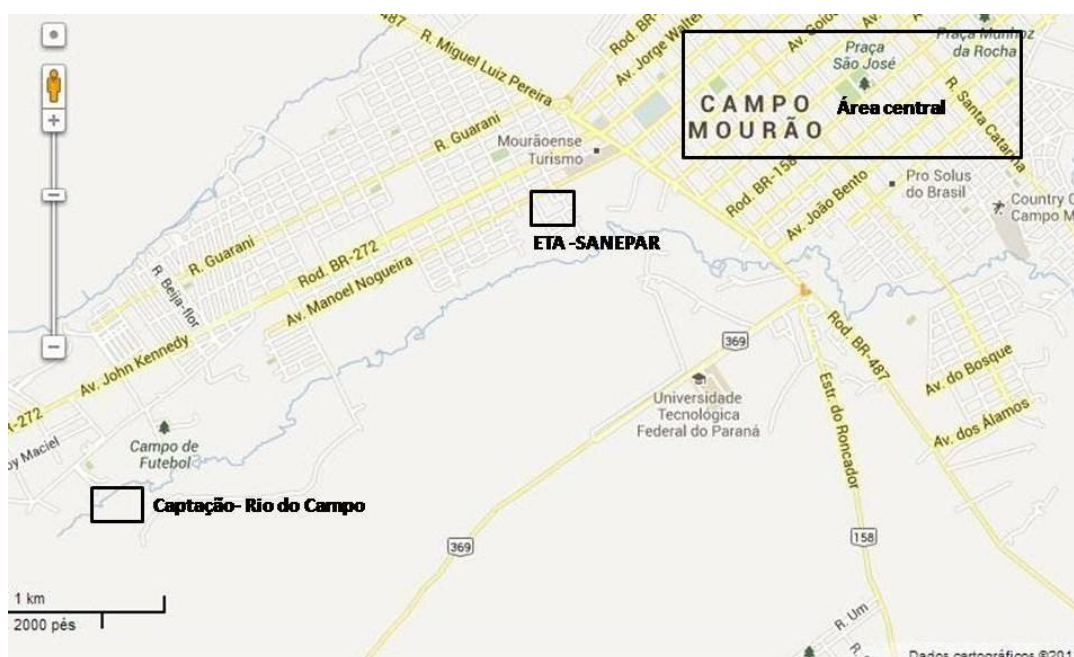
movimento descendente devido à ação da força da gravidade, propiciando a clarificação do meio líquido (DI BERNARDO et. al. 2002).

## 4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, bem como os ensaios de caracterização da água bruta deste trabalho foram realizados no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão (UTFPR-CM).

Para os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foi utilizado um equipamento de *Jar Test* modelo 218/LDB 06 de seis provas de marca Nova Ética, com regulador de rotação das hastes misturadoras, com béqueres de 1000 mL.

Para a realização dos testes, a água bruta foi coletada na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Campo Mourão que capta água junto à bacia do Rio do Campo, como mostra a Figura 3.



**Figura 3 - Localização da Estação de Tratamento de Água e captação da SANEPAR- Campo Mourão- PR.**

Fonte: Adaptado Google Maps (2013)

As condições experimentais foram mantidas mais próximas possíveis das condições empregadas na ETA, utilizando-se o mesmo coagulante, policloreto de alumínio (PAC) e também o mesmo alcalinizante, geocal<sup>®</sup>.

## 4.1 PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

Para caracterizar a água bruta, foram analisados os parâmetros físico-químicos cor, turbidez, sólidos, pH, alcalinidade, acidez, nutrientes (nitrogênio e fósforo). Como parâmetro bacteriológico foi realizada a contagem de coliformes totais e *Escherichia coli* T. Escherich, 1885 (Enterobacteriaceae).

A avaliação do tratamento foi realizada com análises de cor e turbidez. Para os ensaios que apresentaram os melhores resultados, foram realizadas todas as análises utilizadas na caracterização da água bruta.

### 4.1.1 Cor

De forma geral, a cor nas águas pode resultar dos processos de decomposição da matéria orgânica, da presença de íons metálicos naturais como o ferro e o manganês, bem como do lançamento de diversos tipos de despejos industriais. Em particular a cor natural nas águas, principalmente a cor verdadeira, apresenta como agentes causadores, substâncias húmicas e fúlvicas, as quais se apresentam sempre em estado coloidal (LEAL e LIBÂNIO, 2002).

A cor aparente foi determinada em medidor de cor Hanna Instruments HI 93727, de acordo com procedimento recomendado pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

### 4.1.2 Turbidez

A turbidez refere-se à matéria suspensa presente na água, de qualquer natureza, com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos colóides. É causada principalmente por areia, argila e microorganismos em geral (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A turbidez foi medida em um turbidímetro Policontrol AP2000 IR, de acordo com procedimento recomendado pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

#### 4.1.3 Sólidos

Os sólidos correspondem a toda matéria que aparece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-fixada, durante determinado tempo (MORAES, 2004).

Os sólidos totais, fixos e voláteis, foram obtidos através do método gravimétrico, que consta no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

#### 4.1.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Logaritmo negativo na base dez da atividade do íon hidrogênio ( $H^+$ ) em solução (NBR 9896/1999).

Para a medição do pH, foi utilizado um pH-metro Digimed DM-2, utilizando a metodologia descrita pelo fabricante, no manual do aparelho.

#### 4.1.5 Nutrientes- Nitrogênio e Fósforo

A disponibilidade do fósforo na água depende da interação qualitativa e quantitativa entre os sedimentos e a água, no espaço e no tempo (REYNOLDS; DAVIES, 2001). O fósforo quando em excesso em um curso d'água pode possibilitar super crescimento de algas, podendo ser causa de eutrofização do curso d'água (SPERLING, 2005).



O nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático nas seguintes formas: nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal (amônia), nitrato e nitrito. Pode ter origem natural, advindo de proteínas e da composição celular de microorganismo, ou origem antropogênica, proveniente de despejos domésticos e industriais assim como de excrementos animais e fertilizantes químicos, podendo indicar grau de contaminação (SPERLING, 2005).

Os parâmetros nitrogênio e fósforo foram medidos em um espectrofotômetro Digital Hach com UV visível, DR5000, conforme metodologia indicada pelo Standard Methods (APHA, 2005). O nitrogênio foi medido nas formas de nitrito, nitrato e amoniacal, e o fósforo na forma de fosfato, ambos determinados com kits de reagentes próprios para determinação destes parâmetros.

#### 4.1.6 Acidez e alcalinidade

A alcalinidade refere-se à capacidade da água de neutralizar ácidos, sendo o indicador geral da capacidade de amortização ou tamponamento da água (ABREU LIMA, 2007) e acidez é a capacidade da água em neutralizar bases (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Para a determinação de acidez e alcalinidade, foi utilizado o método titulométrico, descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

#### 4.1.7 Bacteriológico

Microorganismos como bactérias, vírus e protozoários, que podem ser patogênicos, estão entre as impurezas presentes na água, e muitas vezes, podem ser responsáveis por doenças. Coliformes são considerados como indicadores de poluição recente fecal (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Foi realizada a contagem de coliformes totais e *Escherichia coli* quantificados por meio de contagem em placas Petrifilm®.

Ressalta-se que o monitoramento da qualidade microbiológica da água por Petrifilm<sup>®</sup> (3M) é considerado um método vantajoso em virtude de sua praticidade, e rapidez da execução (AGOSTINHO, 2004).

De acordo com Forsythe (2002), o sistema Petrifilm<sup>®</sup> é uma alternativa mais rápida ao método de plaqueamento convencional. O sistema utiliza uma mistura desidratada de nutrientes (ágar vermelho violeta bile) e agente geleificante (solúvel em água fria) e um indicador de atividade glicuronidásica (5-bromo-4cloro-3-indolil- $\beta$ -Dglicuronideo) e um indicador tetrazólico para facilitar a enumeração das colônias sobre um filme.

## 4.2 ENSAIOS COM AUXILIARES NATURAIS

Primeiramente, foi determinada a concentração de coagulante químico, em *Jar test*, e em seguida, foram avaliadas as concentrações da solução de *Moringa oleifera* e de *Abelmoschus eschulentus*, associadas com concentrações mais baixas de coagulante químico do que a utilizada na Estação de Tratamento de Água de Campo Mourão- PR (ETA-CM), para então, propor uma diminuição da concentração do coagulante químico utilizado.

### 4.2.1 Preparação das soluções

Nos ensaios com quiabo e moringa, foram utilizados o mesmo agente coagulante (PAC) e o mesmo agente alcalinizante (geocal<sup>®</sup>) que é empregado no tratamento da SANEPAR de Campo Mourão, que gentilmente cedeu amostras de PAC e geocal<sup>®</sup> em forma concentrada. Assim, as soluções foram preparadas em concentração 1%, a partir da dissolução de 1 mL de PAC ou geocal<sup>®</sup>, em 100 ml de água destilada.

Para a preparação da solução padrão de quiabo, os frutos foram expostos ao sol por três dias, e posteriormente triturados e moídos. Foram utilizadas 5,0 g do quiabo moído para fazer a dissolução em 500 mL de água destilada, resultando em uma

“solução-mãe” com concentração de  $10 \text{ g.L}^{-1}$ , que foi novamente diluída para  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  para os ensaios em *Jar test* (ABREU LIMA, 2007).

A solução de moringa foi preparada em concentração de 1%, ou seja, para cada 100 mL de água destilada foi adicionado 1g da semente sem casca, triturando em liquidificador e posteriormente filtrada em papel filtro. Cardoso (2007), afirma que é recomendado utilizar sementes colhidas recentemente e que se deve evitar o armazenamento da solução para impedir que as propriedades flocculantes diminuam com o tempo.

#### 4.2.2 Ensaio com quiabo como auxiliar de floculação

Em cada jarro, foram adicionadas quantidades pré-determinadas da solução padrão de alcalinizante, coagulante e da solução padrão de auxiliar de floculação, utilizando-se pipeta automática.

O tempo de mistura rápida (TMR) foi fixado em 1 minuto, em 120 rotações por minuto (rpm) e o tempo de mistura lenta (TML) foi fixado em 15 minutos, em 60 rpms.

Para garantir homogeneização adequada, o alcalinizante geocal<sup>®</sup> foi adicionado um minuto antes de iniciar a mistura rápida. Por se tratar de um auxiliar aniônico, a solução de quiabo em pó foi adicionada nas amostras de água depois de iniciada a etapa de floculação, aproximadamente 4 minutos após a coagulação (ABREU LIMA, 2007).

