

CARACTERIZAÇÃO DE UM COAGULANTE E FLOCULANTE PRODUZIDO A PARTIR DA PLANTA *CEREUS JAMACARU*.

Lethícia S. Garcia da Silva¹ (IC), Milady R. Apolinário da Silva (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: *Cereus jamacaru*. Caracterização. Coagulação. Coagulante natural. Mandacaru.

Introdução

Devido à grande evolução da existência humana e o avanço industrial, os recursos naturais se comprometem devido ao despejo impróprio de efluentes, em sua grande maioria, em fontes hídricas, o que diminui a qualidade das redes fluviais e compromete a saúde dos seres vivos, o que pode ocasionar grandes contaminações (BELTRAME et al., 2016). Assim sendo, com o intuito de diminuir este impacto ambiental e à saúde, principalmente humana, grandes e pequenas empresas se responsabilizam pelo tratamento correto desses efluentes, de forma a separar os resíduos poluentes e contaminantes daqueles que estão em contato direto com as espécies.

Para o tratamento brasileiro de efluentes, usa-se como principal agente de coagulação e floculação o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) que, por mais que seja considerado a melhor e mais usual técnica, tem um alto custo de aquisição e seu resultado gera um grande volume de lodo residual com alto teor de alumínio (GUIMARÃES, 2013), que é tóxico com grandes perigos à saúde.

Com a finalidade de evitar tal problema, pode-se cogitar como um processo alternativo o uso de coagulantes naturais como método substituinte, mais seguro e barato para esse tratamento de coagulação e floculação de efluentes, o que leva em consideração principal o uso de plantas tipicamente brasileiras e de fácil acesso, como é o exemplo do cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) encontrado em grandes regiões áridas e semiáridas, como o bioma da Caatinga brasileira, sendo este o objeto de estudo de Zara (2012) e Melo (2017), mas usado nestes casos como auxiliar durante o processo de tratamento com sais de alumínio.

Assim, este trabalho tem como objetivo o estudo das características de um novo produto natural a partir do *Cereus jamacaru* (cacto Mandacaru), desenvolvido para ser usado em processos de tratamento de floculação e coagulação.

Metodologia

A princípio a matéria prima de *Cereus jamacaru* foi selecionada de solos saudáveis do bioma da caatinga brasileira e encaminhado à UNIFEI, onde deu-se início

ao preparo do produto (Cereus Floc). Nesta etapa foi criada e adaptada uma nova metodologia para seu desenvolvimento. Com o produto finalizado, deu-se início às caracterizações.

As quais foram: espectroscopia de absorção na região do infravermelho (IV), microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia por energia dispersiva (MEV/EDS), termogravimetria e análise térmica diferencial (TG/DTA), ensaio de área superficial (BET) e ensaio de ecotoxicidade aguda, além de experimentos de coagulação em amostra de óleo de refinado, para comparar sua efetividade em relação ao coagulante sulfato de alumínio.

Assim sendo, para os testes de coagulação, foram preparadas as soluções-padrão, acompanhando os trabalhos realizados por Vaz (2009) e Silva (2016), onde para a solução-padrão de sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) 1% (m/v). Assim, da mesma forma, foi dissolvido na proporção 1% m/v de Coagulante natural para a solução-padrão.

Com base nos estudos de Silva (2016) e Melo (2017), os ensaios de coagulação e floculação foram realizados a partir do *Jar Test* ou, testes de jarros, onde, ocorre a agitação simultânea dos jarros de vidro, variando em suas quantidades. Para o primeiro ensaio, determinou-se o valor de pH ótimo adicionando a mesma quantidade de coagulante em jarros contendo amostras de diferentes valores de pH e, após a agitação, determinou-se o valor de pH ideal, sendo este aquele que melhor ocorrer a floculação e baixa turbidez do sobrenadante.

