



**Revista Brasileira de
Engenharia Agrícola e Ambiental**
v.13, n.6, p.765–771, 2009
Campina Grande, PB, UAEA/UFCEG – <http://www.agriambi.com.br>
Protocolo 169.07 – 29/10/2007 • Aprovado em 25/03/2009

Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais

José E. S. Paterniani¹, Marcia C. Mantovani² & Marcia R. Sant'Anna²

RESUMO

Visou-se, no presente trabalho, estudar o uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de água superficiais por filtração lenta direta em mantas sintéticas não tecidas e por sedimentação simples. Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, as tecnologias para tratamento de água devem proporcionar às pessoas que habitam em regiões carentes de água potável, a possibilidade de sua clarificação, de maneira fácil, auto-sustentável e a baixo custo. Os estudos referidos no presente trabalho sugerem haver potencial de aplicação da *Moringa oleifera*. Utilizaram-se, no tratamento da água com Filtração Lenta Direta, um floculador constituído de garrafa Pet e três filtros, do mesmo material, com mantas sintéticas não tecidas, empregadas na filtração lenta, com vazão de água afluyente aos filtros de aproximadamente $4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. No processo de tratamento de água em que se avaliou a eficiência da operação de sedimentação, o floculador era de garrafas pet e um tanque de sedimentação. A água bruta empregada na realização dos experimentos foi a água sintética obtida por Bentonita, a qual apresenta características qualitativas adequadas aos ensaios.

Palavras-chave: coagulante natural, filtração lenta, sedimentação

The use of *Moringa oleifera* seeds for treatment of surface water

ABSTRACT

This research had as its main purpose the evaluation of the use of natural coagulate, obtained from *Moringa oleifera* seeds and their efficiency in the slow direct filtration and sedimentation processes for the treatment of highly turbid water. In developing countries such as Brazil, technologies for water treatment must provide the possibility of water purification in an easy, self-maintainable and low cost process, for people who live in regions characterized by shortage of drinking water. Studies so far suggest that there is a potential application of *Moringa oleifera* in the water treatment with slow direct filtration. A flocculator composed of a PET bottle and three filters composed of similar bottles with non-woven synthetic blanket were used in the slow filtration, with a discharge of affluent water to the filters of approximately $4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. In the water treatment process evaluation of the sedimentation efficiency, a flocculator composed of PET bottles and a sedimentation tank was used. The water used for these experiments was the synthetic water obtained by bentonite, which presents adequate qualitative characteristics for the analysis.

Key words: natural coagulate, slow filtration, sedimentation

¹ FEAGRI/UNICAMP, CP 6011, CEP 13083-875, Campinas, SP. Fone: (19)3521-1019. E-mail: pater@agr.unicamp.br

² CESET/UNICAMP, e-mail: marcia_mantovani@yahoo.com.br; marciasantanna@terra.com.br bolsistas de I.C. da FEAGRI/UNICAMP, CP 6011, CEP 13083-875, Campinas, SP. Fone: (19) 3521-1019

INTRODUÇÃO

A *Moringa oleifera* pertence à família Moringaceae, composta de apenas um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies conhecidas, nativa do norte da Índia, ela cresce em vários países dos trópicos; seu fruto é uma espécie de vagem com três faces (diferentes de uma vagem normal, que tem duas faces), e grande número de sementes (Bezerra et al., 2004).

Para a clarificação da água, a aplicabilidade da *Moringa oleifera* tem sido objeto de estudo de vários cientistas: Muyibi & Evison (1995a, b), Ndabigengesere et al. (1995).

Em alguns países em desenvolvimento a água dos rios utilizada, em geral, para consumo humano e uso doméstico pode, em geral, ser altamente turbida, sobretudo na estação chuvosa, contendo material sólido em suspensão, bactérias e outros microrganismos.

A cada ano, milhões de crianças poderão morrer nesses países, vítimas de infecções causadas por água contaminada; é necessário, então, que se remova a maior quantidade possível desses materiais antes de usá-la para consumo; normalmente, isto é obtido pela adição de coagulantes químicos, dentro de uma sequência de tratamento controlado. Coagulantes químicos, tais como o sulfato de alumínio, às vezes não estão disponíveis a um preço razoável para as populações dos países em desenvolvimento mas uma alternativa é o uso de coagulantes naturais, em geral de origem vegetal, para promover a coagulação de tais partículas.

