

I-080 - CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA USADA NO ABASTECIMENTO DA CIDADE DE PAU DOS FERROS – RN, UTILIZANDO SULFATO DE ALUMÍNIO COMO COAGULANTE COMBINADO COM *Moringa oleífera* LAM.

Amanda Bezerra de Sousa⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade do Rio Grande do Norte (UFRN).

Solange Aparecida Goularte Dombroski

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Mato Grosso. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP). Doutora em Engenharia Civil, área de saneamento, pela Escola Politécnica da USP. Atualmente é professora da UFERSA.

Endereço⁽¹⁾: Rua Berilo Wanderley, 1959, Cond. Colinas do Seridó, Bl A, apto 302 – Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59076-700 - Brasil - Tel: (84) 99619-8538 - e-mail: amandabez12@yahoo.com.br

RESUMO

A partir da realização de testes em escala de bancada, simulando etapas do tratamento de ciclo completo com coagulação, floculação e sedimentação, o presente estudo teve como objetivo estudar a clarificação da água superficial usada para abastecer a cidade de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, utilizando sulfato de alumínio como coagulante combinado com *Moringa oleífera Lam*. Os ensaios foram realizados em quatro etapas, utilizando condições fixas de mistura rápida (MR), tempo (T_{MR}), gradiente médio de velocidade (G_{MR}), condições fixas de floculação (gradiente médio de velocidade e tempo de floculação), além de fixar o tempo de sedimentação. Na primeira etapa dos testes foi utilizado apenas sulfato de alumínio como coagulante, variando a dosagem deste entre 5 e 60 mg/L, sem uso de *Moringa* e sem acréscimo de soluções acidulante ou básica para variar os valores de pH. Ao se obter a melhor condição de remoção de cor e turbidez, esta dosagem de coagulante foi fixada na segunda etapa tendo sido variados os valores de pH de coagulação. Na terceira etapa foi fixada a dosagem de sulfato de alumínio e variou-se a dosagem de *Moringa*, não sendo usada soluções básica ou ácida para variação de pH. Por fim, a quarta etapa da pesquisa foi realizada com dosagem fixa de sulfato de alumínio definida ao término da primeira etapa e usando três dosagens de *Moringa* com melhores resultados de remoção de cor aparente e turbidez, havendo variação dos valores de pH. Com isso, os resultados obtidos sugeriram a possibilidade de obter uma melhor clarificação da água estudada quando foi utilizado sulfato de alumínio como coagulante combinado com *Moringa oleífera Lam* em comparação a sulfato de alumínio sozinho. Para resultados mais conclusivos quanto a tratabilidade da água estudada, faz-se necessária a realização de outros testes, com pesquisa de outros coagulantes e outras tecnologias de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação, auxiliar de coagulação, tratamento de água.

INTRODUÇÃO

A água constitui o recurso natural mais importante para o homem, tendo em vista que esta se faz necessária para a realização de todas as suas atividades, desde o seu uso na indústria, na agricultura, na geração de energia, abastecimento humano e outros. As cidades foram crescendo nas margens dos rios, dada a necessidade do homem de coletá-la para seu consumo, porém as atividades humanas foram aumentando e estas gerando cada vez mais poluentes, o que tem ocasionado degradação de muitos mananciais. Dessa forma, dependendo do uso pretendido, se faz necessário o tratamento da água natural, como é o caso do uso para consumo humano. Para este uso, especificamente, a qualidade da água deve atender o padrão de potabilidade, sendo isso relevante, pois a água pode ser veículo de transmissão de doenças.

No âmbito da região Nordeste brasileira, considerando a estiagem severa que ocorre com certa frequência, a disponibilidade de água para abastecimento humano se compromete cada vez mais, e com isso aparecem as dificuldades de tratamento para a água mais escassa e conseqüentemente com maior concentração de agentes poluidores. Qualquer água pode ser potabilizada, desde que seja dado o tratamento adequado que nem sempre sai a um custo acessível. Todavia, deve-se buscar pela alternativa mais viável para o abastecimento de uma

cidade, visando uma melhor relação custo/benefício que atenda o padrão de potabilidade imposto pela legislação, que no caso do Brasil, é a Portaria n° 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

A Portaria n° 2.914 (BRASIL, 2011) dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, considerando como água potável a água que atende aos limites estipulados pela referida portaria e que não ofereça riscos à saúde humana.

Em termos de tratamento de água, de um modo geral, para cada manancial a solução a ser adotada depende, entre outras coisas, da qualidade da água bruta, da disponibilidade de mão-de-obra operacional e disponibilidade de recursos financeiros a serem utilizados na implantação e operação de um sistema de tratamento. Ressalte-se que o tratamento pode ser definido como o conjunto de processos e operações realizados com a finalidade de adequar as características físico-químicas e biológicas da água bruta (DI BERNARDO, 2003).

A importância da execução de análises e exames em laboratórios, como a realização de ensaios em instalações de bancada ou em instalações piloto com escoamento contínuo, se dá para que algumas tecnologias de tratamento sejam consideradas inicialmente e outras descartadas (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo estudar a clarificação da água superficial usada para abastecer a cidade de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, utilizando sulfato de alumínio como coagulante combinado com *Moringa oleífera* Lam. em testes de bancada simulando parte de um sistema convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizada a água bruta da barragem da cidade de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, que abastece parte do município. A localização da cidade de Pau dos Ferros está representada na Figura 1.

