

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

WELLINGTON RODRIGUES RORATO

**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

CAMPO MOURÃO
2013

WELLINGTON RODRIGUES RORATO

**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 de graduação, do Curso Superior de Engenharia Ambiental do Departamento de Ambiental – COEAM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.
Orientadora: Profa. Dra. Flávia Vieira da Silva Medeiros

CAMPO MOURÃO
2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Engenharia Ambiental - COEAM
Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

UTILIZAÇÃO DE *Moringa oleifera* LAM COMO AUXILIAR NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/FILTRAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

por

WELLINGTON RODRIGUES RORATO

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

Ana Maria Ferrari Lima

Morgana Suszek Gonçalves

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

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pois sem ele não conseguiria vencer nenhum obstáculo, a minha mãe Sonia Rodrigues Rorato, meu pai Luiz Rorato pela força que me deram para não deixar de desistir e que me apoiaram sempre e acreditaram que eu tinha capacidade de chegar ao meu objetivo.

Agradeço a Profa. Dra. Flávia Vieira da Silva pela sua dedicação e orientação desse trabalho, e a todos os outros professores da UTFPR – CM.

Agradeço a UTFPR-CM por ceder os laboratórios e os equipamentos para a realização deste trabalho.

Ao CNPQ e Fundação Araucária, pelo incentivo a pesquisa, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio e pela verba destinada para a compra de materiais e equipamentos.

A SANEPAR – CM, que cedeu as amostras de água utilizadas na pesquisa e ainda me presenteou com conselhos e informações importantes.

A todos os colegas do projeto, especialmente a Cíntia Ritter, que além de colega de projeto e sala de aula, uma grande amiga.

Ao meu irmão William Rodrigues Rorato, que sempre foi a pessoa que eu compartilhei meus fracassos e minhas conquistas, e a dois amigos que considero como irmãos Bruno Ferrari Silva e Guilherme Vigilato, que sempre estiveram presente nesta trajetórias, dividindo experiências e grandes momentos de superação. Estando presente nos momentos difíceis e nos grande momentos de vitórias.

A todos meus amigos que conheci durante esses anos, especialmente ao Antônio Carlos Roso Domingues, Adriano Mattos, Evandro Yabushita, Eduardo Marques Teixeira e a minha prima Angélica Ardenghi, que dividiram tristezas e alegrias nesses anos que se passaram e se tornaram pessoas que carregarei estas amizades pra vida inteira.

RESUMO

A utilização de polímeros naturais no tratamento de água é uma alternativa promissora, devido às vantagens associadas a sua aplicação. Neste trabalho, avaliou-se o emprego de um polímero natural, obtido a partir da moringa (*Moringa oleifera* Lam), como auxiliar de coagulação ao sulfato de alumínio e ao policloreto de alumínio (PAC), no tratamento de água para abastecimento. Foram realizados ensaios com concentrações de 0 a 550 ppm de moringa, com concentrações mais baixas de coagulante químico que a empregada na Estação de Tratamento Água. No entanto, foram analisados as três melhores concentrações obtidas (250 ppm, 320 ppm, 360 ppm) de moringa e com elas realizou-se a caracterização de da água por parâmetros físico-químicos (cor, turbidez, sólidos totais, fixos e voláteis, alcalinidade, acidez, nitrogênio, fósforo, além de bacteriológicos (coliformes totais e *Escherichia coli*).

O emprego do polímero natural obtido da moringa melhorou a qualidade da água decantada, com valores menores de cor, turbidez, sólidos presentes na água. A cor e a turbidez apresentaram uma remoção de 76,6% e 97,3% respectivamente com 320 ppm e 360 ppm de moringa e 7 ppm de PAC. Já os coliformes totais e *E. coli* após o tratamento tornaram-se ausentes, mesmo com concentrações mais baixas de coagulante químico e menor tempo de decantação. Como forma de polimento foram utilizados três tipos de filtros com materiais diferentes, mas que não apresentaram resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Polímeros Naturais. Moringa. Coagulação. Policloreto de Alumínio.

ABSTRACT

The use of natural polymers in water treatment is a promising alternative due to of the advantages associated with its application. In this work of it was evaluated the use of a natural polymer, obtained from Moringa (*Moringa oleifera* Lam) as a coagulation aid to aluminum sulphate and polyaluminium chloride (PAC) in the treatment of water supply. Tests were carried out with concentrations of 0 up to 550 ppm of moringa, with lower concentrations of chemical coagulant used in the Water treatment station. However, it was analyzed the best three obtained concentrations (250 ppm, 320 ppm, 360 ppm) of moringa and with them it was carried out the characterization of water using physicochemical parameters (color, turbidity, total solids, volatile and fixed, alkalinity, acidity, nitrogen, phosphorus, and bacteriological parameters (total coliforms and *Escherichia coli*).

The use of natural polymer obtained from Moringa improved the quality of decanted water, with lower values of color, turbidity and solids present in the water. The color and turbidity showed a removal of 76.6% and 97.3% respectively at 320 ppm and 360 ppm of moringa and 7 ppm of PAC. On the other hand, total coliforms and *E. coli* became missing after the treatment, even with lower concentrations of chemical coagulant and shorter decantation period. As a form of polishing it was used three kinds of filters with different materials, but which did not show satisfactory results.

Keywords: Natural Polymers. Moringa. Coagulation. PolyAluminium Chloride.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Planta e partes da planta <i>Moringa oleifera</i> Lam. a) planta adulta; b) vagens; c) flores; d) sementes com casca; e) sementes sem casca.	16
FIGURA 2 -	Imagem de satélite da Estação de Tratamento de água – Campo Mourão – PR	19
FIGURA 3 -	Imagem de satélite do ponto de Captação de água – Campo Mourão – PR.....	19
FIGURA 4 -	Resultados do ensaio de sulfato de alumínio com a moringa, para o parâmetro cor (uC).....	26
FIGURA 5 -	Resultados do ensaio de sulfato de alumínio com a moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....	27
FIGURA 6 -	Resultados do ensaio de sulfato de alumínio com a moringa, para o parâmetro cor (uC).....	28
FIGURA 7 -	Resultados do ensaio de sulfato de alumínio com a moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....	28
FIGURA 8 -	Resultados do ensaio de escolha da concentração ideal de PAC, para o parâmetro cor (uC).....	29
FIGURA 9 -	Resultados do ensaio de escolha da concentração ótima de PAC, para o parâmetro turbidez (uT).....	30
FIGURA 10 -	Resultados do ensaio com baixas concentrações de moringa, para o parâmetro cor (uC).....	30
FIGURA 11 -	Resultados do ensaio com baixas concentrações de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....	31
FIGURA 12 -	Resultados do ensaio com altas concentrações de moringa, para o parâmetro cor (uC).....	32
FIGURA 13 -	Resultados do ensaio com altas concentrações de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....	32
FIGURA 14 -	Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro cor (uC).....	33
FIGURA 15 -	Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....	34
FIGURA 16 -	Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro cor (uC).....	35
FIGURA 17 -	Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).....	35
FIGURA 18 -	Cor remanescente durante os ensaios realizados para escolha da concentração ótima de PAC.....	39
FIGURA 19 -	Turbidez remanescente durante os ensaios realizados para escolha da concentração ótima de PAC.....	39
FIGURA 20 -	Cor aparente durante os ensaios com concentração de 7 ppm de PAC utilizando a moringa como auxiliar de coagulação.....	40
FIGURA 21 -	Turbidez remanescente durante os ensaios com concentração de 7 ppm de PAC utilizando a moringa como auxiliar de coagulação.....	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Quantidade dos materiais filtrantes.....	22
TABELA 2	Resultados das análises dos parâmetros de cor, turbidez e pH.....	24
TABELA 3 -	Resultados das análises dos parâmetros físicos- químicos e microbiológicos da água bruta utilizada nos ensaios com a moringa.....	25
TABELA 4 -	Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa.....	31
TABELA 5 -	Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa.....	33
TABELA 6 -	Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa.....	34
TABELA 7 -	Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa.....	36
TABELA 8 -	Resultados físico-químicos e microbiológicos para água bruta e água tratada com moringa	37
TABELA 9 -	Resultados das características da água bruta.....	38
TABELA 10 -	Resultados de remoção turbidez e cor aparente, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa.....	41
TABELA 11 -	Resultados obtidos para o filtro de carvão ativado.....	42
TABELA 12 -	Resultados obtidos para o filtro de casca de moringa seguida de carvão ativado.....	43
TABELA 13 -	Resultados obtidos para o filtro de areia seguido de carvão ativado.	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4 MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA	18
4.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	20
4.2.1 Preparo da Solução de <i>Moringa oleifera</i> Lam	20
4.2.2 Preparo da Solução de Geocal [®] , de Sulfato de Alumínio e de PAC	20
4.2.3 Ensaio de Coagulação/Floculação	20
4.3 FILTRAÇÃO	21
4.4 Análises Físico-Química e Bacteriológica dos melhores resultados	23
4.4.1 Cor.....	23
4.4.2 Turbidez	23
4.4.3 Sólidos totais, Fixos e Voláteis.....	23
4.4.4 Alcalinidade	23
4.4.5 Acidez.....	24
4.4.6 Nitrogênio	24
4.4.7 Fósforo	24
4.4.7 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	24
4.4.8 Bacteriológico	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5.1 Caracterização da Água Bruta	25
5.2 Resultados dos Ensaio com Moringa	26
5.2.1 Resultados dos ensaios com Sulfato de alumínio e moringa	26
5.2.2 Resultados dos ensaios com Policloreto de Alumínio e moringa	30
5.3 Resultados dos Ensaio com os Filtros.....	39
5.3.1 Escolha da concentração ótima do coagulante	39
5.3.2 Uso da moringa como auxiliar de coagulação.....	41
5.3.3 Filtração em leitos de carvão ativado	42
6 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida de uma população está diretamente ligada à disponibilidade de água com qualidade, sendo esta, um dos recursos naturais mais susceptíveis a degradação (TREVISAN, 2009).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 1999), o consumo de água no mundo aumentou seis vezes em menos de um século e a tendência é aumentar ainda mais, pois o setor agrícola, industrial e doméstico continua elevando o consumo de água. Entretanto, todas as pessoas têm o direito de ter acesso a um suprimento adequado de água potável e segura e a água destinada ao consumo humano deve preencher condições mínimas para que possa ser ingerida ou utilizada (TREVISAN, 2009).

A produção de água potável exige alguns processos de remoção ou redução de alguns constituintes da água bruta. Por isso a natureza da água bruta, e a qualidade desejada da água tratada são fatores que determinam qual processo de tratamento será utilizado. Atualmente, no Brasil, são empregadas três categorias básicas de tratamento: estações de tratamento convencionais; estações de filtração direta; estações de flotação a ar dissolvido (RICHTER, 2011).

Nas estações de tratamento convencionais ou de ciclo completo o tratamento é iniciado com um pré-tratamento, para a produção de um floco sedimentável. A primeira unidade é a de mistura rápida, com a adição de um coagulante. Em seguida acontece a floculação, com um tempo de detenção de 20 a 40 minutos, e a decantação. Após estes processos é realizada a filtração como forma de polimento, para a remoção de flocos residuais; enfim é feita a correção do pH e cloração (RICHTER, 2011).