Após os processos de coagulação e floculação, o *Jar Test* foi desligado, e as amostras mantidas em repouso, para que ocorresse a sedimentação do material flocculado. Em seguida, foram coletadas amostras da água tratada no momento em que o aparelho foi desligado e em intervalos de tempos de 15 minutos, em um período total de 60 minutos, para análise dos parâmetros de qualidade, descritos nos itens 4.1.1 à 4.1.7.

#### 4.2.3 Ensaio com moringa como auxiliar de coagulação

Os ensaios no *Jar test* com uso da moringa foram feitos com os mesmos parâmetros dos ensaios com quiabo, indicados no item 4.2.2, sendo que a solução de

moringa foi acrescentada ao mesmo tempo em que a solução de PAC, por se tratar de um auxiliar catiônico.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

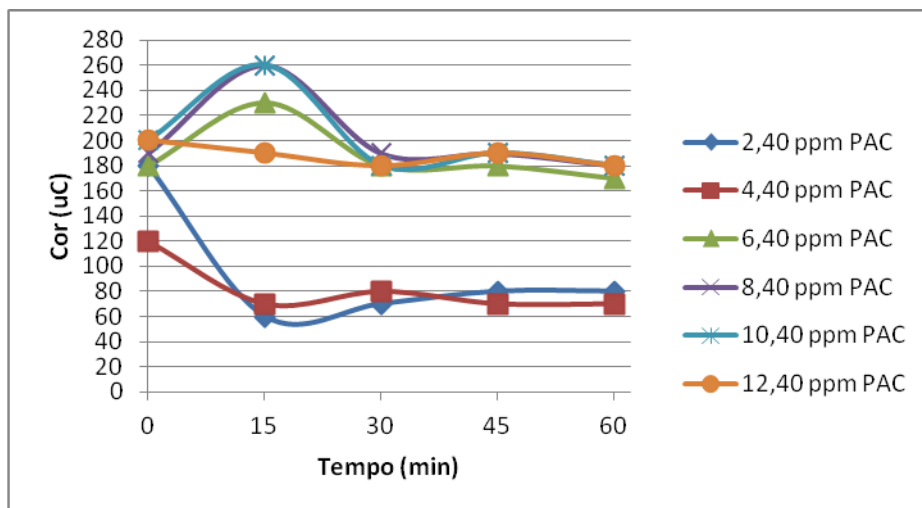
Os resultados de caracterização da água bruta, para os parâmetros cor, turbidez, sólidos, pH, alcalinidade, acidez, nutrientes (nitrogênio e fósforo), contagem de *E. coli* e coliformes totais, são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Resultados das análises dos parâmetros físicos- químicos e bacteriológicos da água bruta utilizada nos testes com quiabo e moringa.**

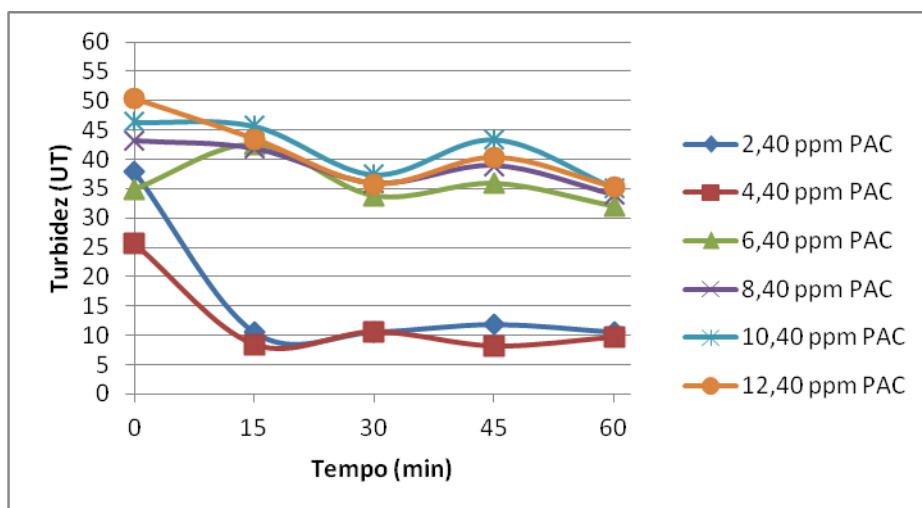
| Parâmetro   | Resultado |
|---|-----------|
| Cor (uC)  | 300       |
| Turbidez (uT)   | 33,9      |
| Sólidos Totais mg.L <sup>-1</sup>                       | 108       |
| Sólidos Totais Fixos mg.L <sup>-1</sup>                 | 88        |
| Sólidos Totais Voláteis mg.L <sup>-1</sup>              | 20        |
| Sólidos Totais Suspensos mg.L <sup>-1</sup>             | 20        |
| Sólidos Suspensos Fixos mg.L <sup>-1</sup>              | 12        |
| Sólidos Suspensos Voláteis mg.L <sup>-1</sup>           | 8         |
| pH  | 6,7       |
| Acidez Total mgCaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>       | 5         |
| Alcalinidade Total mgCaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> | 14        |
| Fósforo mg.L <sup>-1</sup>                              | 10,4      |
| Nitrato mg.L <sup>-1</sup>                              | 2,2       |
| Nitrito mg.L <sup>-1</sup>                              | 0,014     |
| Nitrogênio amoniacal mg.L <sup>-1</sup>                 | 0,17      |
| Coliformes Totais (UFC.mL <sup>-1</sup> )               | 0         |
| <i>E. coli</i> (UFC.mL <sup>-1</sup> )                  | 0         |

### 5.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM QUIABO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO

Inicialmente, foi realizado um ensaio para a obtenção da dosagem ideal do coagulante químico policloreto de alumínio (PAC) a ser utilizada nos demais ensaios. Foram testadas as seguintes concentrações: 2,4; 4,4; 6,4; 8,4; 10,4 e 12,4 partes por milhão (ppm), mantendo-se a concentração do alcalinizante geocal<sup>®</sup> igual à 2 ppm em todos os jarros, por ser a concentração utilizada pela ETA para esta água bruta. As Figuras 4 e 5, apresentam os resultados obtidos neste ensaio, para os parâmetros cor e turbidez, respectivamente.



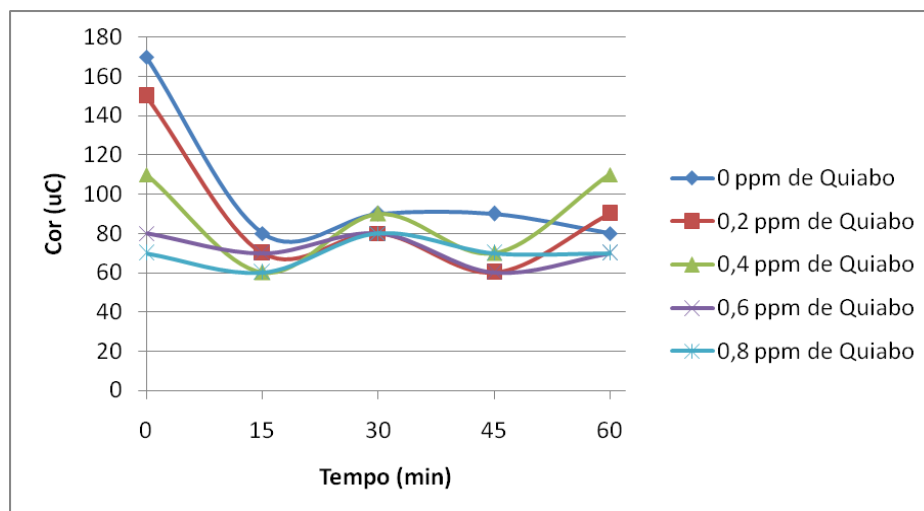
**Figura 4 - Resultados do ensaio de escolha da concentração ótima de PAC, para o parâmetro cor (uC).**



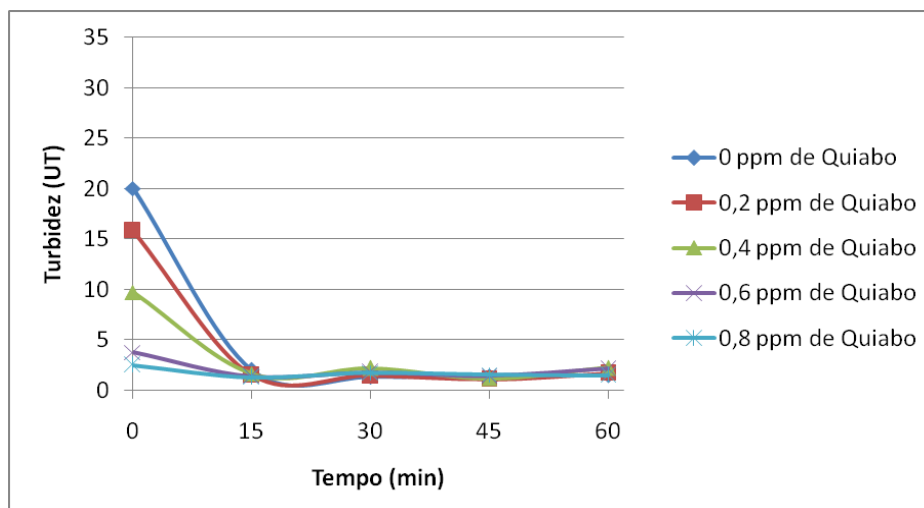
**Figura 5 - Resultados do ensaio de escolha da concentração ótima de PAC, para o parâmetro turbidez (uT).**

A partir da análise das Figuras 4 e 5, é possível observar que os melhores resultados foram obtidos com a concentração de 2,4 ppm de PAC, atingindo 70% de remoção de cor, e 73% de remoção de turbidez, após 15 minutos de sedimentação. Portanto, nos ensaios com quiabo como auxiliar de floculação, foram utilizadas as concentrações de 2,4 ppm de PAC e 2 ppm de geocal<sup>®</sup>, sendo testadas em diferentes dosagens de quiabo, em altas e baixas concentrações. Na ETA, a concentração utilizada foi de 11 ppm de PAC para a mesma água bruta.

Quando avaliado em baixas concentrações, o quiabo teve suas dosagens iguais a 0; 0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 ppm, cujos resultados para cor e turbidez são apresentados nas Figuras 6 e 7.

