

## I-046 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO UTILIZANDO *Moringa oleifera* SEGUIDO DE FILTRAÇÃO EM CARVÃO ATIVADO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

**Vinicius Masquetti da Conceição<sup>(1)</sup>**

Tecnólogo em Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Maringá - UEM. Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Curitiba/PR, Departamento de Química e Biologia - DAQBI.

**Fátima de Jesus Bassetti<sup>(2)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Ciências de Alimentos pela Universidade Estadual de Londrina – UEL. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Professora adjunta do Departamento de Química e Biologia - DAQBI, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus de Curitiba/PR.

**Rosângela Bergamasco<sup>(3)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Ciências de Alimentos pela Universidade Estadual de Londrina – UEL. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Pós-doutorado em Engenharia Química pela Université Laval - Québec. Professora adjunta do Departamento de Engenharia Química - DEQ, Universidade Estadual de Maringá - UEM.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 4900 - Bloco C - Ecoville - Curitiba/PR - CEP 81280-340 - Brasil. - Tel: (41) 3373 0832 - e-mail: [viniciusmasquetti@hotmail.com](mailto:viniciusmasquetti@hotmail.com)

### RESUMO

Esse estudo teve como objetivo verificar a eficiência de extratos de semente de *Moringa oleifera* (MO) como coagulante natural no tratamento de águas superficiais com baixa turbidez seguido da filtração com carvão ativado. Foram realizados testes de filtração com o carvão ativado puro e associado ao processo de coagulação/flocação com o coagulante natural em diferentes concentrações. O processo de filtração foi realizado em uma coluna preenchida com carvão ativado com granulometria média de 2 mm. As concentrações da solução coagulante investigada foram de 15, 25, 35, 50, 75 e 150 mg/L. Os ensaios de coagulação/flocação foram realizados em Jar test nas seguintes condições: gradiente de mistura rápida (GMR) de 100 rpm, tempo de coagulação (TC) de 3 min, gradiente de mistura lenta (GML) de 10 rpm, tempo de flocação (TF) de 15 min e tempo de sedimentação (TS) de 30 min. Os parâmetros cor, turbidez e pH foram analisados antes e após os processos de tratamento da água. A filtração com carvão ativado mostrou-se como uma excelente alternativa de remoção de cor e turbidez da água após o processo de coagulação/flocação com a MO, obtendo-se valores de remoção da ordem de 100 %. O procedimento é simples, de baixo custo, podendo representar uma alternativa viável ao tratamento de água, que apresente cor e turbidez encontrase acima dos padrões estabelecidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água Superficial, Coagulação/flocação, Carvão Ativado, Água Superficial, *Moringa oleifera*.

### INTRODUÇÃO

A água proveniente de mananciais superficiais, destinada ao abastecimento público, necessita ser adequadamente tratada para a remoção de diversos compostos e substâncias indesejáveis, principalmente no que se refere a sua qualidade microbiológica e ao seu aspecto visual (cor e turbidez) para o seu adequado consumo.

A maioria das impurezas coloidais presentes na água constitui-se de cargas negativas tornando assim os coagulantes catiônicos uma alternativa viável ao tratamento de água para o abastecimento.

O processo convencional de coagulação seguido por flocação é uma alternativa que apresenta boa eficiência na remoção de diversos compostos presentes nas águas de abastecimento. A finalidade da coagulação e flocação é transformar as impurezas que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução,

bactérias, protozoários ou plâncton, em partículas maiores (flocos) para que possam ser removidas por sedimentação e/ou filtração ou, em alguns casos, por flotação (NISHI, 2010).

Entre os principais agentes coagulantes utilizados atualmente nas estações de tratamento de águas (ETAs) estão o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico, policloreto de alumínio, polímeros catiônicos, entre outros.

No entanto, tem-se verificado nos últimos anos, a busca por coagulantes naturais com características próximas aos produtos químicos empregados no processo de coagulação/flocação para o tratamento de água e efluentes.

Os coagulantes naturais apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos, pois são biodegradáveis, não tóxicos e ainda produzem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais quando comparados aos coagulantes químicos (MADRONA et al., 2010).

