

Efeito da clarificação da água com uso de moringa oleífera na resistência à corrosão em adutora de aço patinável

Effect of water clarification using moringa oleifera on corrosion resistance in patinable steel pipeline

Arielle Rebeca Martins Ribeiro¹ , Carmem Célia F. do Nascimento², Jhose Ariam Melo Costa³

¹Instituto Federal de Educação, Laboratório de corrosão e desgastes. Getúlio Vargas, N° 04, Monte Castelo, 65030-005, São Luís, MA, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Getúlio Vargas, N° 04, Monte Castelo, 65030-005, São Luís, MA, Brasil.

³Instituto Federal de Educação. Campus Pinheiro, MA-006 (Estrada de Pacas), Km 05, n° 05, Enseada, Pinheiro, 65200-000, São Luís, MA, Brasil.

e-mail: arielyrebecca@gmail.com, jamc_hanna@ifma.edu.br, prof.carmemfn@acad.ifma.edu.br

RESUMO

No Brasil, é comum a aplicação de coagulantes químicos durante as etapas de tratamento da água potável, o mais utilizado entre eles é o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), considerado prejudicial à saúde, podendo causar doenças neurológicas. Durante o período chuvoso, os níveis de partículas suspensas na água aumentam fazendo com que seja necessário adicionar uma maior dosagem de coagulante convencional gerando assim, um alto custo comercial para as adutoras, podendo até não chegar de forma devidamente tratada ao consumidor. Considerando alguns aspectos negativos da aplicação desse tipo de coagulante, o presente trabalho investiga a semente de Moringa oleífera como potencial coagulante natural a ser utilizado durante o processo de tratamento de água. Foram realizados ensaios de corrosão por imersão (30, 60 e 90 dias) e posteriormente, ensaios eletroquímicos Open Circuit Potential (OCP) e Polarização Linear (PL) aplicadas em amostras de aço patinável CST COR 400 (revestidas com tinta epóxi, sem revestimento (neutra) e com a presença de cordão de solda) oriundas de tubulação de uma adutora. Realizou-se também análises de microscopia óptica (MO) e caracterização do pó através da leitura de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Os estudos concluíram que para a biocoagulação e clarificação da água bruta do rio a dosagem de 200 mg/ 200 ml é a mais adequada, pois não alterou pH e turbidez estando nos padrões de potabilidade. Já nos ensaios de corrosão por imersão, o aço com a proteção de tinta epóxi teve um equilíbrio quanto a perda de massa, o contrário aconteceu com a amostra neutra. O FTIR identificou a suave presença de elementos como o brometo que auxilia no processo oxidativo e em maior quantidade a presença de aldeído e aminas que auxiliam no processo como inibidores de corrosão.

Palavras-chave: Adutora; Clarificação da água; Corrosão; Moringa oleífera.

ABSTRACT

In Brazil, it is common to apply chemical coagulants during the drinking water treatment stages, the most used among them is aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$), considered harmful to health and may cause neurological diseases. During the rainy season, the levels of suspended particles in the water increase, making it necessary to add a higher dosage of conventional coagulant, thus generating a high commercial cost for the pipelines, which may even not reach the consumer in a properly treated form. Considering some negative aspects of the application of this type of coagulant, the present work investigates the Moringa oleifera seed as a potential natural coagulant to be used during the water treatment process. Immersion corrosion tests were carried out (30, 60 and 90 days) and subsequently, Open Circuit Potential (OCP) and Linear Polarization (PL) electrochemical tests applied to CST COR 400 weathering steel samples (coated with epoxy paint, without coating (neutral) and with the presence of a weld bead) originating from a water main piping. Optical microscopy (OM) analyzes and powder characterization were also carried out using Fourier transform infrared (FTIR) reading. The studies concluded

that for biocoagulation and clarification of raw river water, the dosage of 200 mg/ 200 ml is the most appropriate, as it did not change pH and turbidity, being within potability standards. In the immersion corrosion tests, the steel with epoxy paint protection had a balance in terms of mass loss, the opposite happened with the neutral sample. The FTIR identified the slight presence of elements such as bromide that helps in the oxidative process and in greater quantities the presence of aldehyde and amines that help in the process as corrosion inhibitors.