No tratamento de água, é comum o uso de coagulantes químicos como o sulfato de alumínio e o PAC (policloreto de alumínio), eficientes na remoção de várias impurezas presentes. Estes coagulantes são amplamente utilizados no mundo todo, mas recentemente seu uso tem sido discutido, pois o alumínio não é biodegradável, podendo ocasionar problemas de disposição e tratamento do lodo gerado AZEVEDO NETTO, 1991; DI BERNARDO et. al., 2002; MORAES, 2004 e RICHTER, 2005).

Além disso, existem evidências de que lesões cerebrais, características do Mal de Alzheimer, podem estar associadas ao alumínio na água para consumo humano proveniente dos sistemas públicos de abastecimento, quando esse se encontra em concentrações superiores a 0,01 mg/L (BATALHA, 2006; LETTERMAN, 1990).

Nas ETA's (estações de tratamento de água) os coagulantes e os floculantes empregados são polímeros sintéticos, geralmente a base de acrilamidas, que são substâncias potencialmente carcinogênicas (ARBOLEDA, 1993). Os mais utilizados são o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio (PAC).

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 ou com o PAC, esses produtos podem reduzir a dosagem deste coagulante metálico, mantendo a mesma eficiência de remoção de particulados e matéria orgânica, 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).

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 (MORAES, 2004).

De acordo com SILVA SALESA (1999), o tanino extraído da acácia negra vem sendo utilizada 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 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).

O emprego de algumas plantas como auxiliares de coagulação/floculação, tais como: quiabo (*Abelmoschus esculentus*) que quando moído, do pó se faz a solução, que é dosada em conjunto com os coagulantes metálicos de alumínio e ferro; mutamba (*Guazuma ulmifolia*) que é utilizada na forma de solução da casca, do fruto e

do caule; cacau (*Theobroma cacao*) que é utilizado na forma de solução preparada através da sua casca; moringa (*Moringa oleifera* Lam) que é utilizada na forma de solução preparada através da polpa da semente (ABREU LIMA, 2007).

A *Moringa oleifera* Lam é uma planta originária da Índia, que se adapta facilmente a regiões com clima tropical, pois tem grande poder adaptativo a seca e vários tipos de solos. Em muitos países esse vegetal é utilizado por completo, desde suas folhas até a sua vagem, como forma de alimento, pois possui vitaminas A e C. Cerca de 40% do peso da semente é composta por lipídeos, do qual o seu óleo é extraído para utilização em micro engrenagens (HENRIQUES, 2012).

No Brasil a *Moringa oleifera* Lam foi introduzida em 1950, na Região Nordeste, precisamente nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará, sendo plantada com objetivos meramente ornamentais (CYSNE, 2006).

As sementes de *Moringa oleifera* Lam são uma alternativa viável de polímeros naturais, pois a eficiência do processo não depende do pH da água bruta. Além de apresentar outras vantagens, como não alterar significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento e o aumento da eficiência da desinfecção, dentre outras. (BORBA, 2001).

Quando o processo de coagulação/floculação é realizado por meio de sementes de moringa, além da remoção da cor e turbidez da água, também ocorre uma grande remoção de bactérias, acima de 90%, pois as sementes apresentam uma substância antimicrobiana (JAHN, 1981), entretanto a desinfecção ainda é recomendada.

A filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de alguns microrganismos presentes na água que escoam através de um meio granular. Geralmente é o processo final de remoção de impurezas em uma Estação de Tratamento de Água (ETA), sendo o principal responsável pela pureza da água destinada ao consumo humano (Di BERNARDO et. al., 2002).

Como polimento ao tratamento por coagulação, pode ser utilizado um leito de carvão ativado, que é um adsorvente largamente empregado no tratamento de água, principalmente para controle de gosto e odor, bem como para a remoção de compostos orgânicos, metais tóxicos e cloro (HETRICK et al., 2000).

A estrutura e as características químicas da superfície do carvão estão diretamente ligadas a sua eficiência de adsorção (MATILAINEN *et al.*, 2006). Segundo a Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental cita-se que a adsorção em carvão ativado é uma das melhores tecnologias disponíveis para a remoção de substâncias coloridas de águas (CRINI, 2006).

Com isso, o objetivo deste trabalho é propor um processo simplificado para o tratamento de água de abastecimento composto por coagulação/floculação seguida de filtração. O processo de coagulação/floculação foi realizado empregando solução da semente de *Moringa oleifera* Lam como auxiliar natural de coagulação em conjunto com o coagulante químico, e a filtração foi realizada em três tipos diferentes materiais no leito: somente com carvão ativado, areia seguido de carvão ativado e carvão ativado combinado com cascas da semente de *Moringa oleifera* Lam.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho foi propor um processo simplificado para o tratamento de água de abastecimento composto por coagulação/floculação seguida de filtração empregando a solução da semente de *Moringa oleifera* Lam como auxiliar natural de coagulação.

2.2 Objetivos Específicos:

- Realizar a caracterização da água bruta em parâmetros físico-químicos como: cor, turbidez, pH e alcalinidade;
- Realizar ensaios para escolha do coagulante químico ideal;
- Analisar a eficiência da *Moringa oleifera* Lam como auxiliar de coagulação, com a mesma água utilizada na Estação de Tratamento de Água de Campo Mourão;
- Realizar análises físico-químicas e bacteriológicas da água tratada para os ensaios que apresentarem os melhores resultados.

Realizar ensaios com três tipos diferentes de filtros, preparados com os seguintes materiais: somente com carvão ativado, areia seguido de carvão ativado e carvão ativado combinado com cascas da semente de *Moringa oleifera* Lam.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas ETA's de ciclo completo podem ser utilizados muitos produtos químicos ao longo do tratamento: pré oxidantes, coagulantes, auxiliares de coagulação, floculação ou filtração, desinfetantes, produtos para a redução da dureza, produtos para controle de corrosão e o carvão ativado para adsorção de contaminantes (DI BERNARDO et. al., 2002).

A coagulação envolve um processo de aplicação de produtos químicos ou naturais, para precipitar os compostos em solução e desestabilizar as suspensões coloidais de partículas sólidas, que não poderiam ser removidas por sedimentação, flotação ou filtração. No entanto, a coagulação pode ser considerada como um processo com duas fases: a primeira – a coagulação que é a alteração físico-química de partículas coloidais da água; a segunda – a floculação que promove as colisões entre as partículas previamente desestabilizadas na coagulação (RICHTER, 2011).

O *jar-test* ou teste de jarros é um equipamento de reatores estáticos, constituídos por 6 jarros que fornece um gradiente de velocidade entre 10 e 2000 s⁻¹. É o método mais utilizado e mais útil para avaliar o processo de coagulação e floculação e nas suas fases subsequentes do tratamento: decantação ou flotação e filtração. Sua utilização fornece dados para a determinação da dosagem ótima do coagulante e outros reagentes, concentração (diluição) ótima, intensidade e tempo de floculação e a sequência de aplicação dos reagentes. Essas informações são necessárias para a realização de um projeto de Estação de tratamento de água, como também a introdução de novos agentes químicos e naturais no mercado (DI BERNARDO et. al., 2002).

Os polímeros naturais vêm sendo utilizados desde o início da década de 50, principalmente como auxiliares de coagulação e floculação em tratamento de águas destinadas ao consumo humano, sendo vantajoso o uso destes auxiliares, pois os flocos se tornam mais resistentes às forças de cisalhamento e adquirem maior velocidade de sedimentação (ABREU LIMA, 2007).

Além disso, quando utilizados em conjunto com o sulfato de alumínio, há redução do coagulante primário, redução na utilização de produtos químicos e diminuição de deposição de lodo na rede e nos reservatórios de distribuição (DI BERNARDO, 2005).

Um dos biopolímeros que pode ser utilizado como auxiliar de coagulação é a *Moringa oleifera* Lam. Os primeiros indícios da utilização de *Moringa oleifera* Lam para fins de tratamento da água destinada ao consumo humano, deram-se na Índia há 4000 anos, mas seu estudo aprofundado somente agora vem sendo explorado (NDABIGENGESERE E NARASIAH, 1998).

A família Moringaceae vem sendo estudada no mundo inteiro, por obter algumas espécies que possuem propriedades de agentes coagulantes. Outro fator é ser uma espécie com boa resistência a pragas e doenças, e seu cultivo ser prático e ter um acelerado crescimento. Está espécie que é composta por apenas um gênero (*Moringa*), sendo constituída por quatorze espécies arbóreas e arbustivas. (CYSNE, 2006).

A sua classificação taxonômica é: Divisão: Magnoliophyta; Classe: Magnoliopsida; Subclasse: Dilleniidae; Ordem: Capparidales; Família: Moringaceae; Gênero: *Moringa*; Espécie: *Moringa oleifera* Lam (CYSNE, 2006).

A espécie *Moringa oleifera* Lam é uma árvore de tronco único, de pequeno porte, bem menos no Brasil do que na Índia, com um crescimento rápido de (1,5 cm por dia) podendo atingir até 12 m de altura. Na sua casca há presença de látex. As folhas são verdes pálidas, decíduas alternadas, pecioladas e compostas, podendo, ou não, apresentar estípula, mucilagem epidérmica, estômatos ou pêlos. As flores são diclamídeas, ou seja, o perianto dividiu-se em cálice e corola, podendo ser de cor branca ou creme. As vagens contêm entre 10 a 20 sementes. As sementes globóides, são escuras por fora e contêm no seu interior uma massa branca e oleosa. O núcleo é encoberto por uma concha sendo trivalvas, oleaginosas, e medindo até um cm de diâmetro (Figura 1), (LORENZI E MATOS, 2002; CÁCERES *et al.*, 1991).

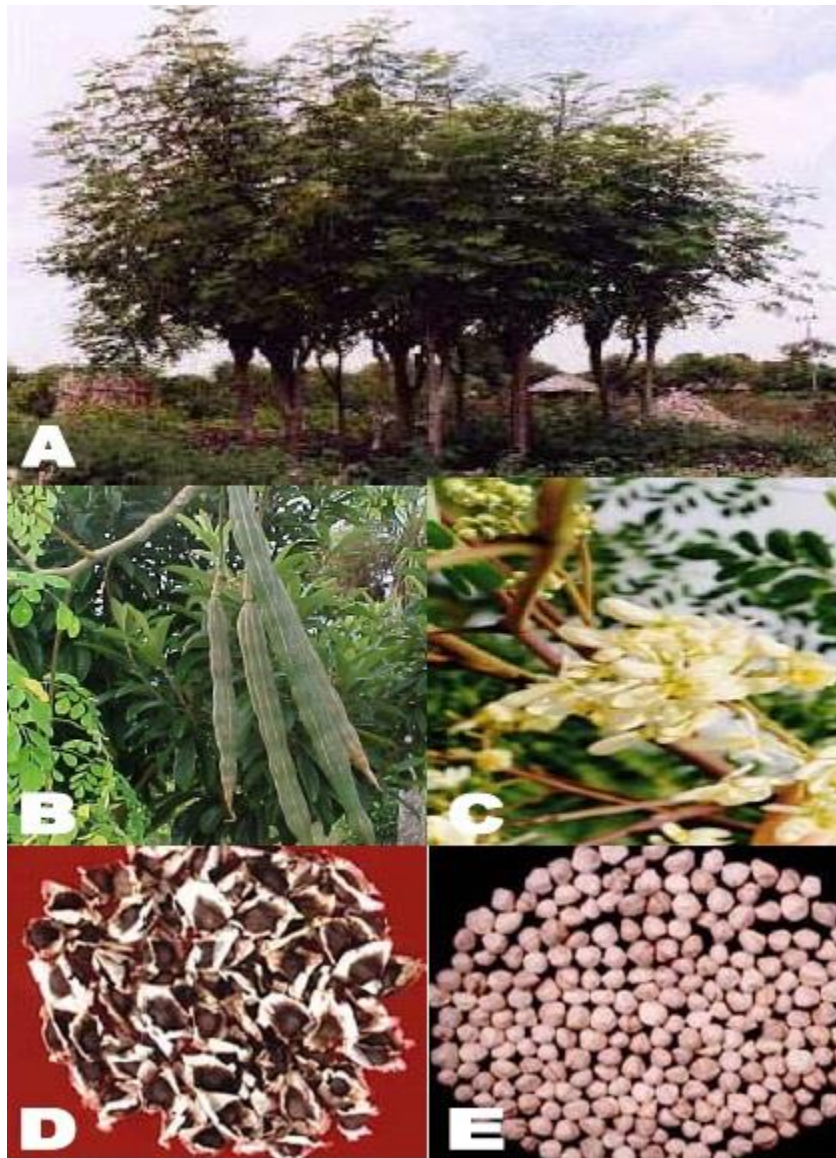


Figura 1 – Planta e partes da planta *Moringa oleifera* Lam. A) planta adulta; B) vagens; C) flores; D) sementes com casca; E) sementes sem casca. Fonte: (Cysne, 2006).

