



COAGULANTES DE ORIGEM VEGETAL, CLADÓDIO DE PITAIA (*SELENICEREUS UNDATUS* (HAW.) D.R. HUNT) E SEMENTE DE MORINGA (*MORINGA OLEIFERA* LAM.), NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.I-025>

Êmili Borges Carlos (*), Airton Luiz Bortoluzzi, Leandro Lunardi, Suzana Frighetto Ferrarini

* Programa de Pós Graduação em Ambiente e Sustentabilidade – PPGAS, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS e-mail: emiliborges@hotmail.com

RESUMO

Na busca por agentes químicos capazes de promover a coagulação de maneira menos agressiva ao meio ambiente e ao ser humano, espécies de plantas vêm sendo estudadas. Algumas vem apresentando grande potencial na promoção da clarificação da água sem gerar resíduo tóxico e formando lodo biodegradável. Objetivou-se neste trabalho avaliar o desempenho do pó de semente de Moringa Oleifera Lam. e do pó de cladódio de pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) como coagulantes vegetais no tratamento de água para consumo humano. Sua eficiência no tratamento da água da lagoa Itapeva, município de Torres, RS, foi comparada com um coagulante químico convencionalmente utilizado nas Estações de Tratamento de Água (Sulfato de alumínio). A variável pH foi avaliada e sua eficiência monitorada através dos parâmetros de potabilidade turbidez e cor aparente utilizando o software SISVAR para análise estatística. Dentre os coagulantes investigados, a semente de moringa foi o que apresentou o melhor desempenho em pH 7. Os resultados apontaram potencial da pitaia como coagulante natural em pH ácido (pH 3), no qual o parâmetro turbidez atendeu o limite estabelecido pela portaria de potabilidade GM MS 888/21 podendo seu uso ser mais promissor no tratamento de efluentes ácidos.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulantes naturais, sustentabilidade, clarificação da água.

ABSTRACT

In the search for chemical agents capable of promoting coagulation in a less aggressive way to the environment and to humans, plant species have been experimented. Algae have shown great potential in promoting water clarification without generating toxic waste and forming biodegradable sludge. The objective of this work was to evaluate the performance of Moringa Oleifera Lam seed powder and dragon fruit cladode powder (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) as vegetable coagulants in the treatment of water for human consumption. Its efficiency in the treatment of water from the Itapeva lagoon, in the municipality of Torres, RS, was revealed with a chemical coagulant conventionally used in Water Treatment Stations (Aluminum sulphate). The pH variable was evaluated and its efficiency monitored through the parameters of potability, turbidity and apparent color using the SISVAR software for statistical analysis. Among the investigated coagulants, moringa seed was the one that presented the best performance at pH 7. The results showed potential of dragon fruit as a natural coagulant at acid pH (pH 3), in which the turbidity parameter met the limit established by the potability ordinance GM MS 888/21 allowing its use to be more promising in the treatment of tolerated effluents.

KEY WORDS: Natural coagulants, sustainability, water clarification.

INTRODUÇÃO

Com o aumento na demanda por água potável em quantidade e qualidade, despertou-se a busca por agentes químicos menos agressivos ao meio ambiente e ao ser humano, mais eficientes no processo de coagulação e economicamente viáveis para o tratamento das águas (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

A coagulação é um dos processos do tratamento da água que, quando seguida pela floculação, é responsável por reduzir os teores de poluentes no corpo hídrico turbidez, cor e matéria orgânica, podendo diminuir também teores de alguns íons metálicos (TEBBUT, 1982 apud HENDRAWATI, 2016).



Diversos fatores estão envolvidos na eficiência da clarificação da água, o pH por exemplo, aciona mecanismos que auxiliam no processo de coagulação e floculação, afetando o desempenho do processo (SOM et al., 2021). Devido à importância deste parâmetro há a necessidade de estudar a eficiência dos coagulantes ao longo de diversas faixas de pH.

Algumas espécies de plantas apresentam potencial de coagulação sem potencialidade tóxica, portanto, faz-se necessário procurar por opções de coagulantes naturais que possam ser empregados de forma individual ou em conjunto com os coagulantes tradicionais e que não representem risco quanto a sua utilização (MORAES et al., 2008).

Apesar das vantagens de utilizar esse material biodegradável em substituição aos reagentes comerciais nos processos de coagulação e floculação, pouco se sabe sobre as melhores condições de extração dos coagulantes e do potencial das espécies brasileiras e menos ainda no que tange ao desempenho dessas espécies no tratamento da água (SOUSA, 2015).

OBJETIVOS

Objetivou-se neste trabalho avaliar o desempenho do pó de semente de Moringa Oleifera Lam. e do pó de cladódio de pitaia (*Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt) como coagulantes vegetais no tratamento de água para consumo humano devido ser uma espécie já bastante conceituada e por ser uma planta abundante na região de estudo e por gerar grande quantidade de resíduo após a poda de frutificação, respectivamente.

