



TÉCNOLOGIAS LIMPAS APLICADAS AO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Rafael Oliveira Batista¹, Luis César de Aquino Lemos Filho², Jean Berg Alves da Silva³, Indalécio Dutra⁴, Delfran Batista dos Santos⁵

1. Professor da Especialização em Desenvolvimento Sustentável do Semiárido pelo Instituto Federal Baiano (IF-Baiano), *Campus* Senhor do Bonfim, Bahia, Brasil (eng.batista@gmail.com)
2. Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte.
3. Médico Veterinário. Doutor em Ciências Veterinárias, Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte.
4. Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte.
5. Engenheiro Agrônomo, Doutor em Recursos Hídricos e Ambientais, Professor do IF-Baiano, Senhor do Bonfim, BA, Brasil

Recebido em: 01/09/2013 – Aprovado em: 30/10/2013 – Publicado em: 18/11/2013

RESUMO

Um dos maiores problemas do semiárido nordestino é a escassez hídrica, levando a busca constante de alternativas sustentáveis e viáveis para melhorar a qualidade de vida das populações. O presente trabalho objetivou analisar o desempenho de uma miniestação de tratamento de água superficial que utiliza semente de moringa para coagulação/floculação dos sólidos suspensos e radiação solar para a eliminação de microorganismos patogênicos. No primeiro experimento foram realizados ensaios para a definição da dosagem do coagulante orgânico, sendo uma, duas, três e quatro sementes por litro. Análises de pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos e turbidez foram realizadas, em três repetições. No segundo experimento foi monitorada uma miniestação de tratamento de água dotada de tanque coagulador/floculador/sedimentador, filtro inorgânico e placa de exposição solar. Para tal, foram quantificados, em cinco repetições no tempo, os valores de pH, condutividade elétrica, turbidez, coliformes termotolerantes, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e nitrato. Os resultados indicaram que a dosagem de uma semente por litro foi a mais eficaz no tratamento da água superficial; na miniestação os processos de floculação/coagulação/sedimentação e filtração proporcionaram remoções de até 99 e 93% nos valores de turbidez e sólidos suspensos; e exposição à radiação durante duas horas, nos meses de outubro a novembro de 2010, possibilitou ausência de coliformes termotolerantes, particularmente quando a temperatura da água atingiu valores superiores a 44,5°C.

PALAVRAS-CHAVE: sustentabilidade, radiação solar, moringa.

CLEAN TECHNOLOGIES APPLIED TO SURFACE WATER TREATMENT ON BRAZILIAN SEMIARID

ABSTRACT

A major problem of semiarid northeast, is the scarcity of water, leading to constant search for viable and sustainable alternatives to improve the quality of life of populations. This study aimed to analyze the performance of a treatment system for surface water using moringa seed for coagulation/flocculation of suspended solids and radiation to eliminate pathogenic microorganisms. In the first experiment tests was performed to define the organic coagulant dosage, one, two, three and four seeds per liter. pH, electrical conductivity, dissolved solids and turbidity were made in three replicates. In a second experiment was monitored water treatment system equipped with coagulator/flocculant/sedimentation tank, inorganic filter and solar reactor. The characteristics pH, electrical conductivity, turbidity, fecal coliforms, suspended solids, dissolved solids and nitrate were quantified in five replicates in time. The results indicated that the dosage of one seed oh the moringa per liter was the most effective in the treatment of surface water; the processes of flocculation/coagulation/sedimentation and filtration provided removals of up to 99 and 93% in the values of turbidity and suspended solids, and radiation exposure for two hours in the months from October to November 2010, allowed the absence of fecal coliforms, particularly when the water temperature reached values above 44.5 °C.

KEYWORDS: sustainability, solar radiation, moringa.

INTRODUÇÃO

A água constitui-se em elemento essencial à vida. O acesso à água de boa qualidade e em quantidade adequada está diretamente ligado à saúde da população, contribuindo para reduzir a ocorrência de diversas doenças.

O serviço de abastecimento de água por meio de rede geral caracteriza-se pela retirada da água bruta da natureza, adequação de sua qualidade, transporte e fornecimento à população com rede geral de distribuição. Há de se considerar, ainda, formas alternativas de abastecimento das populações tais como água proveniente de chafarizes, poços particulares, carros-pipas, cisternas e outros (IBGE, 2010).