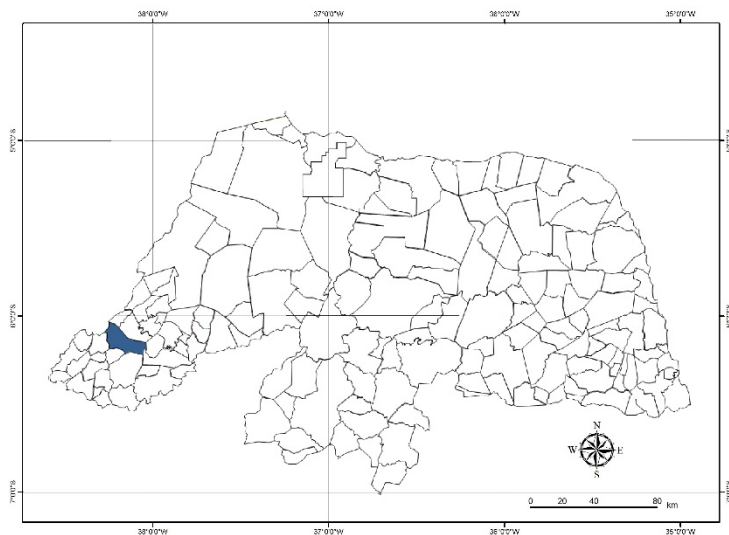


Figura 1: Localização do município de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte.

Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

Segundo o diagnóstico realizado pelo governo do estado do Rio Grande do Norte, o município de Pau dos Ferros encontra-se totalmente inserido nos domínios da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, sendo banhada pela sub-bacia do Rio Apodi. A barragem de Pau dos Ferros é alimentada pelo rio Apodi, um curso d'água intermitente sendo o padrão de drenagem do tipo dendrítico (RIO GRANDE DO NORTE, 2005).

A água bruta foi coletada na margem do açude no ponto com coordenadas geográficas 06°08'44,6'' Sul, 38°11'23,6'' Oeste e, aproximadamente, 186 m acima do nível do mar. Devido à dificuldade de acesso, não foi possível executar a coleta no local exato da captação do sistema de abastecimento de água sob responsabilidade da Companhia de Águas e Esgoto do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN). A Figura 2

apresenta uma imagem de satélite indicando a captação do sistema de abastecimento da cidade e o local onde foi realizada a coleta de água para este estudo. No momento da coleta foi aferido o pH e a temperatura da água, a temperatura do ar e as coordenadas geográficas. Já, no laboratório, antes de cada teste, com relação à água bruta, foi aferido o valor de pH, a cor aparente e a turbidez.



Figura 2: Vista superior da barragem de Pau dos Ferros, RN com indicação do ponto de captação do sistema de abastecimento de água do município (seta vermelha) e do ponto onde foi realizada a coleta da água para o presente estudo (seta verde).

Fonte: Adaptado de Google Earth (2013).

Segundo dados obtidos com a equipe da CAERN em uma visita realizada pelo Ministério Público à estação de tratamento de água (ETA) de Pau dos Ferros em setembro de 2013, o tratamento da água era realizado em três etapas (MPRN, 2013): 1) coagulação com policloreto de alumínio cationizado, em quantidade que a CAERN não soube especificar; 2) filtração da água em oito filtros verticais de cascalho e areia; 3) desinfecção da água no reservatório pós-tratamento, que possui capacidade para 750 mil litros de água, por meio da adição de 310 quilos de cloro gasoso por dia. A ETA é operada pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

A presente pesquisa simulou, em escala de bancada, etapas do tratamento de ciclo completo com coagulação, floculação e sedimentação. Os ensaios foram realizados em quatro etapas, utilizando condições fixas de mistura rápida (MR), tempo (TMR) e gradiente médio de velocidade (GMR). Além disso, as condições da floculação (gradiente médio de velocidade - G_f , tempo de floculação - T_f) e sedimentação (tempo de sedimentação) também foram fixadas.

Na primeira etapa dos testes foi utilizado apenas o sulfato de alumínio, variando a dosagem deste entre 5 e 60 mg/L, zero de *Moringa* e sem acréscimo de soluções acidulante ou básica para variar os valores de pH. Ao se obter a condição de melhor remoção de cor aparente e turbidez, foi fixada a dosagem do sulfato de alumínio e variaram-se os valores de pH, constituindo esta a segunda etapa. Na terceira etapa, foi fixada a dosagem de sulfato de alumínio e variou-se a dosagem de *Moringa*, não sendo usadas soluções básica ou ácida para variação dos valores de pH. A quarta etapa foi realizada com dosagem fixa de sulfato de alumínio definida ao término da primeira etapa e usando três dosagens de *Moringa* com melhores resultados de remoção de cor aparente e turbidez, havendo variação dos valores de pH. Na Tabela 1 está representado o resumo das etapas de testes.

Para diminuição ou aumento dos valores de pH de coagulação, foram utilizadas a solução de H_2SO_4 0,05N ou de $NaCO_3$ (barrilha) 0,5%, respectivamente.