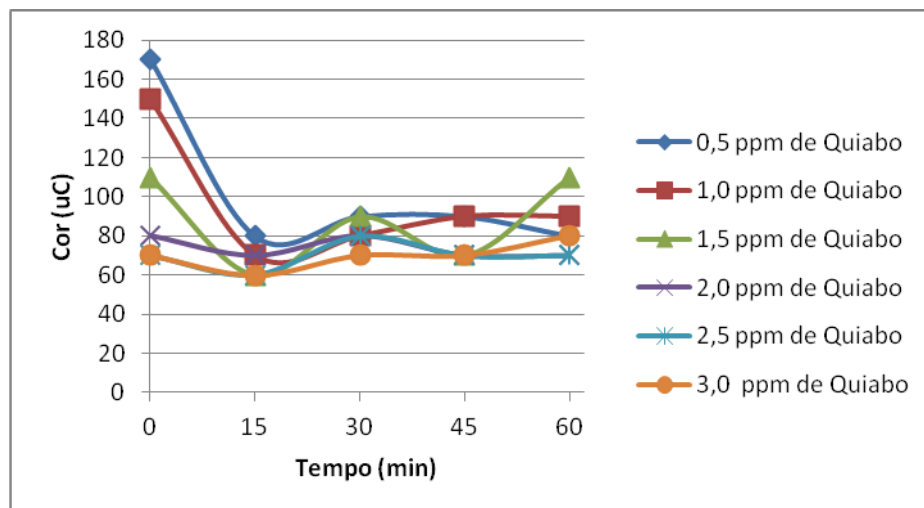


**Figura 6 - Resultados do ensaio com baixas concentrações de quiabo, para o parâmetro cor (uC).**

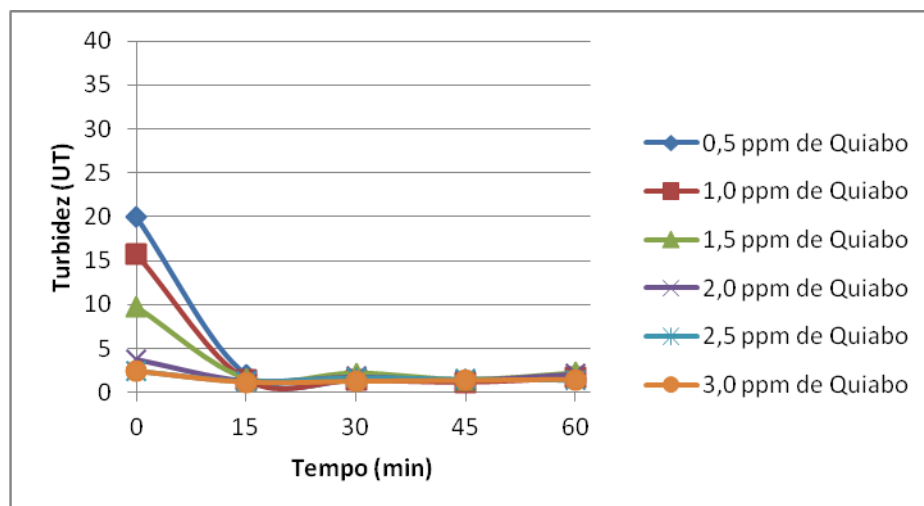


**Figura 7 - Resultados do ensaio com baixas concentrações de quiabo, para o parâmetro turbidez (uT)**

Quando avaliado em altas concentrações, o quiabo teve suas dosagens iguais a 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 ppm, cujos resultados para cor e turbidez são apresentados nas Figuras 8 e 9.



**Figura 8 - Resultados do ensaio com altas concentrações de quiabo, para o parâmetro cor (uC)**



**Figura 9 - Resultados do ensaio com altas concentrações de quiabo, para o parâmetro turbidez (uT).**

As porcentagens de remoção de cor e turbidez alcançadas para os ensaios com altas e baixas concentrações de quiabo são apresentados na Tabela 2, adotando-se o tempo de 45 minutos de sedimentação, por ter apresentado os melhores resultados.

O tempo de 15 minutos apresentou resultados de remoção semelhantes ao de 45 minutos, sendo, possivelmente mais usual em uma ETA, considerando que a água ainda deve passar pelas etapas seguintes do tratamento, como a filtração.



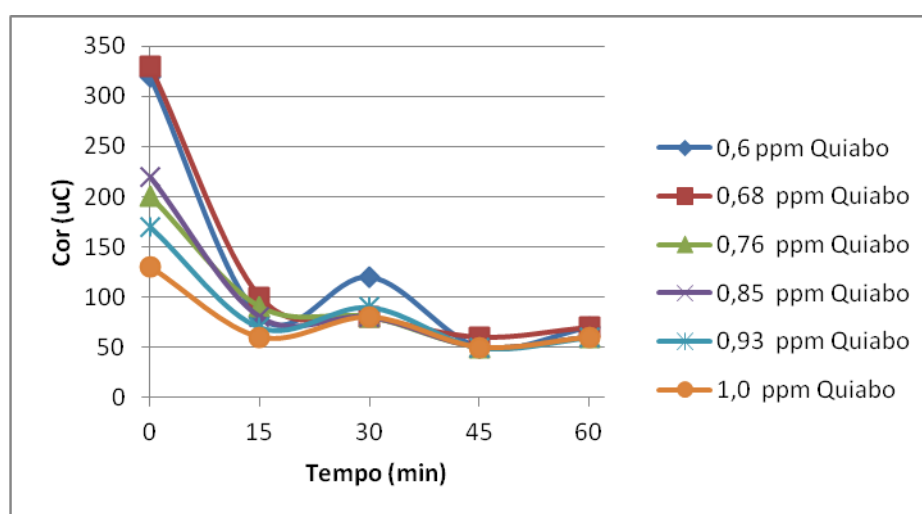
**Tabela 2 – Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 45 minutos, com diferentes concentrações de quiabo.**

| (continua)                   |                    |                         |
|------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Concentração de quiabo (ppm) | Remoção de cor (%) | Remoção de turbidez (%) |
| 0                            | 70                 | 97,2                    |
| 0,2                          | 70                 | 97,01                   |
| 0,4                          | 70                 | 98,15                   |
| 0,6                          | 80                 | 98,5                    |
| 0,8                          | 60                 | 98,5                    |
| 0,5                          | 55                 | 96,3                    |
| 1,0                          | 70                 | 97,2                    |
| 1,5                          | 65                 | 96,3                    |
| 2,0                          | 70                 | 97,01                   |
| 2,5                          | 65                 | 96,1                    |
| 3,0                          | 65                 | 96,6                    |

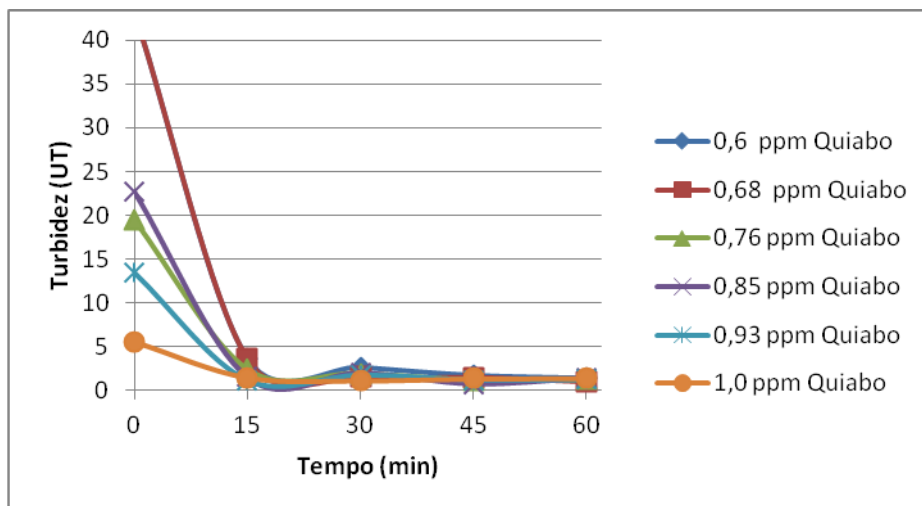
A partir da Tabela 2, é possível observar que no ensaio com baixas concentrações de quiabo, os melhores resultados de remoção de cor e turbidez foram obtidos com a dosagem de 0,6 ppm de quiabo. Para o ensaio com altas concentrações, os melhores resultados de remoção de cor e turbidez, foram obtidos com as dosagens de 1,0 e 2,0 ppm de quiabo. Entretanto, verifica-se ainda que de maneira geral, que para as demais concentrações de quiabo, também houve significativa redução da cor e turbidez.

Buscou-se então, testar intervalos menores, para encontrar a dosagem ideal de quiabo para a água bruta utilizada, que compreendeu dois ensaios.

O primeiro ensaio teve as dosagens de quiabo iguais a 0,6; 0,68; 0,76; 0,85, 0,93 e 1,0 ppm, com os resultados apresentados nas Figuras 10 e 11.

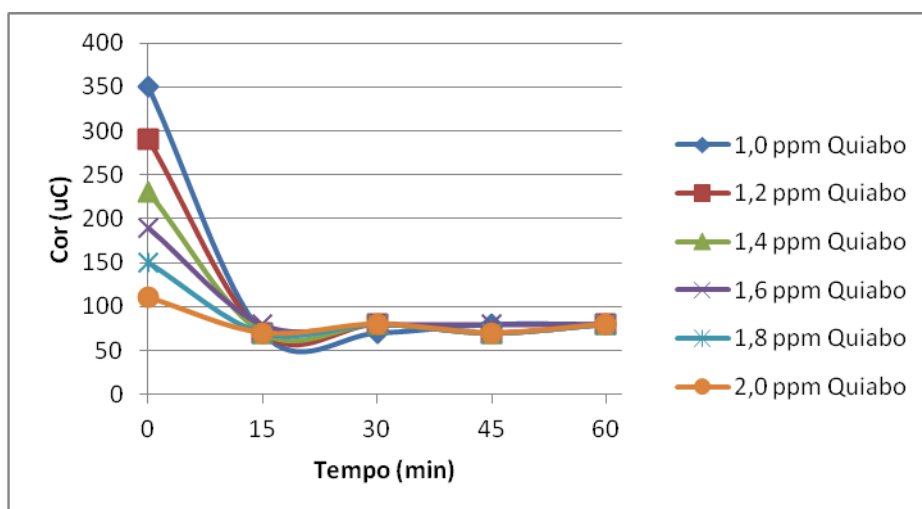


**Figura 10 - Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de quiabo, para o parâmetro cor (uC).**

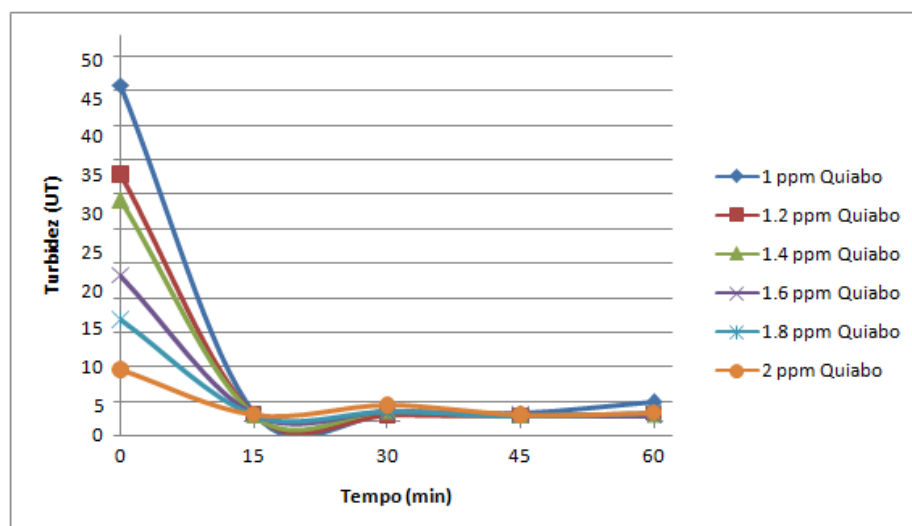


**Figura 11 - Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de quiabo, para o parâmetro turbidez (uT).**

O segundo ensaio teve as dosagens de quiabo iguais a 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 e 2,0 ppm, com os resultados apresentados nas Figuras 12 e 13.