Em áreas urbanas brasileiras, 90,4% dos domicílios tem acesso à rede de distribuição de águas, enquanto em áreas rurais apenas 16,7% dos domicílios possuem esse sistema (BRASIL, 2006). Estima-se que cerca de 12 milhões de brasileiros não possuem água encanada e nem tratada para o abastecimento residencial. Na região nordeste, 21,8 e 24,3% dos municípios dos estados do Maranhão e Piauí não realizam tratamento da água distribuída à população (IBGE, 2010).

Segundo LIBÂNIO (2008), os sistemas para tratamento de água visando a potabilidade são constituídos de tanque floculador (utilizando sulfato de alumínio no processo de coagulação/floculação), tanque decantador (remoção de flocos), sistema de filtragem (remoção de material particulado) e sistema de desinfecção

(utilizando cloro, ozônio ou radiação ultravioleta para inativação de microrganismos).

Problemas das atuais tecnologias de tratamento da água consistem na formação de trialometanos (triclorometano, bromodiclorometano, dibromoclorometano e tribromometano) e no excesso de alumínio contido no lodo de sistemas floculadores e decantadores das estações de tratamento de água convencionais. Os trialometanos são substâncias resultantes das reações entre o cloro e o material orgânico presente nas águas superficiais (RICE et al., 2012). A importância dos trialometanos, em nível mundial, prende-se ao fato de que, além de serem carcinogênicos, são também indicadores da possível presença de outros compostos organoclorados (ácido acético clorado, haloacetoneitrilos, cloropicrin, clorofenóis, cloropropanonas e outros), também resultantes do processo de cloração das águas e mais perigosos que os próprios trialometanos. No organismo humano, o excesso de alumínio pode agravar o mal de Alzheimer e causar raquitismo, anorexia, constipação intestinal e alterações neurológicas (LIBÂNIO, 2008).

A *Moringa* (*Moringa oleífera* Lam.) é uma planta bastante conhecida no Nordeste brasileiro, sobretudo na região do semiárido. As sementes desta planta têm 30% de óleo fixo, rico em ácido oleico, que são polissacarídeos complexos, com forte poder aglutinante. Além disto, possui os constituintes químicos pterigospermina e ramnosil-oxibenzil-isotiocianato que têm ação antimicrobiana sobre *Bacillus subtilis*, *Mycobacterium phei*, *Serratia maarcenses*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosas*, *Shigela* e *Streptococcus*. Por esta razão, as sementes esmagadas são usadas no tratamento da água por sua capacidade de fazer a aglutinação e a sedimentação de partículas em suspensão e por sua ação antimicrobiana (BEZERRA et al., 2004). Suas folhas são ricas em proteínas e vitaminas A e C. Em algumas regiões, as folhas desta planta são usadas na merenda escolar. Também pode ser usada na alimentação dos animais.

Os microrganismos patogênicos geralmente presentes nas águas são vulneráveis ao calor e à radiação ultravioleta (BRYANT et al., 1992). TIRELL & SOUZA NETO (1981) buscaram a caracterização de uma faixa de radiação induzida pela luz ultravioleta e luz visível que causasse danos a vida celular. Assim, mostraram que é possível destruir o mecanismo do DNA em muitas formas de vida celular. No trabalho realizado por LAWAND (1988) também foi determinado o dano produzido pela luz solar sobre as vidas celulares e organismos. Alguns resultados expressivos de total destruição de alguns microrganismos foram: *Pseudomonas aeruginosa* - 15min, *Salmonella Flexneri* - 30 min, *S. typhi* e *S. enteritidis* - 60 min, *Escherichia coli* - 75 min, *Candida ssp.* - 3 horas.

O presente trabalho tem por objetivo geral analisar o desempenho de uma miniestação de tratamento de água superficial para abastecimento de residências em regiões semiáridas aplicando tecnologias limpas.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimento 1: Definição da dosagem da *Moringa* para tratamento de água superficial

Esta etapa foi realizada no Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água do Semiárido, da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), em Mossoró-RN.

Uma amostra de água de manancial hídrico superficial foi coletada em recipiente de 20L, com posterior depreciação de sua qualidade com adição de 500 g de solo argiloso. Para este ensaio não houve adição de alíquota de esgoto doméstico. Desta amostra foram retiradas 15 alíquotas de 100 mL, posteriormente acondicionadas em béqueres de 500 mL.