A *Moringa oleifera* Lam foi utilizada no Brasil, em Estações de Tratamento de Água, apenas em 1996 e até então não houve nenhum registro de ter apresentado risco a saúde humana (CARDOSO, 2007). Como não depende do pH da água bruta para obter eficiência, uma pequena dosagem desse biopolímero pode reduzir significativamente a utilização de coagulantes químicos (SILVA, 2005).

A *Moringa oleifera* Lam, assim como outros biopolímeros originários da extração vegetal, contém em suas estruturas grandes moléculas proteicas carregadas

de forma a interagir com o material orgânico da água destruindo a estabilidade coloidal local (NDABIGENGESERE E NARASIAH, 1998).

Mesmo com a aplicação de auxiliares naturais, a utilização do processo de filtração normalmente é necessária, pois não é possível obter-se uma água que atenda os padrões de potabilidade descritas na Resolução 2.914 de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde. Este processo consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais presentes na água: através de um processo físico a água atravessa um leito filtrante, geralmente constituído de areia e carvão, a fim de reter as partículas em suspensão, gerando uma água que possa ser destinada ao consumo humano (DI BERNARDO, 2005).

A filtração é um processo unitário, sendo um dos processos mais importantes no tratamento de água, podendo ser único, como na filtração lenta, ou apenas precedido pela coagulação/floculação, como na filtração direta. Os filtros podem ser classificados entre lentos e rápidos, diferenciados pela sua taxa de filtração. Os filtros rápidos operam em taxas superiores a 40 vezes que os filtros lentos. Os filtros lentos operam como um processo físico-químico e em alguns casos biológicos, para a separação das impurezas. São utilizados diversos materiais granulares como: areia comum, antracito, areia de granada, carvão ativado granular. O tamanho dos grãos e os poros têm grande influência na remoção de matéria em suspensão pelo filtro e no seu desempenho hidráulico (RICHTER, 2011).

A retenção das impurezas é considerada o resultado de dois mecanismos distintos, mas complementares: o transporte e a aderência. Primeiramente as partículas se aproximam das superfícies dos grãos, e posteriormente, permanecem retidas nos mesmos, a fim de resistir às forças de cisalhamento ao longo do escoamento no meio filtrante. A adsorção em carvão ativado em pó ou granular decorre de ações interfaciais, pelas quais as impurezas ficam retidas no adsorvente (DI BERNARDO et. al., 2002; RICHTER, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia foi dividida nas seguintes etapas: 1) coleta e caracterização da água bruta, proveniente da ETA – Campo Mourão – PR; 2) ensaios de coagulação/floculação com sementes de moringa combinada com o coagulante químico; 3) análise físico-química e bacteriológica da água obtida nos ensaios com os melhores resultados; 4) ensaios com os filtros.

4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

Foram coletadas amostras de água bruta do rio que abastece a Estação de Tratamento de Água de Campo Mourão – PR (Figura 2), o Rio do Campo, que está situado na bacia do rio Ivaí (Figura 3).

Os recipientes utilizados na coleta foram previamente lavados e desinfetados com água fervente. A água bruta coletada foi mantida sob refrigeração no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão. Os parâmetros analisados para caracterização da água bruta foram: cor, turbidez, sólidos (totais, fixos e voláteis), alcalinidade, acidez, nitrogênio, fósforo e alguns parâmetros bacteriológicos (coliformes totais e *Escherichia coli*). Estas análises somente foram realizadas para a água tratada cujos ensaios que apresentaram os melhores resultados.



Figura 2: Imagem de satélite da Estação de Tratamento de água – Campo Mourão - PR. Fonte: Google Earth (2013).

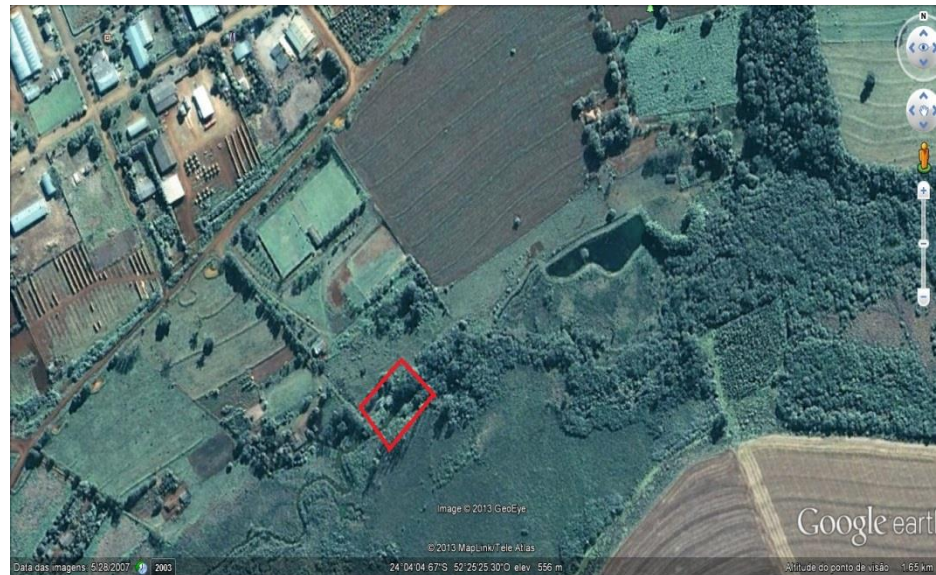


Figura 3: Imagem de satélite do ponto de Captação de água – Campo Mourão - PR. Fonte: Google Earth (2013).

4.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

4.2.1 Preparo da Solução de *Moringa oleifera* Lam

Para os ensaios com *Moringa oleifera* Lam como auxiliar de coagulação, foi utilizada uma solução padrão de 1% (m/v). Para obter essa solução, adicionou-se 1000 mg de polpa de semente da *Moringa oleifera* Lam em balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com água destilada. Essa mistura foi triturada no liquidificador e depois filtrada em papel filtro comum (CARDOSO, 2007).

4.2.2 Preparo da Solução de Geocal[®], de Sulfato de Alumínio e de PAC

Para manter as condições experimentais mais próximas possíveis das condições empregadas na ETA - Campo Mourão - PR, foi utilizado o mesmo coagulante, policloreto de alumínio (PAC) em solução 1% (v/v), e também o mesmo alcalinizante, geocal[®] em solução 1% (v/v), que foram preparados através da dissolução de 1 mL de coagulante ou alcalinizante em 100 mL de água destilada. No entanto, também foram realizados ensaios com outro coagulante químico, o sulfato de alumínio.

4.2.3 Ensaio de Coagulação/Floculação

Primeiramente foi avaliada a utilização dos coagulantes químicos (sulfato de alumínio e policloreto de alumínio), e em seguida, foram avaliadas associações da solução de *Moringa oleifera* Lam com concentrações mais baixas de coagulante químico, de maneira que foi possível propor uma diminuição da concentração do coagulante químico utilizado.

Os ensaios de coagulação e floculação foram realizados em equipamento de *Jar Test* modelo 218/LDB 06 de seis provas da marca Nova Ética, com regulador de rotação das hastes misturadoras e jarros com volume de 1000 mL.

O uso do *Jar Test* permite determinar a dosagem ideal de coagulante ou auxiliar de coagulação necessária para provocar a clarificação da água bruta (DI BERNARDO, 2002).

Em cada jarro, foram adicionadas quantidades pré-determinadas da solução padrão de coagulante e da solução padrão de auxiliar de coagulação ou de floculação, utilizando-se pipeta automática. A água foi mantida em temperatura ambiente para a realização dos ensaios.

O tempo de mistura rápida (TMR) foi fixado em 2 minutos, e o tempo de mistura lenta (TML) em 15 minutos, sendo essas as condições utilizadas na ETA – Campo Mourão - PR. A velocidade utilizada no *Jar Test* para propiciar a mistura rápida foi fixada em 120 rpm, enquanto a velocidade para propiciar a mistura lenta foi mantida em 60 rpm, durante todo o trabalho. 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 floculado.

Foram realizadas coletas das amostras de aproximadamente 15 mL de água tratada em intervalos de 0;15;30;45 e 60 minutos após o *Jar test* ser desligado, para análise dos parâmetros de qualidade: cor e turbidez das amostras, para verificar a eficiência do processo por meio da comparação dos resultados com a água bruta.

4.3 FILTRAÇÃO

Os filtros gravitacionais foram montados em escala laboratorial. Foram avaliadas as capacidades de filtração (retenção de contaminantes) da água coagulada/floculada em três leitos, montados com recheios diferentes: somente com carvão ativado, areia seguido de carvão ativado e cascas da semente de moringa seguido de carvão ativado.

Os filtros foram confeccionados em leitos plásticos com uma altura de 85 cm. As quantidades de carvão, areia e cascas de moringa utilizadas estão descritas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Quantidade dos materiais filtrantes.

Tipo de filtro	Quantidade de carvão (g)	Quantidade de areia (g)	Quantidade de Casca de moringa (g)
Carvão ativado	528	-	-
Carvão ativado + Areia	355	340	-
Casca de moringa + Carvão ativado	508	-	4

Neste trabalho foi empregado carvão ativado granular (16X50 mesh) de origem vegetal (casca de coco de dendê), gentilmente cedido pela empresa Bahiacarbon.

A areia foi gentilmente cedida pela SANEPAR, sendo a mesma empregada na ETA – Campo Mourão – PR.

A justificativa do uso da casca da semente de moringa como parte do meio filtrante está em aproveitar ao máximo o insumo, tentando melhorar a qualidade da água tratada, com a menor geração de resíduos possível. Anteriormente, PEREIRA, *et al.* (2009) relataram que a utilização deste material filtrante pode reduzir em 99% a turbidez da água tratada.

A qualidade da água tratada foi monitorada de acordo com os parâmetros de cor e turbidez. Para os ensaios que apresentaram os melhores resultados, foi repetida a mesma caracterização análise físico-química e bacteriológica realizada para a água bruta.