**Figura 12 - Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de quiabo, para o parâmetro cor (uC).**



**Figura 13 - Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de quiabo, para o parâmetro turbidez (uT).**

A partir das Figuras 10, 11, 12 e 13, observa-se que os melhores resultados foram obtidos com as concentrações de 0,93 ppm de quiabo, que atingiu 96,6% e 94,4% de remoção de cor e turbidez, respectivamente; 1,2 ppm de quiabo, que atingiu 96,6% e 98,9% de remoção de cor e turbidez, respectivamente; 1,4 ppm de quiabo, que atingiu 90% e 97,8% de remoção de cor e turbidez, respectivamente, sendo utilizado para as três concentrações, o tempo de sedimentação igual à 45 minutos, por ter apresentado os melhores resultados.

Em estudos com a solução do polímero natural do quiabo maduro, seco e pulverizado, juntamente com coagulante, Abreu Lima (2007), obteve valores de remoção iguais a 92% tratando água do rio Cuiabá.

Para as três concentrações de quiabo que apresentaram os melhores resultados, foram realizadas as análises físico-químicas e bacteriológicas da água bruta, e da água tratada, como mostra a Tabela 3.

**Tabela 3: Resultados físico-químicos e bacteriológicos para água bruta e água tratada com quiabo. (continua)**

|   | Água Bruta | 0,93 ppm de quiabo | 1,2 ppm de quiabo | 1,4 ppm de quiabo | VMP (1) |
|---|------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------|
| Nitrato mg.L <sup>-1</sup>              | 0,035      | 0,007              | 0,014             | 0,02              | 1       |
| Nitrato mg.L <sup>-1</sup>              | 1,3        | 1,4                | 1,3               | 0,9               | 10      |
| Nitrogênio Amoniacal mg.L <sup>-1</sup> | 0,19       | 0,07               | 0,05              | 0,04              | -       |
| Fosfato mg.L <sup>-1</sup>              | 11,5       | 2,4                | 6,8               | 5,8               | -       |
| Acidez mg.L <sup>-1</sup>               | 13         | 9,0                | 10,0              | 9,0               | -       |
| Alcalinidade mg.L <sup>-1</sup>         | 15         | 47,0               | 16,0              | 19,0              | -       |
| Sólidos Totais mg.L <sup>-1</sup>       | 0,124      | 0,022              | 0,028             | 0,146             | 1000    |

**Tabela 3: Resultados físico-químicos e bacteriológicos para água bruta e água tratada com quiabo. (conclusão)**

|   | Água Bruta | 0,93 ppm de quiabo | 1,2 ppm de quiabo | 1,4 ppm de quiabo | VMP (1)                |
|---|------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| Sólidos Totais Fixos mg.L <sup>-1</sup>       | 0,032      | 0,008              | 0,014             | 0,046             | -                      |
| Sólidos Totais Voláteis mg.L <sup>-1</sup>    | 0,092      | 0,014              | 0,014             | 0,1               | -                      |
|   |            |                    |                   |                   | -                      |
| Sólidos Totais Suspensos mg.L <sup>-1</sup>   | 0,036      | 0,074              | 0,022             | 0,016             |                        |
| Sólidos Suspensos fixos mg.L <sup>-1</sup>    | 0,01       | 0,024              | 0,014             | 0,008             | -                      |
| Sólidos Suspensos voláteis mg.L <sup>-1</sup> | 0,026      | 0,05               | 0,008             | 0,008             | -                      |
| Coliformes Totais (UFC.mL <sup>-1</sup> ) (2) | 128        | 96                 | 56                | 82                | Ausência em 100 mL (3) |
| <i>E. coli</i> (UFC.mL <sup>-1</sup> ) (2)    | 12         | 1                  | 0                 | 0                 | Ausência em 100 mL (3) |

**Notas:**

(1) Valor máximo permitido- Portaria 2.914 Ministério da Saúde.

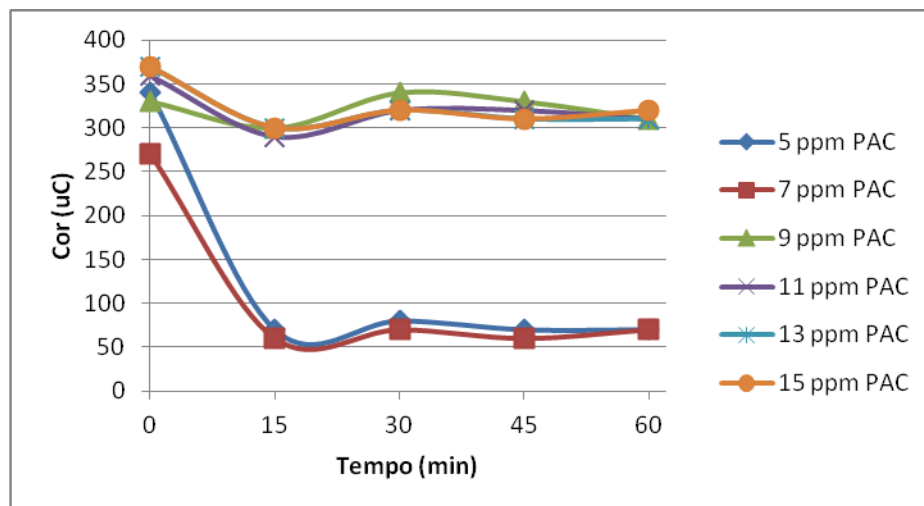
(2) Unidade de medida diferente

(3) Na saída do tratamento

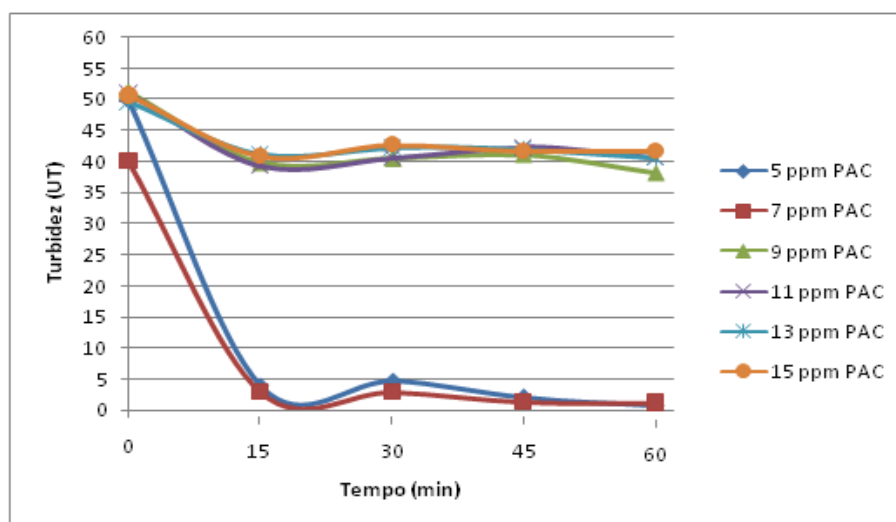
Com os resultados apresentados na Tabela 3, comparando-se a água bruta e a água tratada com quiabo, o tratamento proposto reduziu os teores de sólidos, nitrito, fosfatos, nitrogênio amoniacal, acidez, *E. coli.*, e coliformes totais em todas as amostras. Ressalta-se que para *E. coli.*, apenas na amostra tratada com 0,93 ppm de quiabo, foi verificado crescimento bacteriano, sendo que nas demais amostras as bactérias foram eliminadas. Observou-se também uma alteração das características químicas da água após o tratamento, pois houve aumento do parâmetro alcalinidade em todas as amostras e nitrato na amostra tratada com 1,2 ppm de quiabo. Contudo, mesmo com esse aumento, os parâmetros se mantêm dentro dos valores exigidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de 12/12/2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

## 5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM MORINGA COMO AUXILIAR DE COAGULAÇÃO

Inicialmente, foi realizado um ensaio para a obtenção da dosagem ideal do coagulante químico PAC a ser utilizada nos demais ensaios, utilizando-se as seguintes concentrações: 5; 7; 9; 11; 13 e 15 ppm, mantendo-se a concentração do alcalinizante geocal<sup>®</sup> igual à 5 ppm em todos os jarros. As Figuras 14 e 15 apresentam os resultados obtidos para os parâmetros cor e turbidez, respectivamente.