Keywords: Water pipeline; Water clarification; Corrosion; Moringa oleifera.

1. INTRODUÇÃO

O Ministério da Saúde por meio da Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2012 estabeleceu procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, que usualmente são alcançados devido à utilização de coagulantes. Esses coagulantes, na maioria das vezes são compostos poliméricos sintéticos, como o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), bastante utilizado durante as etapas de tratamento da água [1].

Segundo LINO *et al.* [2], atualmente a tecnologia mais utilizada no tratamento de água envolve o processo químico da coagulação com sais de ferro ou de alumínio, seguido da sedimentação, da filtração e da desinfecção com cloro. O coagulante químico para tratamento de águas mais empregado no Brasil é o sulfato de alumínio, devido sua alta eficiência na remoção de partículas suspensas e custo acessível, entretanto, altas concentrações de alumínio no meio ambiente podem causar problemas sérios ao solo, e por consequência afetar também a saúde humana como, por exemplo, distúrbios gastrointestinais, erupções na pele, úlceras, demência e mal de Parkinson.

Os flocos resultantes da coagulação com o sulfato de alumínio são de natureza inorgânica. O resultado desse processo, o lodo que é gerado em muita quantidade, não entra em decomposição biológica, uma vez que não é um biodegradável, dificultando sua disposição final. Assim os impactos gerados com coagulantes artificiais têm incentivado pesquisas sobre fontes alternativas em substituição a esses aditivos, um coagulante ecologicamente correto e acessível apresenta-se como uma alternativa viável para os processos de tratamento da água, a semente de Moringa oleifera [3]. Esse biocoagulante ecologicamente não prejudicial já é bastante utilizado para clarificação no tratamento de águas em relação aos parâmetros físico-químicos (turbidez e cor) e microbiológicos. Entretanto, para o tratamento eficaz, é necessário complementá-lo com as etapas de filtração e desinfecção. Estudos realizados por LIMA [4], mostraram que a Moringa oleifera na concentração de 200 mg/200 ml tem sido utilizada como coagulantes e/ou floculantes natural em água bruta oriundas do rio Capibaribe – Pernambuco.

Sendo assim, este trabalho propõe investigar o uso do pó da semente de Moringa oleifera em amostras de água bruta na tentativa de substituir os coagulantes químicos, que são considerados nocivos à saúde por coagulante natural durante os processos de tratamento de água na estação (ETA) em duto de aço patinável do tipo COS-AR-COR 400, utilizado como transporte para o abastecimento de água potável. Uma proposta complementar consiste na análise de amostras das juntas soldadas extraídas da referida tubulação para verificar se há uma possível corrosão advinda do contato entre o aço patinável e o biocoagulante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais Utilizados

Neste trabalho, amostras de água foram captadas na adutora em estudo além, de amostras de aço patinável tipo CST COR 400 e materiais de laboratório como: vidrarias, estufa, secador, balança analítica, microscópio óptico, célula eletroquímica, lixadeira manual tal qual equipamentos para realização dos ensaios de corrosão como célula eletroquímica e o potenciostato.

2.2. Coleta das amostras de água na ETA

Foram coletadas amostras de água nas seguintes condições: água bruta (AB) oriunda do rio Itapecuru diretamente da fonte de captação localizada no ITALUÍS; água após o recebimento do coagulante industrial (AC) e água tratada (AT) (Figura 1).