Os métodos analíticos utilizados foram os descritos por Clesceri, Greenberg e Eaton (1999): o pH foi aferido pelo método eletrométrico, a turbidez pelo método nefelométrico e a cor aparente pelo método espectrofotômetro.

Nos ensaios usando sulfato de alumínio combinado com *Moringa*, estes foram dosados simultaneamente, no início da mistura rápida. Esta condição foi adotada pelo fato de que a semente da *Moringa* é constituída por proteínas catiônicas (NDABIGENGESERE et al., 1995 apud NISHI, 2011), possivelmente, agindo como um auxiliar de coagulação.

Tabela 1: Resumo dos ensaios realizados nas quatro etapas.

Etapas da pesquisa	Condições fixas: (a) Mistura rápida: $T_{MR} = 60s$ e $G_{MR} = 800s^{-1}$; (b) Flocculação: $T_f = 30min$ e $G_f = 30s^{-1}$; (c) Sedimentação: $T_s = 7 min$.				
	Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	Dosagem de <i>Moringa Oleífera</i> Lam. (mg/L)	Solução ácida (mL/L)	Solução básica (mL/L)	Jarros
Primeira	5 – 30	0	0	0	1, 2, 3, 4, 5, 6
	35 – 60	0	0	0	1, 2, 3, 4, 5, 6
Segunda	40	0	0 – 5	0 – 5	1, 2, 3, 4, 5, 6
	40	0	0 – 5	0 – 10	1, 2, 3, 4, 5, 6
Terceira	40	0 – 25	0	0	1, 2, 3, 4, 5, 6
	40	25 – 55	0	0	1, 2, 3, 4, 5, 6
Quarta	40	40	0 – 5	0 – 5	1, 2, 3, 4, 5, 6
	40	45	0 – 5	0 – 5	1, 2, 3, 4, 5, 6
	40	50	0 – 5	0 – 10	1, 2, 3, 4, 5, 6
Total de jarros:					54

A seguir, apresenta-se o procedimento utilizado para execução dos ensaios em escala de laboratório:

- 1) Homogeneizar a água armazenada na bombona e transferi-la para o balde de plástico de 20 L.
- 2) Homogeneizar a água bruta no balde e coletar amostra representativa para caracterização da mesma;
- 3) Medir 2 litros da água de estudo, utilizando-se béquer e proveta graduada e colocar este volume em cada um dos jarros do equipamento jarteste;
- 4) Ligar os agitadores do equipamento jarteste e acertar a rotação de maneira a obter-se o GMR previamente definido;
- 5) Adicionar determinado volume de solução de ácido sulfúrico ou de carbonato de sódio de maneira a conferir a variação desejada do pH de coagulação;
- 6) Medir os volumes da solução de coagulante, utilizando pipeta, de modo a obter-se a dosagem de sulfato de alumínio definida previamente, colocando os mesmos nos frascos dosadores do equipamento jarteste. Fazer o mesmo procedimento com a solução de *Moringa*;
- 7) Adicionar o conteúdo dos frascos dosadores nos jarros, cronometrando o tempo para controle do tempo da mistura rápida (TMR);
- 8) Ao término do TMR, alterar a rotação dos agitadores para o gradiente médio de velocidade de flocculação (GF) previamente definido, cronometrando o tempo que corresponderá ao tempo de flocculação (TF) e, o mais rápido possível, descartar aproximadamente 20mL do conteúdo das mangueiras nos pontos de coleta dos jarros do equipamento e coletar as amostras de água coagulada para medir os valores do pH;
- 9) Ao término do TF definido previamente, desligar os agitadores e cronometrar o tempo correspondente ao tempo de sedimentação (TS);
- 10) Ao final do TS, descartar aproximadamente 20 mL do conteúdo das mangueiras nos pontos de coleta dos jarros (7 cm abaixo do nível da água) do equipamento e imediatamente após, coletar uma amostra com cerca de 30 mL e medir os valores de cor aparente e turbidez.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta foi realizada no dia 8 de dezembro de 2014. No momento da coleta verificou-se para a água bruta, valor de pH de 8,4, temperatura de 29,5°C e, temperatura do ar de 31°C. O reservatório estava com 2,46% da sua capacidade (DNOCS, 2015). A seguir são apresentados os resultados referentes a cada uma das etapas da pesquisa.

Primeira etapa

A Figura 3 apresenta resultados de remoção de cor aparente em ensaios realizados utilizando sulfato de alumínio como coagulante (primeira etapa). As dosagens de sulfato de alumínio variaram de 5 a 30 mg/L (gráfico à esquerda) e de 35 a 60 mg/L (gráfico à direita), sendo que, nesta etapa não houve adição da solução de *Moringa oleífera* Lam. Destes ensaios, a dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L (pH de coagulação de 7,35) resultou em maior eficiência de remoção de cor (66%), correspondendo a um valor de 274 uC.