**Figura 14:** Resultados do ensaio de escolha da concentração ótima de PAC, para o parâmetro cor (uC).

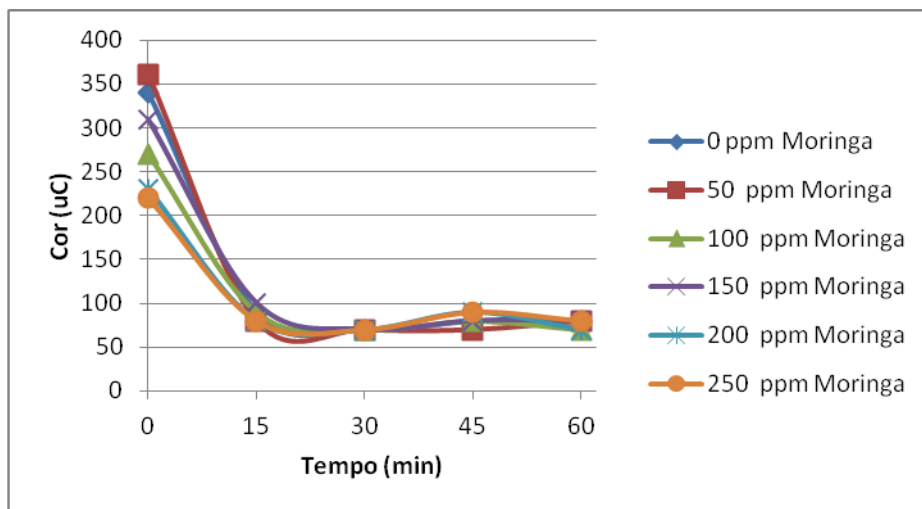


**Figura 15:** Resultados do ensaio de escolha da concentração ótima de PAC, para o parâmetro turbidez (uT).

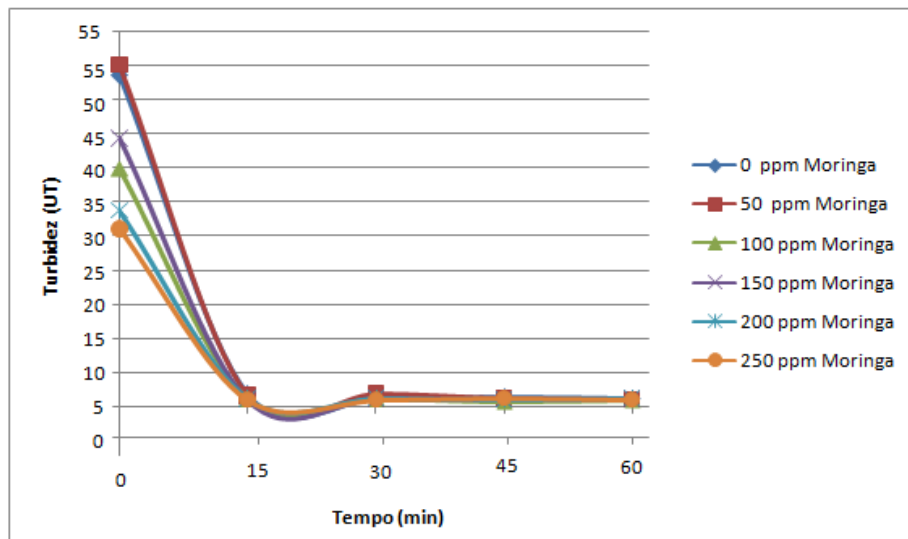
A partir da análise das Figuras 14 e 15, é possível observar que os melhores resultados foram obtidos com a concentração de 7 ppm de PAC, atingindo 80% de remoção de cor, e 96% de remoção de turbidez, após 45 minutos de sedimentação. Portanto, nos ensaios com moringa, foram utilizadas as concentrações de 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal®.

Para as concentrações de 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal®, foram testadas diferentes dosagens de moringa, em altas e baixas concentrações.

Quando avaliada em baixas concentrações, a moringa teve suas dosagens iguais a 0; 50; 100; 150; 200 e 250 ppm, cujos resultados para cor e turbidez são apresentados nas Figuras 16 e 17.



**Figura 16:** Resultados do ensaio com baixas concentrações de moringa, para o parâmetro cor (uC).



**Figura 17:** Resultados do ensaio com baixas concentrações de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).

Quando avaliada em altas concentrações, a moringa teve suas dosagens iguais a 300; 350; 400; 450; 500 e 550 ppm, cujos resultados para cor e turbidez são apresentados Figuras 18 e 19.

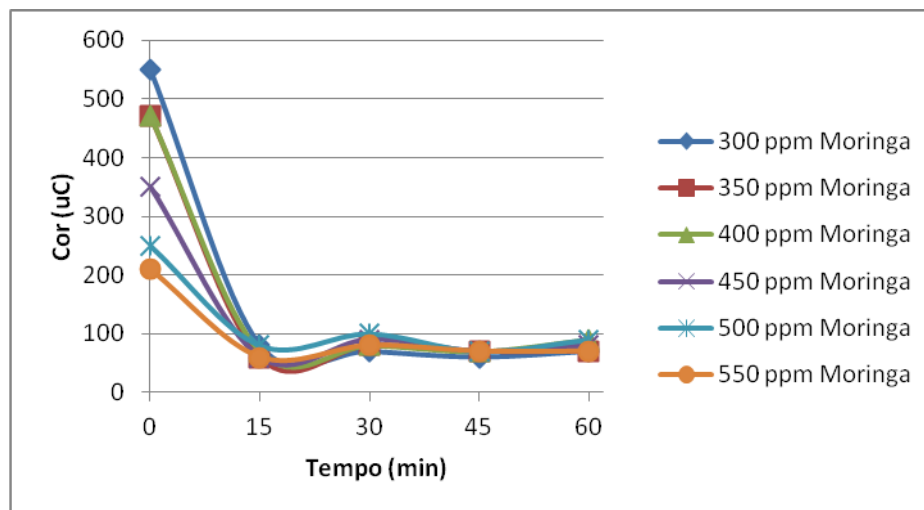


Figura 18: Resultados do ensaio com altas concentrações de moringa, para o parâmetro cor (uC).

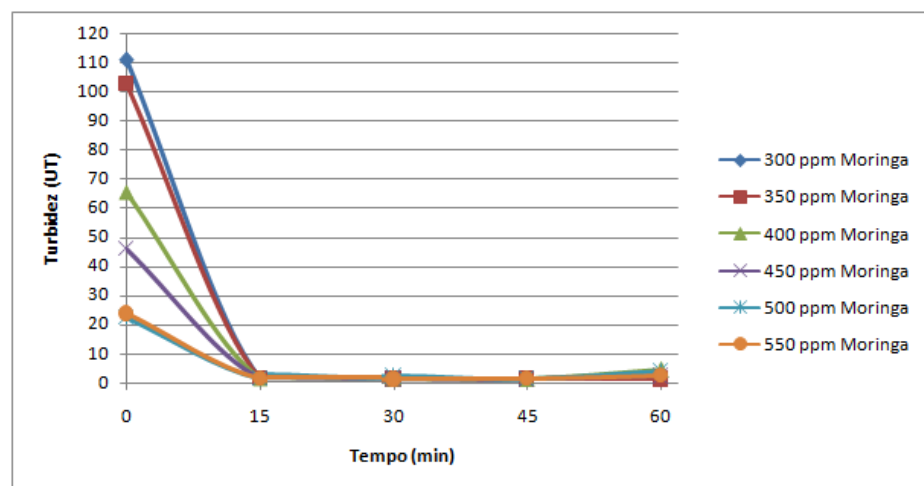


Figura 19: Resultados do ensaio com altas concentrações de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).

As porcentagens de remoção de cor e turbidez alcançadas para os testes de altas e baixas concentrações de moringa são apresentados na Tabela 4, adotando-se o tempo de 30 minutos de sedimentação, por ter apresentado os melhores resultados.

Tabela 4 – Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa.

(continua)

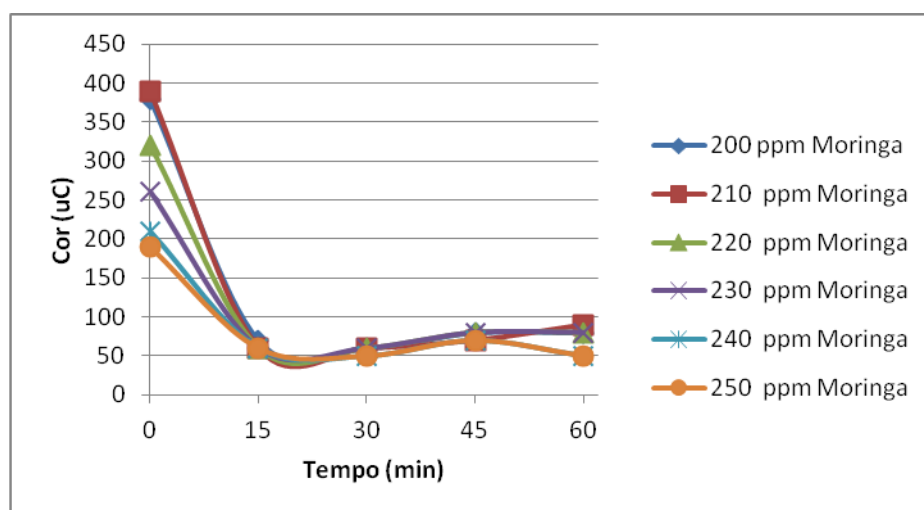
| Concentração de moringa (ppm) | Remoção de cor (%) | Remoção de turbidez (%) |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| 0                             | 76,6               | 98,8                    |
| 50                            | 76,6               | 94,7                    |
| 100                           | 75,2               | 94,7                    |
| 150                           | 76,6               | 96,8                    |

| (conclusão)                   |                    |                         |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Concentração de moringa (ppm) | Remoção de cor (%) | Remoção de turbidez (%) |
| 200                           | 76,6               | 96,6                    |
| 250                           | 76,6               | 97,1                    |
| 300                           | 76,6               | 95,6                    |
| 350                           | 73,3               | 95,8                    |
| 400                           | 73,3               | 95,2                    |
| 450                           | 70,0               | 95,8                    |
| 500                           | 66,6               | 92,9                    |
| 550                           | 73,3               | 94,7                    |

A partir da Tabela 4, é possível observar que no ensaio com baixas concentrações de moringa, os melhores resultados de remoção de cor e turbidez foram obtidos com a dosagem de 250 ppm de moringa. Para o ensaio com altas concentrações, os melhores resultados de remoção de cor e turbidez, foram obtidos com as dosagens de 300 e 350 ppm de moringa. Entretanto, verifica-se ainda que de maneira geral, que para as demais concentrações de moringa, também houve significativa redução da cor e turbidez.

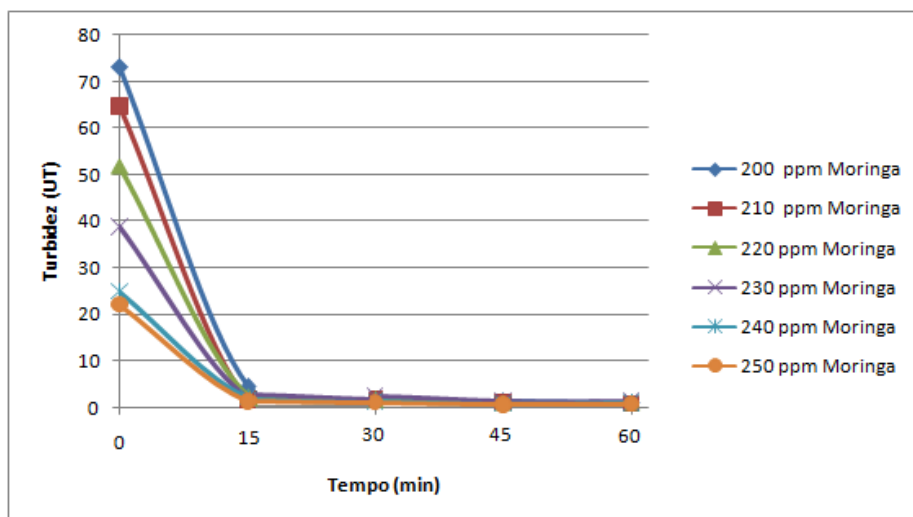
Buscou-se então, testar intervalos menores, para encontrar a dosagem ideal de moringa, que compreenderam dois ensaios.