Outros ensaios foram feitos para determinar a quantidade ótima de coagulante por meio da adição de quantidades variadas desse produto aos jarros contendo amostras no pH ótimo, apresentando então como a melhor dosagem de coagulante aquele que expõe de forma mais favorável o aspecto dos flocos, remoção da cor e a turbidez. Ressalta-se que este é o método de melhor custo-benefício para a determinação da dosagem de agentes químicos no tratamento de água nas estações (ETA's) (MARQUES, 2021).

Como o laboratório não tem disponível o equipamento *Jar Test*, para a adaptação da metodologia

utilizou-se um agitador mecânico relacionando-se ao tempo e a velocidade de agitação pela literatura correspondentes ao sulfato de alumínio e ao Tanfloc SG, utilizando o gradiente de mistura rápida (GMR) de 500 rpm com o tempo de mistura rápida (TMR) de 5 minutos (SILVA, 2016).

Para estes ensaios utilizou-se os coagulantes de solução padrão de sulfato de alumínio 1%, de solução padrão de Cereus Floc 1% e o Cereus Floc sólido em uma amostra de 200 mL em pH ótimo 5 de óleo de rerrefino. Desta forma, a Tabela 1 apresenta os dados utilizados para tal.

Tabela 1. Ensaio de coagulação da amostra

Amostra	Coagulante	Quantidade
Efluente de rerrefino 200 mL pH 5	Solução de $Al_2(SO_4)_3$ 1%	250 μ L
	Solução de $Al_2(SO_4)_3$ 1%	150 μ L
TRM 5 minutos	Solução de Cereus Floc 1%	250 μ L
	Solução de Cereus Floc 1%	150 μ L
GMR 500 rpm	Cereus Floc sólido	0,240 g
	Cereus Floc sólido	0,150 g

Fonte: Autoral

Resultados e discussão

A partir do espectro obtido por espectroscopia no infravermelho (IV) demonstrado na Figura 1, torna-se possível identificar os possíveis grupos moleculares presentes no produto em análise para dois lotes (LOTE 01 e LOTE 02). Assim, obtendo como comparação os trabalhos de Soares *et al.* (2021), Brito (2013) e Silva (2017), as atribuições dos picos e/ou bandas gerados foram determinadas.

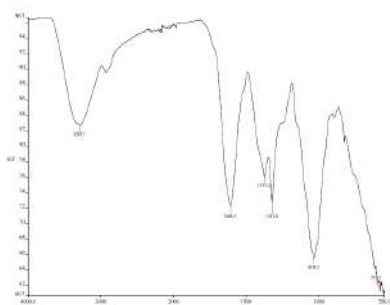


Figura 1 – Comparação do espectro do Cereus Floc - Lote 01 e Cereus Floc - Lote 02. Fonte: Autoral

Analisando a Fig.1 pode ser observada uma

banda em 1606,7 cm^{-1} , o que se associa à curvatura de N-H, enquanto aos picos 1375,2 e 1321,0 cm^{-1} é possível atribuir às curvaturas angulares de CH_3 e CH_2 e para a intensa banda em 1034,5 cm^{-1} pode estar relacionada à uma ligação C-O e/ou C-N. Assim sendo, estas características, indicam a presença de compostos nitrogenados semelhantes a aminoácidos e derivados (SOARES *et al.*, 2021).

Para as bandas presentes entre 1100 cm^{-1} e 1331 cm^{-1} , é bastante comum associá-las à ésteres relacionados aos metabólitos secundários. Outrossim, no estudo de Brito (2013), os extratos de matéria prima coletados durante o período da noite apresentaram maior intensidade das hidroxilas (grupos O-H) de fenóis e álcoois de açúcares, amidas e grupamentos carboxílicos de aminoácidos.

Na pesquisa realizada por Dos Anjos *et al.* (2021), o espectro na região de IV do cacto mandacaru tem a presença de uma banda em cerca de 1000 cm^{-1} e 1050 cm^{-1} , a qual pode ser associada aos carboidratos da celulose e lignina quando associada com os estiramentos C-O-C, C-O e C-O(H), grupos da união glicosídica e também dos monômeros precursores de lignina, guaiaquil e siringil.