4.4 Análises Físico-Química e Bacteriológica dos melhores resultados

Foram avaliados os seguintes parâmetros: cor, turbidez, sólidos (totais, fixos e voláteis), alcalinidade, acidez, nitrogênio, fósforo, além de coliformes totais e *Escherichia coli*.

4.4.1 Cor

A cor aparente foi determinada através do equipamento Hanna Instruments HI 93727, conforme os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

4.4.2 Turbidez

A turbidez foi determinada através do equipamento Policontrol AP2000 IR, conforme os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

4.4.3 Sólidos totais, Fixos e Voláteis

Os Sólidos foram determinados através do método gravimétrico, conforme os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

4.4.4 Alcalinidade

A alcalinidade foi determinada através do método titulométrico conforme os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

4.4.5 Acidez

A acidez foi determinada através do método titulométrico conforme os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

4.4.6 Nitrogênio

O nitrogênio foi determinado através do equipamento espectrofotômetro Digital Hach com UV Visível, DR5000, conforme os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) e foram medidos na forma de nitrito e nitrato.

4.4.7 Fósforo

O fósforo foi determinado através do equipamento espectrofotômetro Digital Hach com UV Visível, DR5000, conforme os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), e foram medidos na forma de fosfato.

4.4.7 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado através do equipamento pH-metro Digimed DM-2, utilizando a metodologia descrita pelo fabricante, através do manual do aparelho.

4.4.8 Bacteriológico

Foi determinada a presença de coliformes totais e *Escherichia coli* por meio de contagem em placas Petrifilm[®].

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização da Água Bruta

Os resultados de caracterização da água bruta para os ensaios com o sulfato de alumínio combinado com a solução de moringa, para os parâmetros cor, turbidez e pH apresentados na Tabela 2.

Não foram realizados as todas as análises físico-químicas e bacteriológicas para este ensaio, por indisponibilidade de reagentes.

Tabela 2 – Resultados das análises dos parâmetros de cor, turbidez e pH.

Parâmetros Analisados	Resultados
Cor (uC)	160
Turbidez (uT)	41,6
pH	7,15

Os resultados de caracterização da água bruta para os ensaios do PAC combinado com a solução de moringa, para os parâmetros cor, turbidez, sólidos, pH, alcalinidade, acidez, nitrogênio, fósforo, microbiológicos (*E. coli* e coliformes totais), estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados das análises dos parâmetros físicos- químicos e microbiológicos da água bruta utilizada nos ensaios com a moringa.

Parâmetros Analisados	Valores Obtidos
Cor (uC)	300
Turbidez (uT)	33,9
Sólidos Totais mg.L ⁻¹	148
Sólidos Totais Fixos mg.L ⁻¹	88
Sólidos Totais Voláteis mg.L ⁻¹	20
Sólidos Totais Suspensos mg.L ⁻¹	20
Sólidos Suspensos Fixos mg.L ⁻¹	12
Sólidos Suspensos Voláteis mg.L ⁻¹	8
pH	6,7
Acidez Total mgCaCO ₃ .L ⁻¹	5
Alcalinidade Total mgCaCO ₃ .L ⁻¹	14
Fósforo mg.L ⁻¹	10,4
Nitrato mg.L ⁻¹	2,2
Nitrito mg.L ⁻¹	0,014
Nitrogênio amoniacal mg.L ⁻¹	0,17
Coliformes Totais (UFC.mL ⁻¹)	0

5.2 Resultados dos Ensaios com Moringa

Foram realizados ensaios utilizando sulfato de alumínio como coagulante primário e moringa como auxiliar de coagulação.

Em seguida, foram realizados ensaios utilizando policloreto de alumínio (PAC) como coagulante primário e moringa como auxiliar de coagulação.

A combinação de coagulante primário e moringa que apresentaram os melhores resultados de remoção de cor e turbidez foram escolhidos para os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação seguidos de filtração.

5.2.1 Resultados dos ensaios com Sulfato de alumínio e moringa

Foram realizados dois ensaios, o primeiro com concentrações do sulfato de alumínio iguais a: 55 ppm, 50 ppm, 45 ppm, 40 ppm, 35 ppm e 30 ppm, combinado com as concentrações de moringa iguais a: 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm e 250 ppm, respectivamente, de acordo com CARDOSO (2007).

Os resultados obtidos para os parâmetros de cor e turbidez durante este ensaio estão apresentados nas Figuras 4 e 5:

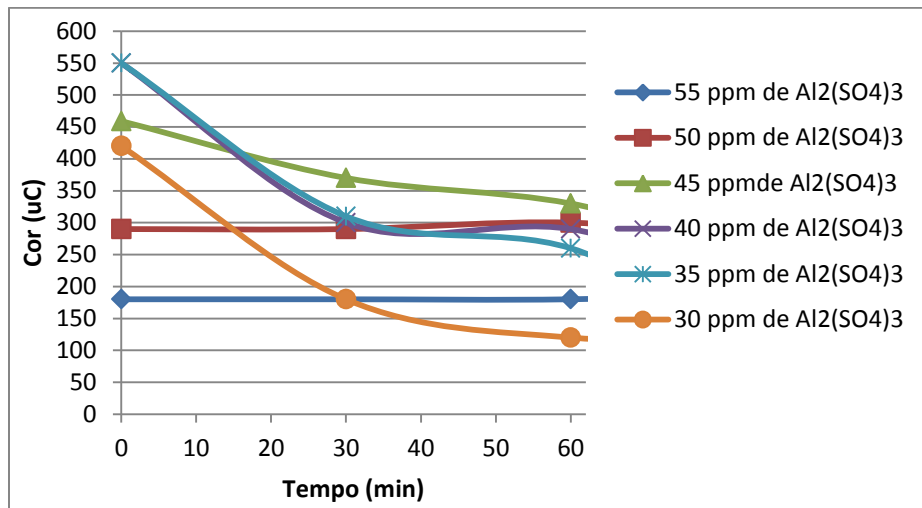


Figura 4: Resultados do ensaio de Al₂(SO₄)₃ com a moringa, para o parâmetro cor (uC).

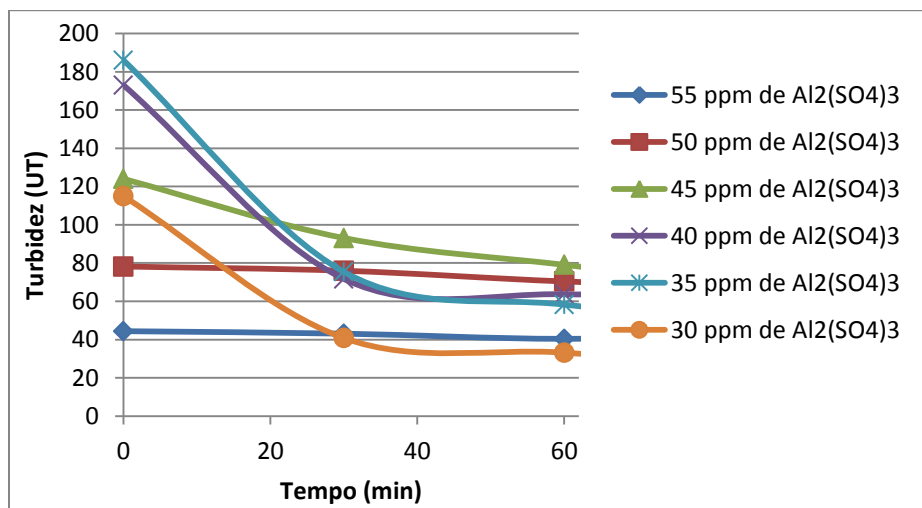


Figura 5: Resultados do ensaio de Al₂(SO₄)₃ com a moringa, para o parâmetro turbidez (uT).

Analisando as Figuras 4 e 5, sendo o tempo 0 (zero) o início da sedimentação nota-se que os resultados não foram satisfatórios. Tomando como exemplo o tempo de sedimentação de 30 minutos, os valores de cor chegaram a 370 uC e a turbidez a 93,1 uT com concentrações de 45 ppm de Al₂(SO₄)₃ e 100 ppm de moringa, sendo que a água bruta a cor era de 160 uC e a turbidez de 41,6 uT. Já com o tempo de sedimentação iguais a 60 minutos com a utilização de 250 ppm de moringa e 30 ppm de Al₂(SO₄)₃ houve uma porcentagem de remoção de cor e turbidez de 25 % e 20,1% respectivamente.

Diferente dos resultados apresentados por CARDOSO (2007), nota-se que houve um grande aumento da cor e da turbidez dos resultados, provavelmente devido às diferentes características da água utilizada neste trabalho.

No segundo ensaio realizado com o sulfato de alumínio e com moringa utilizou-se concentrações iguais a: 25 ppm, 20 ppm, 15 ppm, 10 ppm, 5 ppm e 0 ppm de sulfato de alumínio e 300 ppm, 350 ppm, 400 ppm, 450 ppm, 500 ppm e 550 ppm de moringa, respectivamente, também de acordo com CARDOSO (2007).

Os resultados obtidos para os parâmetros de cor e turbidez estão apresentados nas Figuras 6 e 7:

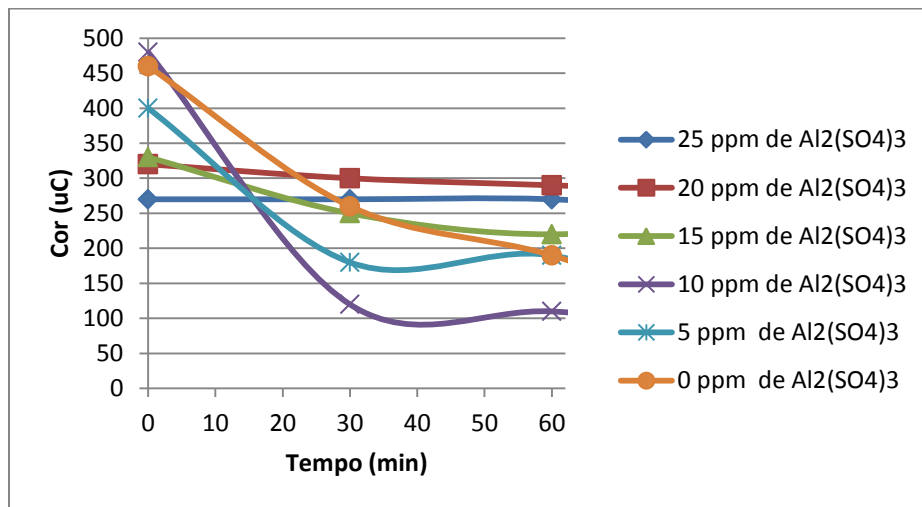


Figura 6: Resultados do ensaio de $Al_2(SO_4)_3$ com a moringa, para o parâmetro cor (uC).