O primeiro ensaio teve as dosagens de moringa iguais a 200; 210; 220; 230; 240 e 250 ppm, com as dosagens de 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal<sup>®</sup>, com os resultados apresentados nas Figuras 20 e 21.



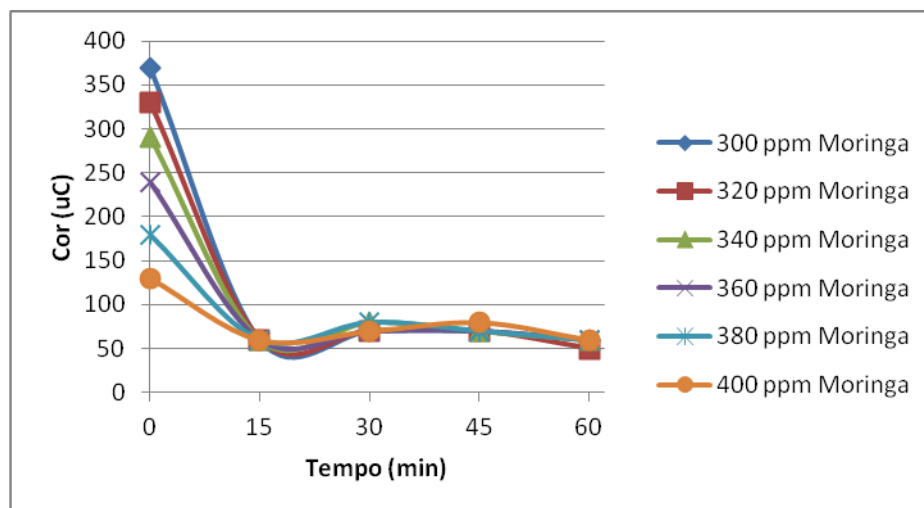
**Figura 20: Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro cor (uC).**



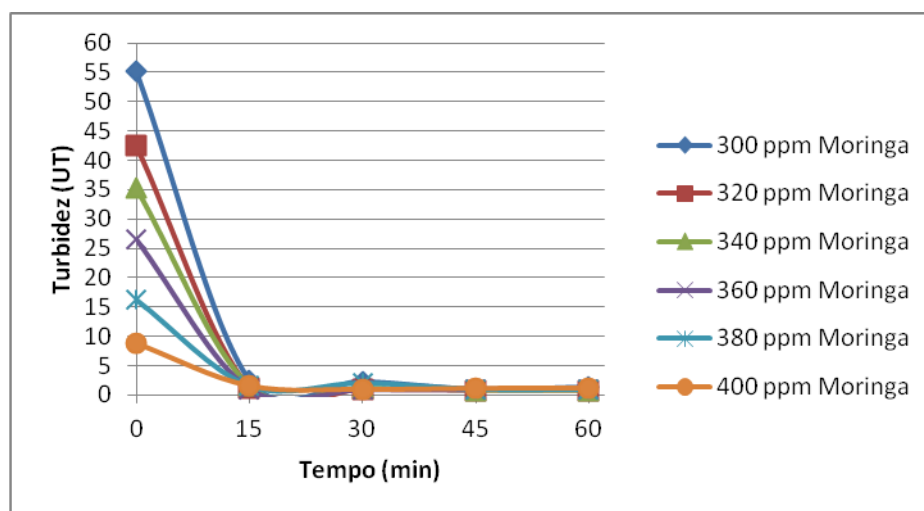


**Figura 21: Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).**

O segundo ensaio teve as dosagens de moringa iguais a 300; 320; 340; 360; 380 e 400 ppm, com as dosagens de 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal<sup>®</sup>, com os resultados apresentados nas Figuras 22 e 23.



**Figura 22: Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro cor (uC).**



**Figura 23: Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).**

Com os resultados apresentados nas Figuras 20, 21, 22 e 23, observa-se que os melhores resultados foram obtidos com as concentrações de 250 ppm de moringa, que atingiu 86,6% e 98,2% de remoção de cor e turbidez, respectivamente; 320 ppm de moringa, que atingiu 90% e 98% de remoção de cor e turbidez, respectivamente; e 360 ppm de moringa, que atingiu 86,6% e 97,8% de remoção de cor e turbidez, respectivamente, sendo utilizado para as três concentrações, o tempo de sedimentação igual à 60 minutos, por ter apresentado os melhores resultados.

Em estudos utilizando moringa como auxiliar de coagulação no tratamento de água para abastecimento, Cardoso (2007), obteve valores de remoção de cor e turbidez iguais 94% e 95,6% respectivamente, utilizando a dosagem de 550 ppm e tempo de sedimentação igual à 60 minutos.

Para as três concentrações de moringa que apresentaram os melhores resultados, foram realizadas as análises físico-químicas e microbiológicas da água bruta, e da água tratada, como mostra a Tabela 5.

**Tabela 5: Resultados físico-químicos e microbiológicos para água bruta e água tratada com moringa.**

|   | Água Bruta | 250 ppm de moringa | 320 ppm de moringa | 360 ppm de moringa | (continua)<br>VMP (1) |
|---|------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| Nitrito mg.L <sup>-1</sup>              | 0,035      | 0,008              | 0,004              | 0,008              | 1                     |
| Nitrato mg.L <sup>-1</sup>              | 1,3        | 1,4                | 2,0                | 1,7                | 10                    |
| Nitrogênio Amoniacal mg.L <sup>-1</sup> | 0,19       | 0,2                | 0,28               | 0,27               | -                     |
| Fosfato mg.L <sup>-1</sup>              | 11,5       | 7,8                | 7,5                | 3,4                | -                     |
| Acidez mg.L <sup>-1</sup>               | 13         | 19                 | 9                  | 10                 | -                     |

|   | Água Bruta | 250 ppm de moringa | 320 ppm de moringa | 360 ppm de moringa | (conclusão)<br>VMP (1) |
|---|------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| Alcalinidade mg.L <sup>-1</sup>               | 15         | 16                 | 26                 | 16                 | -                      |
| Sólidos Totais mg.L <sup>-1</sup>             | 0,124      | 0,018              | 0,028              | 0,01               | 1000                   |
| Sólidos Totais Fixos mg.L <sup>-1</sup>       | 0,032      | 0,014              | 0,016              | 0,006              | -                      |
| Sólidos Totais Voláteis mg.L <sup>-1</sup>    | 0,092      | 0,004              | 0,012              | 0,004              | -                      |
| Sólidos Totais Suspensos mg.L <sup>-1</sup>   | 0,036      | 0,07               | 0,006              | 0,021              | -                      |
| Sólidos Suspensos fixos mg.L <sup>-1</sup>    | 0,01       | 0,003              | 0,002              | 0,003              | -                      |
| Sólidos Suspensos voláteis mg.L               | 0,026      | 0,004              | 0,004              | 0,018              | -                      |
| Coliformes Totais (UFC.mL <sup>-1</sup> ) (2) | 128        | 0                  | 0                  | 0                  | Ausência em 100 mL (3) |
| <i>E. coli</i> (UFC.mL <sup>-1</sup> ) (2)    | 12         | 0                  | 0                  | 0                  | Ausência em 100 mL (3) |

**Notas:**

(1) Valor máximo permitido- Portaria 2.914 Ministério da Saúde.

(2) Unidade de medida diferente.

(3) Na saída do tratamento.

Com os resultados apresentados na Tabela 5, comparando-se a água bruta e a água tratada com moringa, o tratamento proposto reduziu os teores de sólidos, nitrito, fosfatos, ressaltando-se que coliformes totais e *E. coli*. foram completamente eliminadas das amostras de água tratada. Observou-se também uma alteração das características químicas da água após o tratamento, pois houve aumento dos parâmetros alcalinidade, nitrato e nitrogênio amoniacal para todas as amostras e acidez para a amostra tratada com 250 ppm de moringa. Contudo, mesmo com esse aumento, os parâmetros se mantêm dentro dos valores exigidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de 12/12/2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

### 5.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS COMBINANDO QUIABO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO E MORINGA COMO AUXILIAR DE COAGULAÇÃO

Até o momento, não existem registros na literatura que apresentam resultados da combinação de moringa e quiabo.

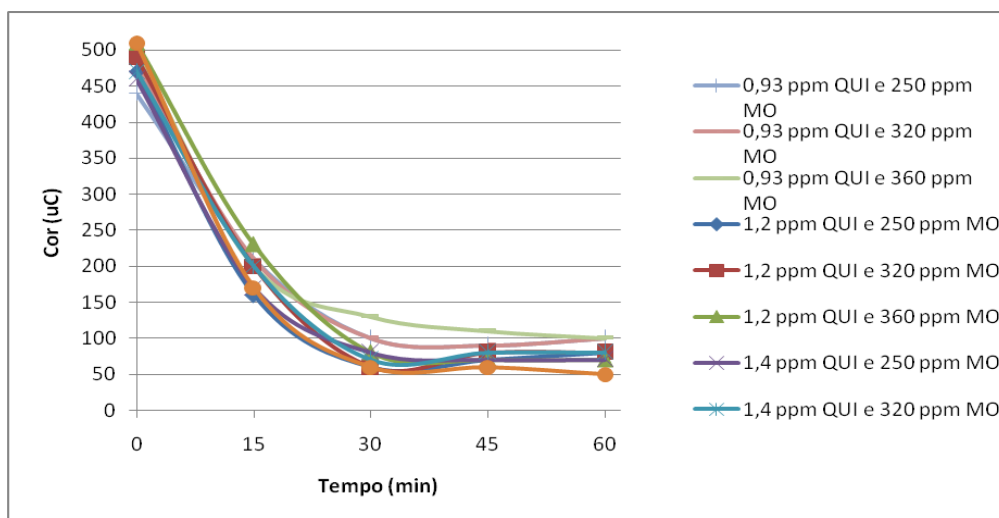
Buscando verificar a eficiência do uso combinado dos polímeros naturais *Abelmoschus eschulentus* e *Moringa oleifera* na melhoria da qualidade da água, foi realizado um ensaio em *Jar test*, combinando as concentrações de moringa e quiabo, que apresentaram os melhores resultados.

Dessa forma, no ensaio foram utilizadas as concentrações de quiabo, moringa, PAC e geocal® mostradas na Tabela 6.

