

FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUAS COM BAIXA TURBIDEZ UTILIZANDO SEMENTES DE MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE

LEDO, P.G.S.¹, PAULO, J.B.A.², LIMA, R.F.S.³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte. patiledo@eq.ufrn.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte. jbosco@eq.ufrn.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Norte. raquel@geologia.ufrn.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo investigar o processo da flotação por ar dissolvido sob pressão- FAD para clarificação de águas com baixa turbidez utilizando sementes de *Moringa oleifera* como coagulante. O procedimento experimental foi realizado em uma unidade de flotação em escala de bancada. Foram avaliadas as influências das condições do pré-tratamento (dosagem de coagulante e tempo de floculação) e parâmetros de processo da flotação (taxa de aplicação superficial e taxa de recirculação) na eficiência do processo em diferentes pHs. A eficiência foi avaliada pela determinação de turbidez nas amostras de água bruta e tratada. Os resultados indicam que para águas de baixa turbidez, as sementes de *Moringa oleifera* podem ser um substituto potencialmente viável em relação ao sulfato de alumínio.

PALAVRAS-CHAVE: clarificação de água; flotação por ar dissolvido; redução de turbidez; *Moringa oleifera*.

ABSTRACT

This body of work aims to investigate the process of dissolved air flotation (DAF) to clarify low turbidity water using *Moringa oleifera* seeds as a coagulant. The experimental procedure was carried out in a bench scale flotation unit. The influences on the pre-treatment conditions (coagulant dosage and flocculation time) and flotation parameters (superficial application rate and recirculation rate) were evaluated considering the efficiency of the process. The efficiency was evaluated by determining the turbidity of the untreated and treated water samples. The results indicate that for low turbidity water, *Moringa oleifera* seeds could potentially be a viable substitute for aluminum sulphate.

KEYWORDS: water clarification; air dissolved flotation; turbidity removal; *Moringa oleifera*.

1. INTRODUÇÃO

A quantidade de água disponível no nosso planeta é limitada, sendo um recurso cada vez mais escasso e valioso. A qualidade da água deve atender aos padrões a que se destina principalmente aquela destinada ao consumo humano. Diante desta realidade, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que forneçam elementos que venham contribuir com a preservação ambiental e manutenção da qualidade da água, propiciando seu efetivo tratamento para o consumo direto e indireto dos seres humanos.

Coagulantes naturais de origem vegetal e mineral são usados no tratamento da água e de esgoto antes do advento de produtos químicos sintéticos como os sais de alumínio e férricos (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995). A *Moringa oleifera* é uma planta tropical, originária do noroeste indiano, amplamente distribuída em diversos países, na região do nordeste brasileiro é conhecida como “Quiabo de quina” ou “Lírio branco” (PIO CORREA, 1984). As suas sementes destacam-se como promissores coagulantes naturais, sendo sua eficácia comprovada por diversos pesquisadores (CASTRO e SILVA, 2004, NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998; OKUDA *et al.*, 2001, SILVA, 2005). A capacidade da *Moringa* de coagular colóides em águas que apresentam cor e turbidez é atribuída a uma proteína isolada por diversos pesquisadores (GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005, NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998). Há um consenso entre os pesquisadores no que diz respeito à proteína ser catiônica e de alto peso molecular, a identificação da mesma necessita maior investigação.

Neste trabalho as sementes de *Moringa oleifera* foram testadas como coagulante utilizando a flotação por ar dissolvido- FAD. Para a execução dos experimentos foi construído um equipamento em escala de bancada, flotateste. Foram verificadas a influência das condições de pré-tratamento: dosagem de coagulante e tempo de floculação na eficiência da FAD, assim como o impacto da variação dos parâmetros de projeto e operação: taxa de aplicação superficial e a taxa de recirculação, na eficiência do processo. Sendo a turbidez o parâmetro considerado no controle da eficiência. Os resultados obtidos mostraram que, elevadas eficiências de remoção de turbidez podem ser conseguidas com o uso da FAD em águas com baixa turbidez, utilizando as sementes de *Moringa oleifera*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Coleta de amostras

Todas as amostras foram coletadas no canal de entrada da água bruta da Estação de tratamento de água do Jiqui (ETA-Jiqui), pertencente a Companhia de águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN/ RN). Atualmente a tecnologia de tratamento na ETA-Jiqui é a de filtração direta precedida de coagulação com sulfato de alumínio.

2.2. Reagentes utilizados

Os reagentes utilizados nos ensaios foram sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{H}_2\text{O}$) a 1% adquirido pela ETA-Jiqui, Natal/RN, e sementes de *Moringa oleifera* fornecidas pela Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju/SE. Para a correção do pH foi utilizado cal (0.5%).

