POTENCIAL DE USO DE RESÍDUOS DE BANANA COMO COAGULANTE NATURAL NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO

Danielle Kristina Silva Martins[(1)]
Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso - Campus Cuiabá (UFMT). Mestranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso - Campus Cuiabá (UFMT).
Eduardo Beraldo de Morais[(2)]
Biólogo pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Mestre e Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Docente do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da UFMT.
Amanda Alcaide Francisco Fukumoto[(3)]
Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina (UTFPR). Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Docente do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da UFMT.

Endereço[(1)]**:** Rua. Nove, 08, quadra 28 - Residencial Coxipó - CEP: 78090-352 - Brasil - Tel: +55 (65) 8137-7675 - e-mail: daniksmartin@gmail.com.

RESUMO

Este estudo avaliou o uso de coagulantes naturais derivados de resíduos de banana no tratamento de água, com foco na remoção de turbidez. A proposta investigou alternativa acessível, econômica e ambientalmente sustentável aos coagulantes convencionais. Foram produzidos coagulantes em pó a partir de diferentes partes da banana (casca, polpa e fruto inteiro) e estágios de maturação (verde, madura e podre). As amostras foram secas em estufa, trituradas e peneiradas para obtenção de granulometria uniforme. Ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram realizados com água bruta coletada do rio Cuiabá, com dosagens de coagulante variando entre 0,15 e 0,60 g para 500 mL de amostra. O procedimento incluiu mistura rápida, mistura lenta e sedimentação, com monitoramento dos parâmetros físico-químicos de turbidez, ao longo do tempo. Os resultados indicaram que os coagulantes derivados da banana verde, especialmente da polpa, apresentaram melhor desempenho na remoção de turbidez durante a sedimentação. Amostras de banana madura e podre apresentaram remoções mais moderadas. De modo geral, os coagulantes naturais derivados de resíduos de banana demonstraram potencial no tratamento de água, como alternativa sustentável e de baixo custo, embora estudos adicionais sejam necessários para otimização das condições operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: biocoagulante, resíduos agrícolas, tecnologia de tratamento**.**

INTRODUÇÃO

O acesso à água tratada impacta diretamente na prevenção de doenças de veiculação hídrica, no bem-estar da população e na conservação dos recursos naturais. Seu tratamento visa torná-la potável, corrigindo características fora dos padrões de consumo por meio da melhoria de aspectos organolépticos, físicos, químicos e bacteriológicos (D'Avila, 2022; Lira, 2014). No Brasil, esse processo segue normas da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Ministério da Saúde, como a Portaria GM/MS nº 888/2021, que define os padrões de potabilidade da água de abastecimento público.

Os coagulantes mais utilizados nas Estações de Tratamento de Água - ETAs, como sais de ferro e alumínio — especialmente o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) e cloreto férrico ($FeCl_3$) — têm gerado preocupações, já que estudos relacionam o alumínio na água ao aumento de doenças neurológicas (Rosalino, 2011; Kalibbala, Olupot e Ambani, 2023). Apesar dos alimentos serem a principal via de entrada de alumínio no organismo, há maior preocupação com a exposição por meio da água potável. Segundo Gerhardt (2018), isso se deve ao fato de que a maioria dos estudos sobre alumínio e Alzheimer focarem na água de consumo.

Tem crescido o interesse por alternativas sustentáveis ao tratamento da água, como o uso de coagulantes naturais — taninos vegetais, sementes de moringa e cascas de frutas — que vêm sendo estudados

como substitutos aos coagulantes inorgânicos, devido aos impactos ambientais e riscos à saúde que estes podem causar. Apesar do potencial, os coagulantes naturais ainda demandam estudos em larga escala para comprovar sua eficácia frente aos produtos tradicionais.

Taninos estão presentes na maioria das plantas vascularizadas e podem ser extraídos de folhas, cascas, frutas, madeira, sementes ou raízes (Soares et al., 2021; Straito et al., 2022). Solúveis em água, formam complexos insolúveis com proteínas e alcalóides (Monteiro et al., 2005). No tratamento de água, atuam como coagulantes, neutralizando cargas em sistemas coloidais e formando flocos, que podem ser removidos por decantação ou filtração (Coral et al., 2009).

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia do tanino de bananas em diferentes formas e estágios de maturação como coagulante natural no tratamento de água. A proposta buscou uma alternativa acessível e sustentável, com benefícios à saúde pública, economia e meio ambiente, promovendo transformação social e conservação.

OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia de coagulante derivado de diferentes formas e estágios de amadurecimento da banana, no tratamento de água, visando oferecer uma alternativa sustentável, econômica e ambientalmente amigável para o tratamento da água.

METODOLOGIA

COLETA E ANÁLISE DA ÁGUA BRUTA

A coleta das amostras de água foi realizada em fevereiro de 2025, do rio Cuiabá em Várzea Grande (15°37'09"S; 56°06'00"W), localizada no estado de Mato Grosso. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Físico-Químicas de Águas e Resíduos (LAFQAR) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

A análise da água bruta foi realizada por meio de medições em triplicata, em que foi avaliado o parâmetro de turbidez, utilizando método analítico citado na Tabela 1.

Tabela 1 – Método analítico utilizado de acordo com American Public Health Association (2023)

Parâmetro	Método utilizado / Equipamento	Método
Turbidez (NTU)	Método Nefelométrico (Turbidímetro)	2130 B

Fonte: adaptado de APHA (2023).

PROCESSAMENTO DO COAGULANTE

Foram adquiridas bananas em diferentes estágios de maturação (verde, madura e podre), com o objetivo de avaliar sua eficiência como coagulante ao longo do amadurecimento.

A metodologia foi adaptada de Anyakora (2022). Foram preparadas nove amostras: polpa, casca e banana inteira (polpa + casca), cada uma nos três estágios de maturação. As amostras foram cortadas manualmente em pequenos pedaços e submetidas à secagem em estufa a 70 °C, garantindo uniformidade. As nomenclaturas das amostras estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Nomenclatura para cada coagulante preparado

Origem do coagulante	Sigla utilizada
Polpa Verde	PV
Casca Verde	CV
Inteira Verde	IV
Polpa Madura	PM
Casca Madura	CM
Inteira Madura	IM
Polpa Podre	PP
Casca Podre	CP
Inteira Podre	IP

Fonte: autoria própria.

Após a secagem, as amostras foram trituradas em liquidificador e peneiradas em peneira de malha 0,50 mm, para obter um material de tamanho uniforme.

ENSAIO DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO

No ensaio de coagulação, floculação e sedimentação (CFS), foram adicionados 500 mL de água bruta em frascos Erlenmeyer, com a incorporação de massas de coagulante variando entre 0,15 e 0,60 gramas.

Inicialmente, todos os ensaios utilizaram uma massa padrão de 0,30 gramas para os coagulantes produzidos - quantidade adotada com base no estudo de Anyakora (2022), que obteve os melhores resultados com essa dosagem. Entretanto, para o coagulante PV, que apresentou o melhor desempenho na remoção de turbidez, a massa foi variada, testando também 0,15 g e 0,60 g. Essa variação teve como objetivo avaliar a influência da dosagem nos valores residuais de turbidez após os ensaios de CFS, permitindo uma maior aproximação da dosagem ideal para boa eficiência da coagulação.

A etapa de coagulação (mistura rápida) foi simulada em agitador magnético a 700 rpm por 3 minutos. Em seguida, a floculação (mistura lenta) ocorreu por 25 minutos a 300 rpm, valor mínimo permitido pelo equipamento. Após a agitação, as amostras permaneceram em repouso por 1 hora para a sedimentação.

Durante esse período, a turbidez foi monitorada a cada 10 minutos, a fim de avaliar a eficiência das condições de CFS empregadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE DA ÁGUA BRUTA

Após a coleta, as amostras de água bruta foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Físico-Químicas de Águas e Resíduos do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMT para determinação inicial de turbidez, que apresentou valor de 89,97 NTU.

PROCESSAMENTO DO COAGULANTE

Durante o processamento das bananas, observou-se variação no tempo de secagem conforme o estágio de maturação e a forma do material. As amostras PV, CV e IV apresentaram secagem mais rápida, seguidas por CM e CP. Segundo Silva et al. (2017), esse comportamento pode ser explicado pela menor umidade da biomassa verde em relação à madura, demandando menor tempo de secagem.

Para as amostras PM, IM, PP e IP, a secagem não foi suficiente para permitir a trituração, devido à caramelização durante o processo, o que inviabilizou a continuidade dos testes conforme o protocolo. Esse fenômeno está associado ao aumento do teor de açúcares ao longo do amadurecimento, decorrente da degradação de polissacarídeos e de processos biossintéticos (Chitarra, 2005 apud Rodrigues, 2022).