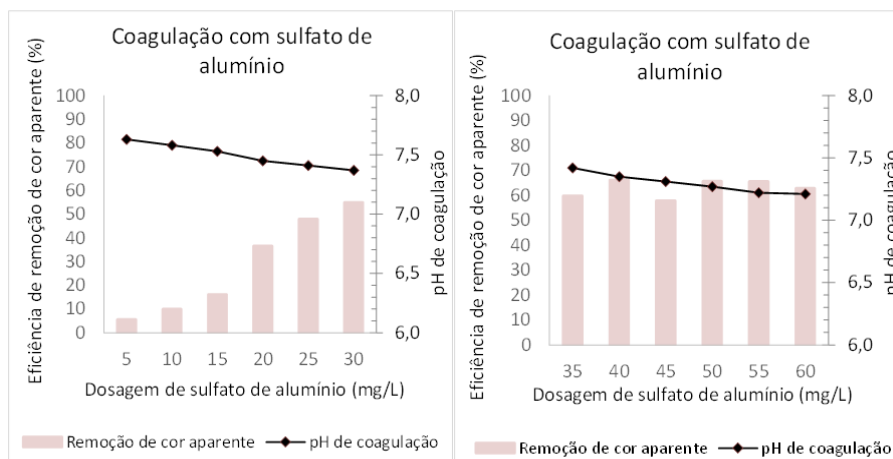


Figura 3: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente em testes realizados com dosagens variadas de sulfato de alumínio e sem adição de *Moringa oleifera* Lam. Água bruta no primeiro teste: pH = 7,68; cor aparente = 910 uC; turbidez = 96,7 uT. Água bruta no segundo teste: pH = 7,81; cor aparente = 808 uC; turbidez = 79,8 uT

Na Figura 4 observam-se os percentuais de remoção de turbidez em ensaios realizados utilizando sulfato de alumínio como coagulante com dosagens entre 5 e 60 mg/L. Assim como observado para cor aparente, a dosagem de sulfato de alumínio com melhor resultado de remoção de turbidez (74%) foi de 40 mg/L com pH de coagulação de 7,35. Neste ensaio, a turbidez da água clarificada foi de 20,7 uT.

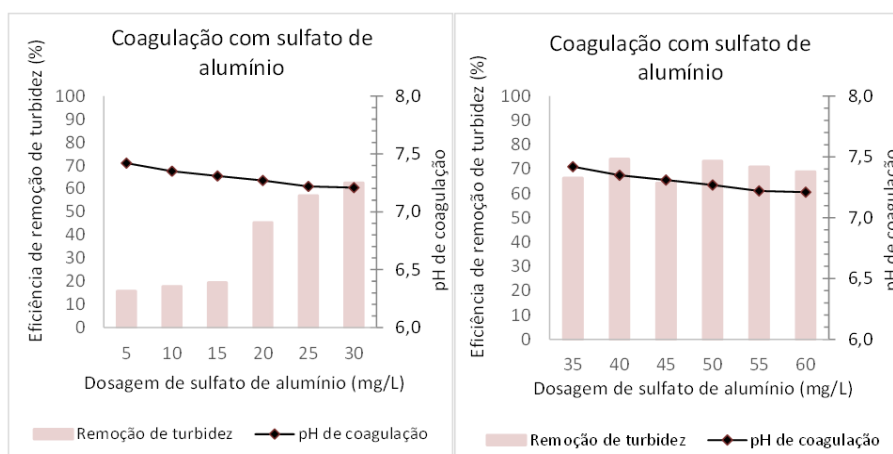


Figura 4: Resultados de eficiência de remoção de turbidez em testes realizados com dosagens variadas de sulfato de alumínio e sem adição de *Moringa oleifera* Lam. Água bruta no primeiro teste: pH = 7,68; cor aparente = 910 uC; turbidez = 96,7 uT. Água bruta no segundo teste: pH = 7,81; cor aparente = 808 uC; turbidez = 79,8 uT.

Com os resultados obtidos nestes ensaios, definiu-se uma dosagem fixa de sulfato de alumínio (40 mg/L) para os testes realizados nas etapas seguintes, com variação de pH de coagulação e coagulação utilizando *Moringa oleifera* Lam. como auxiliar.

Segunda etapa

As Figuras 5 e 6 apresentam valores de eficiência de remoção de cor aparente e de turbidez para coagulação com dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L e pH de coagulação variando de 5,95 a 7,52 (Figura 5) e de 7,22 a 7,91 (Figura 6). Nestes ensaios também não foi utilizada *Moringa oleifera* Lam

Na Figura 6, observam-se as maiores eficiências de remoção de cor aparente (81%) e turbidez (88%) para o valor de pH de coagulação de 7,33. Neste ensaio, os valores remanescentes de cor aparente e de turbidez foram, respectivamente, de 265 uC e 20,9 uT.