2.3. Preparação da solução coagulante com sementes de *Moringa oleifera*

As sementes secas foram selecionadas e descascadas manualmente e em seguida misturadas a água destilada na proporção de 25g por litro. Esta suspensão foi batida em um mixer por 15 minutos e

filtrada em papel de filtro (28 μ m), procedimento adaptado de Lopes e Silva, 2004. A concentração final aproximada da suspensão é de 25g/L, considerando a massa do pó usada para preparar a solução.

2.4. Desenvolvimento do trabalho experimental

O trabalho experimental foi dividido em 4 etapas, como mostrado na Tabela I, sendo mantidos constantes os seguintes parâmetros do processo: Mistura rápida- 2 minuto, $G=40s^{-1}$; Mistura lenta- 20 minutos, $G=1000s^{-1}$; Pressão de saturação= 5,5 kgf / cm². A escolha destes parâmetros foi baseada em trabalhos realizados anteriormente podendo citar, Edzwald, 1995; Lacerda, 1997 e Richter, 2001. A eficiência do processo foi avaliada a partir de medidas de turbidez da água antes e após os experimentos, em todas as etapas. Foram realizados ensaios de flotação com sementes de *Moringa oleifera* nos pHs 6,4 (livre), 7,0 e 8,0.

Tabela I. Etapas de investigação.

Etapas	Objetivo
1	Determinação da faixa de dosagem ótima de coagulante
2	Avaliação da influência da taxa de aplicação superficial na eficiência do processo
3	Avaliação da influência do tempo de floculação na eficiência do processo
4	Avaliação da influência da taxa de recirculação na eficiência do processo

Em cada uma destas etapas, era encontrada a melhor condição, ou seja, aquela em que se tinha a melhor eficiência de remoção de turbidez, que foi o parâmetro de controle escolhido. A cada etapa, utilizavam-se as melhores condições determinadas anteriormente e assim, sucessivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ensaios de Flotação utilizando sementes de *Moringa oleifera*

Foram realizados testes com *Moringa oleifera* em três valores diferentes de pH: 6,4 (sem ajuste), 7,0 e 8,0 com o objetivo de verificar se esta alteração poderia trazer ganhos ao processo no que diz respeito a melhoria na eficiência de remoção de turbidez . Os resultados são apresentados a seguir.

3.1.1. Determinação da faixa de dosagem ótima de coagulante

Nesta etapa da pesquisa, foram estudadas diferentes dosagens de *Moringa oleifera* e sua influência na remoção de turbidez. Na Figura 1 são mostrados os resultados encontrados para os pHs 6,4 (livre), 7,0 e 8,0.

Para o pH 6,4 verificou-se a diminuição da turbidez remanescente até chegar a uma turbidez mínima de 0,84 uT na dosagem de 50 mg/L, correspondendo a uma remoção de 73,75%. Acima desta dosagem verifica-se uma diminuição da eficiência do processo. Apenas as dosagens de 50 e 60 mg/L apresentaram turbidez remanescente com valores que atendem ao padrão de potabilidade, significando uma faixa muito estreita de dosagens que atendem a este padrão. No pH 7,0 verificou-se a diminuição da turbidez com aumento da dosagem atingindo valores de 0,77; 0,78 e 0,79 uT nas dosagens de 60, 50 e 70, respectivamente. A faixa de dosagens que atendem ao padrão de

potabilidade aumentou em relação ao pH investigado anteriormente. Para o pH 8,0 o comportamento foi semelhante aos pHs anteriores, sendo que as dosagens de 50 e 60 mg/L apresentaram menor turbidez remanescente 0,43 e 0,42 uT (73,85 e 71,84%). A faixa de dosagens de 30 a 100 mg/L apresentou valores de turbidez dentro do padrão de potabilidade exigido.