As sementes de moringa foram coletadas em árvores existentes no próprio Campus da UFERSA. As sementes frescas foram trituradas e para obtenção das dosagens de 400, 1100, 1500 e 2200 mg L⁻¹ equivalentes ao peso de um, duas, três e quatro sementes, respectivamente, utilizou-se balança digital de precisão. No trabalho desenvolvido por Katayon et al. (2006) evidenciou-se que as sementes de moringa apresentam maior eficiência no tratamento da água quando utilizadas frescas.

No ensaio de coagulação/floculação foram utilizadas as dosagens de extrato da moringa de 400, 1100, 1500 e 2200 mg L⁻¹ em três repetições. Para efeito comparativo, não foi adicionado o coagulante orgânico em três béqueres com amostras de água com elevada turbidez (390 UNT). Após a adição do extrato da semente cada amostra de águas foi agitada, manualmente, durante um minuto, perfazendo cerca de 60 rpm. Em seguida, as 12 amostras que receberam as dosagens do coagulante orgânico permaneceram em repouso, durante duas horas, para ocorrer à formação dos flocos e posterior sedimentação.

Para avaliação do efeito da coagulação/floculação proporcionada pelo extrato da moringa foram obtidas características físico-químicas de todas as amostras de água, com e sem extrato da semente da moringa, com o auxílio de um medidor portátil multiparâmetro modelo HORIBA. Com esse aparelho foram determinados os valores de temperatura (T), condutividade elétrica (CE), turbidez (TB), sólidos dissolvidos (SD) e potencial hidrogeniônico (pH).

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Foi utilizada a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Experimento 2: Monitoramento do desempenho da miniestação de tratamento de água

Esta etapa foi realizada no Centro de Multiplicação de Animais Silvestres (CEMAS) da UFERSA, em Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5°12'46"S 37°18'36"O Datum WGS – 84. Para tal, foi montada uma miniestação de tratamento de água, visando o abastecimento de comunidades rurais, dotada de tanque coagulado/floculador/sedimentador, filtro rápido com fluxo ascendente e placa de exposição solar.

A água utilizada para o presente experimento foi produzida a partir de uma amostra de 20 Litros de água superficial, coletada em manancial hídrico da UFERSA, e posteriormente foi adicionada a mesma, 500 mL de esgoto doméstico sem tratamento e 500 g de solo argiloso.

A operacionalização da miniestação de tratamento de água foi efetuada da seguinte maneira: No tanque floculador/coagulador foi adicionada a dosagem de uma semente por litro de extrato da Moringa definida no experimento 1, a agitação da água foi realizada manualmente durante um minuto. A água permaneceu neste tanque durante um período de duas horas para efetivação do processo de

coagulação/floculação/sedimentação. Em seguida a água passou pelo filtro inorgânico de fluxo ascendente para remoção dos sólidos suspensos remanescentes, sendo armazenada posteriormente em um tanque auxiliar. Por fim, a água filtrada foi mantida durante duas horas em uma placa de exposição à radiação solar para inativação de microrganismos patogênicos, sendo, por fim, armazenada em outro tanque auxiliar, estando neste último com qualidade para consumo humano. O início do tratamento ocorreu às 8:00 horas com o processo de coagulação/floculação/sedimentação que era finalizado às 10:00 horas, em seguida efetuou-se a filtração em período de 10 minutos. Para finalizar o processo a água permanecia na placa até 12:10 horas.

Durante o período de 28/10 a 25/11 de 2010 foi realizado o acompanhamento do desempenho do sistema de tratamento de água para potabilidade com cinco amostragens, sendo uma por semana. Para tal, amostras de águas foram coletadas ao final do processo de coagulação/floculação/sedimentação, a jusante do filtro inorgânico e ao final do período de exposição à radiação solar. Ressalta-se, também, que uma amostra de água sem tratamento foi coletada. Após o processo de amostragem, as amostras foram preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C, até o acondicionamento das mesmas em refrigeradores dos laboratórios.

