

USO DE BIOPOLÍMERO EXTRAÍDO DA PALMA FORRAGEIRA COMO FLOCULANTE NATURAL PARA TRATAMENTO DE REJEITOS ITABIRÍTICOS

USE OF A BIOPOLYMER EXTRACTED FROM PRICKLY PEAR CACTUS AS A NATURAL FLOCCULANT FOR THE TREATMENT OF ITABIRITE TAILINGS

Cristina Badaró Gonçalves Pinto

Aluna de Graduação da Engenharia Química 8º período
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: setembro de 2025 a agosto de 2026
cristinabadaro@eq.ufrj.br

Antonio Gutierrez Merma

Orientador, Engenharia Química, D.Sc.
amerma@cetem.gov.br

Silvia Cristina Alves França

Coorientador, Engenharia Química, D.Sc.
sfranca@cetem.gov.br

RESUMO

A escassez de depósitos de alto teor de ferro leva as mineradoras a explorarem minérios mais complexos, cujo beneficiamento gera grandes volumes de rejeitos. O tratamento desses resíduos é essencial para minimizar impactos ambientais, sendo o desaguamento uma das principais etapas, geralmente dependente de floculantes sintéticos. Nesse contexto, o desenvolvimento de biofloculantes representa uma alternativa sustentável. A mucilagem da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* L.) destaca-se pelo elevado teor de polissacarídeos e grupos funcionais capazes de interagir com partículas em suspensão. Neste trabalho, a mucilagem foi avaliada como biofloculante em ensaios de sedimentação com rejeitos itabiríticos. O biopolímero foi obtido por dois métodos de extração: convencional em meio aquoso e assistido por micro-ondas, sendo posteriormente caracterizado por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Os resultados indicam que a mucilagem apresenta potencial como alternativa renovável e sustentável aos floculantes sintéticos no tratamento de rejeitos minerais.

Palavras chave: Flocculação, rejeitos, biopolímero.

ABSTRACT

The depletion of high-grade iron ore deposits has led mining companies to exploit more complex ores, whose processing generates large volumes of tailings. The treatment of these residues is essential to minimize environmental impacts, with dewatering being one of the main processing stages, typically relying on synthetic flocculants. In this context, the development of bioflocculants represents a sustainable alternative. The mucilage of forage cactus (*Opuntia ficus-indica* L.) stands out due to its high polysaccharide content and functional groups capable of interacting with suspended particles. In this study, the mucilage was evaluated as a bioflocculant in sedimentation tests using itabirite tailings. The biopolymer was obtained by two extraction methods: conventional aqueous extraction and microwave-assisted extraction, and subsequently characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results indicate that the mucilage has potential as a renewable and sustainable alternative to synthetic flocculants for mineral tailings treatment.

Keywords: Flocculation, tailings, biopolymer.

1. INTRODUÇÃO

Há uma crescente escassez de jazidas com altos teores de ferro que leva as mineradoras brasileiras à extraírem minérios de menor teor, como os itabiritos. O processamento destes minérios gera rejeitos cujo descarte é desafiante (Ventura, 2018). Em geral, eles são armazenados como polpas diluídas, o que apresenta um risco ambiental, pela chance de rompimentos nas barragens. Uma solução é a remoção de água do resíduo. O desaguamento torna-se mais rápido e eficiente na presença de agentes aglomerantes, como flocculantes (Ventura, Alves, Souza, 2022). É comum a utilização de flocculantes sintéticos, mas há uma grande preocupação com relação aos seus impactos ambientais. Logo, a busca por flocculantes naturais torna-se uma questão atual e importante.

A mucilagem da palma forrageira é um polissacarídeo complexo, aniônico e viscoso. Tem compostos capazes de interagir com partículas em suspensão, como a pectina, que auxilia na agregação das partículas (Santos et al., 2023). Tais características mostram seu potencial como bioflocculante. Este trabalho visou estudar diferentes métodos de extração da mucilagem da palma forrageira – assistida por microondas e por maceração em água destilada – e de seu biopolímero – precipitação alcoólica – e caracterizá-los via FTIR, e testá-los como bioflocculante em ensaios de sedimentação.

2. OBJETIVOS

Estudar métodos de extração e seus impactos na composição química do biopolímero. Caracterizar os extraídos via FTIR. Estudar a eficiência do bioflocculante em testes de sedimentação. Analisar a turbidez do clarificado.

3. METODOLOGIA

3.1. Extração da Mucilagem de Palma Forrageira

A palma foi coletada em Campina Grande (PB). As raquetes foram higienizadas com escovação e água destilada, e depois cortadas em cubos com cerca de 1cm² de área.

Para a extração por maceração, o material foi pesado e imerso em água destilada na proporção de 1:2 m/V durante 48h, à temperatura ambiente, e então o extraído foi armazenado. Já na extração assistida por microondas, o material pesado foi colocado em dois béqueres de 600 mL, onde adicionou-se água destilada seguindo a proporção 1:2 (m/v). Utilizou-se um microondas doméstico com capacidade para 31 L e potência máxima de 1600 W. Um dos béqueres foi submetido à extração por 5 minutos, à 40% da potência total e o outro, por 10 minutos à 20%. Os extraídos foram submetidos à precipitação alcoólica com etanol 95% na proporção de 1:2 (v/v). Os precipitados foram secos em estufa e macerados antes de serem levados para caracterização.