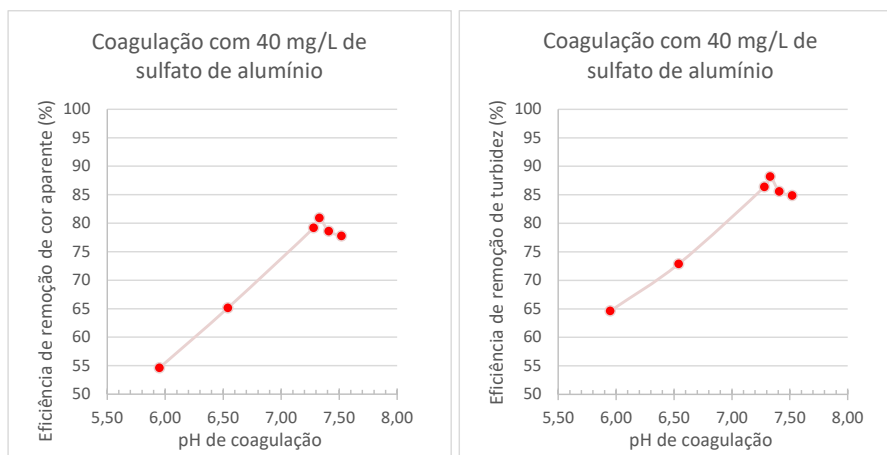


Figura 5: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em testes realizados com dosagem fixa de 40 mg/L de sulfato de alumínio; sem adição de *Moringa oleífera* Lam. e pH de coagulação variando de 5,95 a 7,52. Água bruta: pH = 7,83; cor aparente = 1388 uC; turbidez = 177 uT.

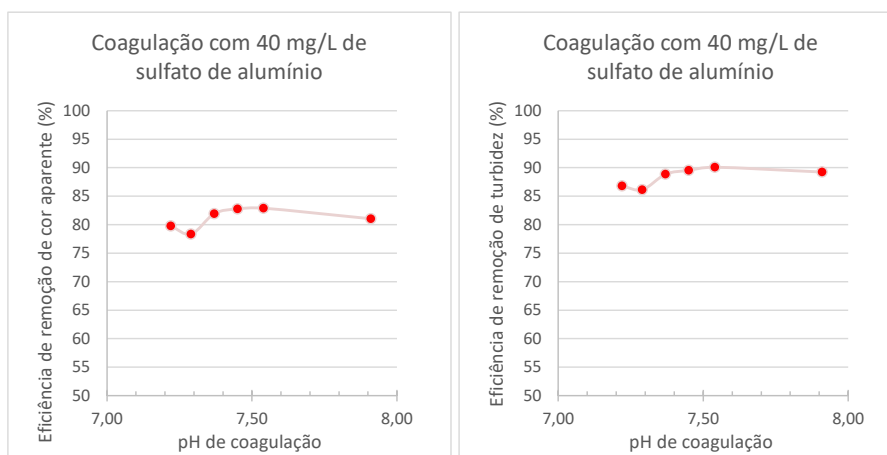


Figura 6: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em testes realizados com dosagem fixa de 40 mg/L de sulfato de alumínio; sem adição de *Moringa oleífera* Lam. e pH de coagulação variando de 7,22 a 7,91. Água bruta: pH = 8,02; cor aparente = 1672 uC; turbidez = 236 uT.

Já no segundo teste, com o pH de coagulação de 7,54, resultaram as maiores eficiências de remoção de cor aparente e turbidez, 83 e 90%, respectivamente. Todavia, os valores remanescentes de cor aparente e de turbidez foram, respectivamente, de 286 uC e 23,4 uT, ou seja, maiores do que os observados (265 uC e 20,9 uT) no melhor ensaio mostrado na Figura 5 (pH de coagulação de 7,33) mesmo sendo estes com menores valores de eficiência de remoção. Tais resultados decorrem da variação da qualidade da água bruta estudada.

Terceira etapa

As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados da terceira etapa. Na Figura 8, observam-se os maiores valores de eficiência de cor aparente (61 %) e de turbidez (64 %) para a dosagem de 10 mg/L de *Moringa oleífera* Lam. Neste ensaio, os valores remanescentes de cor aparente e de turbidez foram de 224 uC e de 18,7 uT, respectivamente.

Nestes testes, cujos resultados são apresentados nas Figuras 7 e 8, chama-se atenção para a variação da qualidade da água bruta quanto a turbidez (53,4 e 205 uT) e cor aparente (570 e 1640 uC). O fato da água bruta ter ficado armazenada em distintas bombonas e retirada no momento de cada teste, pode ter contribuído para alteração de sua qualidade de forma diferente.

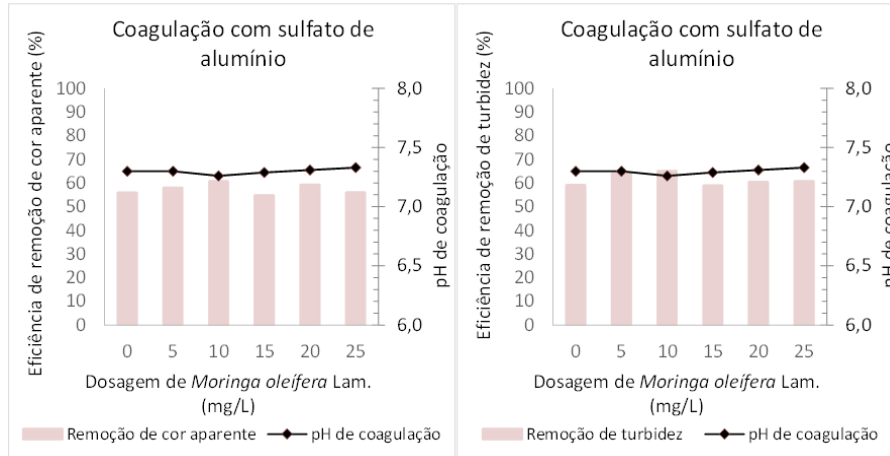


Figura 7: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em testes realizados com dosagem 40 mg/L de sulfato de alumínio e dosagens variadas de *Moringa oleifera* Lam. e pH de coagulação variando de 7,26 a 7,33. Água bruta: pH = 7,60; cor aparente = 570 uC; turbidez = 53,4 uT.