Por outro lado, os picos próximo a região de 576,3 cm^{-1} não foram citados nos estudos de referência, entretanto Soares *et al.* (2021) destaca a presença de determinados elementos dos frutos da planta mandacaru como o potássio (K), ferro (Fe), alumínio (Al), cálcio (Ca), nitrogênio (N) e enxofre (S), tal como grandes quantidades de carbono (C) e oxigênio (O). Deve-se descartar a presença de enxofre, uma vez que o estiramento S-O ocorre em cerca de 650 cm^{-1} para os ácidos sulfônicos. Entretanto, na faixa de 730-550 cm^{-1} indica a possibilidade de um estiramento em C-Cl, tornando dele o mais viável para o caso, devido a sua baixa intensidade, mas ao se basear em evidências da literatura, não se encontrou indicativos para a o átomo de cloro na estrutura molecular do extrato de *Cereus jamacaru*. (PAVIA *et al.*, 2010).

A fim de avaliar as características do Cereus Floc em sua composição, morfologia e organização microestrutural, foi utilizada a análise de MEV representados na Figura 2 para a medida de 100x e 500x, utilizando novamente como base os estudos de Dos Anjos (2017), Dos Anjos *et al.* (2021)^I e Dos Anjos *et al.* (2021)^{II} relacionados à caracterização do mandacaru in natura e adaptado como biossorvente para o óleo diesel.

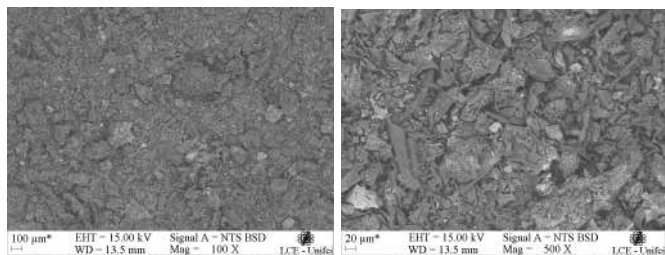


Figura 2 – Micrografias obtidas do Cereus Floc nas medidas 100 e 500x. Fonte: Laboratório de Caracterização de Materiais - LCE UNIFEI.

A partir das imagens obtidas pela microscopia realizada observa-se que o produto Cereus Floc apresenta uma superfície bastante rugosa, irregular e sem poros. Enquanto a sua microestrutura, pode aferir pela Figura 3, que composição elementar tem como destaque a presença de carbono (44,90%) e oxigênio (50,08%), advindos de componentes orgânicos, assim como identificado através do espectro de infravermelho e, em menores quantidades, a presença de cálcio (2,72%), potássio (1,54%), magnésio (0,72%), enxofre (0,05%), sódio (0,04%) e fósforo (0,04%), como matérias minerais, sendo os últimos três elementos pouco perceptíveis na amostra.

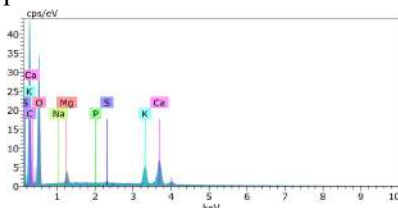


Figura 3 – Espectro de energia dispersiva acoplado ao MEV na medida 100x. Fonte: Autoral.

A partir da análise das curvas termogravimétricas representadas na Figura 4 por TG/DTA para o produto Cereus Floc, utilizando como guia o estudo de Dos Anjos (2017) para o extrato de mandacaru in natura (Figura 5), notou-se uma semelhança significativa entre os eventos ocorridos.