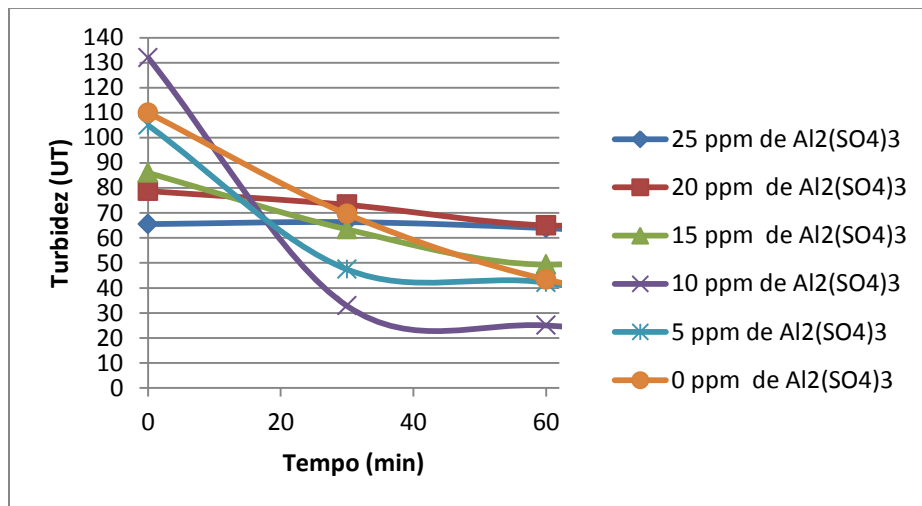


Figura 7: Resultados do ensaio de $Al_2(SO_4)_3$ com a moringa, para o parâmetro turbidez (uT).

Analisando as Figuras 6 e 7, sendo o tempo 0 (zero) o início da sedimentação nota-se que os resultados novamente não foram satisfatórios em relação aos parâmetros abordados na portaria 2.914/2011 (BRASIL, 2011). Por exemplo, no tempo de sedimentação de 30 minutos os valores de cor chegaram a 300 uC e a turbidez a 73,2 uT, sendo que a água bruta a cor era de 160 uC e a turbidez de 41,6 uT.

Ao contrário do observado por Cardoso (2007), os resultados de remoção de cor e turbidez não foram satisfatórios, com exceção das condições de 450 ppm de moringa e 10 ppm de sulfato de alumínio, com 60 minutos de sedimentação, que apresentaram remoção de 25% e 21%, respectivamente para cor e turbidez.

Segundo a portaria 2.914/2011 (BRASIL, 2011) a turbidez deve apresentar o valor de 1 uT após a filtração lenta para poder ser destinada ao consumo humano, com os altos valores apresentados de cor e turbidez, provavelmente os filtros seriam comprometidos, tornando inviável a utilização destes parâmetros.

Com isso, foram realizados ensaios com o coagulante químico policloreto de alumínio (PAC), pois é o mesmo coagulante utilizado na ETA – Campo Mourão, e assim poderia apresentar resultados melhores.

5.2.2 Resultados dos ensaios com Policloreto de Alumínio e moringa

Primeiramente realizou-se um ensaio para a verificação da dosagem ideal do coagulante químico PAC, com base nas concentrações utilizada na ETA – Campo Mourão. Foi utilizado as seguintes concentrações 5 ppm, 7 ppm, 9 ppm, 11 ppm, 13 ppm e 15 ppm de PAC e uma concentração de 5 ppm de geocal[®] em todos os jarros, de acordo com metodologia proposta por ABREU LIMA (2007).

Os resultados obtidos para os parâmetros de cor e turbidez estão apresentados nas Figuras 8 e 9:

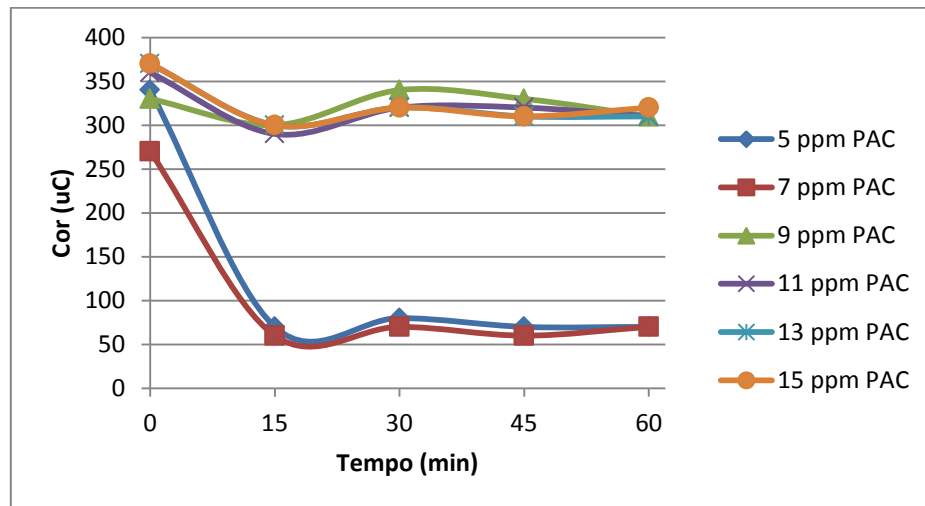


Figura 8: Resultados do ensaio de escolha da concentração ideal de PAC, para o parâmetro cor (uC).

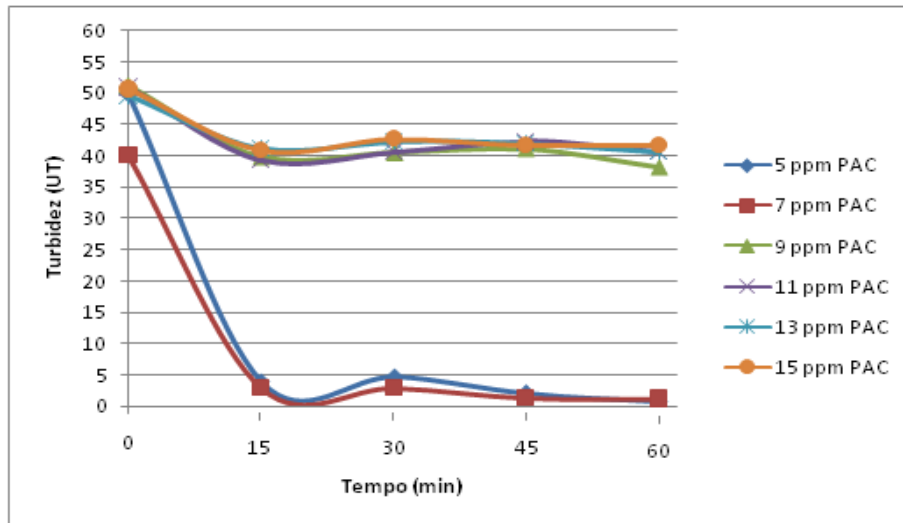


Figura 9: Resultados do ensaio de escolha da concentração ótima de PAC, para o parâmetro turbidez (uT).

Com a análise das Figuras 8 e 9, sendo o tempo 0 (zero) o início da sedimentação observa-se que a maior remoção de cor, cerca de 80%, e de turbidez, cerca de 96% comparados com o valor inicial, foi com a concentração de 7 ppm de PAC. Com isso foi realizado testes com as concentrações de 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal[®], variando as dosagens de moringa.

Inicialmente, realizou-se o ensaio com baixas concentrações de moringa: 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm e 250 ppm. Os resultados de cor e turbidez são apresentados nas Figuras 10 e 11.

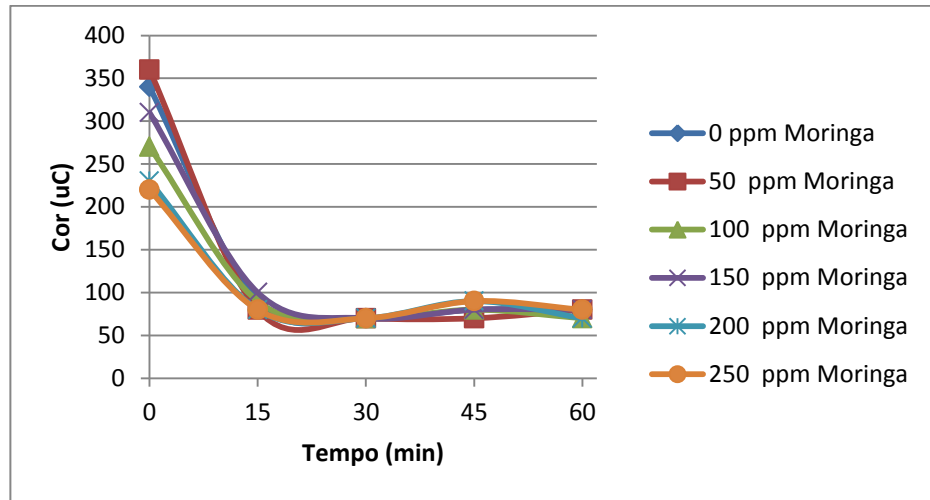


Figura 10: Resultados do ensaio com baixas concentrações de moringa e 7 ppm de PAC, para o parâmetro cor (uC).

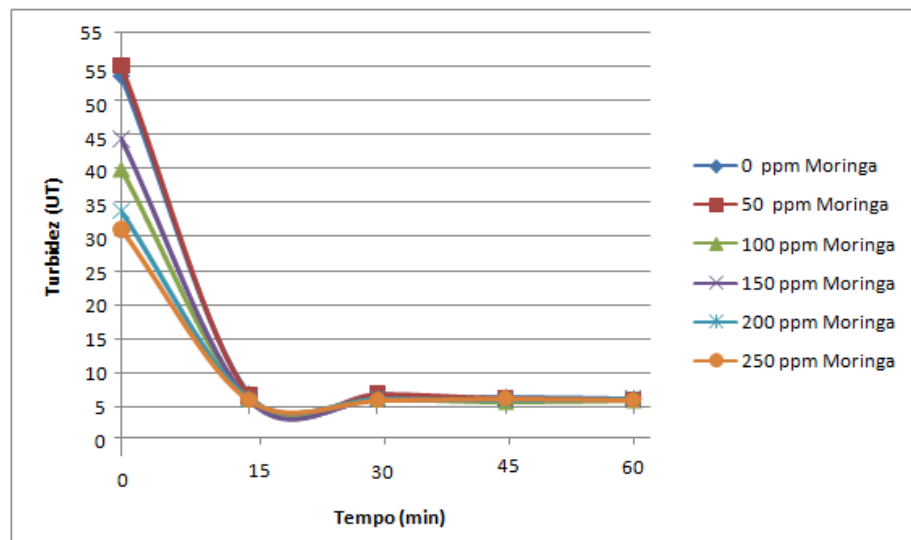


Figura 11: Resultados do ensaio com baixas concentrações de moringa e 7 ppm de PAC, para o parâmetro turbidez (uT).

De acordo com as Figuras 10 e 11, sendo o tempo 0 (zero) o início da sedimentação, observa-se que os resultados são muito parecidos para todas as concentrações de moringa utilizadas, por isso foi construída a Tabela 4, com um tempo de sedimentação de 30 minutos por apresentarem os melhores resultados de remoção de cor e turbidez.

Tabela 4 – Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa e 7 ppm de PAC.

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
200	76,6	96,6
250	76,6	97,1

Conforme a Tabela 4 nota-se que a eficiência de remoção de cor foi de 76,6% e de turbidez de 97,1% com a utilização 250 ppm de moringa, similar ao observado nas demais concentrações.

Foi realizado um segundo ensaio com concentrações mais altas de moringa: 300 ppm, 350 ppm, 400 ppm, 450 ppm, 500 ppm e 550 ppm, também com 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal[®], cujos resultados são apresentados nas Figuras 12 e 13.