Diversos trabalhos na literatura têm relato o emprego de sementes da MO como coagulante natural alternativo para clarificação de águas. A *Moringa oleifera* é uma espécie perene, da família *Moringaceae*, originária do nordeste Indiano, amplamente distribuída na Índia, Egito, Filipinas, Ceilão, Tailândia, Malásia, Burma, Paquistão, Singapura, Jamaica e Nigéria. Ela cresce em regiões desde as subtropicais secas e úmidas, até tropicais secas e florestas úmidas (GALLÃO, 2006).

As sementes de *Moringa* possuem uma proteína que, quando solubilizada em água, é capaz de promover a coagulação e flocação de compostos que promovem a cor e turbidez de águas altamente turvas. Vários estudos têm demonstrado também sua efetiva capacidade antimicrobiana, contribuindo dessa forma para uma água de boa qualidade a um baixo custo (BERGAMASCO et al., 2010).

Segundo NDABIGENGESERE e NARASIAH (1996), as sementes de MO são uma alternativa viável de agente coagulante em substituição aos sais de alumínio, utilizados no tratamento de água. Comparada com o alumínio, essas sementes não alteram significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento e não causam problemas de corrosão.

Quando se utiliza as sementes de *Moringa oleifera* Lam no tratamento de água, além da remoção de cor e turbidez, também ocorre grande remoção de bactérias, acima de 90% (CARDOSO, 2007), contribuindo para a produção de uma água de boa qualidade.

Um dos problemas frequentes encontrados após as etapas de coagulação/flocação com a utilização deste coagulante em águas de baixa cor e turbidez é, a produção de uma água com alta cor e turbidez, tornando necessária a adoção de uma etapa de pós-tratamento para a remoção dos sólidos remanescentes. Na maioria dos casos uma posterior filtração com carvão ativado, areia ou pedregulho, entre outros, já é suficiente para a remoção destes sólidos.

A adoção dos processos de coagulação/flocação/sedimentação na sua grande maioria, não é totalmente suficiente para se produzir uma água clarificada e que atenda os parâmetros de qualidade estabelecidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, sendo necessária a utilização de uma etapa posterior de tratamento, como a filtração.

A filtração consiste na passagem da água por um meio poroso (filtrante) que deve ser capaz de reter os flocos que não sedimentaram, e eventualmente também alguns microrganismos: esta corresponde a uma operação de polimento para a qualidade da água. Desta forma, verifica-se a alteração das características da água tanto pela simples ação mecânica de retenção caso o meio filtrante seja um papel de filtro, como também sedimentação de partículas sobre o meio poroso como, por exemplo, os grãos de areia que desta forma também aumenta a possibilidade de agregação das partículas remanescentes na massa líquida (RAMOS, 2005).

De acordo com DI BERNARDO (1993), a retenção de impurezas é considerada como sendo o resultado de dois mecanismos distintos, porém complementares: transporte e aderência. A princípio, as partículas devem se aproximar das superfícies dos grãos e, posteriormente, permanecer aderida de modo a resistir às forças de cisalhamento resultantes das características hidrodinâmicas do escoamento. A importância da filtração no

tratamento de água consiste no fato de que esta é a última etapa de clarificação que garante a qualidade adequada da água.

Entre os principais materiais filtrantes empregados no tratamento da água estão, os filtros de areia, pedregulho, antracito, granada, carvão ativado, entre outros, sendo em muitos casos, utiliza-se a associação de dois ou mais materiais como meio filtrante para a obtenção de melhores eficiências no tratamento, como na remoção de cor, turbidez e microrganismos.