A *Moringa oleifera* é uma árvore de caule grosso e alto, de até 10 metros; suas folhas são longo-pecioladas, bipinadas, folíolos obovados, cujo comprimento é de até 3 cm; da Índia, suas folhas e frutos são comestíveis e as raízes abortivas (Silva & Matos, 2008).

As descobertas recentes do uso de sementes trituradas de *Moringa oleifera* para o tratamento de água a um custo de apenas uma fração do tratamento químico convencional, constituem uma alternativa da mais alta importância. Em relação à remoção de bactérias, reduções na ordem de 90-99% tem sido relatadas na literatura (Muyibi & Evison, 1995a).

Em recentes pesquisas realizadas, Amagloh & Benang (2009) afirmam que as sementes de *Moringa oleifera* contêm proteínas com baixo peso molecular e quando seu pó é dissolvido em água adquirem carga positivas que atraem partículas negativamente carregadas tais como, argilas e siltes, formando flocos densos que sedimentam. Os autores afirmam ainda, que o coagulante à base de sementes de moringa, por ser de origem natural, possui significativa vantagem, quando comparado ao coagulante químico, sulfato de alumínio, principalmente para pequenas comunidades uma vez que pode ser preparado no próprio local.

Amaral et al. (2006) realizaram experimentos utilizando extratos de sementes de *Moringa oleifera* adicionados à água a ser desinfetada por radiação solar em garrafas PET e concluíram que mesmo para valores elevados de turbidez, da ordem de 200 a 250 NTU, foi obtida total inativação de *E. coli* após 12 h de exposição ao sol.

De acordo com Leme (1982) a floculação é um processo que visa aglutinar as partículas sólidas discretas, coaguladas por meio de um contato estabelecido entre elas e outras

existentes na água, através de agitação. As partículas sólidas se unem formando flocos de maior tamanho e mais densos (Vianna, 2002).

Os processos de filtração por meio de leitos de areia surgiram a partir da observação da pureza e limpidez das águas subterrâneas e da atribuição dessas características à sua passagem pelos poros naturais (Azevedo Netto, 1987).

Em 1804, John Gibbd desenvolve um filtro lento experimental em Paisley, Escócia, que viria a ser utilizado para purificação da água captada no rio Tâmsa, visando nada mais que a remoção de turbidez e sólidos suspensos.

Em pouco tempo, a utilização da filtração lenta como meio de purificação de água se expandiu por países da Europa e América. A filtração lenta sempre apresentou algumas limitações, dentre as quais a qualidade do afluente, cuja turbidez não deveria passar de 30 NTU. Segundo Di Bernardo et al. (1999), o emprego de unidades de pré-tratamento é fundamental para que a filtração lenta tenha maior aplicabilidade e eficiência no tratamento de águas de turbidez mais elevada.

O uso de pré-filtros precedendo a filtração lenta deu origem à tecnologia de filtração em múltiplas etapas e tornou este processo uma das tecnologias mais viáveis, principalmente para pequenas comunidades rurais; assim, novas técnicas de pré-tratamento, como sedimentação simples, usando coagulantes naturais adotadas em conjunto com a filtração lenta, podem flexibilizar ainda mais o emprego desta tecnologia.

Segundo Dalsasso & Sens (2006), a floculação prévia na filtração direta, utilizando coagulantes químicos, pode melhorar a eficiência do processo, uma vez que devido ao aumento do tamanho das partículas o desenvolvimento da perda de carga é menor para um mesmo volume de sólidos retidos, permitindo o emprego de taxas de filtração mais elevadas. Tais melhorias poderiam ser obtidas também na filtração lenta com o uso de coagulantes naturais.

Desta maneira, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a influência do uso do coagulante extraído das sementes de *Moringa oleifera* na eficiência da filtração lenta e da sedimentação na remoção de partículas sólidas em suspensão da água.

MATERIAL E MÉTODOS

A instalação piloto para a investigação experimental foi montada no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas, SP, nos meses de agosto de 2005 a junho de 2006.

Avaliou-se a eficiência do coagulante extraído das sementes da *Moringa oleifera* através de dois processos de tratamento de água: filtração lenta direta em manta não tecida e sedimentação.