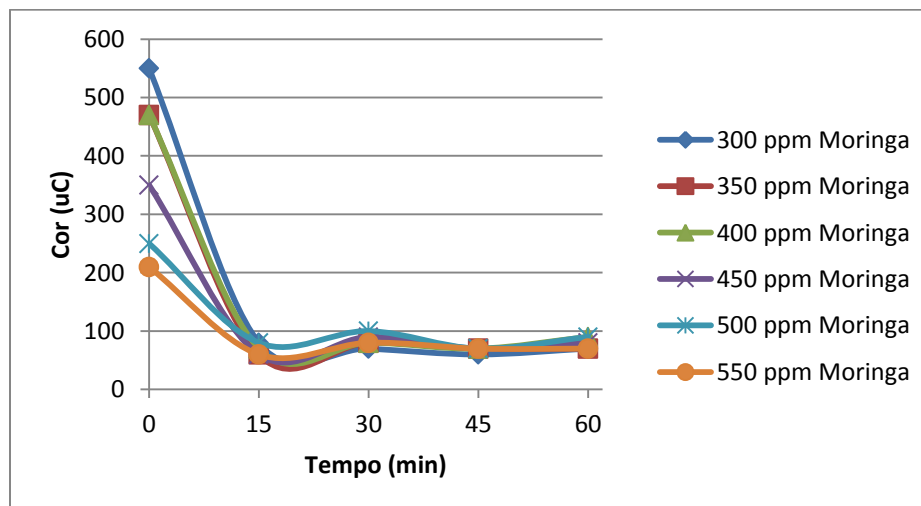


Figura 12: Resultados do ensaio com altas concentrações de moringa e 7 ppm de PAC, para o parâmetro cor (uC).

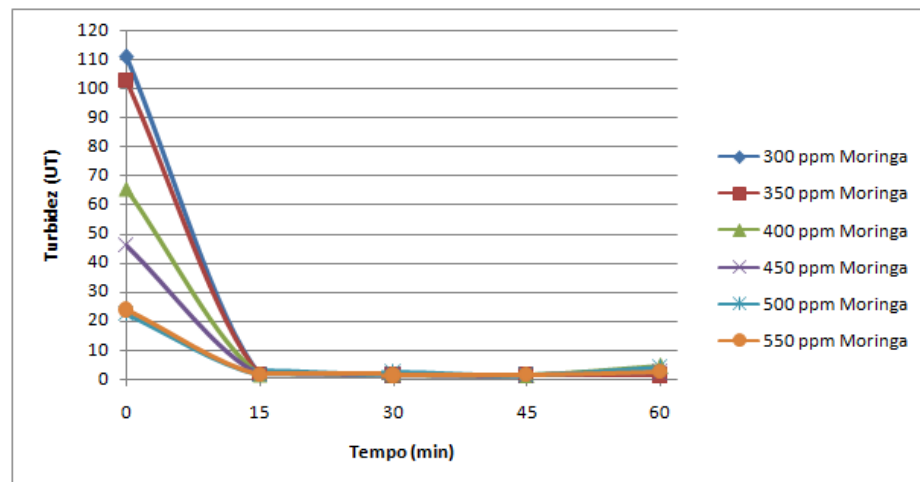


Figura 13: Resultados do ensaio com altas concentrações de moringa e 7 ppm de PAC, para o parâmetro turbidez (uT).

De acordo com as Figuras 12 e 13, sendo o tempo 0 (zero) o início da sedimentação, observa-se que os resultados são muito parecidos, por isso foi construída a Tabela 5, com um tempo de sedimentação de 30 minutos por terem apresentado os melhores resultados de remoção de cor e turbidez.

Tabela 5 – Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa e 7 ppm de PAC

Concentração de moringa (ppm)	Remoção de cor (%)	Remoção de turbidez (%)
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

Conforme a Tabela 5 nota-se que com a utilização de 300 ppm de moringa, houve uma porcentagem de remoção de cor de 76,6% e de 95,6% de turbidez. Já com a utilização 350 ppm de moringa a remoção de cor foi de 73,3 % e de turbidez de 95,8 %, sendo estes os melhores resultados obtidos.

No entanto buscou-se realizar ensaios diminuindo os intervalos dos melhores resultados obtidos, buscando a concentração ótima de moringa para a água bruta utilizada.

No primeiro ensaio foram utilizadas as seguintes concentrações de moringa: 200 ppm, 210 ppm, 220 ppm, 230 ppm, 240 ppm e 250 ppm, e dosagens de 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal[®]. Os resultados destes ensaios são apresentados nas Figuras 14 e 15, sendo o tempo 0 (zero) o início da sedimentação.

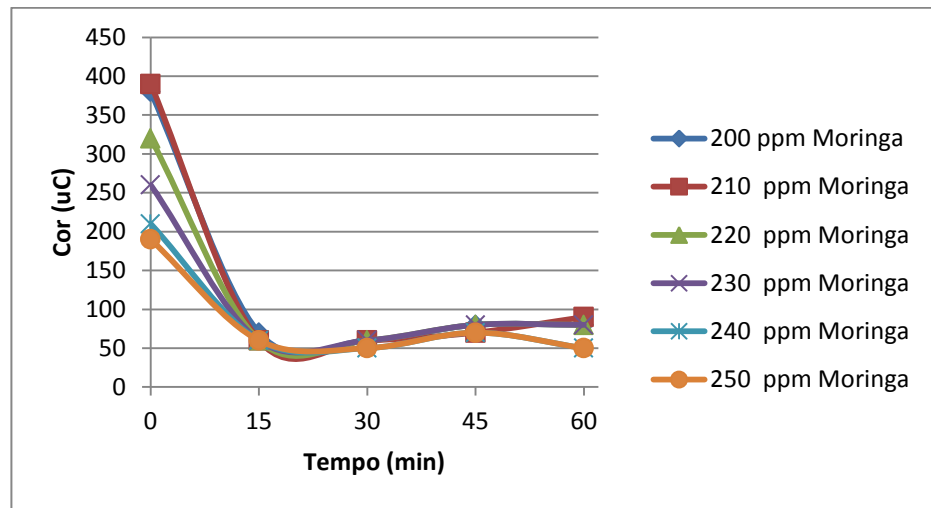


Figura 14: Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de Moringa e 7 ppm de PAC, para o parâmetro cor (uC).

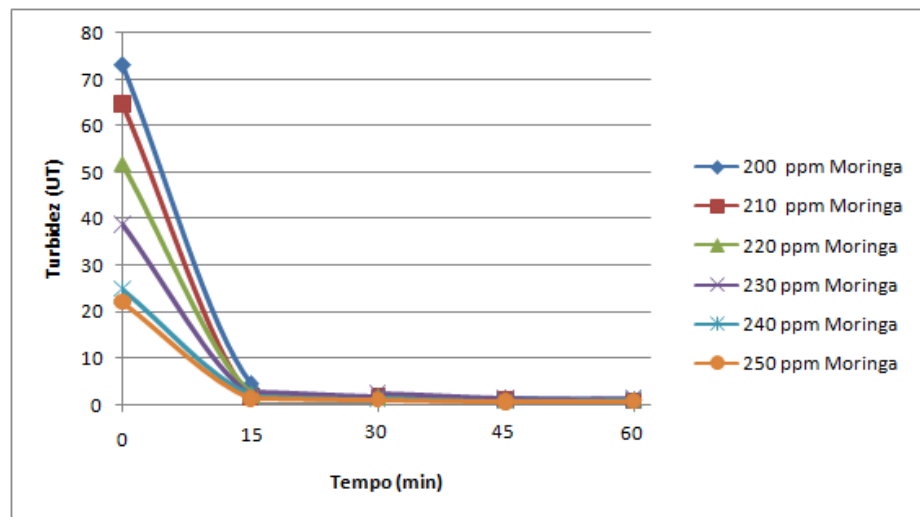


Figura 15: Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de Moringa e 7 ppm de PAC, para o parâmetro turbidez (uT).

A Tabela 6 apresenta os resultados de remoção de cor e turbidez com um tempo de sedimentação de 30 minutos por terem apresentado os melhores resultados.

Tabela 6 – Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa e 7 ppm de PAC

Concentração de moringa (ppm)	Remoção de cor (%)	Remoção de turbidez (%)
200	80	95,5
210	80	95
220	80	95,2
230	80	93,3
240	83,3	96,1
250	83,3	97,1

Conforme a Tabela 6 nota-se que o melhor resultado de remoção de cor foi 83,3% e de turbidez de 97,1% com a utilização 250 ppm de moringa.

O segundo ensaio foi realizado com as concentrações de 300 ppm, 320 ppm, 340 ppm, 360 ppm, 380 ppm e 400 ppm de moringa e dosagens de 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal[®], cujos resultados são apresentados nas Figuras 16 e 17, sendo o tempo 0 (zero) o início da sedimentação.

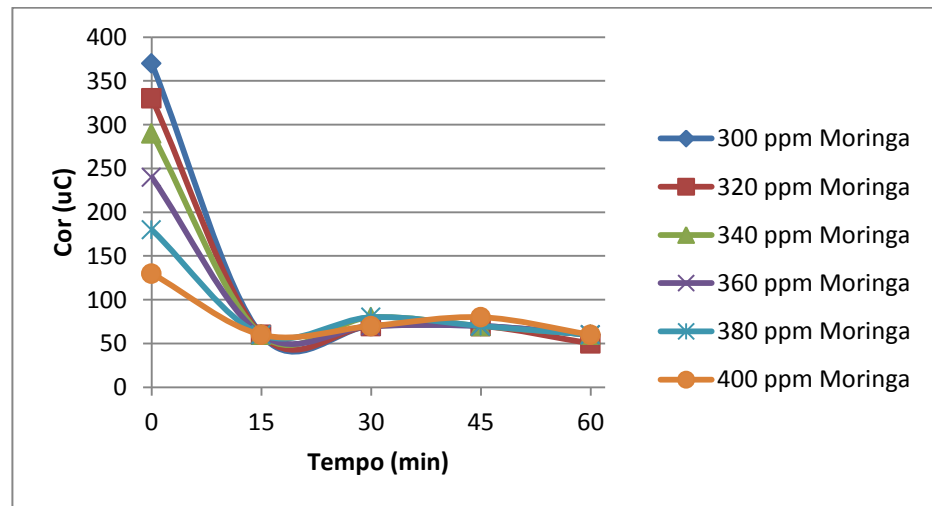


Figura 16: Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro cor (uC).

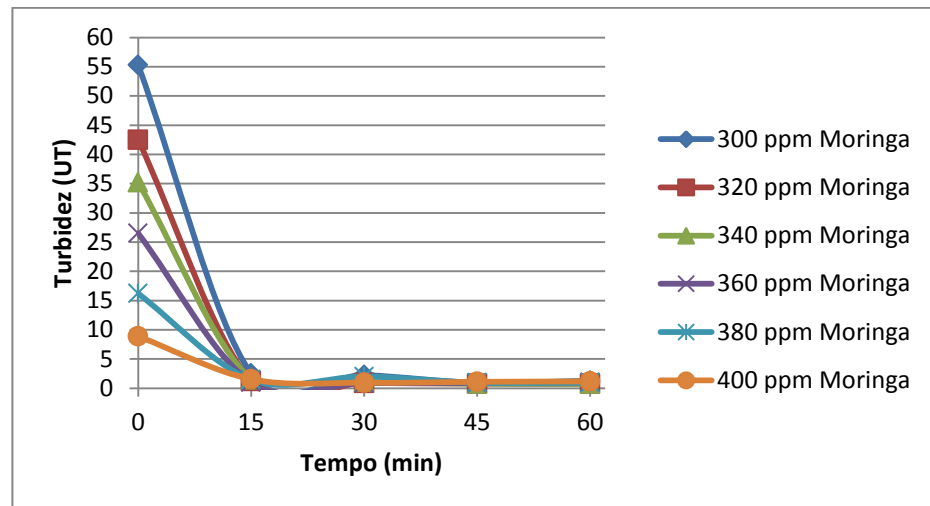


Figura 17: Resultados do ensaio buscando a concentração ideal de moringa, para o parâmetro turbidez (uT).