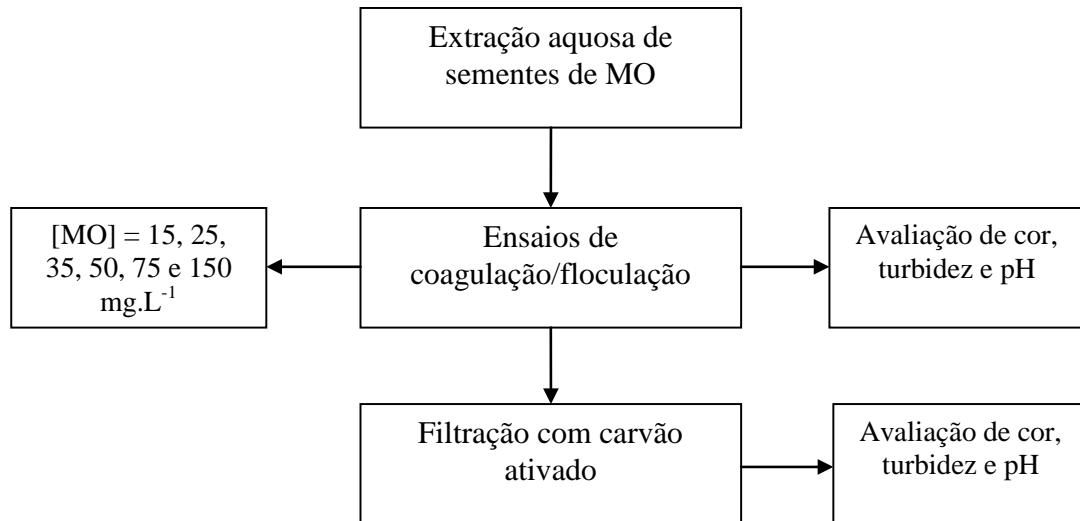
A filtração é um processo imprescindível para a produção contínua e segura de água potável, e pode ser classificada como sendo rápida ou lenta, dependendo da taxa de filtração aplicada. Para o uso eficiente da filtração rápida, é necessário o pré-tratamento da água bruta com coagulação química, podendo ou não haver a flocação e decantação ou flotação, dependendo da qualidade da água a ser tratada. Como na filtração lenta não é utilizada a coagulação química, a água a ser filtrada deve possuir características apropriadas, pois caso contrário o processo torna-se ineficaz. Por isso, na atualidade, a filtração lenta tem sido precedida por unidades de pré-tratamento, geralmente constituídas por pré-filtro de pedregulho (DI BERNARDO, 1993).

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo verificar a eficiência de remoção dos parâmetros cor e turbidez em águas superficiais destinadas ao abastecimento público pelo processo de coagulação/flocação utilizando-se extratos de semente da MO como coagulante natural em diferentes concentrações, seguido de filtração em uma coluna de carvão ativado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de água bruta superficial utilizadas neste estudo foram provenientes do rio Pirapó e foram cedidas pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) do município de Maringá/PR. Os ensaios de coagulação/flocação foram realizados em equipamento “jar test”, a fim de avaliar a remoção dos parâmetros cor e turbidez utilizando-se extrato filtrado de sementes da MO como agente coagulante alternativo em diferentes concentrações.

A Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia empregada neste trabalho para o tratamento de água bruta superficial de baixa turbidez.



**Figura 1 - Fluxograma da metodologia empregada no estudo.**

Foram utilizadas sementes de Moringa oleifera Lam provenientes do Campus da Universidade Federal de Sergipe (UFS), da cidade de Aracaju/SE e da fazenda experimental da Universidade Estadual de Maringá (UEM), em Maringá/PR.

A solução coagulante de MO, foi preparada e utilizada no mesmo dia. Foram pesados 1 g de sementes descascadas que foram triturados e adicionados a 100 mL de água destilada, obtendo-se uma concentração de 1 % (10 g/L). Posteriormente, a solução foi agitada durante 30 min e filtrada à vácuo. As concentrações de solução coagulante investigada foram de 15, 25, 35, 50, 75 e 150 mg/L.

Os ensaios de coagulação/flocação consistiram em submeter 200 mL de amostras de água bruta superficial em um bêquer para cada concentração do coagulante investigada. As condições operacionais do processo foram: gradiente de mistura rápida (GMR) de 100 rpm, tempo de coagulação (TC) de 3 min, gradiente de mistura lenta (GML), 10 rpm, tempo de flocação (TF) de 15 min e tempo de sedimentação (TS) de 30 min (MADRONA, 2010).

Posteriormente aos ensaios de coagulação/flocação as amostras de água já tratadas foram submetidas a passagem em uma coluna de filtração preenchida com carvão ativado. A coluna consistiu de uma bureta de vidro de 25 mL, preenchida com 70 g de carvão ativado comercial com granulometria de aproximadamente 2 mm. O carvão ativado foi submetido antes dos ensaios à secagem em estufa, por um período de 8 horas a uma temperatura de 80 °C.