2.3. Preparo do pó da semente de Moringa oleifera

Logo após o recebimento, as vagens foram abertas no intuito de obter as sementes que, em seguida, foram pesadas e descascadas até chegar em seu grão, posteriormente foram lavadas em água corrente e espalhadas em um refratário de vidro a fim da secagem que foi realizada em forno mufla a 70 °C por 1 (uma) hora, os grãos foram macerados e posteriormente peneirados com peneira de 14 *mesh* até obter a consistência de pó com a

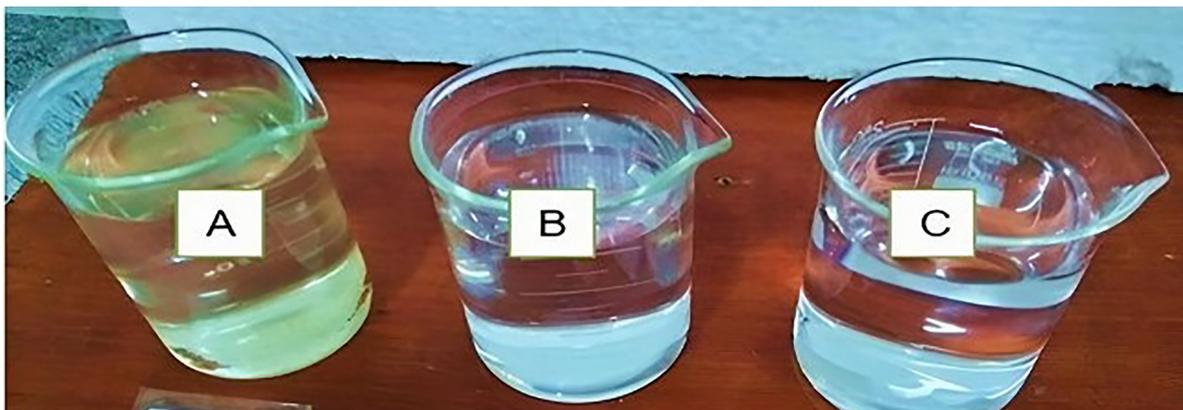


Figura 1: (A) água bruta (AB); (B) água coagulada (AC); (C): água tratada (AT).



Figura 2: Processo de preparação do pó de semente de Moringa. (A) Vagens como recebidas; (B) sementes; (C) pesagem das sementes; (D) lavagem dos grãos; (E) grãos secos em forno; (F) grãos macerados.

menor granulometria, seguidamente, foi acondicionado em um recipiente plástico com tampa para evitar a umidade (Figura 2).

2.4. Aplicação do pó da semente como biocoagulante

Após a seleção das dosagens de 50, 100, 150 e 200 mg/ml, o pó foi pesado em uma balança analítica SHIMADZU, modelo BL 3200H, e então aplicado em diferentes concentrações de 50, 100, 150 e 200 mg por 200 ml de água bruta (AB), de acordo com a combinação entre a concentração e o tempo de sedimentação (1, 2, 3 e 4 horas, respectivamente).

2.5. Preparação da célula eletroquímica

Utilizou-se uma célula de vidro de 85 mm × 85 mm × 45 mm com capacidade volumétrica de 120 ml, compostas de 03 eletrodos: eletrodo de referência (ER), contra eletrodo (CE) e eletrodo de trabalho (ET). O ER utilizado será de Ag/AgCl (7 mm) e CE de (6 mm) será de grafite, fechando assim o circuito potenciostático. Afim de evitar possíveis vazamentos de solução, utilizou-se anéis de vedação (*oring*) garantindo assim uma melhor eficiência durante o processo (Figura 3).