Um total de 20 amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN), onde foram analisadas características físico-químicas, como, pH, condutividade elétrica (CE) em dS m^{-1} , turbidez (TB) em UNT, sólidos suspensos (SS) em mg L^{-1} , sólidos dissolvidos (SD) em mg L^{-1} e nitrato como nitrogênio (N-NO_3^-) em mg L^{-1} . Enquanto, outras 10 amostras coletadas às 12:10 horas, foram encaminhadas para Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal, localizado na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA). Neste foram quantificados os níveis populacionais de coliformes termotolerantes em Número Mais Provável por 100 mL (NMP 100 mL^{-1}).

A amostragem da água no sistema foi realizada da seguinte forma:

- Ponto 1: água sem tratamento;
- Ponto 2: água coletada após o processo de coagulação / floculação / sedimentação;
- Ponto 3: água coletada após o processo de filtração; e
- Ponto 4: água coletada após o processo de exposição à radiação solar.

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com cinco repetições e quatro tratamentos (água bruta, água após floculação, água após filtração e água após exposição à radiação solar). A análise de variância foi realizada com o teste F com nível de probabilidade de até 5%. O teste de Tukey foi empregado na comparação das médias com nível de probabilidade de até 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1: Definição da dosagem da Moringa para tratamento de água superficial

Na Tabela 1 estão apresentados valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas da água que foi submetida ao

processo de coagulação/floculação/decantação com o uso do extrato de semente da moringa.

Houve diferença estatística entre as dosagens para as características sólidos dissolvidos, turbidez e condutividade elétrica contidos nas amostras de água. Enquanto, para as características pH e temperatura das amostras de água não houve diferença estatística (Tabela 1).

Estabelecendo comparação entre água bruta e água tratada (Tabela 1), constatou-se que a adição do extrato da semente de moringa ocasionou aumento nos valores de sólidos dissolvidos, para as doses de 1500 e 2200 mg L⁻¹. No entanto, todos os valores de sólidos dissolvidos foram inferior ao limite de 1000 mg L⁻¹ da Portaria nº 518/2004 (BRASIL, 2004) quanto aos padrões nacionais de potabilidade da água.

TABELA 1. Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas de água superficial, submetida ao processo de coagulação/floculação/sedimentação com extrato de semente da moringa

Característica	F	Água bruta	Água sob distintas dosagens de moringa			
			400 mg L ⁻¹	1100 mg L ⁻¹	1500 mg L ⁻¹	2200 mg L ⁻¹
SD (mg L ⁻¹)	8,11*	743b	750b	777ab	797a	897a
TB (UNT)	345,54**	390a	8,90b	15,70b	7,20b	37,13b
PH	2,64 ^{ns}	7,62	7,41	7,37	7,30	7,48
CE (dS m ⁻¹)	9,82*	1,16b	1,17b	1,21ab	1,25a	1,26a
TEMP (°C)	1,98 ^{ns}	26,10	26,64	26,94	27,17	27,10

Nota: *, ** e ^{ns} F significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. SD - sólidos dissolvidos ; TB - turbidez; pH - potencial hidrogeniônico; CE - condutividade elétrica; e Temp - temperatura.

Para a característica turbidez ocorreram remoções superiores a 90% nas quatro dosagens de moringa estudadas. No trabalho desenvolvido por Lo Monaco et al. (2010) houve remoção de 98% da turbidez de água superficial com a dosagem de 400 mg L⁻¹ de extrato da moringa e tempo de sedimentação de duas horas. Katayon et al. (2006) trabalharam com amostras de água com turbidez inicial de 88, 194 e 390 UNT, após aplicação das dosagens do extrato da semente de moringa de 100, 200 e 400 mg L⁻¹ houve remoção de 79, 89 e 94%, respectivamente, com tempo de sedimentação de 30 minutos.

Entretanto, os valores de turbidez para as doses mais eficientes (400 e 1500 mg L⁻¹) foram de 8,90 e 7,20 UNT, superiores ao limite de 5,0 UNT estabelecido na Portaria nº 518.

Os valores de pH oscilaram de 7,30 a 7,62, dentro da faixa limite de 6,0 a 9,5 estabelecida pela Portaria nº 518/2004, indicando que o coagulante orgânico não alterou esta característica. À medida que se aumentou a dosagens do extrato da semente de moringa observou-se, também, aumento dos valores da condutividade elétrica. A temperatura das amostras de água apresentou oscilação durante o período de ensaio, devido às variações de temperatura do ambiente laboratorial.