3.2. FTIR

A espectroscopia FTIR foi realizada em equipamento Frontier, PerkinElmer, localizado no LABTeR/EQ/UFRJ, com acessório de ATR (Attenuated Total Reflectance) e cristal de germânio, com resolução de 4 cm⁻¹, e com uma aquisição de 256 acumulações.

3.3. Ensaios de Sedimentação

Os testes de sedimentação foram realizados em provetas de 250,00 mL, com polpa já preparada (amostra e água destilada) com 7,5% de teor de sólido medido em balança de umidade. Foram feitos ensaios à pH 8,5, temperatura ambiente, com volumes entre 1-40 mL da mucilagem obtida por maceração como flocculante. Os testes duraram 4 horas.

3.4. Análise de Turbidez

Ao fim dos ensaios de sedimentação, tomou-se uma alíquota do sobrenadante de cada um para medir sua turbidez, utilizando um turbidímetro portátil da Hach, modelo 2100P.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. FTIR

Os espectros FTIR estão na Figura 1. Bandas entre 2919-2851 cm^{-1} , que correspondem à vibrações assimétricas de estiramento de ligações químicas de hidroximetilenos, presentes em carboidratos mucilaginosos (Quintero-García et al, 2021). As bandas entre 1618-1569 cm^{-1} estão associadas ao estiramento da ligação dupla de grupos $-\text{COO}-$ (Al-Msiedeen et al, 2024). Para a metodologia de extração assistida por microondas, à 40% de potência, esta banda separa-se em duas bandas mais fracas, 1569 cm^{-1} e 1539 cm^{-1} , o que pode ser resultado de ligações de hidrogênio entre os ácidos da mucilagem e a água (Quintero-García et al, 2021). As bandas entre 1461 cm^{-1} e 1391 cm^{-1} são indicativas das ligninas (Ramamurthy, Kannan, 2007). Bandas entre 1318-1317 cm^{-1} estão relacionadas a ligações $-\text{OH}$. Bandas entre 1266-1122 cm^{-1} , são relacionadas à ligações $\text{C}-\text{O}$ e $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ em ácidos carboxílicos e ligações glicosídicas (Barkociová et al, 2021). As bandas entre 1079 e 1042 cm^{-1} estão relacionadas com o estiramento de ligações $\text{C}-\text{O}$ ou $\text{O}-\text{H}$ em polissacarídeos (Ramamurthy e Kannan, 2007). A banda em 778 cm^{-1} , observada para a palma in natura, é característica de carboidratos comuns na mucilagem, como a galactose (Ramamurthy e Kannan, 2007). Bandas entre 717 e 650 cm^{-1} , são relacionadas à bioligantes contendo nitrogênio (Al-Msiedeen et al, 2024). Os resultados indicam que o processo de extração preservou os grupos funcionais responsáveis pelos mecanismos de adsorção e formação dos flocos.

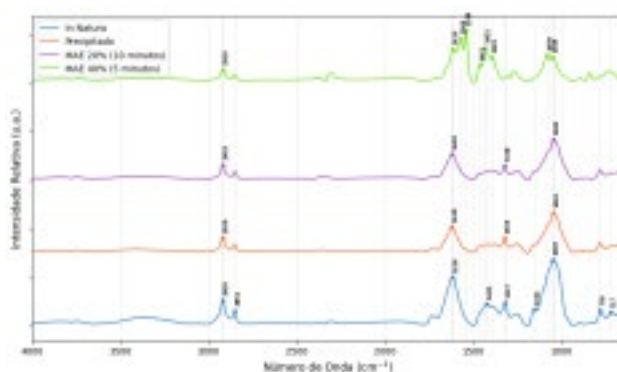


Figura 1: Espectro FTIR comparativo das metodologias de extração da mucilagem.

4.2. Ensaio de Sedimentação

Os resultados dos ensaios de sedimentação estão na Figura 2. A dosagem de 1mL apresenta o pior desempenho, um indicativo de que a quantidade de mucilagem foi insuficiente para promover uma floculação eficiente. Ao fim, a curva aproxima-se das demais, mostrando que apesar disso, a sedimentação final é semelhante. As dosagens de 5 e 7 mL possuem comportamento semelhante, de sedimentação rápida o que indica que a região de dosagem eficiente foi alcançada. A dosagem de 10mL apresenta velocidade inicial de sedimentação mais rápida do que as anteriores. A dosagem de 20mL tem velocidade de sedimentação inicial bem rápida, indicando uma grande eficiência na formação de flocos grandes e densos, e, antes mesmo dos primeiros cinco minutos, estabiliza, indicando que toda a sedimentação rápida já ocorreu. A dosagem de 40mL apresenta uma velocidade inicial de sedimentação extremamente rápida, mas a altura final é inferior às outras dosagens, indicando que adicionar mucilagem em excesso reduz sua eficiência, padrão condizente com sistemas floculados por polímeros, pois a sobredosagem destes é sabida saturar a superfície das partículas, formando flocos volumosos e sedimentado pouco compacto (Ventura, 2021).