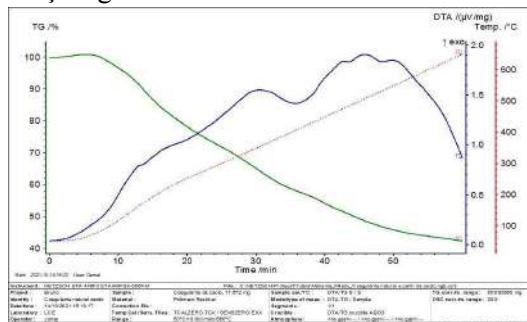


Figura 4 – Curvas termogravimétricas obtidas por TG/DTA para o Cereus Floc. Fonte: Autoral

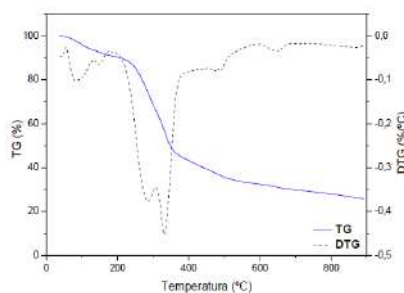


Figura 5 – Curvas termogravimétricas TG/DTA para o Mandacaru in natura. Fonte: Dos Anjos (2017).

A principal causa do primeiro evento de perda de massa é a eliminação da água livre, enquanto para o segundo evento, a perda de água está relacionada a volatilização de substâncias leves e perda da água ligada à molécula. Para o terceiro e quarto evento observa-se uma perda brusca da massa, ligada a degradação das estruturas químicas, como a decomposição da hemicelulose e da celulose. O quinto evento pode também ser atribuído à degradação dos resíduos de grupos funcionais da celulose e à queima de resistentes. Por fim, para o último evento restam apenas cinzas, sendo esses os elementos inorgânicos.

Para determinar a quantidade de adsorvato que é necessário para recobrir a superfície de um adsorvente, a amostra de Cereus Floc, usa-se o B.E.T., a qual resulta em uma isoterma de adsorção/dessorção de N₂ (TEIXEIRA et al., 2001). Pelos estudos de Brunauer, Emmett e Teller (1991), o formato da isoterma representa qual o nível de porosidade do sólido, assim a isoterma originalizada pela análise, a identifica como uma Tipo II, específica de adsorção ocorridas em pós não porosos como apresentada na Figura 6.

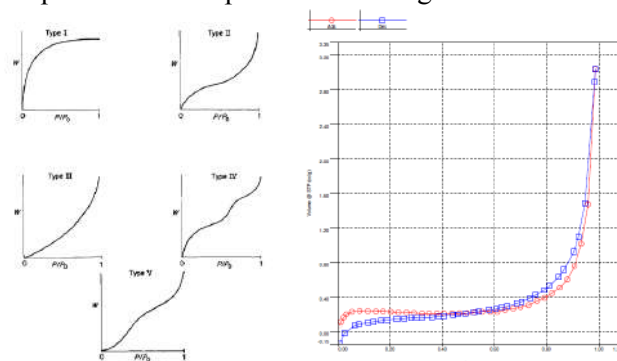


Figura 6 - Comparação de isothermas entre a literatura e a obtida em análise. Fonte: Adaptada de Brunauer, Emmett e Teller (1991).

Baseado nos estudos de Teixeira *et al.* (2001), a isoterma gerada se dá devido à grande interação entre as primeiras moléculas do gás com os pontos mais ativos do sólido e depois com os pontos de menor energia, sendo isso observado antes do ponto de inflexão das curvas, essa região determina as informações acerca da área do sólido. Ao fim da curva, há uma inversão nos

valores das curvas, o que indica uma maior adsorção do gás devido a formação de camadas múltiplas e condensação final. Através dos cálculos feitos em *software* próprio da análise, obteve-se uma área específica de 0,5282 m²/g para o *Cereus Floc*. E, assim sendo, por se tratar de um sólido não poroso, o *Cereus Floc* não contempla uma análise específica ocorrida pela adsorção de nitrogênio

Ao expor os seres vivos *Danio rerio* e *Daphnia similis* nas diluições de *Cereus Floc* equivalentes aos fatores de toxicidade 1, 2, 4, 8 e 16 durante 48 horas, foi feita a contagem final daqueles móveis e imóveis, indicando para o *D. rerio* uma limitação em toxicidade 8 e para o *D. similis* uma limitação em toxicidade 16, o qual determinando a concentração de efeito não observado (CENO) tem-se para a primeira um resultado igual a 12,5% e para a segunda igual a 6,25%.