Para a realização do experimento utilizou-se, como unidade de coagulação, o aparelho Jar Test, com agitação de 400 s⁻¹, por 1 minuto; após esta agitação, a água coagulada fluía por uma calha e seguia para a unidade de floculação; para esta última usou-se um floculador de leito granular de

pedregulho de fluxo ascendente, construído com garrafas PET, com altura total de 90 cm e altura do leito de pedregulho de 70 cm.

Dois flocladores de mesmas dimensões foram testados variando-se, porém, a granulometria dos pedregulhos, ou seja, um floclador com pedras menores, denominado floclador menor, com tamanho das pedras variando de 4 a 10 mm, aproximadamente, e outro com pedras maiores, denominado floclador maior, cujo tamanho das pedras variava em torno de 20 a 38 mm.

Nos ensaios de sedimentação foram realizados testes com os dois flocladores separadamente, para avaliação da eficiência de cada um e, através da comparação dos resultados obtidos, utilizou-se o floclador mais eficiente para os ensaios de filtração lenta direta nos quais, após a passagem pelo floclador, a água era direcionada para um conjunto de três filtros, coletando-se em cada um deles amostras, em tempos determinados; já nos ensaios de sedimentação e após a passagem da água pelo floclador, ela era encaminhada para um tanque de sedimentação no qual foram coletadas amostras.

Os filtros foram construídos com garrafas PET de 10 cm de diâmetro e 70 cm de altura, em que cada um possuía, como meio filtrante de 10 cm de altura, mantas sintéticas não tecidas de diferentes gramaturas, denominados Filtro 1, Filtro 2 e Filtro 3; o Filtro 1, com manta de gramatura 150 g m^{-2} ; o Filtro 2, com manta de gramatura 300 g m^{-2} e o Filtro 3, com mantas de gramatura 600 g m^{-2} . Com a finalidade de manter a taxa de filtração constante e de aproximadamente $4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se instalou, na saída de cada filtro, um registro no qual, além de se monitorar a vazão se coletavam as amostras dos efluentes, para análise.

No processo de filtração lenta direta o volume de 3 litros da água floclada era distribuído aos três filtros, simultaneamente. Os registros de saída do efluente dos filtros permaneciam fechados até que toda a água floclada fosse distribuída igualmente, aos três filtros, por meio de uma mangueira plástica até que a coluna de água floclada alcançasse o mesmo nível no interior de cada filtro garantindo, assim, a igualdade de distribuição; a partir de então, os registros eram abertos e amostras de 150 mL de cada filtro eram coletadas no início da filtração (t_0) e após 30 min (t_{30}).

Usou-se, para os ensaios de sedimentação, o mesmo procedimento de coagulação e floclação. O afluente floclado era, contudo, conduzido a um tanque de sedimentação constituído de um recipiente de plástico com capacidade de 3 L; com uma pipeta volumétrica calibrada amostras eram coletadas sempre na mesma altura do referido tanque de sedimentação em 3 diferentes intervalos de tempo: (t_0) no início da sedimentação, logo após completar o volume no sedimentador; (t_{10}) após 10 min de sedimentação e (t_{30}) após 30 min de sedimentação.

A Figura 1 mostra o esquema da instalação piloto para a realização dos ensaios experimentais.

Com a intenção de realizar os ensaios com dois valores de turbidez, a saber, 50 NTU e 100 NTU, preparou-se a água bruta utilizada no experimento a partir de uma suspensão de

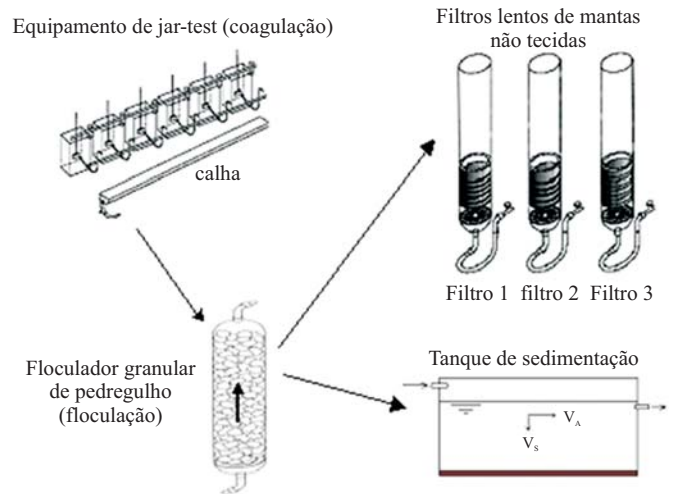


Figura 1. Esquema dos ensaios experimentais

Bentonita, a fim de se alcançar as características qualitativas desejadas e manter um padrão constante da turbidez da água, para os ensaios seguintes.