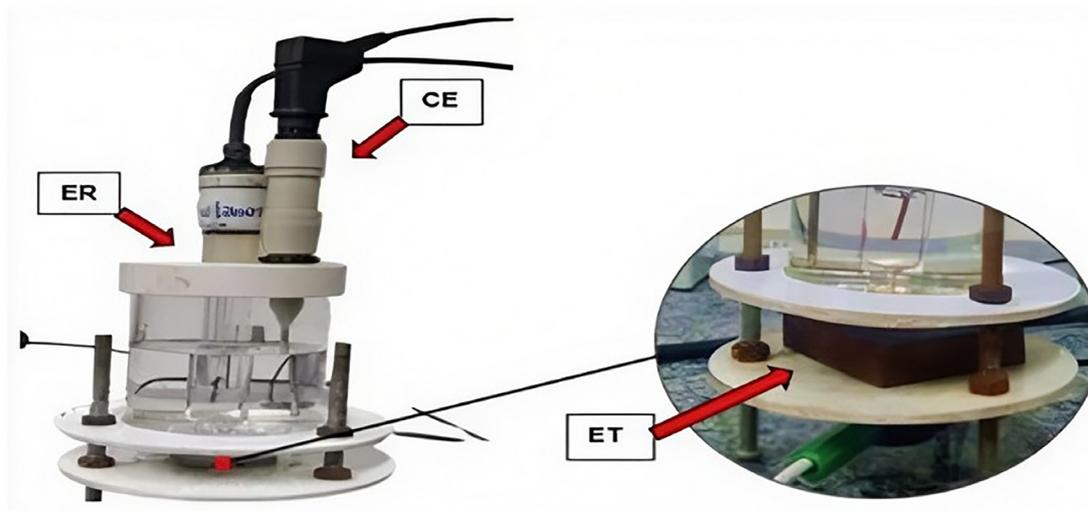


Figura 3: Posição dos eletrodos na célula eletroquímica.

2.6. Ensaio de corrosão por imersão

Para complementar os estudos sobre a influência da corrosão na presença de coagulante químico industrial e biocoagulante à base de semente de moringa, foram realizados ensaios de corrosão por imersão [5]. O procedimento começou com a separação das amostras de aço patinável em três condições distintas: 03 amostras revestidas com tinta epóxi, 03 amostras sem revestimento e 03 amostras com junta de solda e revestimento. Essas amostras foram imersas em água do rio tratada com pó de moringa e água do rio captada na estação de tratamento de água (ETA) por 30, 60 e 90 dias, para análise da perda ou ganho de massa ao longo do processo.

2.7. Ensaios eletroquímicos

A sigla em inglês *Open Circuit Potential* (OCP) chamada também de potencial em circuito aberto, apresenta constância em seus parâmetros garantindo a estabilidade do sistema a fim de viabilizar os experimentos, tais como Impedância e Polarização Potenciodinâmica [6]. Para garantir a estabilização do sistema, foram adotadas medidas tanto para OCP no intervalo de 3.600 segundos quanto para Polarização Linear baseado na norma ASTM G59-97 [7]. Utilizou-se o software NOVA 2.1.5 que faz portabilidade com o equipamento potenciostato onde os dados obtidos nos experimentos foram tratados estatisticamente no software Origin.

2.8. Microscopia óptica

As amostras foram preparadas após os ensaios eletroquímicos, sendo embutidas a quente utilizando a embutidora Arotec PRE 30 Mi, disponível no laboratório de preparação de amostras do Departamento de Mecânica e Materiais (DMM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFMA). Em seguida, foram lixadas e polidas com alumina para permitir uma melhor obtenção das microscopias.

2.9. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier – FTIR

Em geral, o experimento é simples, a amostra é colocada perpendicularmente ao feixe infravermelho e o detector mede a quantidade de feixe infravermelho que passa pela amostra. Normalmente, uma amostra de referência é usada como padrão para avaliar cepas circulantes, e as amostras são avaliadas em relação a esse padrão [8].