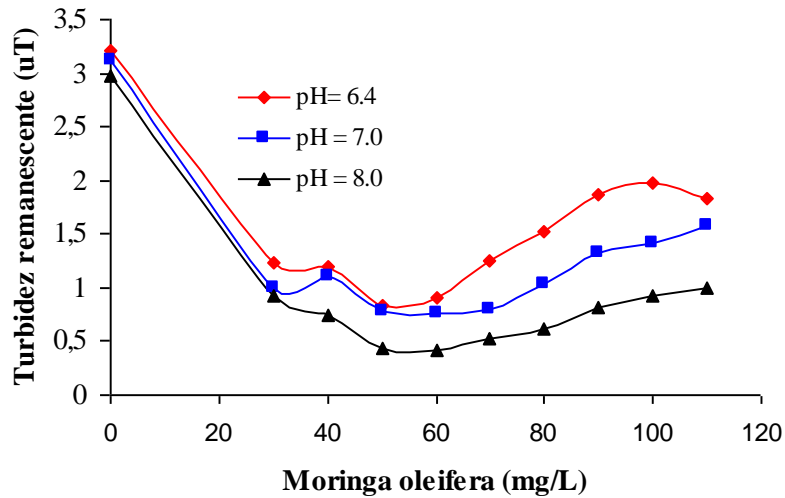


Figura 1. Relação das doses de *Moringa oleifera* (mg/L) e turbidez remanescente (uT) nos pHs 6,4, 7,0 e 8,0.

3.1.2. Taxa de aplicação superficial

Nesta etapa as taxas de aplicação superficial variaram de 80,35m³/m².d a 482,4m³/m².d. A Figura 2 mostra os resultados obtidos.

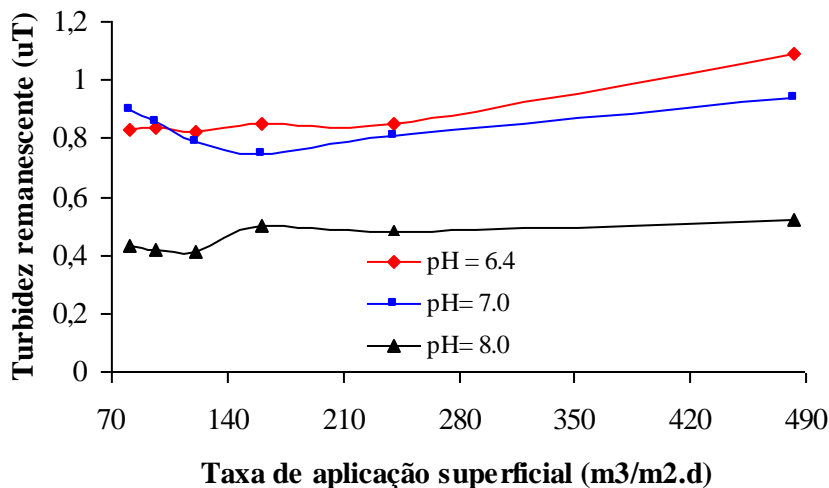


Figura 2. Relação das taxas de aplicação superficial (m³/m².d) e turbidez remanescente (uT) nos pHs 5,0, 6,0 e 7,0.

As variações das taxas de aplicação superficial de 80 a 241,2m³/m².d no pH 6,4 praticamente não afetaram a eficiência do processo. Foi escolhida então a taxa de aplicação superficial de 241,2m³/m².d para as etapas seguintes, que apresentou um percentual de remoção de turbidez de 73,56% (0,85 uT). A taxa de aplicação superficial que apresentou menor turbidez remanescente no pH 7,0 foi de 160,85 m³/m².d, com turbidez remanescente de 0,41 uT (86,31%). Para o pH 8,0

observou-se pouca variação na faixa de 80,35 a 120,96m³/m².d para as etapas seguintes, que proporcionou uma turbidez remanescente de 0,41 uT (86,31%).

3.1.3. Tempo de floculação

Nesta etapa os tempos de floculação testados foram de 0, 5, 10, 15 e 20. Esta etapa foi efetuada com as melhores condições encontradas nas etapas anteriores.

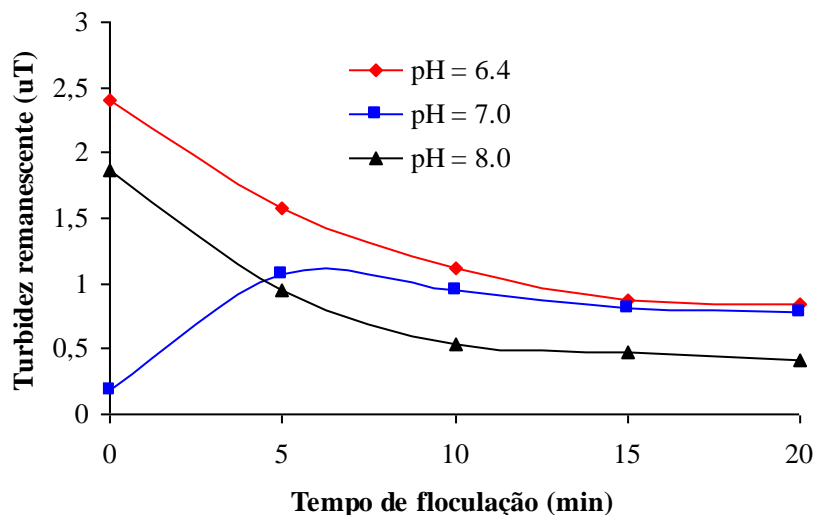


Figura 3. Relação do tempo de floculação (min) e turbidez remanescente (uT) nos pHs 6,4, 7,0 e 8,0.