Com relação aos resultados apresentados na Figura 8, observaram-se valores de eficiência de remoção de cor aparente de 84 a 85% e de turbidez, de 89 a 90% para as dosagens de *Moringa oleifera* Lam. de 40, 45 e 50 mg/L. Para tais dosagens, os valores remanescentes de cor aparente foram de 246 a 265 uC e de turbidez, de 20,4 a 21,9 uT.

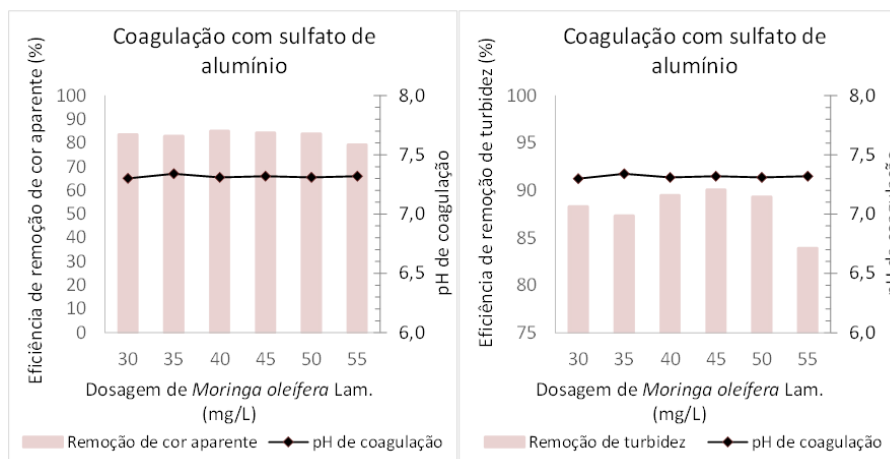


Figura 8: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em testes realizados com dosagem de 40 mg/L de sulfato de alumínio e dosagens variadas de *Moringa oleifera* Lam. e pH de coagulação variando de 7,30 a 7,34. Água bruta: pH = 7,63; cor aparente = 1640 uC; turbidez = 205 uT.

A melhor condição de remoção de cor aparente (84%) e de turbidez (90%) foi para a dosagem de *Moringa oleifera* Lam. de 45mg/L.

Quarta etapa

Na quarta etapa foram fixados os valores de dosagens de sulfato de alumínio e de *Moringa* para os quais foram observadas as melhores eficiências de remoção de cor aparente e de turbidez. Nestes ensaios, foram pesquisados diferentes valores de pH de coagulação. Os resultados estão apresentados nas Figuras 9, 10 e 11. Para a coagulação com dosagem de 40 mg/L de sulfato de alumínio, combinada com 40 mg/L de *Moringa oleifera* Lam., dos seis ensaios realizados (Figura 9), as eficiências de remoção variaram entre 74 e 80% para cor aparente e, entre 77 e 84% para turbidez. A melhor condição foi observada para o valor do pH de coagulação de 7,37, para o qual, a cor aparente remanescente foi de 162 uC e a turbidez remanescente de 15,2 uT.

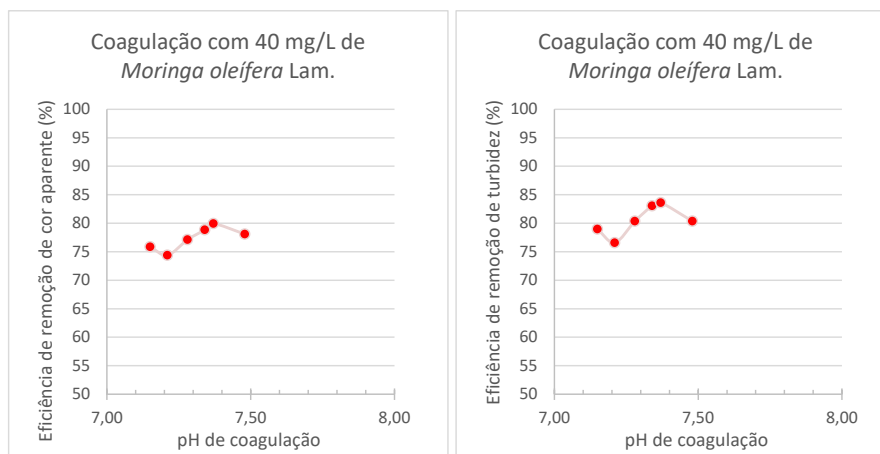


Figura 9: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em testes realizados com dosagem de 40 mg/L de sulfato de alumínio, 40 mg/L de *Moringa oleifera* Lam. e pH de coagulação variando de 7,15 a 7,48. Água bruta: pH = 7,60; cor aparente = 808 uC; turbidez = 92,7 uT.

Na Figura 10, foram observadas eficiências de remoção entre 81 e 85% para cor aparente e, entre 85 e 90% para turbidez. A melhor condição foi observada para o valor do pH de coagulação de 7,35, sendo a eficiência de remoção de cor aparente de 85% (com cor remanescente de 186 uC) e de turbidez de 90% (turbidez remanescente de 15,4 uT).