METODOLOGIA

As amostras de água foram coletadas diretamente na Estação de Tratamento de Água da Companhia de Saneamento localizada na margem norte da Lagoa Itapeva, no município de Torres -RS. A coleta foi realizada em novembro de 2021 diretamente no tanque de captação da concessionária. Os cuidados na etapa de coleta da água seguiram as recomendações do Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Os cladódios foram coletados na horta do Instituto Federal Catarinense – IFC, campus Santa Rosa do Sul/SC.

Os espinhos foram removidos e os cladódios passados por processo de lavagem. Posteriormente, realizou-se o corte transversal, deixando-os com uma espessura aproximadamente entre 0,5 e 1 cm (IDRIS et al. 2012). As partes fragmentadas foram secas em estufa (65 °C) até peso constante (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O material seco foi triturado em moinho de facas e posteriormente passado em peneira, fazendo-se uso das frações granulométricas inferiores a 600 µm. As sementes de Moringa foram maceradas em almofariz e posteriormente secas em estufa (40 °C) até pesagem constante (HENDRAWATI et al., 2016). O pó não foi peneirado após secagem devido a oleosidade da semente.

O ensaio de coagulação foi executado no Laboratório de Solos do IFC em equipamentos JarTest com capacidade de 1 L, em velocidade de 120 rpm, durante 1 minuto para a etapa de agitação rápida, e 30 rpm por 20 minutos para a etapa de agitação lenta, seguido por 1 hora em repouso para sedimentação (IDRIS et al., 2012).

O experimento foi realizado em triplicata na faixa de pH de 2 a 11, ajustada com o uso de hidróxido de sódio (NaOH) ou ácido clorídrico (HCl). A concentração do coagulante comercial sulfato de alumínio tomou como base a concentração média utilizada pela concessionária de saneamento onde foram coletadas as amostras (25 mg L⁻¹). A concentração estabelecida para o cladódio de pitaia (IDRIS et al., 2012) e para a semente de moringa (SOM et al., 2021) foram 100 mg L⁻¹. Para avaliar a eficiência dos três coagulantes foram monitorados três parâmetros físico-químicos indicadores de potabilidade: turbidez, pH e cor aparente.

A análise estatística foi realizada com o uso do software SISVAR, onde foi aplicado o Teste Tukey para comparação de médias, a 5% de significância, com delineamento inteiramente casualizado.

RESULTADOS

De acordo com o estabelecido pela Portaria GM/MS 888/21, os limites máximos de turbidez e cor aparente da água são respectivamente 5 uT e 15 uH. A água bruta utilizada neste estudo apresentou inicialmente uma turbidez de 17,43 uT e cor aparente 163,14 uH, além de pH de 7,44. O que indica a necessidade de tratamento da mesma antes do consumo humano.

Os resultados obtidos no estudo da influência do pH sob o parâmetro turbidez e o parâmetro cor aparente encontram-se apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.



Tabela 1 - Influência do pH (T2) da água no percentual de remoção do parâmetro turbidez após utilização de diferentes coagulantes (T1), e comparação dos valores de remoção de turbidez dos coagulantes (T1) dentro de cada faixa de pH (T2).

pH	Branco	Sulfato de alumínio	Moringa	Pitaia
		(25 mg L ⁻¹)	(100 mg L ⁻¹)	(100 mg L ⁻¹)
Remoção de turbidez (%)				
2	94,75 b A	95,97 d A	98,60 a A	94,63 e A
3	15,55 a A	89,40 d B	94,55 a B	91,55 e B
4	12,55 a A	93,61 d B	88,98 a B	14,51 ab A
5	12,90 a A	96,05 d B	86,70 a B	12,22 ab A
6	12,20 a A	96,08 d B	89,79 a B	13,75 ab A
7	12,02 a A	67,66 c B	89,17 a C	17,96 abc A
8	10,78 a A	42,28 b B	90,09 a C	22,35 bcd A
9	11,84 a A	75,90 cd C	91,35 a C	35,47cd B
10	11,31 a A	88,03 cd C	91,89 a C	40,51 d B
11	8,31 a A	9,68 a A	93,06 a C	36,87 cd B
CV%	14,1			
		Pr>Fc		
T1 dentro de T2	0,001			
T2 dentro de T1	0,001			

Onde: Letras minúsculas indicam diferença estatística significativa entre linhas; Letras maiúsculas indicam diferença estatística significativa entre colunas; CV - Coeficiente de variação das repetições; Pr>Fc - Corresponde a significância do valor F para as avaliações T2 dentro de cada nível T1 e T1 dentro de cada nível T2 (teste Tukey).