Verificou-se para o pH 6,4 uma diminuição na turbidez remanescente alcançando menores valores de turbidez remanescente nos tempos de 15 (0,84 uT) e 20 min. (0,90 uT). Escolheu-se o tempo de floculação de 15 minutos para dar continuidade aos experimentos, que apresentou um percentual de remoção de turbidez de 73,86%. Para o pH 7,0 os tempos de floculação de 10 a 20 minutos apresentaram turbidez de 0,95; 0,81 e 0,78 uT. Escolheu-se o tempo de floculação de 20 minutos para dar continuidade aos experimentos, que apresentou um percentual de remoção de turbidez de 75%. Para o pH 8,0 os resultados obtidos mostraram uma diminuição da turbidez remanescente com o aumento do tempo de floculação. Escolheu-se então o tempo de 20 minutos que se mostrou adequado para a continuidade dos experimentos, com um valor de turbidez remanescente de 0,41 uT (86,31%).

3.1.4. Taxa de recirculação

Nesta etapa as taxas de recirculação testadas foram de 5, 10, 15, 20 e 25%. Os resultados encontrados são mostrados na Figura 4.

Verifica-se pouca variação na eficiência do processo com a variação da taxa de recirculação. Escolheu-se a taxa de recirculação de 10% para todos os pHs que tiveram remoções de turbidez de 0,83; 0,78 e 0,41 uT.

A Tabela II mostra as melhores condições otimizadas de pré-tratamento e parâmetros de projeto e operação da FAD nos pHs estudados.

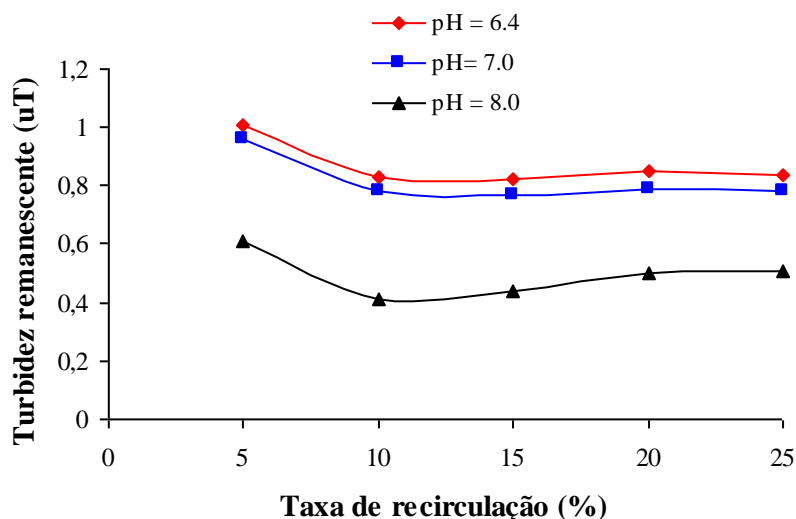


Figura 4. Relação do tempo de recirculação (%) e turbidez remanescente (uT) nos pHs 6,4, 7,0 e 8,0.

Tabela II. Melhores condições de pré-tratamento e parâmetros de projeto e operação da FAD em função dos pHs nas etapas dos ensaios de flotação utilizando sementes de *Moringa oleifera*.

Etapas/pH	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
pH = 6.4	50 (0,84 uT)	241,2 (0,85 uT)	15 (0,84 uT)	10 (0,83 uT)
pH = 7.0	50 (0,78 uT)	160,85 (0,75 uT)	20 (0,78 uT)	10 (0,78 uT)
pH = 8.0	50 (0,43 uT)	120,96 (0,41 uT)	20 (0,41 uT)	10 (0,41 uT)

Etapa 1: Dosagem (mg/L); Etapa 2: Tempo de floculação(min); Etapa 3: Taxa de aplicação superficial (m³/m².d); etapa 4: taxa de recirculação (%)

Diante dos resultados observou-se que com o aumento do pH, uma mesma dosagem de 50 mg/L apresenta valores de turbidez cada vez menores e uma faixa de turbidez que atende ao padrão de potabilidade mais ampla, o que em termos operacionais é mais vantajoso.