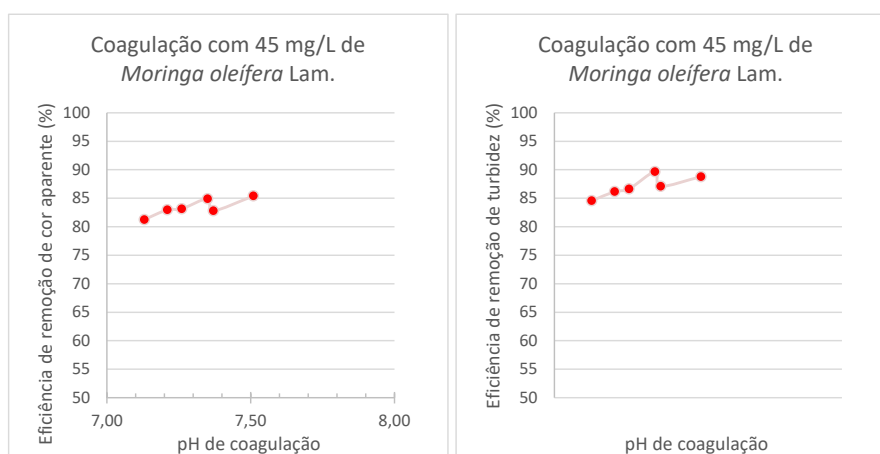


Figura 10: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em testes realizados com dosagem de 40 mg/L de sulfato de alumínio, 45 mg/L de *Moringa oleifera* Lam. e pH de coagulação variando de 7,13 a 7,51. Água bruta: pH = 7,85; cor aparente = 1233 uC; turbidez = 149 uT.

Na Figura 11, foram observadas eficiências de remoção entre 70 e 78% para cor aparente e, entre 80 e 84% para turbidez. A melhor condição foi observada para o valor do pH de coagulação de 7,45, sendo a eficiência de remoção de cor aparente de 78 % (com cor remanescente de 237 uC) e de turbidez de 84 % (turbidez remanescente de 19,8 uT).

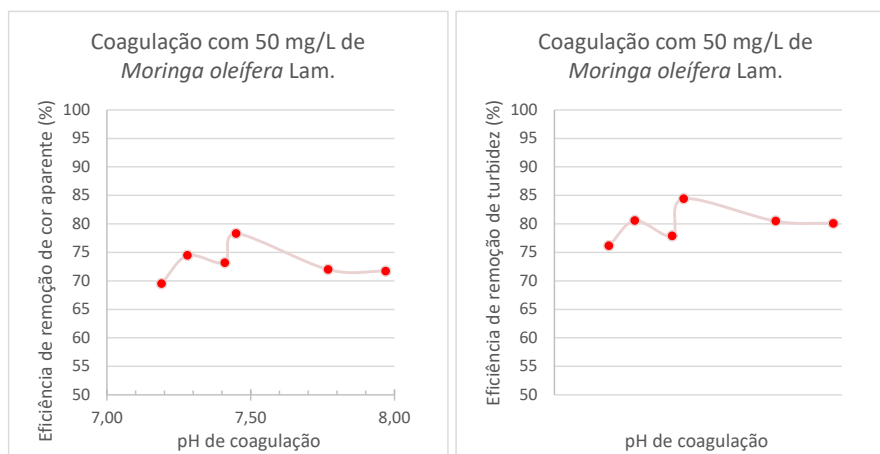


Figura 11: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em testes realizados com dosagem de 40 mg/L de alumínio, 50 mg/L de *Moringa oleifera* Lam. e pH de coagulação variando de 7,19 a 7,97. Água bruta: pH = 7,84; cor aparente = 1092 uC; turbidez = 127 uT.

A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados relativos aos melhores ensaios em cada etapa.

Tabela 2: Resumo dos resultados relativos aos melhores ensaios em cada etapa realizada na pesquisa, em termos de remoção de cor aparente e de turbidez.

Etapa	Dosagem de <i>Moringa oleifera</i> LAM. (mg/L)	pH de coagulação	Cor aparente			Turbidez		
			Água bruta (uC)	Remanescente (uC)	Eficiência de remoção (%)	Água bruta (uT)	Remanescente (uT)	Eficiência de remoção (%)
1 ^a	0	7,45	808	274	66	79,8	20,7	74
2 ^a	0	7,33	1388	265	81	177	20,9	88
	0	7,54	1672	286	83	236	23,4	90
3 ^a	10	7,26	570	224	61	53,4	18,7	64
	45	7,32	1640	259	84	205	20,4	90
4 ^a	40	7,37	808	162	80	92,7	15,2	84
	45	7,35	1233	186	85	149	15,4	90
	50	7,45	1092	237	78	127	19,8	84

Nota: Foi usada a dosagem de 40mg/L de sulfato de alumínio em todos os ensaios representados nesta Tabela.

Ao longo da execução dos testes, a água bruta sofreu uma variação considerável de sua qualidade em termos de cor aparente (570 a 1672 uC) e de turbidez (53,4 a 236 uT). Em função disso, os maiores valores de eficiência de remoção não corresponderam aos menores valores remanescentes de cor aparente e de turbidez.