Foram realizados também, ensaios com a passagem da água bruta superficial sem tratamento pela coluna de carvão ativado. Como não houve resultados significativos na remoção de cor e turbidez, estes resultados foram descartados, não sendo apresentados neste trabalho.

Antes e após os ensaios de coagulação/flocação e filtração em carvão ativado foram realizadas leituras de pH, cor e turbidez em cada amostra, para posterior estimativa da eficiência do processo estudado.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **3.1 Caracterização da água bruta**

A Tabela 1 apresenta a caracterização da água bruta superficial utilizada nos ensaios de coagulação/flocação em equipamento “jar test”.

**Tabela1.** Características da água superficial bruta utilizada nos ensaios de “jar test”.

Parâmetro	Unidade	Valores Médios	Portaria nº 2.914/2011 MS (VMP)
Cor aparente	mg Pt-Co	91	15
Turbidez	NTU	17	5
pH	-	7,75 - 7,95	6,5 a 9,5

\* VMP (Valor máximo permitido)

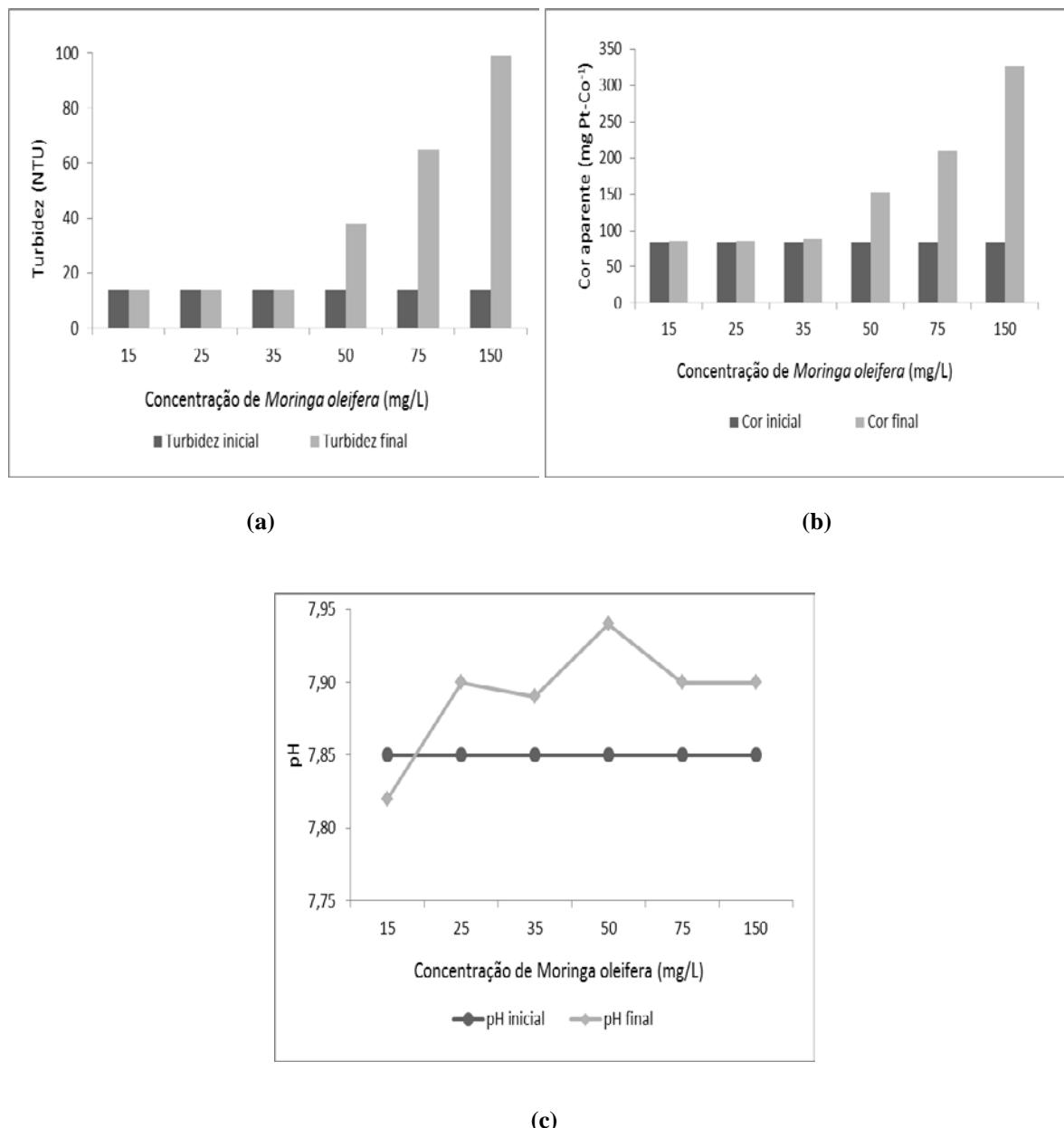
Pode-se observar a partir dos valores constantes na Tabela 1 que, as amostras de água bruta superficial apresentaram valores de cor e turbidez relativamente baixos (91 mg Pt-Co e 17 NTU, respectivamente), diferente do que é encontrado em muitos trabalhos na literatura que estudam as propriedades coagulantes da MO utilizando uma água com elevados valores desses parâmetros.