Katayon et al. (2006) testaram a eficiência do coagulante preparado com sementes recém-colhidas armazenadas sob diferentes condições e constataram que apenas o tempo de armazenamento influencia negativamente a eficácia do coagulante, e não as condições de armazenamento. Assim, a obtenção da solução coagulante, para o presente trabalho, foi preparada a partir de sementes de vagens secas e recém-colhidas de *Moringa oleifera*. Os revestimentos e as asas das sementes foram removidos e as sementes piladas, até se tornarem pó; em seguida, adicionou-se água, agitando-se para se obter a solução coagulante. Esta metodologia para a extração do coagulante a partir das sementes de *M. oleifera*, foi baseada nas metodologias apresentadas por Ndabigengesere et al. (1995) e Muyibi & Evison (1995a; e 1995b).

Utilizaram-se, com base em Ramos (2005), para ensaios com turbidez de 100 NTU as concentrações da solução coagulante de 150, 300 e 500 mg L^{-1} ; já para os ensaios com a turbidez de 50 NTU, foram usadas as concentrações de 75, 150 e 300 mg L^{-1} .

Os parâmetros qualitativos da água para avaliação da eficiência dos processos estudados, foram: Turbidez e Cor aparente, além de serem monitorados o pH, o tempo de sedimentação (nos ensaios de sedimentação simples) e a taxa de filtração (nos ensaios de filtração lenta). A eficiência dos flocladores granulares foi avaliada pela remoção da turbidez e cor aparente por sedimentação e pelos parâmetros, gradiente de velocidade e tempo de detenção, em que, com o produto dos dois se obtém, segundo Dalsasso & Sens (2006), o número de Camp que é um adimensional auxiliar no desenvolvimento de unidades de coagulação e floclação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaios comparativos dos flocladores de pedregulho

Conforme mostra a Tabela 1, a concentração da solução

coagulante de 500 mg L⁻¹, apresentou os melhores resultados na redução da turbidez, nos ensaios realizados nos dois floculadores, ambos com água bruta de turbidez inicial de aproximadamente 100 NTU; o floculador maior mostrou uma porcentagem de redução de 92% da turbidez no tempo de sedimentação de 30 min, enquanto o floculador menor, neste mesmo tempo, uma redução de 88%, sendo que, no tempo zero, o floculador maior indicou uma remoção muito mais significativa e acentuada que a do floculador menor.

Tabela 1. Eficiência da remoção por sedimentação da turbidez (A) e da cor aparente (B) nos floculadores maior e menor, da água bruta (100 NTU), nos tempos t_0 , t_{10} e t_{30} em função das concentrações 150, 300 e 500 mg L⁻¹

Tempo de Sedimentação (min)	Eficiência da Remoção da Turbidez (Floculador Maior) (%)			Eficiência da Remoção da Turbidez (Floculador Menor) (%)		
	Dosagem do Coagulante (mg L ⁻¹)					
	150	300	500	150	300	500
(A) Turbidez						
t_0	29	66	71	22	60	3
t_{10}	35	72	91	41	74	86
t_{30}	41	75	92	43	78	88
(B) Cor aparente						
t_0	40	72	78	30	68	20
t_{10}	46	78	92	48	81	89
t_{30}	51	80	94	51	83	90

Na redução da cor aparente, o Floculador Maior e o Floculador Menor apresentaram porcentagens de remoção de 94 e 90%, respectivamente, nos melhores resultados obtidos, sendo o primeiro ligeiramente mais eficiente, como mostra a Tabela 1.

Nos ensaios realizados com água bruta de turbidez inicial de aproximadamente 50 NTU e concentração de 150 mg L⁻¹ da solução coagulante, obtiveram-se os melhores resultados: o floculador maior apresentou redução de 80% da turbidez no tempo de sedimentação de 30 min enquanto no floculador menor a redução foi de 72%; na remoção da cor aparente o floculador maior também indicou uma porcentagem de redução maior, conforme demonstram as Tabelas 2, a seguir.