Na Tabela III são apresentados os resumos da análise de variância para os ensaios de flotação com sementes de *Moringa oleifera* para a variável turbidez remanescente (uT) nos diferentes pHs. Observa-se que houve efeito significativo de todos os fatores com exceção da interação entre taxa de recirculação e pH ($P > 0,05$) para o ensaio com sementes de *Moringa oleifera*, indicando que o comportamento das taxas de recirculação com relação a turbidez remanescente seguem uma mesma tendência independente dos pHs como pode ser observado na Figura 4. Os coeficientes de variação variaram de 4,85 a 10,46%, indicando boa precisão nos ensaios.

Tabela III. Resumo da análise de variância nas etapas dos ensaios de flotação utilizando sementes de *Moringa oleifera* para a variável turbidez remanescente (uT) nos diferentes pHs.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
		<i>Moringa oleifera</i>
Etapa 1 - Dosagem (mg/L)		
Dose	11 (7) ¹	0,3441**
pH	2	0,1420**
Dose x pH	22 (14) ¹	0,0606**
Erro	28 (21) ¹	0,0034
CV (%)		5,93
Média geral		0,9818 b
Etapa 2 - Tempo de floculação (TF), em min		
TF	4	0,7162**
pH	2	1,0424**
TF x pH	8	0,5527**
Erro	15	0,0047
CV (%)		6,93
Média geral		0,9887 a
Etapa 3 - Taxa de aplicação superficial (TAS), em m ³ /m ² .d		
TAS	5	0,0233**
pH	2	0,6471**
TAS x pH	10	0,0063*
Erro	18	0,0018
CV (%)		5,87
Média geral		0,7272 a
Etapa 4 - taxa de recirculação (TC), em %		
TC	4	0,0354**
pH	2	0,4133**
TC x pH	8	0,0010 ^{ns}
Erro	15	0,0018
CV (%)		5,80
Média geral		0,7267 a

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F. ^{ns} não significativo. Médias gerais seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de t a 5% de probabilidade.

¹ grau de liberdade relativo à *Moringa Oleifera*.

4. CONCLUSÕES

Verificou-se que com o aumento do pH, o processo se mostrou mais eficiente na remoção de turbidez, apresentando uma faixa bem mais ampla de amostras dentro do padrão de potabilidade. Eficiências de remoção altas podem ser atingidas com taxas de aplicação superficial maiores quando se utilizam valores de pH mais baixos, quando se utiliza sementes de *Moringa oleifera* como coagulante. Os resultados encontrados confirmam a tendência relatada por vários pesquisadores de que a FAD opera melhor nas taxas de recirculação de 10 a 20% em função dos maiores valores de razão ar/sólidos. A variação do pH teve um efeito significativo sobre todos os parâmetros investigados, com exceção da interação entre taxa de recirculação e pH. Os resultados encontrados podem servir de base para trabalhos futuros envolvendo a FAD além de sinalizar a possibilidade de utilização de um coagulante natural eficaz para o tratamento de águas, constituindo-se em uma tecnologia ambientalmente correta.

5. REFERÊNCIAS

CASTRO, F.J.F e SILVA, F.J.A. *Moringa oleifera* na melhoria da qualidade de efluentes de UASB e de lagoa de maturação- Remoção de cor e turbidez. In: XI SILUBESA- SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Natal/RN, 2004.

EDZWALD, J.K. Principles and applications of dissolved air flotation. *Wat.Sci.Tech* 31(3-4), 1-23, 1995.

GHEBREMICHAEL, K.A., *et al.* A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *Water Research* v.39, p.2338-2344, 2005.

LACERDA, M.R.S. A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido no tratamento de água com baixa turbidez e presença de algas. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil e ambiental)- Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 1997.

LOPES, A. S. e SILVA, F.J.A. Tratamento de efluente de tanque de piscicultura com *Moringa oleifera*. In: XI SILUBESA- SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Natal/RN, 2004.

NDABIGENGESERE A., NARASIAH, K.S., TALBOT, B.G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Wat.Sci.Tech.* v.29, n.2, p. 703-710, 1995.

NDABIGENGESERE, A. e NARASIAH, K.S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*, v.32, n.03, p.781-791, 1998.

OKUDA, T. *et al.* Isolation and Characterization of Coagulant Extracted from *Moringa oleifera* Seed by Salt Solution. *Water Research*, v. 35, n.2, p.405-410, 2001.

PIO CORREA, M. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro: IBDF, 1984.

RICHTER, C.A. Clarificação de água por flotação a ar dissolvido. Curso ABES, natal, RN, 2001

SILVA, C.A. Estudos aplicados ao uso da *Moringa oleifera* como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, 2005.