Esses baixos valores de cor e turbidez da água de abastecimento são os valores que a água comumente apresenta na ETA do estudo. Água com cor e turbidez elevadas somente ocorrem após longos períodos chuvosos, assim é necessário um processo para água que apresente cor e turbidez baixas, o que justifica a realização desse trabalho, a necessidade de um processo que possa ser usado rotineiramente e não apenas em determinados períodos.

Após a caracterização inicial da água, foram realizados testes de filtração com a água bruta pela coluna de carvão ativado para verificação da remoção de cor e turbidez sendo que, não se obteve resultados satisfatórios, procedendo então aos ensaios de coagulação/flocação com a utilização do extrato filtrado de sementes de MO, seguido de filtração em coluna de carvão ativado.

### 3.2 Ensaios de coagulação/flocação

A Figura 2 apresenta os valores encontrados para cor aparente, turbidez e pH antes e após os ensaios de coagulação/flocação e sedimentação utilizando extrato filtrado de sementes de MO, nas concentrações de 15, 25, 35, 50, 75 e 150 mg/L, respectivamente.



**Figura 2.** Valores de turbidez (a), cor aparente (b) e pH (c) antes e após o processo de coagulação/flocação com extrato filtrado de sementes de MO.

Observa-se através da Figura 2a que, os valores de turbidez após os ensaios de coagulação/flocação utilizando a MO aumentaram conforme a concentração do coagulante, sendo que, para as concentrações de 15, 25 e 35 mg/L não houve nenhuma alteração nos valores de turbidez. Já para as concentrações de 50, 75 e 150 mg/L houve um aumento significativo nos valores de turbidez da água.

Os valores de cor aparente (Figura 2b), tiveram um ligeiro aumento para as concentrações de 15, 25 e 35 mg/L, para as demais concentrações de MO investigada (50, 75 e 150 mg/L) a cor teve um aumentou significativo chegando aos valores de 153, 210 e 327 mg Pt-Co, respectivamente, demonstrando-se que, quanto maior a concentração do coagulante utilizado, maior são os valores de cor e turbidez obtidos.