A média do tempo de detenção do Floculador Maior foi

Tabela 2. Eficiência da remoção por sedimentação da turbidez (A) e da cor aparente (B) nos floculadores maior e menor, da água bruta (50 NTU), nos tempos t_0 , t_{10} e t_{30} em função das concentrações 75, 150 e 300 mg L⁻¹

Tempo de Sedimentação	Eficiência da Remoção da Turbidez (Floculador Maior) (%)			Eficiência da Remoção da Turbidez (Floculador Menor) (%)		
	Concentração do Coagulante (mg L ⁻¹)					
	75	150	300	75	150	300
(A) Turbidez						
t_0	35	40	0	27	9	0
t_{10}	43	69	50	42	57	56
t_{30}	52	80	70	51	72	71
(B) Cor aparente						
t_0	40	38	0	37	20	0
t_{10}	49	71	53	48	63	56
t_{30}	57	79	69	58	73	71

de 2 min e 30 segundos, enquanto a do Floculador Menor foi de 2 min e 10 segundos.

Os valores do gradiente de velocidade G e do número de Camp encontrados no floculador Maior foram 97,43 s⁻¹ e 14.614, respectivamente; já no floculador Menor se encontraram os seguintes valores de gradiente de velocidade G e do número de Camp, 118,7 s⁻¹ 15.431, respectivamente. Embora tanto Di Bernardo & Dantas (2005) como Thomas et al. (1999) descrevam que o número de Camp, por si só, não caracteriza a floculação uma vez que não leva em conta o fenômeno da quebra dos flocos, é um importante parâmetro auxiliar nos estudos de tratabilidade da água, visto que representa a probabilidade de colisões entre partículas sólidas coaguladas e, conseqüentemente, a formação de flocos; desta forma e de acordo com Vianna (2002) para uma mistura lenta ideal é necessário um gradiente de velocidade de G = 85 s⁻¹ e número de Camp de 16.000 – 15.000. Di Bernardo et al. (2005) afirmaram que o mecanismo de coagulação depende de vários fatores, inclusive do tipo de coagulante, que no presente trabalho é de origem natural, mas a combinação entre o gradiente de velocidade médio de floculação e o tempo de floculação em equipamentos de jarteste reproduz aproximadamente essa operação em escala real.

Notou-se, através dos resultados obtidos com os dois floculadores, que os parâmetros de ambos estão próximos daqueles considerados ideais para uma mistura lenta porém a melhor eficiência apresentada no floculador maior, principalmente na remoção de turbidez e cor, indica tratar-se do mais recomendado para a continuidade do experimento, pelo fato do mesmo apresentar um valor de G mais próximo do G = 85 s⁻¹ que, de acordo com Vianna (2002), proporcionou a passagem pelos interstícios do meio granular mais lentamente, resultando em melhor floculação.

Ensaios de sedimentação

Os ensaios de sedimentação simples da água coagulada demonstraram, para uma turbidez inicial de aproximadamente 100 NTU, que a melhor concentração para remoção da turbidez e da cor aparente foi de 500 mg L⁻¹; já para uma turbidez inicial de aproximadamente 50 NTU, a melhor concentração para remoção da turbidez e cor aparente foi de 150 mg L⁻¹.

Utilizando-se o Floculador Maior obteve-se, com a concentração de 500 mg L⁻¹ no tempo de sedimentação de 30 min, uma porcentagem de redução da turbidez e da cor de 92 e 94%, respectivamente, conforme mostra a Tabela 3.

A Tabela 3 apresenta também, os resultados da remoção de turbidez e cor aparente, utilizando-se esse mesmo floculador maior para uma água bruta com turbidez em torno de 50 NTU; os melhores resultados foram obtidos com a concentração de 150 mg L⁻¹, que apontou eficiência de 80% para remoção da turbidez e 79% para remoção da cor caso em que, para a concentração de 300 mg L⁻¹ no tempo zero, isto é, logo após completar o volume no sedimentador, ocorreu um aumento bastante significativo da turbidez e da cor, devido ao aumento na quantidade de partículas dissolvidas e em suspensão decorrente do próprio coagulante; no entanto, com o tempo de sedimentação deu-se sedimentação dessas partículas, reduzindo os

Tabela 3. Valores de turbidez e cor aparente do efluente tratado com diferentes dosagens de coagulante no Floculador Maior para os ensaios com turbidez em torno de 100 NTU (A) e de 50 NTU (B) da água bruta