I. Ensaio de coagulação em amostra de óleo de refinado

Quando comparados os resultados de tratamento obtidos entre o *Cereus Floc* em solução e em sua forma sólida com os do tratamento de sulfato de alumínio, o produto a base do cacto obteve uma melhor performance em ambas as formas. Além, disso, os melhores valores para a remoção de turbidez no tratamento com *Cereus Floc* foram na concentração de 0,240g/ litro de *Cereus Floc*.

Conclusões

O coagulante vegetal tem indicativos da presença de compostos nitrogenados e fenólicos, tais como ésteres e carboidratos. Para as análises de caráter investigativo acerca de elementos químicos, observou-se a presença de carbono em maior quantidade e oxigênio, o que era esperado uma vez que esse coagulante é um composto orgânico advindo da natureza bruta, mas também a presença de potássio, magnésio e enxofre, fósforo e sódio em menores indicativos. Através do MEV e EDS pode-se concluir que a amostra apresenta uma boa área de adsorção e caráter não poroso, além de seu uso poder ser feito em até 200°C sem perda de massa significativa como mostrado pela termogravimetria. Ao fim, o ensaio de ecotoxicidade mostra que o produto apresenta baixa toxicidade.

Os resultados obtidos com este estudo demonstraram que o produto tem boas características, o que faz dele uma adequada opção na escolha de um coagulante natural como substituto dos coagulantes a base de sais metálicos. Contudo, ainda é necessário que se realizem testes específicos com diferentes tipos de efluentes para confirmar sua eficiência.

Agradecimento

Agradecimentos à minha professora orientadora

Milady Apolinário, ao CNPq, aos técnicos de laboratório da UNIFEI pelo apoio ao desenvolvimento desta iniciação científica. Aos meus amigos Paloma de Faria pelo apoio em todo o momento de escrita e à Pedro Barros, Ariane Araújo, Ana Flávia Carvalho e Thais Cortez pelo auxílio nos momentos de maior vulnerabilidade, os quais não me deixaram desistir em momento algum.

Referências

BELTRAME, Thiago Favarini et al. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 283-294, 2016.

GUIMARÃES, Patrícia Sales. Tratamento de águas residuárias oriundas da purificação do biodiesel por coagulação empregando sulfato de alumínio e quitosana: avaliação preliminar. 2013.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima et al. Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia. 2009.

SILVA, Gibbelly Cavalcante da. *Cereus jamacaru* DC: perfil fitoquímico e avaliação citotóxica. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

MELO, Jessica Muniz de. Aplicação de polímero orgânico extraído do cacto (*Cereus jamacaru*) como coagulante principal e associado ao sulfato de alumínio no tratamento de água. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DOS ANJOS, Raoni Batista et al. BIOSORVENTE DO PÓ DO MANDACARU (*CEREUS JAMACARU* DC) HIDROFOBIZADO PARA REMOÇÃO DE DIESEL EM CASOS DE DERRAMAMENTO. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 2, n. 8, p. e28624-e28624, 2021.

ANJOS, Raoni Batista dos. Estudo do Mandacaru (*Cereus Jamacaru* DC) in natura e modificado como biosorvente para o óleo diesel. 2017.

SILVA, Gibbelly Cavalcante da. *Cereus jamacaru* DC: perfil fitoquímico e avaliação citotóxica. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SOARES, Layla Maria N. et al. *Cereus jamacaru* DC (Mandacaru): a promising native Brazilian fruit as a source of nutrients and bioactives derived from its pulp and skin. Plant Foods for Human Nutrition, v. 76, n. 2, p. 170-178, 2021.

SOARES, Layla Maria Neves et al. Caracterização físico-química e fitoquímica das raízes, composição química e nutricional dos frutos de *Cereus jamacaru* DC (CACTACEAE). 2019.