2.10. Microscopia de Luz

Um microscópio de luz polarizada é um microscópio que possui um polarizador próximo a um condensador que direciona as ondas de luz provenientes de uma fonte de luz unidirecional e em um único plano. A mudança birrefringente ocorre na direção de propagação da luz onde, neste tipo de dispositivo surge o analisador, este é o segundo sistema de polarização próximo ao visor, a luz máxima é obtida quando o polarizador e o analisador possuem eixos paralelos e vice-versa, a luz se apaga quando os dois são verticais entre si [9].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ensaios de corrosão por imersão

Após uma série de testes para determinar a concentração ideal para a clarificação da água bruta do rio Itapecuru, verificou-se que a dosagem mais eficaz foi de 200 mg/200 ml, com um tempo de sedimentação de 4 horas. O experimento revelou a clara aglutinação das partículas suspensas, as quais se depositaram no fundo do béquer (Figura 4), simulando eficazmente o processo de coagulação e formação de lodo, similar ao método utilizando coagulante químico convencional nas estações de tratamento de água (ETA).

Para filtrar as partículas suspensas na solução, foram necessários a realização de duas etapas de filtração a fim de obter-se a menor turbidez possível, sendo que após a primeira filtração a solução foi agitada com auxílio de agitador mecânico por 5 minutos a fim de quebrar (caso haja) as partículas suspensas (Figura 5).

Após diversos testes para clarificar a água do rio Itapecuru, a dosagem mais eficaz foi de 200 mg/200 ml, com sedimentação de 4 horas. A aglutinação das partículas suspensas se depositou no fundo do béquer, simulando o processo de coagulação e formação de lodo, semelhante ao uso de coagulantes químicos convencionais (Figura 6).

As amostras de aço de cada condição foram pesadas e depois amarradas com fio de nylon, suspensas com ajuda de palitos de madeira e cobertos com papel filme a fim de protegê-las de impurezas (Figura 7).

Após 30 dias, a solução que continha as amostras de aço apresentou uma mudança na coloração, notou-se também a existência de um filme formado a partir da aglomeração de partículas de oxidação suspensas presentes na água (Figura 8).

Ao final de cada ciclo, as amostras foram retiradas cuidadosamente com auxílio de uma pinça e lavadas em água corrente para tirar o excesso de partículas acumuladas, secas com jato de ar frio e pesadas novamente. O processo repetiu-se para as amostras no período de 60 e 90 dias (Figura 9).

A Tabela 1 mostra os parâmetros totais após a retirada do ensaio de corrosão por imersão. Durante os experimentos, observou-se que as amostras com revestimento também apresentaram uma perda significativa de



Figura 4: Solução após 4 horas de sedimentação.



Figura 5: Primeira filtragem da solução e medição de pH.

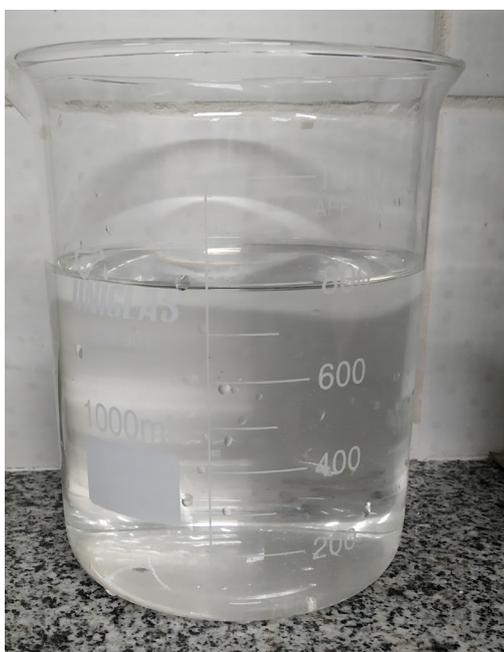


Figura 6: Solução após agitação mecânica seguida de segunda filtragem.



Figura 7: Amostras sob imersão em solução tratada com moringa no primeiro dia de ensaio (27/04/2022).



Figura 8: Amostras sob imersão de solução tratada com moringa após 30 dias.