Amostra	Turbidez (NTU)					Cor aparente (PtCO)				
	Concentração de Coagulante (mg L ⁻¹)					Concentração de Coagulante (mg L ⁻¹)				
	Sem coagulante	75	150	300	500	Sem coagulante	75	150	300	500
(A) 100 NTU										
Água bruta	105	99	102	100	106	704	658	683	663	710
t ₀ (min)	104	94 (5)	72 (29)	34 (66)	31 (71)	697	546 (17)	412 (40)	184 (72)	164 (77)
t ₁₀ (min)	104	91 (8)	66 (35)	28 (72)	10 (90)	691	542 (18)	373 (45)	149 (77)	55 (92)
t ₃₀ (min)	103	85 (14)	60 (41)	25 (75)	08 (92)	690	503 (23)	339 (50)	131 (80)	45 (94)
(B) 50 NTU										
Água bruta	56	54	55	54	-	356	340	343	334	-
t ₀ (min)	56	35 (35)	33 (40)	85	-	356	203 (40)	214 (38)	476	-
t ₁₀ (min)	57	31 (42)	17 (69)	27 (50)	-	357	173 (49)	100 (71)	158 (53)	-
t ₃₀ (min)	57	26 (52)	11 (80)	16 (70)	-	357	146 (57)	72 (79)	102 (53)	-

Obs.: Valores entre parênteses indicam a porcentagem de redução do parâmetro avaliado

valores de turbidez e cor aparente porém não de maneira tão eficiente como a concentração de 150 mg L⁻¹; este efeito pode ser evitado filtrando-se a solução coagulante antes da coagulação; contudo, por razões práticas este procedimento não foi realizado o que, entretanto, não influencia no resultado final do processo.

Processo de filtração lenta direta

Utilizaram-se, para os ensaios de filtração lenta direta, as mesmas concentrações de coagulante empregadas nos ensaios de sedimentação simples e o mesmo floculador; os ensaios também foram realizados com dois padrões de água bruta preparada com suspensão de bentonita, ou seja, com turbidez inicial de 50 NTU e de 100 NTU, aproximadamente. O uso de três mantas sintéticas não tecidas com gramaturas diferentes (150, 300 e 600 g m⁻²) objetivou identificar a influência da gramatura na eficiência da filtração lenta com água coagulada e floculada na remoção da turbidez e cor aparente.

Nas Tabelas 4 e 5 se mostram os valores de redução da turbidez e da cor aparente pelos três filtros e com as três concentrações de coagulantes diferentes, para água bruta com turbidez em torno de 100 NTU e de 50 NTU.

Nota-se, na Tabela 4, que os filtros apresentaram boa eficiência

na remoção da turbidez porém o filtro 3 (gramatura 600 g m⁻²) mostrou os melhores resultados de remoção de turbidez tanto para a água bruta com turbidez em torno de 100 NTU quanto para a turbidez em torno de 50 NTU.

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5, novamente se comprova a eficiência do coagulante natural para utilização na filtração lenta, haja vista que todos os filtros apresentaram reduções significativas.

Esses resultados reforçam a afirmação de Dalsasso & Sens (2006), que a qualidade da água filtrada é beneficiada pela pré-floculação.

A melhor eficiência é observada na filtração lenta, com a manta de gramatura de 600 g m⁻² para os dois tipos de turbidez.

A eficiência da redução de turbidez e cor aparente está relacionada com o aumento da concentração da solução coagulante, ou seja, quanto mais concentrada a solução coagulante de sementes de moringa oleifera melhor foi a remoção.

A melhor condição para a remoção de turbidez e cor aparente para água bruta com turbidez em torno de 100 NTU, ocorreu no filtro 3, com manta de gramatura de 600 g m⁻² e se utilizando coagulante na concentração de 500 mg L⁻¹, obtendo-se redução de aproximadamente 94 e 96%, respectivamente, segundo se nota nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Valores de turbidez da água bruta e dos efluentes nos filtros 1, 2 e 3 (mantas sintéticas 150, 300 e 600 g m⁻²) e diferentes dosagens coagulantes para a água inicial com turbidez de aproximadamente 100 NTU (A) e de 50 NTU (B), com tempo de filtração de 0 min (t₀) e 30 min (t₃₀)