Para os parâmetros turbidez e cor, ao avaliar a Tabela 1 nota-se que, em condições extremas de pH (pH 2), a água da lagoa Itapeva apresenta um bom percentual de coagulação e floculação dos compostos que causam estes parâmetros, independente do uso de coagulantes (branco da análise - testemunha). Esse fenômeno, possivelmente, está associado à carga variável dos materiais inorgânicos e orgânicos causadores de cor e turbidez presentes na água da lagoa, que é grandemente influenciada pela formação pedogenética do solo (STUMM; MORGAN, 1981 apud FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001). Entre os extremos de carga positiva e negativa, existe o Ponto de Carga Zero (PCZ) em que se tem a ausência ou equilíbrio entre cargas (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 2001). O PCZ corresponde ao valor de pH onde as partículas do solo não se movem num campo elétrico aplicado, caracterizando a floculação das mesmas (SPOSITO, 1989). Dessa forma, a clarificação da água em pH 2 possivelmente se deu devido ao ajuste de pH até ou próximo ao PCZ das partículas coloidais, argilas e matéria orgânica presentes na água, promovendo a floculação e a clarificação sem a utilização de coagulante. O PCZ varia de acordo com a composição mineral do solo, podendo, por exemplo, assumir valores entre pH 2 e 4 para alguns óxidos de Si e Mn, e até entre pH 8 e 10 para alguns óxidos de Fe e Al, corroborando com a afirmação acima.

Para o coagulante de origem vegetal semente de moringa, salienta-se que foi apresentado desempenho semelhante ao longo de toda a faixa de pH estudada para ambos parâmetros de potabilidade avaliados (Tabela 1 e 2). Isso deve-se à grande versatilidade da moringa frente às variações de pH (NDABIGENGESERE; NARASIAH, 1998). Para este coagulante foi possível obter remoções de turbidez superiores a ~87%, em todos os pH investigados. Dentre os coagulantes investigados, foi o que apresentou o melhor desempenho em pH 7, valor comumente encontrado nas águas superficiais, incluindo a água da lagoa Itapeva (pH 7,44).

Para o coagulante pitaia, observou-se que os dois maiores valores para a remoção de turbidez ocorreram em pH 3 (91,55%) e em pH 10 (40,51%), estatisticamente superiores ao tratamento na amostra sem coagulante (branco). Esses



mesmos dois picos são relatados na literatura durante avaliação do desempenho do cladódio de pitaia no tratamento de efluente industrial oriundo do processamento de borracha (IDRIS et al., 2012). Salienta-se que ao observar a remoção de turbidez (Tabela 1) desempenhada pela pitaia em pH 3 (91,55%) com a amostra sem coagulante (branco) (15,55%) em mesmo pH, fica evidente a efetividade deste coagulante feito a partir de cladódio de pitaia, que inclusive nesta condição de pH apresenta desempenho igual ao sulfato de alumínio. Nos demais condições de pH da água, a pitaia teve desempenho inferior ao sulfato de alumínio.

Tabela 2 - Influência do pH (T2) da água no parâmetro cor aparente após utilização de diferentes coagulantes (T1), e comparação dos valores de remoção de cor aparente dos coagulantes (T1) dentro de cada faixa de pH (T2).

pH	Testemunha	Sulfato de alumínio (25 mg L ⁻¹)	Moringa (10 mg L ⁻¹)	Pitaia (100 mg L ⁻¹)
Valores de cor aparente (uH)				
2	28,33 a A	145,74 cde B	46,48 a A	17,59 a A
3	150,19 b B	33,89 ab A	17,59 a A	23,52 ab A
4	148,70 b B	27,03 ab A	33,14 a A	154,99 c B
5	147,22 b B	22,77 ab A	35,37 a A	159,07 c B
6	152,77 b B	18,52 a A	37,22 a A	122,03 bc B
7	159,07 b B	65,37 abcd A	33,14 a A	154,25 c B
8	153,51 b B	120,92 bcde B	27,22 a A	147,59 c B
9	153,15 b B	51,67 abc A	27,22 a A	133,52 c B
10	154,63 b B	19,44 ab A	22,04 a A	130,92 c B
11	155,00 b B	166,11 de B	25,00 a A	126,11 c B
CV%	38,07			
		Pr>Fc		
T1 dentro de T2	0,001			
T2 dentro de T1	0,001			

Onde: Letras minúsculas indicam diferença estatística significativa entre linhas; letras maiúsculas indicam diferença estatística significativa entre colunas. CV - Coeficiente de variação das repetições; Pr>Fc - Corresponde a significância do valor F para as avaliações T2 dentro de cada nível T1 e T1 dentro de cada nível T2 (teste Tukey).