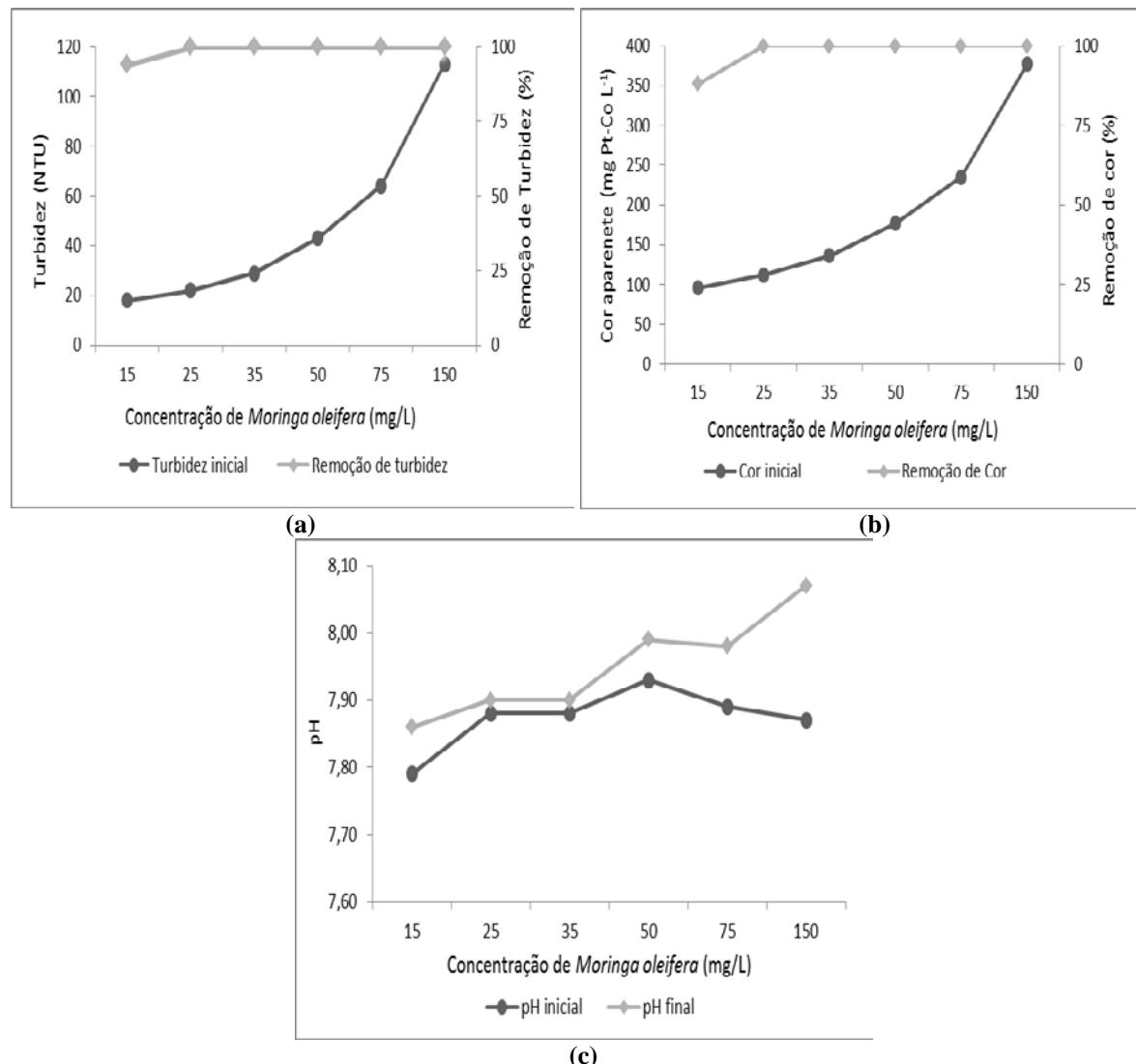
Este aumento nos parâmetros cor e turbidez, pode ser que seja decorrente do aumento de matéria orgânica proveniente do extrato da MO em águas que apresentem baixa turbidez, sendo este agente coagulante mais efetivo para águas com alta turbidez, como observado em outros trabalhos (SILVA et al., 2011).

Observou-se que mesmo após os ensaios de coagulação/flocação e sedimentação não houve alteração significativa nos valores de pH (Figura 2c), obtendo-se uma pequena variação entre 0,03 a 0,05 entre todas as concentrações de coagulante analisado, não necessitando neste caso de correção do pH final para atender a legislação.

Em decorrência do aumento dos parâmetros de cor aparente e turbidez da água, foi necessária a adoção de uma etapa de pós-tratamento da água, no presente estudo eleger-se a filtração em uma coluna composta por carvão ativado.

### **3.3 Filtração com carvão ativado após coagulação/flocação**

A Figura 3 apresenta os valores de turbidez, cor aparente e pH da água após os ensaios de coagulação/flocação com a MO e os valores de eficiência de remoção após filtração na coluna de carvão ativado para as diferentes concentrações de coagulante estudadas.



**Figura 3.** Valores de turbidez (a), cor aparente (b) e pH (c) da água antes do ensaio de filtração na coluna de carvão ativado e eficiência de remoção após os ensaios para as diferentes concentrações de MO.

Pode-se observar a partir dos dados constantes na Figura 3 que, a passagem das amostras de água pela coluna de carvão ativado após o processo de coagulação/flocação com a MO, demonstrou-se muito eficiente na redução dos parâmetros de turbidez (3a) e cor aparente (3b).