Na Tabela 3 é possível verificar o tempo que cada amostra levou para secar completamente.

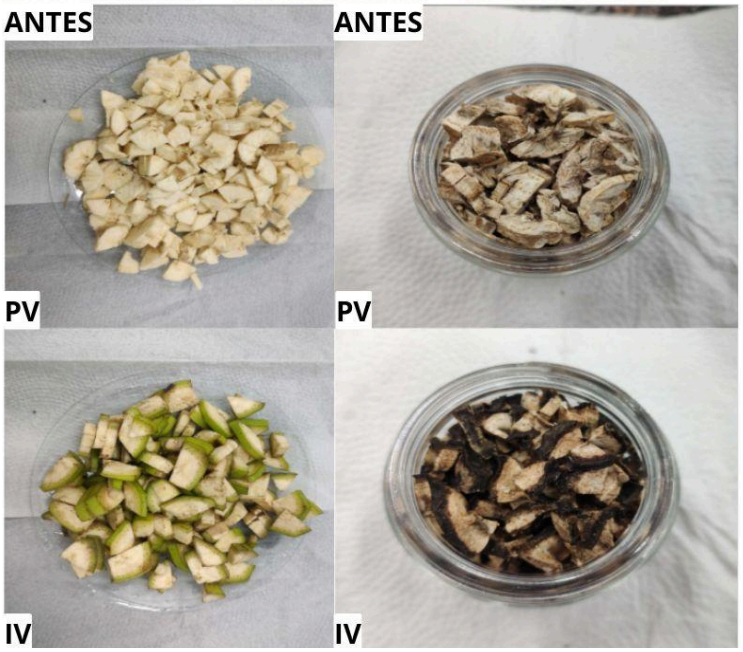
Tabela 3 – Tempo de secagem de cada amostra

Coagulante	Tempo de Estufa (horas)
PV	5
CV	13
IV	13
CM	21
CP	21

Fonte: autoria própria.

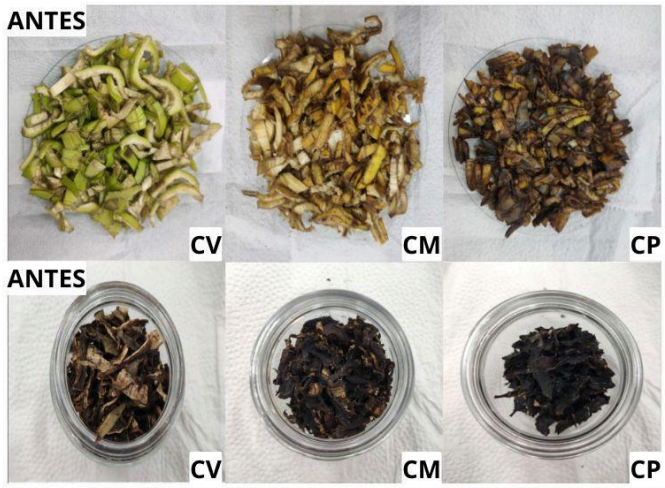
Nas figuras 1 e 2 são apresentados os aspectos visuais das amostras antes e após o processo de secagem, destacando as transformações observadas ao longo do experimento.

Figura 1 – Polpa e Banana Inteira antes e após a secagem em estufa a 70° C



Fonte: autoria própria.

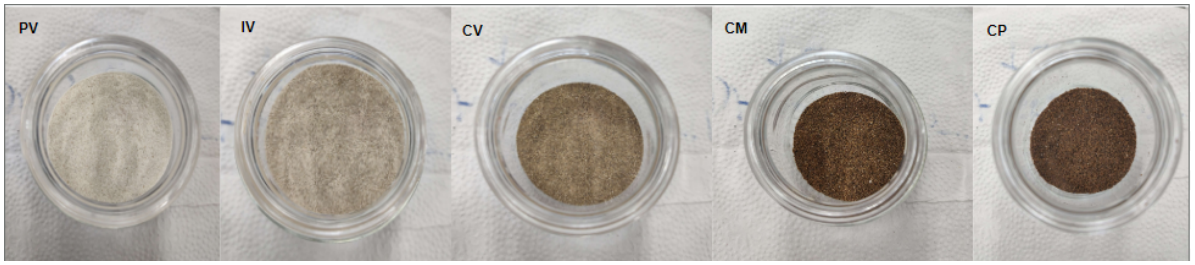
Figura 2 – Casca de Banana antes e após a secagem em estufa a 70° C



Fonte: autoria própria.