O pH de neutralidade de carga, ao avaliar substâncias adsorventes, é considerado o intervalo onde não ocorre a adsorção entre partículas, ou seja, onde a adsorção de cátions e ânions não é favorecida. Para o cladódio de pitaia da espécie *H. undatus*, o ponto de neutralidade de cargas, em água destilada manteve-se praticamente constante na faixa de pH que vai do 4 a 8 (IDRIS et al., 2012). Isso vem ao encontro dos resultados obtidos neste estudo, onde as menores remoções de turbidez ocorreram nesta faixa e a melhor remoção de turbidez (Tabela 1) e cor aparente (Tabela 2) ocorrerem abaixo do ponto de neutralidade de cargas (pH 3), indicando a predominância de partículas carregadas negativamente na água bruta da lagoa.

A moringa apresentou desempenho semelhante ao sulfato de alumínio (pH 3, 4, 5, 6) na remoção de turbidez e, em alguns casos, até superior (pH 7, 8 e 11). Para o parâmetro cor aparente (Tabela 2), nota-se melhor eficiência que o sulfato de alumínio em pH 8 e 11 e eficiência igual ao sulfato de alumínio nos demais pH testados. Vale ressaltar que nenhuma das condições avaliadas para todos os coagulantes atendeu aos limites estabelecidos pela portaria GM/MS 888/21 de potabilidade para o parâmetro cor aparente (15 uH) (Tabela 2), possivelmente o bom desempenho da moringa quando comparado ao sulfato de alumínio possa ser favorecido por outras variáveis não avaliadas neste estudo, como por exemplo as velocidades e tempo de agitação das etapas rápida e lenta. Sugere-se novos testes para avaliar demais variáveis



O desempenho da pitaia também seguiu o padrão observado frente ao parâmetro turbidez, ou seja, não se observa boa eficiência frente a variável cor aparente quando utilizado condição de pH superior a 3. Portanto devido a necessidade de grande ajuste de pH da água, o uso da pitaia é mais adequado para efluentes naturalmente ácidos.

CONCLUSÕES

O uso sustentável de espécies vegetais no tratamento de água para consumo humano foi avaliado e, o cladódio de pitaia apresentou potencial como coagulante na remoção de turbidez em condições ácidas. Apesar do desempenho inferior nos demais pH investigados, salienta-se a necessidade de mais testes a fim de avaliar outras variáveis que possam potencializar sua eficiência. Fica evidente que seu uso é mais indicado para tratar efluentes originados em processos ácidos. Com a semente de moringa foi possível obter remoções de turbidez superiores a ~87% em todos os pH investigados, com desempenho superior na faixa de pH básico (7, 8, 9, 10, e 11), portanto mais indicado para o tratamento da água da lagoa Itapeva (pH 7,44). Nenhum dos coagulantes testados atendeu aos parâmetros de potabilidade para remoção de cor aparente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LIMA, J.R.N; ABREU, F.O.M.S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista virtual de química**. V.10, p.709-735. 2018.
2. HENDRAWATI; YULIASTRI, I.R; NURHASNI; ROHAETI, E; EFFENDI, H.; DARUSMAN, L.K. The use of Moringa oleifera Seed Powder as Coagulant to Improve the Quality of Wastewater and Ground Water. **Earth and Environmental Science**. v.31, 2016.
3. SOM, A. M; RAMLEE, A. A; PUASA, S. W; HAMID, H. A. A. Optimisation of operating conditions during coagulation-flocculation process in industrial wastewater treatment using *Hylocereus undatus* foliage through response surface methodology. **Environmental Science and Pollution Research**. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17633-w>
4. MORAES, L. C.K; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G.; HENNIG, D.; BONGIOVANI, M. C. Utilization of the coagulation diagram in the evaluation of the natural organic matter (NOM) removal for obtaining potable water. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, v. 6, A87, 2008.
5. SOUSA, T. B. **Uso de taninos de Espécies Florestais no Tratamento de água para Abastecimento**. Lavras, MG, 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, 2015. Disponível em: LINK; <<http://repositorio.ufla.br/>> Acesso em: 15 de maio de 2022.
6. IDRIS, J.; SOM, A. M.; MUSA, M.; HAMID, K. H. K.; HUSEN, R.; RODHI, M. N. M. Dragon fruit foliage plant-based coagulant for treatment of concentrated latex effluent: Comparison of treatment with ferric sulfate. **Journal of Chemistry**. v. 2013, 2012.
7. MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997, p. 231.
8. SMEWW - **Standard Methods For the Examination Of Water And Wastewater**. 23. Ed. Washington, DC. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2017.
9. FONTES, M. P. F; CAMARGO, O. A; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p.627-646. 2001.
10. SPOSITO, G. Surface reactions in natural aqueous colloidal systems. **Chimia**, v.43, p.169-176, 1989.
11. NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S., Quality of Water Treated by Coagulation Using Moringa oleifera Seeds. **Water Research**. v. 32, n. 3, pp. 781- 791, 1998.