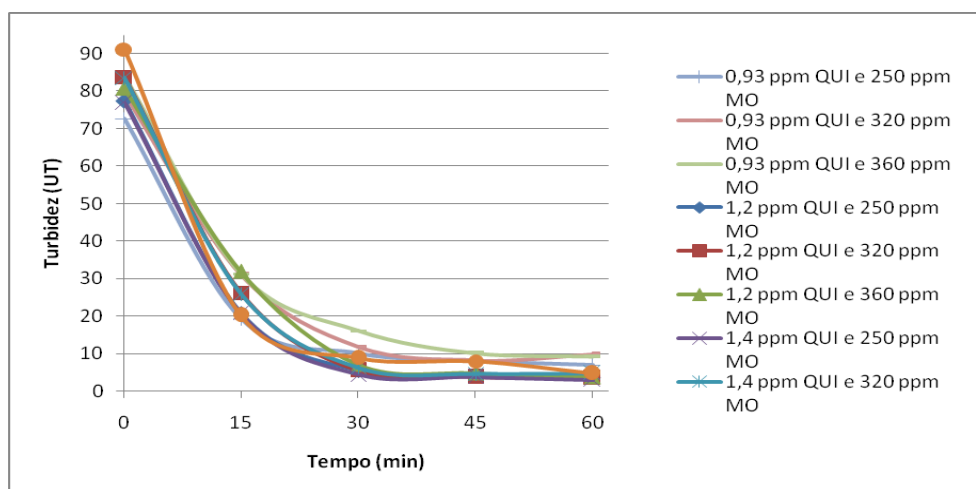
**Tabela 6: Dosagens de PAC, geocal® quiabo e moringa utilizadas no ensaio.**

|          | PAC (ppm) | Geocal® (ppm) | Moringa (ppm) | Quiabo (ppm) |
|----------|-----------|---------------|---------------|--------------|
| Béquer 1 | 7         | 5             | 250           | 0,93         |
| Béquer 2 | 7         | 5             | 320           | 0,93         |
| Béquer 3 | 7         | 5             | 360           | 0,93         |
| Béquer 4 | 7         | 5             | 250           | 1,2          |
| Béquer 5 | 7         | 5             | 320           | 1,2          |
| Béquer 6 | 7         | 5             | 360           | 1,2          |
| Béquer 7 | 7         | 5             | 250           | 1,4          |
| Béquer 8 | 7         | 5             | 320           | 1,4          |
| Béquer 9 | 7         | 5             | 360           | 1,4          |

Os resultados para cor e turbidez são apresentados nas Figuras 24 e 25.



**Figura 24: Resultados do ensaio com as melhores concentrações de quiabo (QUI) e moringa (MO), para o parâmetro cor (uC).**



**Figura 25: Resultados do ensaio com as melhores concentrações de quiabo (QUI) e moringa (MO), para o parâmetro turbidez (uT).**

A partir dos resultados apresentados nas Figuras 24 e 25, as porcentagens de remoção de cor e turbidez alcançadas para os testes com quiabo e moringa são apresentados na Tabela 7. O tempo de sedimentação adotado foi de 60 minutos de, por ter apresentado os melhores resultados.

**Tabela 7 – Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 60 minutos, com diferentes concentrações de quiabo e moringa.**

| Concentração de quiabo (ppm) | Concentração de moringa (ppm) | Remoção de cor (%) | Remoção de turbidez (%) |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| 0,93                         | 250                           | 44,4               | 80,9                    |
| 0,93                         | 320                           | 44,4               | 72,5                    |
| 0,93                         | 360                           | 44,4               | 74,5                    |
| 1,2                          | 250                           | 55,5               | 89,4                    |
| 1,2                          | 320                           | 55,5               | 90,2                    |
| 1,2                          | 360                           | 61,1               | 89,6                    |
| 1,4                          | 250                           | 61,1               | 91,6                    |
| 1,4                          | 320                           | 55,5               | 86,8                    |
| 1,4                          | 360                           | 52,2               | 86,6                    |

A partir da Tabela 7, é possível observar que os melhores resultados de remoção de cor e turbidez, foram obtidos com as concentrações de 1,2 ppm de quiabo e 250 ppm de moringa; 1,2 ppm de quiabo e 320 ppm de moringa; 1,2 ppm de quiabo e 360 ppm de moringa e ainda com a dosagem de 1,4 ppm de quiabo e 250 ppm de moringa. Para estas quatro concentrações, foram realizadas as análises físico-químicas e bacteriológicas da água bruta, e da água tratada, como mostra a Tabela 8.

**Tabela 8: Resultados físico-químicos e microbiológicos para água bruta e água tratada com moringa (MO) e quiabo (QUI).**

|   | Água Bruta | 1,2 ppm QUI e 250 ppm MO | 1,2 ppm QUI e 320 ppm MO | 1,2 ppm QUI e 360 ppm MO | 1,4 ppm QUI e 250 ppm MO | VMP (1)                |
|---|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| Nitrito mg.L <sup>-1</sup>                    | 0,035      | 0,012                    | 0,005                    | 0,005                    | 0,03                     | 1                      |
| Nitrato mg.L <sup>-1</sup>                    | 1,3        | 1,3                      | 1,5                      | 1,0                      | 0                        | 10                     |
| Nitrogênio Amoniacal mg.L <sup>-1</sup>       | 0,19       | 0,24                     | 0,28                     | 0,29                     | 0,3                      | -                      |
| Fosfato mg.L <sup>-1</sup>                    | 11,5       | 7,6                      | 7,55                     | 10,4                     | 10,8                     | -                      |
| Acidez mg.L <sup>-1</sup>                     | 13         | 0                        | 0                        | 0                        | 0                        | -                      |
| Alcalinidade mg.L <sup>-1</sup>               | 15         | 35                       | 29                       | 26                       | 28                       | -                      |
| Sólidos Totais mg.L <sup>-1</sup>             | 0,124      | 0,114                    | 0,038                    | 0,026                    | 0,028                    | 1000                   |
| Sólidos Totais Fixos mg.L <sup>-1</sup>       | 0,032      | 0,06                     | 0,026                    | 0,018                    | 0,014                    | -                      |
| Sólidos Totais Voláteis mg.L <sup>-1</sup>    | 0,092      | 0,054                    | 0,012                    | 0,008                    | 0,014                    | -                      |
| Sólidos Totais Suspensos mg.L <sup>-1</sup>   | 0,036      | 0,054                    | 0,038                    | 0,042                    | 0,012                    | -                      |
| Sólidos Suspensos fixos mg.L <sup>-1</sup>    | 0,01       | 0,024                    | 0,022                    | 0,024                    | 0,008                    | -                      |
| Sólidos Suspensos voláteis mg.L <sup>-1</sup> | 0,026      | 0,03                     | 0,016                    | 0,018                    | 0,004                    | -                      |
| Coliformes Totais (UFC.mL <sup>-1</sup> ) (2) | 128        | 20                       | 5                        | 0                        | 3                        | Ausência em 100 mL (3) |
| <i>E. coli</i> (UFC.mL <sup>-1</sup> ) (2)    | 12         | 0                        | 0                        | 0                        | 0                        | Ausência em 100 mL (3) |

**Notas:**

(1) Valor máximo permitido- Portaria 2.914 Ministério da Saúde.

(2) Unidade de medida diferente.

(3) Na saída do tratamento.

Com os resultados apresentados na Tabela 8, comparando-se a água bruta e a água tratada com moringa e quiabo, o tratamento proposto reduziu os teores de sólidos, nitrito, fosfato, acidez, coliformes totais e ressaltando-se o resultado para *E. coli.*, que foi completamente eliminada das amostras de água tratada. Observou-se também uma alteração das características químicas da água após o tratamento, pois houve aumento dos parâmetros alcalinidade e nitrogênio amoniacal para todas as amostras, e aumento de nitrato, na amostra tratada com 1,2 ppm de quiabo e 320 ppm de moringa. Contudo, mesmo com esse aumento, os parâmetros se mantêm dentro dos valores exigidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de 12/12/2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

As melhores porcentagens de remoção de cor e turbidez alcançadas com uso de quiabo e moringa combinados, foram de 72,8% (1,4 ppm de quiabo e 360 ppm de moringa) e 91,6% (1,4 ppm de quiabo e 250 ppm de moringa) para cor e turbidez, respectivamente, enquanto que com o uso apenas de quiabo, obteve-se, com a concentração de 1,4 ppm, 76,6% e 97,5 % de remoção de cor e turbidez, respectivamente, e ainda, com o uso apenas de moringa, utilizando a concentração de 250 ppm, 86,6% e 98,2% de remoção de cor e turbidez, respectivamente. Com isso, observa-se que o uso combinado apresentou resultados de remoção inferiores ao uso individual de quiabo e moringa. Entretanto, com estudos mais detalhados para encontrar

as concentrações ideais de quiabo e moringa, pode-se, possivelmente, atingir resultados melhores de remoção.

#### 5.4 SÍNTESE DOS MELHORES RESULTADOS

No tratamento de água, utilizando quiabo como auxiliar de floculação, os melhores resultados foram obtidos com as concentrações de 0,93; 1,2 e 1,4 ppm. Quando a moringa foi testada como auxiliar de coagulação, os melhores resultados foram obtidos com as concentrações de 250; 320 e 360 ppm. Nos ensaios em que o emprego conjunto de quiabo e moringa foi avaliado, as concentrações que apresentaram os melhores resultados foram 1,2 ppm de quiabo com 250 ppm de moringa; 1,2 ppm de quiabo com 320 ppm de moringa; 1,2 ppm de quiabo com 360 ppm de moringa e 1,4 ppm de quiabo com 250 ppm de moringa.

O tempo de sedimentação foi escolhido de acordo com os melhores resultados. Assim, para os testes com quiabo, o tempo de sedimentação adotado foi de 45 minutos, enquanto que para moringa e quiabo e moringa em uso combinado, o tempo de sedimentação adotado, foi de 60 minutos.