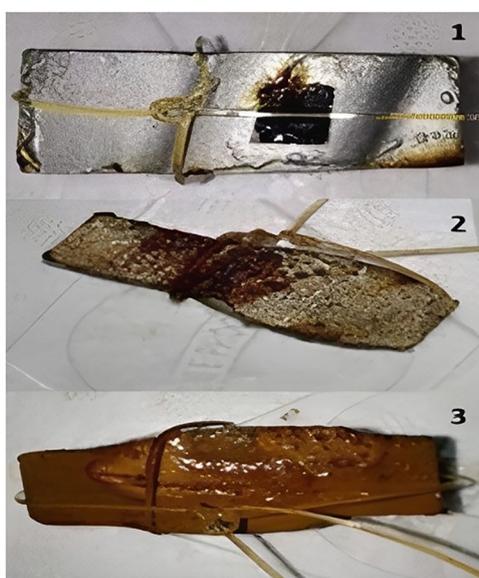


Figura 9: Aspecto visual das amostras retiradas em diferentes períodos. 1 = retirada após 30 dias; 2 = retirada após 60 dias; 3 = retirada após 90 dias.

Tabela 1: Panorama geral das disposições das amostras para ensaio de corrosão por imersão.

AMOSTRAS DE AÇO	TIPO DE SOLUÇÃO	PESAGEM INICIAL DAS AMOSTRAS (g)	MÉDIA DE PESAGEM APÓS 30 dias (g)	MÉDIA DE PESAGEM APÓS 60 dias (g)	MÉDIA DE PESAGEM APÓS 90 dias (g)	PMD (g/dia)	DESVPAD
junta soldada	tratada com sulfato	80	80,0	81,0	80,0	2,7	0,6
	tratada com moringa	85	85,0	84,0	84,0	2,8	0,6
revestida	tratada com sulfato	30	30,0	33,0	37,0	1,1	3,5
	tratada com moringa	23	23,0	25,0	25,0	0,8	1,2
sem revestimento	tratada com sulfato	30	30,0	30,0	30,0	1,0	0,0
	tratada com moringa	25	24,0	25,0	24,0	0,8	0,6

*PMD = peso médio diário *DESVPAD = desvio padrão.

massa devido à permeação dos eletrólitos na solução, o que resultou na formação de bolhas na superfície das amostras. Este problema foi causado pelo desprendimento da camada de tinta aplicada para impermeabilização das peças.

Os resultados deste ensaio mostraram uma redução no peso das amostras sem revestimento quando imersas em água tratada com biocoagulante. É importante notar que, embora todas as amostras compartilhem formatos similares, elas apresentam pesos e dimensões diferentes que pode ser explicado devido à composição heterogênea que engloba materiais depositados, zonas termicamente afetadas (ZTA) e o metal base.

Essa diversidade na composição resulta em diferentes densidades e distribuições de massa entre as amostras. Além disso, a exposição dessas junções ao ambiente corrosivo pode intensificar os efeitos galvânicos. Esses fenômenos ocorrem quando materiais com potenciais elétricos distintos entram em contato, acelerando processos de corrosão específicos para cada componente, o que pode influenciar significativamente na evolução do peso ao longo do tempo e nos resultados do ensaio.

3.2. Ensaio Eletroquímicos

Os resultados obtidos através de OCP para o aço sem revestimento em diferentes concentrações do biocoagulante (0, 50, 100, 150 e 200 mg/200 ml) e em solução coagulante à base de moringa nos respectivos tempos de sedimentação de 0,1, 2, 3, e 4 horas estão apresentados na Figura 10. Percebe-se as variações nos perfis das curvas e estabilizações dos potenciais.

Para uma maior precisão, a curva foi gerada com repetitividade de 3 vezes no mesmo intervalo de tempo. Contudo, observa-se que o tempo de sedimentação da concentração de 150 mg/200 ml obteve o mesmo comportamento da condição 0 mg/200 ml. A curva com dosagem de 100 mg/200 ml começou a estabilizar com o tempo de 1.100 segundos, podendo-se notar que houve um decaimento acentuado.