Amostra	Turbidez (NTU)														
	Filtro 1					Filtro 2					Filtro 3				
	Concentração de coagulante (mg L ⁻¹)					Concentração de coagulante (mg L ⁻¹)					Concentração de coagulante (mg L ⁻¹)				
Sem coagulante	75	150	300	500	Sem coagulante	75	150	300	500	Sem coagulante	75	150	300	500	
(A) 100 NTU															
Água bruta	98	-	96	97	97	98	-	96	97	97	98	-	96	97	97
t ₀ (min.)	63 (36)	-	33 (66)	16 (84)	5 (95)	73(26)	-	35 (64)	21 (78)	7 (93)	28(71)	-	19 (80)	12 (88)	4 (96)
t ₃₀ (min.)	74 (24)	-	39 (59)	19 (80)	6 (94)	82(16)	-	41 (57)	22 (77)	6 (94)	64(35)	-	31 (68)	17 (82)	6 (94)
(B) 50 NTU															
Água bruta	49	48	50	48	-	49	48	50	48	-	49	48	50	50	-
t ₀ (min.)	33 (33)	12 (75)	5 (90)	4 (92)	-	30 (39)	8 (83)	6 (88)	5 (90)	-	11(78)	9 (81)	2 (96)	1 (98)	-
t ₃₀ (min.)	38 (22)	15 (69)	5 (90)	2 (96)	-	40 (18)	15 (69)	6 (88)	3 (94)	-	24(51)	12(75)	4 (92)	1 (98)	-

Obs.: Valores entre parênteses indicam a porcentagem de redução do parâmetro avaliado

Tabela 5. Valores de cor aparente da água bruta e dos efluentes nos filtros 1, 2 e 3 (mantas sintéticas 150, 300 e 600 g m⁻²) e diferentes dosagens coagulantes para a água inicial com turbidez de aproximadamente 100 NTU, com tempo de filtração de 0 min (t₀) e 30 min (t₃₀)

Amostra	Cor (PtCO)														
	Filtro 1					Filtro 2					Filtro 3				
	Concentração de coagulante (mg L ⁻¹)					Concentração de coagulante (mg L ⁻¹)					Concentração de coagulante (mg L ⁻¹)				
	Sem coagulante	75	150	300	500	Sem coagulante	75	150	300	500	Sem coagulante	75	150	300	500
(A) 100 NTU															
Água bruta	660	-	650	626	700	660	-	608	626	700	660	-	608	626	700
t ₀ (min)	379 (43)	-	179 (72)	80 (87)	36 (95)	450 (32)	-	199 (67)	109 (83)	42 (94)	157 (76)	-	145 (76)	57 (91)	26 (96)
t ₃₀ (min)	463 (30)	-	210 (68)	97 (85)	33 (95)	524 (21)	-	225 (63)	113 (82)	32 (95)	397 (40)	-	195 (68)	88 (86)	29 (96)
(B) 50 NTU															
Água bruta	292	287	300	288	-	292	287	300	288	-	292	287	300	288	-
t ₀ (min)	198 (32)	63 (78)	35 (88)	27 (91)	-	182 (38)	42 (85)	41 (86)	31 (89)	-	66 (77)	46 (84)	28 (91)	12 (96)	-
t ₃₀ (min)	231 (21)	79 (72)	29 (90)	12 (96)	-	245 (16)	84 (71)	32 (89)	12 (96)	-	149 (49)	63 (78)	22 (93)	4 (99)	-

Obs.: Valores entre parênteses indicam a porcentagem de redução do parâmetro avaliado

Conforme se constata nas Tabelas 4 e 5, para os ensaios com água bruta com turbidez em torno de 50 NTU maiores reduções de turbidez e cor aparente foram obtidas também no filtro 3 porém com concentrações de coagulante menores que no ensaio anterior, ou seja, para a concentração de coagulante de 150 mg L⁻¹ se obtiveram remoções de 94% de turbidez e 92% da cor aparente e, para concentração de 300 mg L⁻¹, 98% de remoção tanto de turbidez quanto da cor aparente.

Esses valores indicam que a concentração de coagulante deve ser proporcional à turbidez da água bruta a ser tratada, isto é, quanto maior a turbidez mais concentrada deve ser a solução coagulante a ser aplicada.

Durante todos os ensaios os valores de pH não apresentaram alterações significativas permanecendo, portanto, entre 6 e 7.