Os resultados dos parâmetros físicos- químicos e bacteriológicos para essas concentrações, são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9: Resultados dos parâmetros físicos- químicos e bacteriológicos para as melhores concentrações de quiabo, moringa, e quiabo e moringa em uso combinado.**

|   | Água Bruta | 0,93 ppm QUI | 1,2 ppm QUI | 1,4 ppm QUI | 250 ppm MO | 320 ppm MO | 360 ppm MO | 1,2 ppm QUI e 250 ppm MO | 1,2 ppm QUI e 320 ppm MO | 1,2 ppm QUI e 360 ppm MO | 1,4 ppm QUI e 250 ppm MO |
|---|------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Cor (uC) (1)                                  |            |              |             |             |            |            |            |                          |                          |                          |                          |
| Turbidez (uT) (1)                             |            |              |             |             |            |            |            |                          |                          |                          |                          |
| Nitrito mg/L <sup>-1</sup>                    | 0,035      | 0,007        | 0,014       | 0,02        | 0,008      | 0,004      | 0,008      | 0,012                    | 0,005                    | 0,005                    | 0,03                     |
| Nitrato mg/L <sup>-1</sup>                    | 1,3        | 1,4          | 1,3         | 0,9         | 1,4        | 2,0        | 1,7        | 1,3                      | 1,5                      | 1,0                      | 0                        |
| Nitrogênio Amoniacal mg.L <sup>-1</sup>       | 0,19       | 0,07         | 0,05        | 0,04        | 0,2        | 0,28       | 0,27       | 0,24                     | 0,28                     | 0,29                     | 0,3                      |
| Fosfato mg.L <sup>-1</sup>                    | 11,5       | 2,4          | 6,8         | 5,8         | 7,8        | 7,5        | 3,4        | 7,6                      | 7,55                     | 10,4                     | 10,8                     |
| Acidez mg.L <sup>-1</sup>                     | 13         | 9,0          | 10,0        | 9,0         | 19         | 9          | 10         | 0                        | 0                        | 0                        | 0                        |
| Alcalinidade mg.L <sup>-1</sup>               | 15         | 47,0         | 16,0        | 19,0        | 16         | 26         | 16         | 35                       | 29                       | 26                       | 28                       |
| Sólidos Totais mg.L <sup>-1</sup>             | 0,124      | 0,022        | 0,028       | 0,146       | 0,018      | 0,028      | 0,01       | 0,124                    | 0,114                    | 0,038                    | 0,026                    |
| Sólidos Totais Fixos mg.L <sup>-1</sup>       | 0,032      | 0,008        | 0,014       | 0,046       | 0,014      | 0,016      | 0,006      | 0,032                    | 0,06                     | 0,026                    | 0,018                    |
| Sólidos Totais Voláteis mg.L                  | 0,092      | 0,014        | 0,014       | 0,1         | 0,004      | 0,012      | 0,004      | 0,092                    | 0,054                    | 0,012                    | 0,008                    |
| Sólidos Totais Suspensos mg.L <sup>-1</sup>   | 0,036      | 0,074        | 0,022       | 0,016       | 0,07       | 0,006      | 0,021      | 0,036                    | 0,054                    | 0,038                    | 0,042                    |
| Sólidos Suspensos fixos mg.L <sup>-1</sup>    | 0,01       | 0,024        | 0,014       | 0,008       | 0,003      | 0,002      | 0,003      | 0,01                     | 0,024                    | 0,022                    | 0,024                    |
| Sólidos Suspensos voláteis mg.L <sup>-1</sup> | 0,026      | 0,05         | 0,008       | 0,008       | 0,004      | 0,004      | 0,018      | 0,026                    | 0,03                     | 0,016                    | 0,018                    |
| Coliformes Totais (UFC.mL <sup>-1</sup> )     | 128        | 96           | 56          | 82          | 0          | 0          | 0          | 20                       | 5                        | 0                        | 3                        |
| <i>E. coli</i> (UFC.mL <sup>-1</sup> )        | 12         | 1            | 0           | 0           | 0          | 0          | 0          | 0                        | 0                        | 0                        | 0                        |

**Notas:**

(1) Avaliação a partir da porcentagem de remoção.



## 6 CONCLUSÃO

Com este estudo, é possível concluir que o uso de quiabo como auxiliar de floculação e de moringa como auxiliar de coagulação nas condições experimentais testadas, apresenta-se como uma boa alternativa para melhorar a qualidade da água para abastecimento humano.

O quiabo apresentou-se como eficiente após os processos de coagulação, floculação e sedimentação, atingindo porcentagens de remoção de cor e turbidez iguais à 96,6 % e 98,9%, respectivamente, utilizando a concentração de 1,2 ppm e 45 minutos de sedimentação.

Como auxiliar de coagulação, a moringa também se mostrou eficiente, tendo em vista que após 60 minutos de sedimentação, atingiu 90 % e 98% de remoção de cor e turbidez, respectivamente, com a concentração de 320 ppm.

Quando testados conjuntamente, o quiabo e a moringa atingiram níveis de remoção de cor e turbidez, iguais à 61,1 % e 91,6 %, respectivamente. É importante ressaltar que o uso combinado de quiabo e moringa deve ter continuidade, para encontrar as dosagens ideais, e assim, possivelmente, atingir níveis maiores de remoção dos parâmetros cor e turbidez, visto que este estudo testou apenas a combinação das melhores concentrações encontradas para cada auxiliar natural, isoladamente.

Além disso, com o uso dos auxiliares naturais quiabo e moringa no tratamento da água, foi possível reduzir a dosagem do coagulante químico PAC em todos os ensaios, o que apresenta-se como um aspecto positivo, tendo em vista que essa diminuição reduz a ingestão de produtos químicos pelas pessoas e possivelmente favorece a disposição final do lodo.

A diminuição do uso de coagulantes metálicos, também reforça a proposta da Química Verde, que pode ser definida como a utilização de técnicas químicas e metodologias que reduzem ou eliminam o uso solventes, reagentes ou a geração de produtos e sub-produtos que são nocivos à saúde humana ou ao ambiente.

Observou-se ainda, a diminuição de alguns parâmetros que favorecem as etapas seguintes do tratamento, como sólidos, que em menores quantidades aumentam a vida útil dos filtros, além de coliformes totais e *E. coli.*, facilitando a etapa de desinfecção.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT/ NBR 14339- 1999.

ABREU LIMA, Guilherme J., **Uso de Polímero Natural do Quiabo como Auxiliar de Floculação e Filtração em Tratamento de Água e Esgoto**. 2007. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Brasil.

AGARWAL, Monika, RAJANI, Smita., MISHRA, Anurag., RAI, Jai., **Utilization of Okra Gum for Treatment of Tannery Effluent**. International Journal of Polymeric Materials. Taylor & Francis. 2003.

AGOSTINHO, Alessandra M. **Biocidas na desinfecção de linhas d'água de equipamentos odontológicos: avaliação química, microbiológica e por MEV**. 2004. 113f. Tese (Doutorado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th. APHA, 2005.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. L.; et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**, Pearson – Prentice Hall, São Paulo, 2004.

BROWN, Theodore L.; LE MAY, Eugene; BURSTEN, Bruce E. **Química a ciência Central**. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Diário Oficial da União. Brasília, 14 dez. 2011.

CARDOSO, Karina C. **Estudo do Processo de Coagulação/Floculação por Meio da *Moringa oleifera* Lam para Obtenção de Água Potável**. 2007. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, Paraná, Brasil.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; CENTURIONE FILHO, Paulo L.. **Ensaio de Tratabilidade de Água e Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: RiMa, 2002.

DI BERNARDO, Luis., DANTAS, Angela. D. B., **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2ª ed. v. 1. São Carlos, RiMa, 2005.

DIOURI, Meriem, 2004. **Study of a Natural Flocculating Agent for Water and Wastewater Treatment**. Master Degree, University of South Florida.

FORSYTHE, Stephen J. **Microbiologia da segurança alimentar**. Trad. Maria carolina Minardi Guimarães e Cristina Leonhardt – Porto Alegre: Artmed, 2002.

GERDES, Gerrit. **Uso das Sementes da Árvore Moringa oleifera para Tratamento de Águas Turvas**. ESPLAR, Fortaleza, 1996.

GOOGLE MAPS. 2013. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>> Acesso em 17 fev. 2013.

HESPANHOL, Ivanildo, 1982. **Cinética da Flocculação de Suspensões Coloidais com Polieletrólitos Naturais**. Tese de Livre Docência.USP, São Paulo.

IDEIA WEB. Disponível em: < <http://ideiaweb.org/?p=1462>>. Acesso: 06 Jun. 2013.

INFOESCOLA. Disponível em: < <http://www.infoescola.com/plantas/quiabo/>>. Acesso: 05 Jun. 2013.

KIRCHMER, Cliff., ARBOLEDA, Jorge., CASTRO, Maria Luísa., 1975, **Polimeros Naturales y su Aplicación como Ayudantes de Flocculación**, Cepis, Série documentos técnicos 2, Lima, Peru.

LEAL, Fabiano Cesar Tosetti.; LIBÂNIO, Marcelo. (2002). **Estudo da remoção da cor por coagulação química no tratamento convencional de águas de abastecimento**. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 7 - Nº 3 - jul/set 2002 e Nº 4 - out/dez 2002,117-128.

MORAES, Leila Cristina Konradt. **Estudo da Coagulação-Ultrafiltração com o Biopolímero Quitosana para a Produção de Água Potável**. 2004 Dissertação de M.Sc., Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, Paraná, Brasil.

MUNDO FOTOGRÁFICO, 2013. Disponível em: <<http://forum.mundofotografico.com.br/index.php?topic=64941.0>> Acesso: 17 Jun. 2013.

NDABIGENGESERE, Anselme.; NARASIAH, Subba K., **Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds**, Water Research, v. 32, n. 3, p 781-791, 1998.

OKUDA, Tetsuji., BAES, Aloysius, NISHIJIMA, Wataru et al. **Coagulation mechanism of salt solution extracted active component in *Moringa oleifera* seeds**. Water Research, 2001.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo- USP, São Carlos, São Paulo, Brasil.

RANGEL, Maria S., 2005. **Um Purificador Natural de Água e Complemento Alimentar para o Nordeste do Brasil**. Disponível em: <<http://www.jardimdeflores.com.br>>. Acesso em 14 de fevereiro de 2013.

REYNOLDS, Chris S., DAVIES, Paul. S. **Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a british perspective**. BiologyReview, v.76, p.27-64, 2001.

RIBEIRO, Ana T. A. **Aplicação de *Moringa oleifera* no tratamento de água para consumo humano**. 2010. Dissertação de M.Sc., Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto- Porto, Portugal.

SILVA, Cleusa A. **Estudos Aplicados ao Uso da *Moringa oleifera* como Coagulante Natural para Melhoria da Qualidade de Águas**. 2005. Dissertação de M.Sc., Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

SILVA, Telma S. da S. **Estudo de Tratabilidade Físico-Química com uso de Taninos Vegetais em Água de Abastecimento e de Esgoto**. 1999. Dissertação de M.Sc., Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz, Rio de Janeiro, Brasil.

SPERLING, Marcos von – **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

STUMM, Werner., MORGAN, James J., 1996, **Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters**. 3ed. 1022p. New York, John Wiley & Sons.

SVAROVSKY, Ladislav. **Solid-liquid separation**. Londres: Oxford, 2000.

**QASMIM, Syed; Mothley; MOTLEY, Eduard; ZHU, Gang.** Water Works Engineering: Planning, Design and Operation. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 2000.

TERRAGAIA. 2013. Disponível em: <<http://terragaia.wordpress.com/2012/01/30/arvore-milagrosa-fotos/>>. Acesso: 10 Jun. 2013.