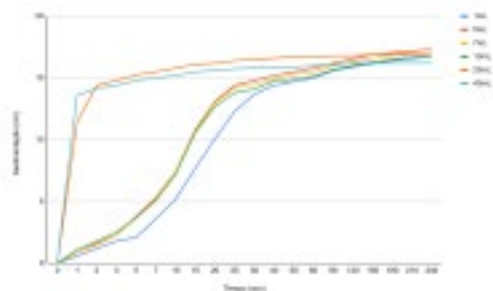


Figura 2: Gráfico de sedimentação para diferentes dosagens de mucilagem.

4.3. Turbidez dos Clarificados

A Figura 3 apresenta os valores de turbidez dos clarificados obtidos após os ensaios de sedimentação. A menor turbidez foi obtida para a dosagem de 1mL. As dosagens de 5mL e 7mL também apresentaram valores de turbidez baixos. A partir da dosagem de 10mL, houve um aumento significativo quanto a turbidez do clarificado, mais expressivo nas dosagens de 20 e 40 mL, o que mostra que o aumento da dosagem do biofloculante não promoveu melhora contínua na clarificação, mas, houve uma piora, sugerindo a existência de uma faixa ideal de dosagem. Além disso, condiz com o fato de que a sobredosagem de floculantes poliméricos favorece a permanência de partículas finas em suspensão, tornando o sobrenadante mais turvo (Ventura, 2021).

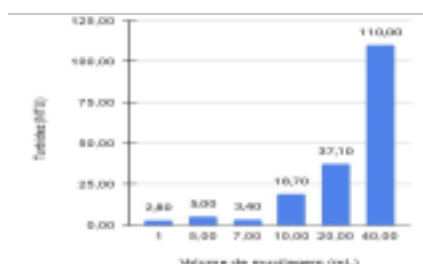


Figura 3: Comparativo da turbidez de clarificados com as dosagens de mucilagem.

Levando em consideração os resultados dos ensaios de sedimentação e a turbidez em conjunto, nota-se que a qualidade do clarificado e a velocidade de sedimentação são inversamente proporcionais. Assim, é preciso avaliar ambos os parâmetros para determinar a faixa ideal de dosagem. Nesse sentido, 7mL representa um ponto de equilíbrio entre a velocidade de sedimentação e a qualidade do clarificado.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que a mucilagem da palma tem potencial para aplicação como biofloculante no tratamento de rejeitos itabiríticos. A caracterização por FTIR evidenciou a presença de grupos funcionais característicos de polissacarídeos, compatíveis com sua atuação como agente floculante. A dosagem de 7mL apresentou o melhor equilíbrio entre velocidade de sedimentação e qualidade do clarificado, e

volumes superiores resultaram em redução da eficiência. Estudos futuros avaliarão o desempenho da mucilagem em maiores concentrações de sólidos, diferentes valores de pH e operações contínuas de espessamento.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida através do programa PIBITI/CETEM.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-MSIEDEEN, A.M.; JAMHOUR, R.M.A.Q.; AL-SOUD, A.; AL-ZEIDANEEN, F.K.; ALNAANAH, S.A.; ALRAWASHDEH, A.I.; ABUALREISH, M.J.A.; ALAWAIDEH, S.; ALHESAN, J.S.A. Powdered *Opuntia ficus-indica* as an effective adsorbent for the removal of phenol and 2-nitrophenol from wastewater: Experimental and theoretical studies. *Desalination and Water Treatment*, vol.320., 100859, 2024.

BARKOCIOVÁ, M.; TÓTH, J.; SUTOR, K.; DROBNICKA, N.; WYBRANIEC, S.; DUDÍK, B.; BILKOVÁ, A.; CZIGLE, S. Betalains in edible fruits of three cactaceae taxa – *Epiphyllum*, *Hylocereus* and *Opuntia* – their LC-MS/MS and FTIR identification and biological activities evaluation. *Plants*, vol.10, 112, p.2669, 2021.

QUINTERO-GARCÍA, M.; GUTIÉRREZ-CORTEZ, E.; BAH, M.; ROJAS-MOLINA, A.; CORNEJO-VILLEGAS, M.A.; DEL REAL, A.; ROJAS-MOLINA, I. Comparative analysis of the chemical composition and physicochemical properties of the mucilage extracted from fresh and dehydrated *Opuntia cladodes*. *Foods*. vol.10, 2021.

RAMAMURTHY, N; KANNAN, S. Fourier transform infrared spectroscopic analysis of a plant (*Calotropis gigante* L.) from an industrial village, Cuddalore DT, Tamilnadu, India. *Romanian Journal of Biophysics*, vol.17, no.4, 2007.

VENTURA, R.J.; ALVES, J.V.S.; SOUZA, T.F. Efeitos do uso de floculante e coagulante na sedimentação de rejeito de minério de ferro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA. XXIX ENTMME, 2021, Armação de Búzios, Rio de Janeiro, Brasil.