A Tabela 7 apresenta os resultados de remoção de cor e turbidez com um tempo de sedimentação de 30 minutos, pois apresentaram os melhores resultados.

Tabela 7 – Resultados de remoção de cor e turbidez, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa e 7 ppm de PAC

Concentração de moringa (ppm)	Remoção de cor (%)	Remoção de turbidez (%)
300	76,6	93,3
320	76,6	97,3
340	73,3	96,8
360	76,6	97,3
380	73,3	94,1
400	76,6	97,2

Conforme a Tabela 7 nota-se que os melhores resultados de remoção de cor foi de 76,6% e de turbidez de 97,3% com a utilização 320 e 360 ppm de moringa.

Nota-se que os ensaios utilizando sulfato de alumínio e moringa, a remoção de cor e turbidez variaram entre 20% a 25%, enquanto para os ensaios com o PAC e moringa a remoção de cor e turbidez variam de 75% a 98% respectivamente. Portanto a associação de PAC e moringa é mais eficiente na remoção de cor e turbidez.

Com base nos resultados obtidos, as concentrações de 250 ppm, 320 ppm e 360 ppm de moringa apresentaram as melhores taxas de remoção de cor e turbidez. Com isso, para estas três concentrações foi realizada uma nova coleta na ETA e foram

realizadas análises físico-químicas e microbiológicas 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.

Amostra	Água Bruta	250 ppm de moringa	320 ppm de moringa	360 ppm de moringa	VMP
Parâmetro					
Nitrito (mg/L)	0,035	0,008	0,004	0,008	1
Nitrato (mg/L)	1,3	1,4	2,0	1,7	10
Amoniacal (mg/L)	0,19	0,2	0,28	0,27	-
Fosfato (mg/L)	11,5	7,8	7,5	3,4	-
Acidez (mg/L)	13	19	9	10	-
Alcalinidade (mg/L)	15	16	26	16	-
Sólidos Totais (mg/L)	0,196	0,037	0,04	0,055	1000
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	0,032	0,014	0,016	0,006	-
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	0,092	0,004	0,012	0,004	-
Sólidos Totais Suspensos (mg/L)	0,036	0,012	0,006	0,024	-
Sólidos Suspensos fixos (mg/L)	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)	128	0	0	0	Ausência em 100 mL ^{***}
<i>E. coli</i> (UFC/mL)	12	0	0	0	Ausência em 100 mL ^{***}

* Valor máximo permitido- Portaria 2.914/2011 Ministério da Saúde.

** Unidade de medida diferente

*** Na saída do tratamento

De acordo com a Tabela 8, nota-se que a utilização da moringa como auxiliar de coagulação, apresentou bons resultados na remoção de coliformes totais e *E. coli*, pois ambos se tornaram ausentes após o tratamento da água. Observa-se também que houve uma diminuição significativa em todas as análises de sólidos totais e sólidos suspensos.

5.3 Resultados dos Ensaio com os Filtros

Para os ensaios com os filtros, foi preciso fazer novamente a escolha de novas concentrações de PAC e moringa, por indisponibilidade de água para dar sequência aos ensaios.

No início dos ensaios, foram analisadas as características da água bruta coletada na ETA, cujos resultados obtidos conforme descritos na Tabela 9:

Tabela 9 – Resultados das características da água bruta.

Parâmetros analisados	Valores obtidos
Cor aparente (uC)	320
Turbidez (uT)	37,6 uT
pH	6,75
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ /L)	16
Acidez Total mg (CaCO ₃ /L)	5
Fósforo (mg/L)	11,9
Nitrato (mg/L)	2,2
Nitrito (mg/L)	0,011
Sólidos Totais (mg/L)	228
Sólidos Fixos (mg/L)	92
Sólidos Voláteis (mg/L)	100
Sólidos Suspensos (mg/L)	18
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	14
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	4
<i>E. coli</i> (UFC/mL)	0
Coliformes totais (UFC/mL)	6

5.3.1 Escolha da concentração ótima do coagulante

Inicialmente foi realizado um ensaio para escolha das concentrações ideais de PAC, utilizando as seguintes concentrações do coagulante químico: 7 ppm, 9 ppm, 11 ppm, 13 ppm, 15 ppm e 17 ppm, sendo que a concentração utilizada na ETA foi de 13 ppm. A concentração de geocal[®] utilizada foi de 5 ppm em todos os jarros.

Os resultados de cor e turbidez para a água tratada estão apresentados nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

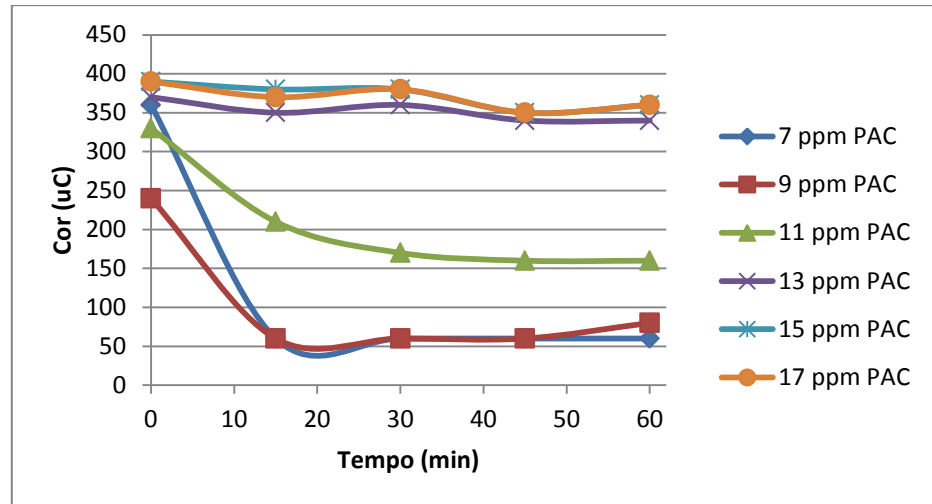


Figura 18: Cor remanescente durante os ensaios realizados para escolha da concentração ótima de PAC

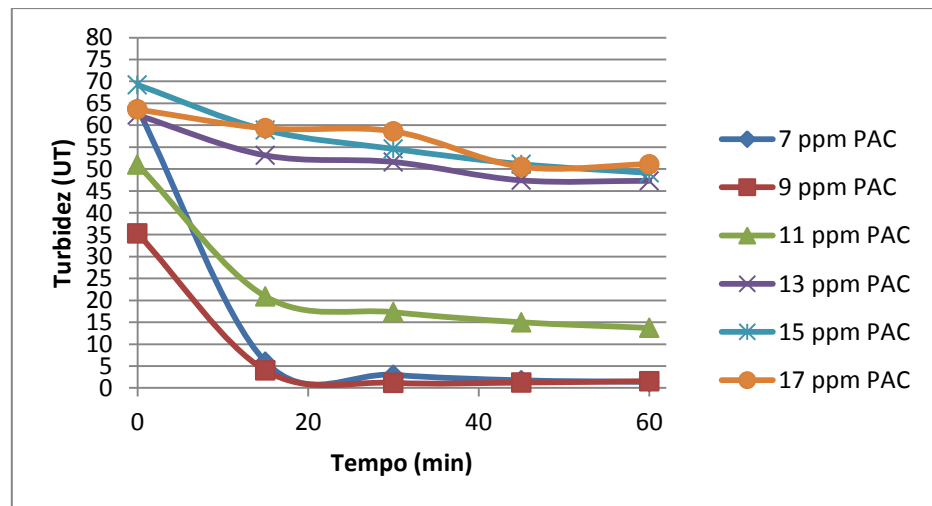


Figura 19: Turbidez remanescente durante os ensaios realizados para Escolha da concentração ótima de PAC

Segundo os resultados obtidos neste ensaio (Figuras 18 e 19), sendo o tempo 0 (zero) o início da sedimentação, observa-se que os valores mais baixos de turbidez e cor aparente na água tratada foram obtidos com as concentrações de 7 ppm, 9 ppm e 11 de PAC, pois ao longo do tempo de sedimentação, estes parâmetros foram reduzidos consideravelmente nestas concentrações. Assim, foi utilizada a concentração de 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal®.

5.3.2 Uso da moringa como auxiliar de coagulação

Os resultados de cor e turbidez obtidos no ensaio realizado com as concentrações de 7 ppm de PAC, 5 ppm de geocal[®] e 0, 50, 100, 150, 200 e 250 ppm de moringa, podem ser verificados, respectivamente, nas Figuras 20 e 21, sendo o tempo 0 (zero) o início da sedimentação.

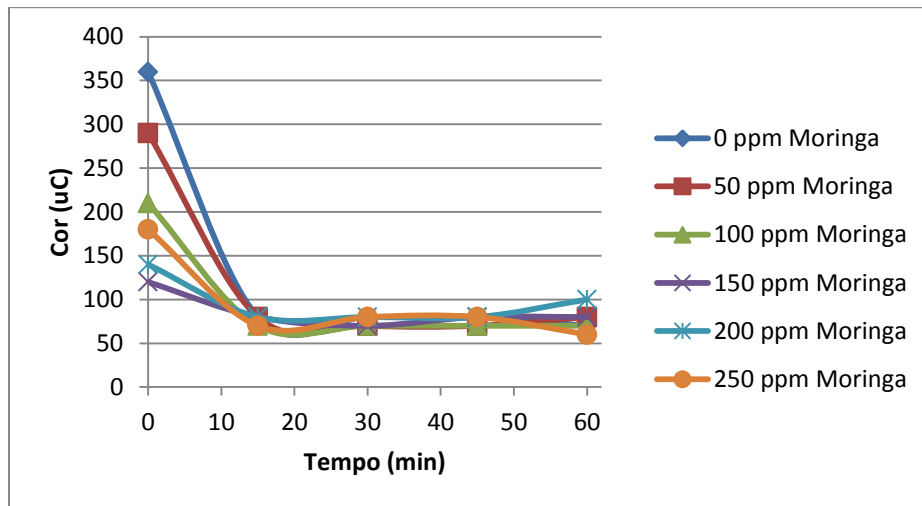


Figura 20: Cor aparente durante os ensaios com concentração de 7 ppm de PAC utilizando a moringa como auxiliar de coagulação

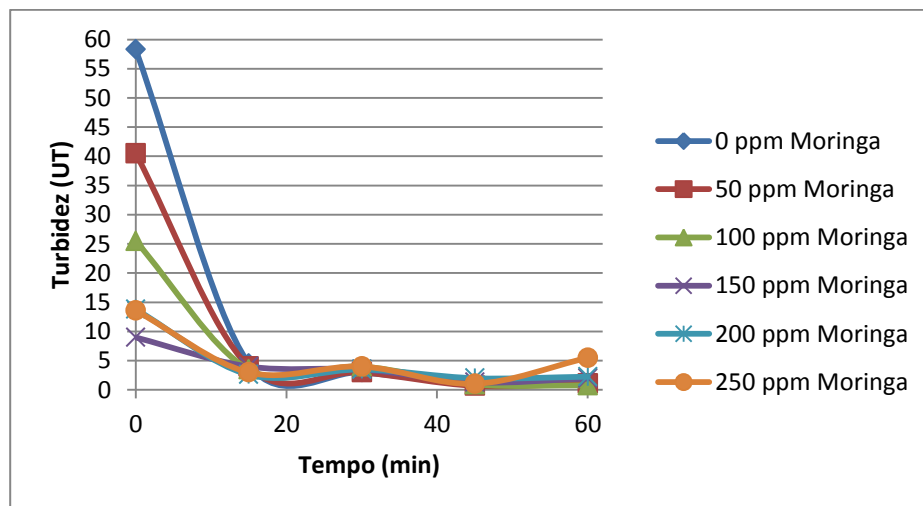


Figura 21: Turbidez remanescente durante os ensaios com concentração de 7 ppm de PAC utilizando a moringa como auxiliar de coagulação

A partir das Figuras 20 e 21, observou-se que os melhores resultados foram obtidos no tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com as concentrações de 100 e 150 ppm de moringa, como demonstra a Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados de remoção turbidez e cor aparente, com tempo de sedimentação igual a 30 minutos, com diferentes concentrações de moringa.