Nas amostras de águas sob as dosagens de 1500 e 2200 mg L⁻¹ houve aumento significativo nos valores tanto dos sólidos dissolvidos quanto da condutividade elétrica, indicando que elevadas dosagens de extrato da semente da moringa incorporam vários sais e nutrientes presente na sua composição. NDABIGENGESERE et al. (1998) estudaram a composição química de solução a 5% obtida de sementes da moringa. Os referidos autores verificaram que essa solução apresentou pH de 6,4, condutividade elétrica de 1,5 dS m⁻¹, alcalinidade de 246 mg L⁻¹, cálcio de 14,5 mg L⁻¹, magnésio de 47,9 mg L⁻¹, sódio de 13,4 mg L⁻¹, potássio de 42,9 mg L⁻¹, íon férrico de 3,0 mg L⁻¹, cloreto de 19 mg L⁻¹, sulfato de 9,0 mg L⁻¹, nitrato de 110 mg L⁻¹, fosfato de 208 mg L⁻¹, demanda química de oxigênio de 15.000 mg L⁻¹ e nitrogênio total de 1.193 mg L⁻¹.

Experimento 2: Monitoramento do desempenho da miniestação de tratamento de água

Na Tabela 2 estão relacionados os dados de radiação que foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de exposição da água à radiação solar local, visando explicar variações na mortalidade das bactérias. Verificou-se, nesse quadro, que a radiação média acumulada no período de exposição da placa à radiação foi de 4,88 MJ m⁻² d⁻¹, tendo no dia 11 de novembro de 2010 um valor menor de 3,25 MJ m⁻² d⁻¹.

TABELA 2. Valores integralizados de radiação solar das 10:00 às 12:00 horas durante o período experimental (Mossoró-RN, 28 de outubro a 25 de novembro de 2010)

Datas de amostragem	Radiação solar incidente (MJ m ⁻² d ⁻¹)*
28/10/2010	5,43
04/11/2010	5,21
11/11/2010	3,25
18/11/2010	5,25
25/11/2010	5,27
Média	4,88

Nota: Valores integralizados das 10:00 às 12:00 horas nos dias de amostragem. Dados obtidos do INMET em 28 de outubro a 25 de novembro de 2010.

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas estão apresentados na Tabela 3, para o período de 28 de outubro a 25 de novembro de 2010. Com relação às características físico-químicas das amostras de água coletadas, constatou-se que houve redução na concentração das características turbidez, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e nitrato como nitrogênio quando se estabelece comparação entre os pontos 1 (água sem tratamento) e 4 (água após desinfecção solar), ao longo do período experimental. Para a dosagem de 400 mg L⁻¹ (uma semente por litro), em relação às características de pH e CE não foram observadas alterações consideráveis, indicando essa dosagem não interferiu na qualidade da água superficial em relação a tais características.

O pH das amostras de água após a exposição à radiação solar, ou seja, no ponto 4, oscilou entre 7,42 e 8,38 durante os cinco dias de amostragem. Tais valores de pH encontram-se na faixa de 6,0 a 9,5 para potabilidade de água conforme diretrizes estabelecidas na Portaria nº 518. Comparando os valores de pH nos

pontos 1 e 4 notou-se ligeiro aumento nos dias 28 de outubro, 4 de novembro e 18 de novembro de 2010 (Tabela 3). Os valores de pH são superiores ao valor limite de 6,5 estabelecido por Pritchard et al. (2010) para ótima coagulação/floculação quanto do tratamento de água com extrato da semente de moringa.

A condutividade elétrica das amostras de água coletadas no ponto 4 variaram de 0,62 a 0,66 dS m⁻¹, ao longo do período experimental. Estabelecendo comparação entre os pontos 1 e 4, constatou-se que houve um incremento nos valores da condutividade elétrica nos dias 4 e 11 de novembro de 2010, provavelmente em função dos sais e nutrientes contidos no extrato da semente de moringa (Tabela 3).

Tabela 3. Características físicas, químicas e microbiológicas de amostras de água coletadas em distintos pontos da miniestação de tratamento.