Sobrepondo as curvas de Polarização Linear (Figura 11) de todas as amostras anteriores, quando em contato com a solução de moringa, é importante observar o potencial de corrosão deste aço muito próximo onde há uma diferença entre o potencial mais alto e o potencial mais baixo. Portanto, deve-se lembrar que a moringa apresenta um composto em sua estrutura: as quitosanas, que são biopolímeros biodegradáveis, hidrofílicos, não tóxicos e que por possuírem grupos amina (-NH₂) reativos e hidroxilas (-OH) em sua cadeia, possibilitam sua interação com outros materiais, conferindo diferentes propriedades.

Quanto à corrente de corrosão, esse valor representa a corrente elétrica que atravessa o material por centímetro quadrado. Quanto maior essa corrente, maior é a transferência de íons no material, acelerando o processo de corrosão. Esse parâmetro está diretamente relacionado à taxa de corrosão do material.

Este gráfico de polarização potencioestática apresenta a relação entre a densidade de corrente (A/cm²) e o potencial aplicado (V) para diferentes concentrações de uma substância em uma solução (mg/200 ml). À medida

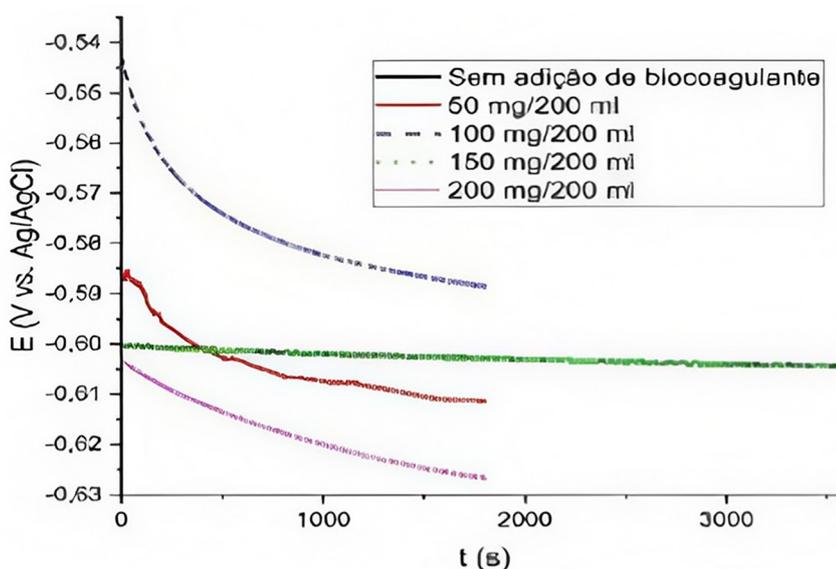


Figura 10: OCP em função do tempo de imersão do aço patinável (amostra bruta) CST COR 400 em meio a variadas concentrações de biocoagulante.

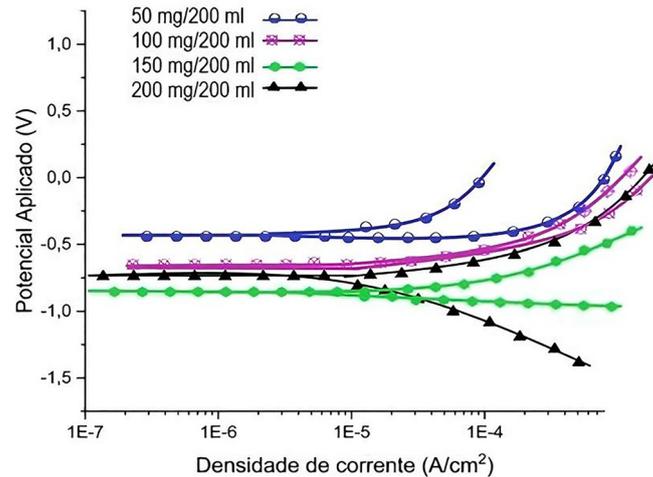


Figura 11: Medidas de Polarização Potenciostática.