Para o parâmetro turbidez, a eficiência média de remoção para a concentração de  $15 \text{ mg.L}^{-1}$  de MO foi de 94 % obtendo uma turbidez final de 2 NTU, sendo que, para as demais concentrações de coagulante a remoção foi da ordem de 100 % (turbidez igual a 0).

Assim como a turbidez, obtiveram-se valores satisfatórios para a remoção de cor aparente da água, sendo que, o menor valor de eficiência (88 %) foi obtido para a concentração de  $15 \text{ mg/L}$  de MO, e para as demais concentrações obteve 100 % de remoção de cor aparente (cor aparente igual a 0).

Pode-se dizer que, as altas eficiências de remoção de cor e turbidez obtidos após o processo combinado de coagulação/flocação/filtração com carvão ativado, devem-se ao fato da aglutinação de partículas e posterior formação de flocos proporcionados pelo contato da água bruta com os extratos aquoso de MO, os quais formam retidos posteriormente na camada filtrante de carvão com maior facilidade.

Os valores de pH da água conforme ilustrado na Figura 3c, sofreram leve alteração após a passagem pela coluna de carvão ativado, sendo obtido o valores mínimos e máximos de 7,86 e 8,07 para as concentrações de 15 e 150 mg/L, respectivamente.

Todos os parâmetros se enquadram nos valores máximos permitidos pela Portaria nº 2.914/2011 do MS que estabelece os padrões de potabilidade da água destina ao consumo humano, demonstrando boa eficiência do processo de tratamento estudado.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de coagulação/flocação utilizando extrato filtrado de sementes de MO demonstraram significativa elevação nos parâmetros de cor e turbidez da água, sendo necessária a adoção de uma etapa de pós-tratamento. Observou-se também que, a utilização do coagulante natural não foi responsável pela alteração no pH final da água.

Os ensaios de filtração com carvão ativado mostrou-se como uma excelente alternativa de remoção de cor e turbidez da água após o processo de coagulação/flocação com a MO, obtendo-se valores de remoção da ordem de 100 %.

Todos os parâmetros se enquadram dentro dos valores máximos permitidos pela Portaria nº 2.914/2011 do MS que estabelece os padrões de potabilidade da água destina ao consumo humano, demonstrando boa eficiência do processo de tratamento estudado.

A utilização da MO como agente coagulante torna-se de fundamental importância em virtude do menor volume e toxicidade do lodo gerado e, maior biodegradabilidade deste quando comparado com os coagulantes químicos tradicionais empregados no tratamento de água.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE: Portaria nº 2.914, de 14 de dezembro de 2011, estabelece os procedimentos e as responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.
2. CARDOSO, K.C. Estudo do processo de coagulação/flocação por meio da *Moringa oleifera* Lam para obtenção de água potável. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil, 2007.
3. DI BERNARDO, L., Métodos e técnicas de tratamento de água. v.1, ABES, Rio de Janeiro, 1993.
4. GALLÃO, I.M. Avaliação química e estrutural da semente de *Moringa*. Cienc. Agron., Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.
5. MADRONA, G.S., SERPELLONI, G.B., VIEIRA, A.M.S., NISHI, L., CARDOSO, K.C., BERGAMASCO, R., 2010, Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. Water, Air and Soil Pollution. 211:409–415.
6. NISHI, L., 2010, Estudo do processo de coagulação/flocação seguido de filtração com membranas para remoção de cisto de *Giardia* e *oocistos de cryptosporidium* em águas de abastecimento. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, Paraná.
7. NDABIGENGESERE A., NARASIAH, S.K., 1996, Influence of Operating Parameters on Turbidity Removal by Coagulation with *Moringa oleifera* Seeds, Environmental Technology. 17:1103-1112.
8. RAMOS, R.O. Clarificação de água com turbidez baixa e moderada utilizando sementes de *Moringa oleifera*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Campinas – UNICAMP, 2005.
9. SILVA, G.F.; BERGAMASCO, R. ; MIRANDA, C.; SERAFINI, M.R. Potencialidades da *Moringa Oleifera* Lam. 1. ed. São Cristóvão: Polyart, 2011. v. 1. 422 p.