Pontos de amostragem	Temp (°C)	PH	CE (dS m ⁻¹)	TB (UNT)	CTe (NMP 100 mL ⁻¹)	SS (mg L ⁻¹)	SD (mg L ⁻¹)	N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)
28/10/2010								
Ponto 1	-	7,08	0,66	494	1,5x10 ³	278	492	1,48
Ponto 2	-	7,12	0,64	134		68	450	
Ponto 3	-	7,44	0,64	42		26	460	
Ponto 4	46	7,47	0,66	8	0	22	456	1,47
04/11/2010								
Ponto 1	-	8,15	0,63	554	2,5x10 ³	188	448	1,46
Ponto 2	-	8,30	0,64	103		70	426	
Ponto 3	-	8,56	0,65	34		36	444	
Ponto 4	48	8,18	0,65	12	0	14	468	1,44
11/11/2010								
Ponto 1	-	8,60	0,64	444	4,2x10 ⁴	172	424	1,56
Ponto 2	-	8,18	0,66	84		94	468	
Ponto 3	-	8,27	0,65	28		84	472	
Ponto 4	41	8,38	0,66	7	3,0x10 ²	16	458	1,41
18/11/2010								
Ponto 1	-	7,09	0,65	484	1,2x10 ³	151	472	1,21
Ponto 2	-	7,56	0,66	50		112	458	
Ponto 3	-	7,43	0,65	45		34	440	
Ponto 4	49	7,42	0,65	10	0	12	432	1,19
25/11/2010								
Ponto 1	-	8,11	0,62	444	1,1x10 ³	145	451	1,48
Ponto 2	-	8,06	0,60	70		92	448	
Ponto 3	-	8,13	0,61	43		37	444	
Ponto 4	49	8,12	0,62	6	0	10	438	1,29

Nota: Ponto 1 – água contaminada; Ponto 2 – água submetida à coagulação/floculação com extrato da semente de moringa; Ponto 3 - água submetida à filtração; e Ponto 4 – água exposta a radiação solar das 10:00 às 12:00 horas. Temp – temperatura da água; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; TB – turbidez; CTe – coliformes termotolerantes; SS – sólidos suspensos; SD – sólidos dissolvidos; e N-NO₃⁻ nitrato no nitrogênio total.

Estabelecendo comparação entre os valores de turbidez das amostras

coletadas nos pontos 1 e 4, durante os cinco dias de amostragem, houve remoções de 98 a 99%. Tais remoções também foram obtidas por Lo Monaco et al. (2010), em ensaios de coagulação/floculação com água superficial. O menor valor de turbidez foi observado no dia 25 de novembro de 2010, oscilando nos demais dias entre 7 e 12 UNT. Todos os valores de turbidez no ponto 4 foram superiores ao limite de 5 UNT estabelecido na Portaria nº 518/2004.

No ponto 4 houve oscilação nas concentrações dos sólidos suspensos de 10 a 22 mg L⁻¹, porém quando comparados os pontos 1 e 4 a faixa de remoção foi de 91 a 93% (Tabela 3). A remoção dos sólidos suspensos favorece a diminuição da turbidez da água, potencializando a desinfecção solar em etapas subsequente.

Os valores de sólidos dissolvidos variaram de 432 a 468 mg L⁻¹ (Tabela 3) para as amostras coletadas no ponto 4. Tais valores de sólidos dissolvidos são menores que o limite de 1000 mg L⁻¹ estabelecido pela Portaria nº 518/2004.

As concentrações de nitrato na forma de nitrogênio oscilaram de 1,19 a 1,47 mg L⁻¹ nas amostras de água coletadas no ponto 4. De acordo com a Portaria nº 518/2004, tais valores encontram abaixo do limite para potabilidade de água de 10 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻. Estabelecendo comparações entre os pontos 1 e 4 no decorrer do experimento, constatou-se remoções de 0,68 a 12,84%, atribuídas ao efeito de adsorção exercido pelo carvão ativado granulado do filtro inorgânico (Tabela 3).

Consta na Tabela 3 o nível populacional dos coliformes termotolerantes nas amostras de água coletadas no ponto 4. Somente no dia 11 de novembro de 2010 foram quantificados coliformes termotolerantes na água, em função da temperatura de 41°C e radiação solar de 3,25 MJ m⁻² d⁻¹.

Com temperaturas inferiores a 44,5°C tem-se condição favorável ao desenvolvimento dos coliformes termotolerantes. Deve-se ressaltar que o aquecimento a 44,5 °C ocorreu apenas na placa de exposição solar construída em aço inox com a finalidade de evitar contaminações da água. Nos demais dias não foram quantificados coliformes termotolerantes, pois a temperatura da água oscilou de 46,0 a 49,0°C e a radiação solar de 5,21 a 5,43 MJ m⁻² d⁻¹ (Tabela 2), condições ambientais adversas o suficiente para inativação microbiológica.