Para cor aparente, a maior eficiência de remoção (85 %) correspondeu a um valor de cor remanescente de 186 uC (dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L; dosagem de *Moringa* de 45 mg/L e pH de coagulação de 7,35), sendo que para este parâmetro, o menor valor observado foi de 162 uC.

Com relação à turbidez, a maior eficiência de remoção observada foi de 90% sendo que tal remoção foi observada para três situações: (i) dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L, zero de *Moringa* e pH de coagulação de 7,54 (turbidez remanescente de 23,4 uC); (ii) dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L, dosagem de *Moringa* de 45 mg/L e pH de coagulação de 7,32 (turbidez remanescente de 20,4 uT) e (iii)

dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L, dosagem de *Moringa* de 45 mg/L e pH de coagulação de 7,35 (turbidez remanescente de 15,4 uT). Para este parâmetro, o menor valor observado foi de 15,2 uT.

Observando conjuntamente a eficiência de remoção de cor aparente (85%) e de turbidez (90%), observaram-se os melhores resultados para a condição de dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L, dosagem de *Moringa* de 45 mg/L e pH de coagulação de 7,35.

Por outro lado, observando conjuntamente os valores de cor aparente e turbidez remanescentes, os menores valores (162 uC e 15,2 uT, respectivamente) foram verificados para a condição de dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L, dosagem de *Moringa* de 40 mg/L e e pH de coagulação de 7,37.

CONCLUSÕES

Sem a aplicação de *Moringa oleífera* LAM. e sem o acréscimo de solução ácida ou básica para controle do pH, foram observadas eficiências de remoção de cor aparente e turbidez de 66 e 74%, respectivamente, para a dosagem de 40mg/L de sulfato de alumínio. Quando houve o acréscimo de solução para alteração do pH, verificaram-se eficiências de remoção de cor aparente de 83% e de turbidez de 90%, evidenciando a importância de identificação de valores de pH que proporcionem melhores resultados. Já, a coagulação com sulfato de alumínio (40 mg/L) combinada com *Moringa* (45 mg/L), resultou em eficiências de remoção de 85% para cor aparente e de 90% para turbidez.

Assim, considerando as condições do estudo, os resultados obtidos sugerem a possibilidade de obter uma melhor clarificação da água estudada quando foi utilizado sulfato de alumínio como coagulante combinado com *Moringa oleífera* Lam. em comparação a sulfato de alumínio sozinho.

RECOMENDAÇÕES

Para resultados mais conclusivos, faz-se necessária a realização de outros testes, com maior variação de pH de coagulação, além de pesquisa de outros coagulantes. Faz-se necessário também o estudo de tratabilidade da água estudada com outras tecnologias visto que, os menores valores remanescentes obtidos de cor aparente (162 uC) e de turbidez (15,2 uT) são relativamente altos. No sistema em escala real, a água seguiria para filtração. Entretanto, segundo Pádua (2006), para filtração direta descendente e ascendente, os valores máximos recomendados de cor da água bruta são 25 e 100 uC, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria nº 2.914*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Republicada por ter saído com incorreção no original, publicado no Diário Oficial da União nº 239, de 14 de dezembro de 2011, Seção 1, página 39/462011.
2. CLESCERI, L. S. GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. (Eds.) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20 ed. Washington (DC): APHA, AWWA, WEF, 1999.
3. DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS (DNOCS). Monitoramento de reservatórios. 2015. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/php/comunicacao/monitoramento_de_reservatorios.php>. Acesso em: 29 jan. 2015.
4. DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. *Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas*. São Carlos: PROSAB, 1999.
5. DI BERNARDO, L. (Coord.). *Tratamento de água para abastecimento por filtração direta*. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003.
6. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades @*. Código ou cidade. Pau dos Ferros. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240940&search=rio-grande-do-norte|pau-dos-ferros>>. Acesso em: 08 dez. 2016.
7. MINISTÉRIO PÚBLICO DO RIO GRANDE DO NORTE (MPRN). *Inquérito Civil (IC) n. 06.2012.00003328-1*. Disponível em:

- <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCwQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.mp.rn.gov.br%2Fcontrole%2Ffile%2F2013_ACP%2520-%2520%25C3%2581GUA%2520DE%2520PAU%2520DOS%2520FERROS%2520-%2520ajuizada%2520em%252001_10_2013.doc&ei=3lq9VNzIFMfFgwsN14HICw&usg=AFQjCNEuOIMJTmKDGliHIBXhYSOGRJtKDQ>. Acesso em: 29 set. 2014.
8. NISHI, L. et. al. Coagulação/floculação com sementes de *Moringa oleifera* Lam. para remoção de cistos de *Giardia* spp. e Oocistos de *Cryptosporidium* spp. da água. São Paulo. INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3rd. Mai. 2011. Disponível em <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6B/4/Nishi_L%20-%20Paper%20-%206B4.pdf>. Acesso em: 05 out. 2014.
 9. PÁDUA, V. L. de. Introdução ao tratamento de água. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de (Org.). *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. cap. 12.
 10. RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. *Diagnóstico do município de Pau dos Ferros, estado do Rio Grande do Norte*. Setembro de 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/rgnorte/relatorios/PDFE102.PDF>>. Acesso em: 29 set. 2014.