CONCLUSÕES

1. A solução coagulante obtida das sementes de *Moringa oleifera* é eficiente para tratar águas com turbidez variando de 50 até 100 NTU, tanto por sedimentação simples quanto por filtração lenta em manta sintética não tecida.

2. Obtiveram-se reduções médias da turbidez e da cor aparente, de 90 e 96% nos processos de sedimentação simples e filtração lenta, respectivamente.

3. Floculadores granulares de pedregulho se mostraram eficientes para promover a formação de flocos com partículas sólidas em suspensão na água, coaguladas com solução coagulante obtida de sementes de *Moringa oleifera*.

4. Quanto maior a turbidez da água bruta a ser tratada maior também deve ser a concentração do coagulante empregado, seja para a remoção de partículas sólidas por sedimentação quanto por filtração lenta.

5. Mantas não tecidas com gramatura de 600 g m⁻² apresentaram maior eficiência, seja para remoção de turbidez ou para a remoção de cor aparente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, pelo auxílio concedido

em prol da realização desta pesquisa (Processo: 03/07709-3); ao CNPq/PIBIC e ao SAE/Unicamp, pelas Bolsas de Iniciação Científica e Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo: 303889/2005-5).

LITERATURA CITADA

- Amagloh, F. K.; Benang, A. Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification. African Journal of Agricultura Research, v.4, n.1, p.119-123, 2009.
- Amaral, L. A.; Rossi Júnior, O. D.; Soares e Barros, L. S.; Lorenzon, C. S.; Nunes, A. P. Tratamento alternativo da água utilizando extrato de semente de *Moringa oleifera* e radiação solar. Arquivos do Instituto Biológico, v.73, n.3, p.287-293, 2006.
- Azevedo Netto, J. M.; Parlatore, A. C.; Rossin, A. C.; Manfrini, C.; Hespanhol, I.; Campos, J. R.; Povinelli, J.; Yaguinuma, S. Técnica de abastecimento e tratamento de água, v.2, 3.ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB. 1987. 317p.
- Bezerra, A. M. E.; Momenté, V. G.; Medeiros Filho, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. Horticultura Brasileira, v.22, n.2, p.295-299, 2004.
- Dalsasso, R. L.; Sens, M. L. Filtração direta com pré-floculação e coagulação com sulfato de alumínio e hidroxocloreto de alumínio: Estudo com água de manancial eutrofizado. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.2, n.3, p.241-249, 2006.
- Di Bernardo, L.; Botari, A.; Sabogal-Paz, L. P. Uso de modelação matemática de floculação em série em estações de tratamento de água. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.1, p.82-90, 2005.
- Di Bernardo, L.; Brandão, C. C. S.; Heller, L. Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. 114p.
- Di Bernardo, L.; Dantas, A. D. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2.ed. São Carlos: Rima Editora, 2005. v.2, 1584p.
- Katayon, S.; Noor, M. J. M. M.; Asma, M.; Ghani, L. A. A.; Thamer, A. M.; Azni, I.; Ahmad, J.; Khor, B. C.; Suleyman, A. M. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. Bioresource Technology, v.97, p.1455-1460, 2006.

- Leme, F. P. Engenharia do saneamento ambiental – Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1982. 354p.
- Muyibi, S. A.; Evison, L. M. *Moringa oleifera* seeds for softening hardwater. *Water Research*, v.29, n.12, p.1099-1104, 1995a.
- Muyibi, S. A.; Evison, L. M. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*, v.29, n.12, p.2689-2695, 1995b.
- Ndabigengesere, A.; Narasiah, K. S.; Talbot, B. G. Active agents and Mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research*, v.29, n.2, p.706-710, 1995.
- Ramos, R. O. Clarificação de água com turbidez baixa e cor moderada utilizando sementes de *Moringa oleifera*, Campinas: UNICAMP, 2005. Tese Doutorado
- Silva, F. J. A.; Matos, J. E. X. Sobre dispersões de *Moringa oleifera* para tratamento de água. *Revista Tecnologia*, v.29, n.2, p.157-163, 2008.
- Thomas, D. N.; Judd, S. J.; Fawcett, N. Flocculation modelling: A review. *Water Research*, v.33, n.7, p.1579-1592, 1999.
- Vianna, M. R. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. 4.ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2002. 576p.