Com exceção da amostra coletada no dia 11 de novembro de 2010, todas as outras atenderam ao padrão microbiológico de potabilidade que é ausência de coliformes termotolerantes, conforme apresentado na Portaria nº 518/2004.

No trabalho desenvolvido por AMARAL et al. (2006), a radiação solar foi eficaz na desinfecção da água com reduções, após 12h de exposição, de 98,2%, 99,9% e 100% nos números de microrganismos mesófilos, coliformes totais e termotolerantes, respectivamente. Os referidos autores verificaram, ainda, a ausência de crescimento de todos microrganismos pesquisados após 12h de exposição ao sol.

BOTTO et al., (2009) obtiveram inativação de coliformes termotolerantes de até 4 unidades logarítmicas, em amostras de água expostas à radiação solar em garrafas pet com concentrações iniciais superiores a 10⁵ NMP por 100 mL.

Estão apresentados na Tabela 4 os valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas e microbiológicas da água nas etapas de tratamento referentes aos pontos 1, 2, 3 e 4.

Pela análise de variância, constatou-se que as características pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos e nitrato na forma de nitrogênio das amostras de águas coletadas na miniestação não foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F. Enquanto, as características turbidez, coliformes

termotolerantes e sólidos suspensos das amostras de águas coletadas na miniestação foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, o que permite a utilização do teste de Tukey para comparação das médias, por se tratar de variável qualitativa. Estabelecendo comparação entre os pontos 1 e 4, notou-se que as características turbidez, coliformes termotolerantes e sólidos suspensos diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey (Tabela 4).

TABELA 4. Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas, químicas e microbiológicas da água superficial nos pontos de amostragem 1, 2, 3 e 4 da miniestação de tratamento.

Característica	F	Amostragem			
		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
pH	0,09 ^{ns}	7,81	7,84	7,97	7,91
CE (dS m ⁻¹)	0,62 ^{ns}	0,64	0,64	0,64	0,65
TB (UNT)	549,68**	484,0a	88,2b	38,4bc	8,6c
CT (NMP 100 mL ⁻¹)	26,43**	2,9x10 ³ a	-	-	3,12b
SS (mg L ⁻¹)	50,78**	186,8a	87,2b	43,4b	14,8b
SD (mg L ⁻¹)	0,28 ^{ns}	457,4	452,0	450,4	450,0
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,97 ^{ns}	1,44	-	-	1,36

F significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. pH - potencial hidrogeniônico; CE - condutividade elétrica; TB - turbidez; CT - coliformes termotolerantes, NMP 100 mL⁻¹; SS - sólidos suspensos, mg L⁻¹; SD - sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; e N-NO₃⁻ - nitrato como nitrogênio.

Na Figura 1 encontra-se ilustrado um indicador visual do nível de tratamento da água na miniestação. Observou-se que houve significativa remoção da turbidez e sólidos suspensos nas distintas etapas de tratamento representadas pelos pontos 1, 2 e 4.

O melhor resultado no ponto 4 pode ser explicado pelo aquecimento da água na placa de exposição solar (46,0 a 49,0°C) que potencializou o processo de coagulação/floculação, acarretando, assim, maiores remoções de turbidez.

Semelhantemente, PRITCHARD et al. (2010) constataram que há maiores remoções de turbidez nas amostras de água com extrato da semente de moringa, mediante a temperatura de 60°C.