Concentração de Moringa (ppm)	Remoção de Cor (%)	Remoção de Turbidez (%)
0	75	97,15
50	78,12	97,55
100	78,12	98,00
150	78,12	97,81
200	75	97,10
250	75	94,38

Após a análise dos melhores resultados, de acordo com a Tabela 10, as concentrações de 100 ppm e 150 ppm, apresentaram os melhores resultados, em relação em remoção de cor e turbidez. Nota-se que com 100 ppm de moringa a remoção de cor foi de 78,12% e de turbidez 98%. Já com 150 ppm de moringa a remoção de cor foi de 78,12% e de 97,81% de turbidez. Com esses resultados foi realizado o teste com os filtros.

5.3.3 Filtração em leitos de carvão ativado

Inicialmente foi testado o filtro de carvão ativado, com as concentrações de 100 ppm e 150 ppm de moringa, 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal[®], e um tempo de sedimentação de 60 minutos. Os resultados de cor, turbidez e tempo de filtração estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados obtidos para o filtro de carvão ativado

	Turbidez Sedimentado (uT)	Turbidez Filtrado (uT)	Cor Sedimentado (uC)	Cor Filtrado (uC)	Tempo de filtração
100 ppm de Moringa e 7ppm de PAC	3,9	1,77	140	130	4 min e 12 s
150 ppm de Moringa e 7 ppm de PAC	3,16	6,68	130	140	4 min e 26 s

Observa-se que com 100 ppm de moringa, a água filtrada apresentou uma pequena redução nos valores de turbidez e cor em comparação com a água sedimentada. Já com a utilização de 150 ppm de moringa, os valores de cor e turbidez aumentaram, provavelmente devido ao arraste de partículas finas de carvão para a água, pois as características do material podem mudar por ser de origem vegetal, tornando inviável a utilização desse parâmetro neste filtro.

O segundo filtro testado foi o filtro com a casca da moringa seguida de carvão ativado com as concentrações de 100 ppm e 150 ppm de moringa, 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal[®], e um tempo de sedimentação de 60 minutos. Os resultados de cor, turbidez e tempo de filtração estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados obtidos para o filtro de casca de moringa seguida de carvão ativado

	Turbidez Sedimentado (uT)	Turbidez Filtrado (uT)	Cor Sedimentado (uC)	Cor Filtrado (uC)	Tempo de filtração
100 ppm de Moringa e 7ppm de PAC	5,36	5,83	150	150	4 min e 28 s
150 ppm de Moringa e 7 ppm de PAC	3,42	7,13	160	150	4 min e 27 s

Observa-se que a turbidez da água aumentou após a filtração. Este aumento pode ter acontecido devido ao arraste de substâncias lipídicas da casca de moringa para a água, conforme pôde ser observado visualmente durante o ensaio. Já a remoção de cor aparente apresentou uma pequena diminuição apenas quando utilizada a concentração de 150 ppm de moringa nos ensaios.

O terceiro filtro testado foi o de areia seguido de carvão ativado com as concentrações de 100 ppm e 150 ppm de moringa, 7 ppm de PAC e 5 ppm de geocal[®], e um tempo de sedimentação de 60 minutos. Os resultados de cor, turbidez e tempo de filtração estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados obtidos para o filtro de areia seguido de carvão ativado

	Turbidez Sedimentado (uT)	Turbidez Filtrado (uT)	Cor Sedimentado (uC)	Cor Filtrado (uC)	Tempo de filtração
100 ppm de Moringa e 7ppm de PAC	5,59	4,74	150	150	3 min e 45 s
150 ppm de Moringa e 7 ppm de PAC	2,59	17,8	140	230	3 min e 32 s

Observou-se que, utilizando 100 ppm de moringa, houve redução na turbidez de 5,59 uT para 4,74 uT. No entanto, a cor permaneceu com o mesmo valor observado para a água sedimentada. Já com 150 ppm de moringa, foi observado um aumento significativo nos valores de turbidez e da cor, provavelmente devido ao arraste de partículas finas de carvão para a água, tornando inviável a utilização desta concentração.

Segundo a portaria 2.914/2011 (BRASIL, 2011) a turbidez deve apresentar o valor de 1 uT após a filtração lenta para poder ser destinada ao consumo humano. Com os resultados obtidos nota-se que no filtro de areia seguido com carvão ativado, apresentou o melhor resultado de turbidez, igual a 2,59 uT, mas esse valor é superior ao permitido na legislação.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os dados apresentados, é possível verificar que a *Moringa oleifera* Lam é um polímero natural que pode ser utilizado como auxiliar de coagulação nas condições experimentais que foram analisadas, pois foram obtidos bons resultados na remoção de coliformes totais e *E. coli*, na combinação do PAC com a moringa, pois ambos se tornaram ausentes após o tratamento da água.

Verificou-se também que houve uma redução significativa em todas as análises de sólidos totais e sólidos suspensos, o que pode aumentar a vida útil dos filtros em uma ETA.

Além disto, o uso deste coagulante natural como auxiliar de coagulação, contribuiu para a diminuição do coagulante químico (PAC) que geralmente é empregado no tratamento de água, comprovando que uma pequena quantidade de solução padrão de moringa adicionada ao processo diminuiu o consumo de coagulante químico.

No processo de filtração os resultados não foram satisfatórios, pois os valores encontrados estão em desacordo com a Portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde, que descreve os valores referentes a água que pode ser destinada ao consumo humano. Por isso devem-se realizar mais estudos desse processo.

Contudo, podem ser testados outros tipos de filtros, como por exemplo o carvão ativado e a areia com granulometrias e alturas diferenciadas ou até mesmo testar o carvão antracito, que é largamente utilizado nas ETA's.

REFERÊNCIAS

ABREU LIMA, Guilherme J., 2007, **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Brasil.

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

Arboleda, J. **Teoría y práctica de la purificación del agua**. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL).1993.

AZEVEDO NETTO, José M. de; BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Manual de saneamento de cidades e edificações**. São Paulo: Pini, 1991. 229 p.

BATALHA, B. H. L., 2006, **Água Potável: o Imperativo da Atualização**. Disponível em: <http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/agua_potavel.htm>. Acesso em 19 de setembro de 2006.

BORBA, L., 2001, **Viabilidade do uso da moringa oleífera lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. Dissertação de M.Sc., Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

CÁCERES, A.; CABRERA, O.; MORALES, O.; MOLLINEDO, P.; MENDIA, P. Pharmacological properties of *Moringa oleifera*. 1: Preliminary screening for antimicrobial activity. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 33, p. 213-216, 1991.

CARDOSO, Karina C., 2007, **Estudo do processo de coagulação/floculação por meio da *Moringa oleifera* Lam para obtenção de água potável**. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, Paraná, Brasil.

CYSNE, J.R.B.. **Propagação in vitro de moringa oleifera I.** Fortaleza – CE: UFC, 2006. Dissertação (Pós-graduação em Fitotecnia). Universidade Federal do Ceará. 2006.

CRINI, G., 2006, “**Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review**”, *Bioresource Technology*, v. 97, pp. 1061-1085.

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, L., DANTAS, A. D. B., 2005, **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2ª ed. v. 1. São Carlos, Rima.

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

HENRIQUES, J.A.. **Potencial de uso da moringa oleifera Lamarck na clarificação de água para abastecimento em comunidades difusas da mesorregião agreste paraibana.** Campina Grande – PB: UEP, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual da Paraíba. 2012.

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

HETRICK, J., PARKER, R., PISIGAN, R., THURMAN, N., 2000, **Progress report on estimating pesticide concentrations in drinking water and assessing water treatment effects on pesticides removal and transformation: a consultation,** Briefing document for a presentation to the FIFRA Scientific advisory panel.

JAHN, S. A. A. **Traditional water purification in tropical developing countries: Existing Methods and Potential Application.** Eschborn, Germany Agency for Technical Cooperation, GTZ, 1981.

KIRCHMER, C., ARBOLEDA, J., CASTRO, M., 1975, **Polimeros Naturales y su Aplicación como Ayudantes de Floculación,** Cepis, Série documentos técnicos 2, Lima, Peru.

LETTERMAN, R.D. Water quality & treatment: **a handbook of community water supplies**. New York: American Water Works Association and McGraw-Hill, 1990. p. 781-867.

LORENZI, H., MATOS, F. J. **Plantas medicinais no brasil – nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, p. 346-347, 2002.

MATILAINEN, A., VIENO, N., TUHKANEN, T., 2006 “**Efficiency of the activated carbon filtration in the natural organic matter removal**”, Environmental International, v. 32, pp. 324-331.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS), Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da União**.

MORAES, L. C. K, 2004, **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**. Dissertação de M.Sc., Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, Paraná, Brasil.

NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S., 1998, “**Quality of water treated by coagulation using moringa oleifera seeds**”, WATER RESEARCH, v. 32, n. 3, pp. 781-791.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **Relatório Mundial de Saúde, Banco de Dados**. Genebra: Organização Mundial de Saúde.1999.

PEREIRA, F.D., SANTANA, R.C. CAVALCANTI, B.E., 2009, **Utilização da casca da semente de Moringa oleifera Lam como meio filtrante**. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

RICHTER, Carlos A., AZEVEDO NETTO, José M. de., **Tratamento de água**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2005.

RICHTER, Carlos A., AZEVEDO NETTO, José M. de., **Água métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2011.

SILVA, C. A., 2005, **Estudos aplicados ao uso da *moringa oleifera* como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas**. Dissertação de M.Sc., Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

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

TREVISAN, A. P. Monitoramento da qualidade de água e visando a reabilitação do curso superior do rio km 119. 2009. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, Campo Mourão, 2009. In: FREITAS, M. A. V.; SANTOS, A.H.M. **O estudo das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos**. Brasília: ANEEL/MME/MMA-SRH/OMMM, 1999.p.13-16.