Após a secagem em estufa, as amostras que atenderam aos critérios da metodologia foram trituradas em liquidificador e, em seguida, peneiradas através de uma peneira com malha de 0,50 mm. A Figura 3 mostra o coagulante finalizado e pronto para ser utilizado nos ensaios subsequentes.

Figura 3 – Coagulantes após o processamento (secagem, trituração e peneiramento)



Fonte: autoria própria.

ENSAIO DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO

No ensaio de coagulação, foi determinada como ótima a massa de 0,30 g de coagulante para 500 mL de água bruta. Embora as massas de 0,15 g e 0,60 g também tenham promovido redução significativa da turbidez, os valores residuais de turbidez foram superiores aos verificados com 0,30 g, consolidando-a como a dosagem ideal e corroborando com os resultados de Anyakora (2022). Os dados podem ser observados nas Tabelas 4, 5 e 6.

Nos ensaios iniciais, adotou-se a massa padrão de 0,30 g para todos os coagulantes produzidos, com base em Anyakora (2022), que obteve melhores resultados com essa dosagem. Entretanto, para o coagulante à base de PV — que apresentou maior eficiência na remoção de turbidez — foram também avaliadas as dosagens de 0,15 g e 0,60 g, com o objetivo de analisar a influência da concentração nos valores residuais de turbidez da água tratada.

Tabela 4 – Residual de turbidez com 0,30 g de coagulante em 500 mL de água bruta

0,30 g de material / 500 mL de amostra							
Amostra	*Turbidez (NTU)*						
	(0 min)	*(10 min)*	*(20 min)*	*(30 min)*	*(40 min)*	*(50 min)*	*(60 min)*
PV	91	25,4	25,1	24,6	23,8	23,4	23
IV	91	42,1	35,4	33,8	33,3	31,2	30,4
CV	91	41,3	37,5	34,8	33,7	32,8	32,2
CM	91	39,6	37,1	37,1	36,8	36,7	35,7
CP	91	63,6	58,1	45,9	42	41,5	38,6

Fonte: autoria própria.

Tabela 5 – Residual de turbidez com 0,15 g de coagulante PV em 500 mL de água bruta

0,15 g de material / 500 mL de amostra							
Amostra	*Turbidez (NTU)*						
	(0 min)	*(10 min)*	*(20 min)*	*(30 min)*	*(40 min)*	*(50 min)*	*(60 min)*
PV	91	26,6	25,6	25,5	25,5	25,5	25,2

Fonte: autoria própria.

Tabela 6 – Residual de turbidez com 0,60 g de coagulante PV em 500 mL de água bruta

0,60 g de material / 500 mL de amostra							
Amostra	*Turbidez (NTU)*						
	(0 min)	*(10 min)*	*(20 min)*	*(30 min)*	*(40 min)*	*(50 min)*	*(60 min)*
PV	91	26	25,9	25,5	25,1	24,6	24

Fonte: autoria própria.

Os resultados apresentados na Tabela 4 demonstraram diferenças entre os coagulantes produzidos a partir de resíduos de banana quanto à formação de flocos, remoção de turbidez e alteração da coloração da água tratada. Observou-se que o coagulante à base de polpa verde (PV) promoveu a formação de flocos maiores e com melhor sedimentação (Tabela 4), apresentando redução da turbidez de aproximadamente 75%. Esse comportamento pode ser explicado pela presença de compostos fenólicos solúveis, especialmente taninos, que atuam como coagulantes naturais na neutralização de cargas e na formação de pontes entre partículas coloidais (Rodrigues, 2022). Além disso, a polpa da fruta verde possui maior concentração desses compostos, uma vez que, durante o amadurecimento, ocorre a polimerização dos fenólicos, reduzindo sua capacidade coagulante (Menezes; Draetta, 1980; Vilas Boas et al., 2001; Rodrigues, 2022).

Os coagulantes CV e IV apresentaram redução da turbidez de 67% e 65%, respectivamente. Entretanto, observou-se aumento da coloração da água tratada. Esse efeito pode estar relacionado ao aumento de sólidos solúveis durante a maturação da banana, decorrente da degradação do amido, além da influência da

estrutura química dos compostos fenólicos na coloração final da água (Monteiro et al., 2005; Rodrigues, 2022).