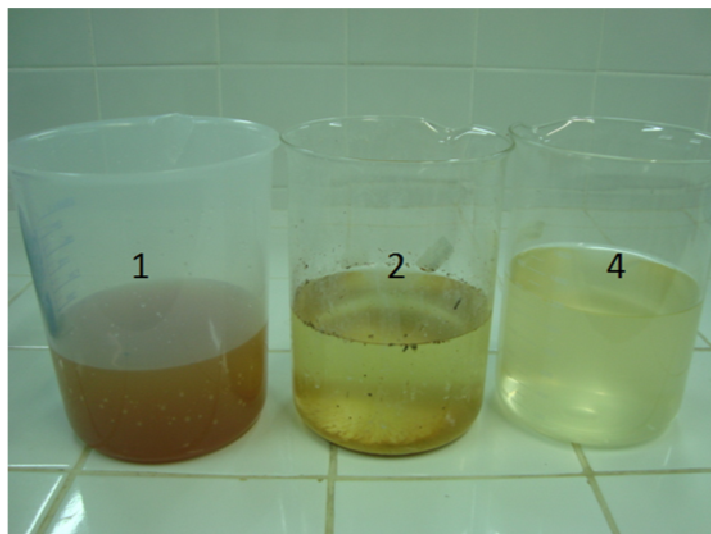


FIGURA 1. Ilustração do resultado do tratamento da água em distintas etapas da miniestação: ponto 1 (água sem tratamento), ponto 2 (água após coagulação/floculação/sedimentação) e ponto 4 (água após exposição solar na placa).

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos conclui-se que: a dosagem de uma semente de moringa por litro (400 mg L⁻¹) foi a mais eficaz no tratamento da água superficial. Na miniestação os processos de floculação/coagulação/sedimentação e filtração proporcionaram remoções de até 99 e 93% nos valores de turbidez e sólidos suspensos, ao longo do período experimental. Além disso, a exposição à radiação solar durante duas horas, nos meses de outubro a novembro de 2010, possibilitou ausência de coliformes termotolerantes na água, particularmente quando a temperatura da mesma atingiu valores superiores a 44,5°C. Vale ressaltar que a utilização da moringa não alterou de forma significativa os valores de pH, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos. Pode-se dizer que a miniestação possibilita o tratamento de água superficial com elevada turbidez e alto nível populacional de coliformes termotolerantes para abastecimento humano. A utilização conjunta de extrato da semente de moringa e da radiação solar no tratamento de água superficial para residências rurais torna-se uma tecnologia social apropriada às condições do nordeste brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e INSA através do Edital 35/2010; e ao IF-Baiano através do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Semiárido com Ênfase em Recursos Hídricos (DSSERH), por oportunizar o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. A.; NUNES, A. P.; CASTANIA, J.; LORENZON, C. S.; BARROS, L. S.

S.; NADER FILHO, A. Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.73, p.45-50, 2006.

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, p.295-299. 2004.

BOTTO, M. P.; MOTA, F. S. B.; CEBALLOS, B. S. O. Efeito da oxigenação por agitação manual da água na eficiência de inativação de coliformes termotolerantes utilizando luz solar para desinfecção em batelada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, p.347-352, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Secretaria em Vigilância em Saúde, 2006. 212p (Série B. Textos básicos de saúde)

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências**. 2004. Disponível em: <[www.meioambiente.ufrn.br/conteudo/dma/projetos/portaria 51804.pdf](http://www.meioambiente.ufrn.br/conteudo/dma/projetos/portaria%2051804.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2013.

BRYANT, E. A.; FULTON, G.P.; BUDD, G.C. **Disinfection alternatives for safe drinking water**. Van Nostrand Reinhold Ed., Nova York, EUA. 518p. 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro: MPOG, MC, 2010. 219p.

KATAYON, S.; MEGAT MOHD NOOR, M. J.; ASMA, M.; ABDUL GHANI, L. 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.

LAWAND, T.A. Opening remarks. In: WORKSHOP HELD AT THE BRACE RESEARCH INSTITUTE, 1988. Montreal. **Proceedings...**Ottawa: IDRC-MR231. p. 13-17. 1988.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2 Ed., Campinas: Editora Átomo, 2008, 444p.

Lo MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; RIBEIRO, I. C. A.; NASCIMENTO, F. S.; SARMENTO, A. P. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Revista Ambiente & Água**, v.5, p. 222-231. 2010.

NDABIGENGESERE, A.; SUBBA NARASIAH, K. Quality of water treated by coagulation using moringa oleifera seeds. **Water Research**, v.32, p.781-791, 1998.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A.S.; O'NEILL, J.G. A study of the parameters affecting the effectiveness of *Moringa oleifera* in drinking water purification. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.35, p.791-797, 2010.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

TYRELL, R.M.; SOUZA-NETO, A. Lethal effects of natural solar ultraviolet radiation in repair proficient and repair deficient strains of *Escherichia coli*: actions and interactions. **Journal of Photochemistry and Photobiology**. v. 34, p.331-337. 1981.