Os coagulantes derivados de casca de banana, especialmente CM e CP, apresentaram redução da turbidez de 61% e 58%, respectivamente. Além da formação de flocos menores, essas amostras contribuíram para a coloração residual da água, perceptível visualmente. Quanto à coloração, as amostras tratadas com CM e CP corroboram a afirmação de Monteiro et al. (2005), que aponta a possibilidade de produção de cor variando conforme a estrutura química dos compostos fenólicos presentes nos materiais utilizados.

Apesar dos resultados observados, a finalização do tratamento requer a etapa de filtração, responsável pela remoção complementar das partículas remanescentes após os processos de coagulação, floculação e sedimentação. Embora os valores obtidos não tenham atendido aos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 para potabilidade da água, os coagulantes produzidos a partir de resíduos de banana demonstraram potencial para aplicação no tratamento de água, podendo ser estudados mais a fundo como alternativa aos coagulantes químicos convencionais.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam que coagulantes derivados de banana possuem potencial para o tratamento de água, com destaque para a polpa verde (PV), que apresentou maior eficiência na redução da turbidez e melhor formação de flocos. Em contrapartida, coagulantes de casca e banana inteira apresentaram menor eficiência, com formação de flocos menores, embora ainda contribuam para a redução da turbidez. Além disso, o estágio de maturação influenciou diretamente o desempenho e o processamento, limitando o uso de amostras mais maduras.

Apesar de os valores finais das amostras não atenderem integralmente ao exigido pela legislação vigente, os coagulantes derivados de banana demonstraram grande potencial. Sua aplicação pode se tornar viável com a realização de novos estudos, especialmente voltados à padronização dos métodos de extração e ao desenvolvimento de alternativas de preparo que possam melhorar os resultados e viabilizar o uso em escala real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA)**.** *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2024: informe anual*. Brasília, DF: ANA, 2024.

2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - APHA. Water Enviroment Federation. *Standard Methods For Examination Of Water And Wastewater*. 24. ed. Washington, DV: APHA, 2023.

3. ANYAKORA, S. V. *Evaluation of banana peel powder as natural coagulant for treatment of wastewater*. Nau Department of Civil Engineering Final Year Project & Postgraduate Portal, 2022.

4. BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 maio 2021.

5. CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. *Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo*. Key Elements for a Sustainable World: Energy, Water and Climate Change, São Paulo – Brasil, 2009.

6. D'AVILA, S. *Métodos e técnicas de tratamento de águas de abastecimento para consumo humano: uma visão prospectiva*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

7. GERHARDT, C. M. *Uma alternativa de substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de água potável*. 2018.

8. KALIBBALA, Herbert Mpagi; OLUPOT, Peter Wilberforce; AMBANI, Onzere Maxwell. *Synthesis and efficacy of cactus-banana peels composite as a natural coagulant for water treatment.* Results in Engineering, v. 17, p. 100945, 2023.

9. LIRA, O. de O. *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs*. 2014.

10. MENEZES, HC de; DRAETTA, I. dos S. *Bioquímica das frutas tropicai*s. Aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos. Campinas: ITAL, p. 46-52, 1980.

11. MENEZES, M. C de. *Investigação de processos operacionais de uma estação de tratamento de água de ciclo completo*. 2019. 142 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

12. MONTEIRO, J. M. *et al. Taninos: uma abordagem da química à ecologia.* Química Nova, v. 28, p. 892-896, 2005.

13. RODRIGUES, J. M. *Características tecnológicas da farinha da casca da banana verde liofilizada em diferentes estádios de maturação*. 2022.

14. ROSALINO, M. R. R. *Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano*. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade NOVA de Lisboa (Portugal), 2011.

15. SILVA, K. C. et al. *Caracterização da biomassa da banana-maçã (Musa spp.) em diferentes estádios de maturação in natura e desidratada.* Enciclopédia Biosfera, v. 14, n. 26, p. 131-143, 2017.

16. SOARES, E. J. S. et al. *Potencial de vegetais para produção de coagulantes visando aplicação no tratamento de água: revisão sistemática*. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 2, p. 292-302, 2021.

17. STRAIOTO, H. et al. C*omparação entre o coagulante natural tanino e os coagulantes inorgânicos PAC e cloreto férrico para o tratamento de águas residuais da indústria de reciclagem de plásticos*. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, p. 685-700, 2021.

18. VILAS BOAS, E. V de B. et al. *Características da fruta*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 15-19, 2001.