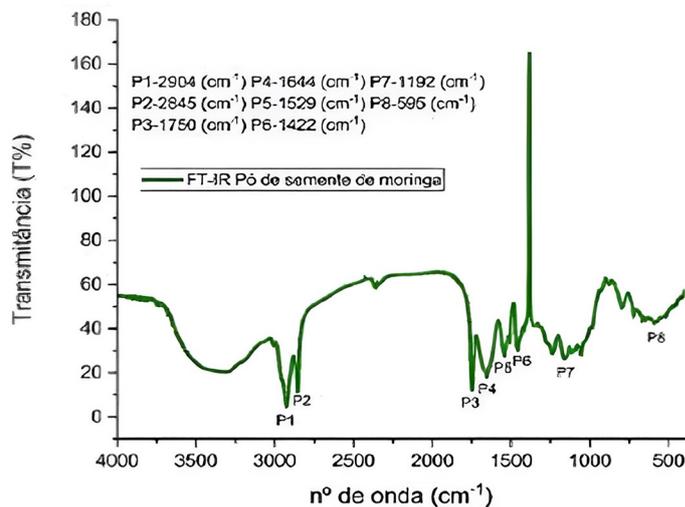


Figura 12: Espectro FTIR pó de semente da Moringa oleífera.

que a concentração do biocoagulante aumenta (de 50 mg/200 ml a 200 mg/200 ml), as curvas se deslocam, isso pode indicar mudanças na resistência à corrosão, passivação ou comportamento eletroquímico do material testado. As curvas tendem a mostrar um aumento no potencial aplicado à medida que a densidade de corrente aumenta. Contudo, em concentrações mais baixas (50 mg/200 ml), a curva está mais elevada, sugerindo que menos energia é necessária para atingir a mesma densidade de corrente em comparação com concentrações mais altas. As interseções das curvas em diferentes densidades de corrente podem indicar pontos críticos onde ocorrem mudanças no comportamento eletroquímico do material.

3.3. Caracterização do pó de semente de moringa por FTIR

Obteve-se a caracterização do pó de semente de Moringa oleífera a fim de evidenciar as ligações e identificar os possíveis grupos funcionais que são favoráveis para a atuação como biocoagulante. A Figura 12 apresenta o espectro FTIR do pó da semente de Moringa oleífera evidenciando os picos de P1 a P8. A plotagem registra a variação da transmittância (T%) em função do número de ondas (cm⁻¹).

Na região próxima a 1644 cm⁻¹ (P4) e 1529 cm⁻¹ (P5) há a presença do grupo=CON (Amidas) e dobramentos de amins responsável por conter nitrogênio no seu grupo funcional, fazendo com que atue como inibidores orgânicos pois criam uma fina camada adsorvida na superfície do material inibindo a sua corrosão [10, 11]. Na Tabela 2 observa-se distância acentuada entre as bandas 2845 cm⁻¹ (P2) e 1750 cm⁻¹ (P3). Estes picos estão associados a presença de ligações C=O (aldeídos) e Éster (R-COOR) [12].

Tabela 2: Identificação dos grupos funcionais a partir do espectro FTIR do biocoagulante.

PICO	Nº DE ONDA (cm ⁻¹)	POSSÍVEIS GRUPOS
P1, P2	≈ 2904,2845	(Aldeído) C=O
P3	≈ 1750, 1730	(Éster) R-COOR
P4	≈ 1644	(Amidas) =COM
P5	≈ 1529	Dobramentos de amidas/aminas
P6	≈ 1422	Dobramentos de -CH3 (Metil)
P7	≈ 1192	Dobramentos de -CH2 (Metileno)
P8	≈ 375	Brometo (R-Br)

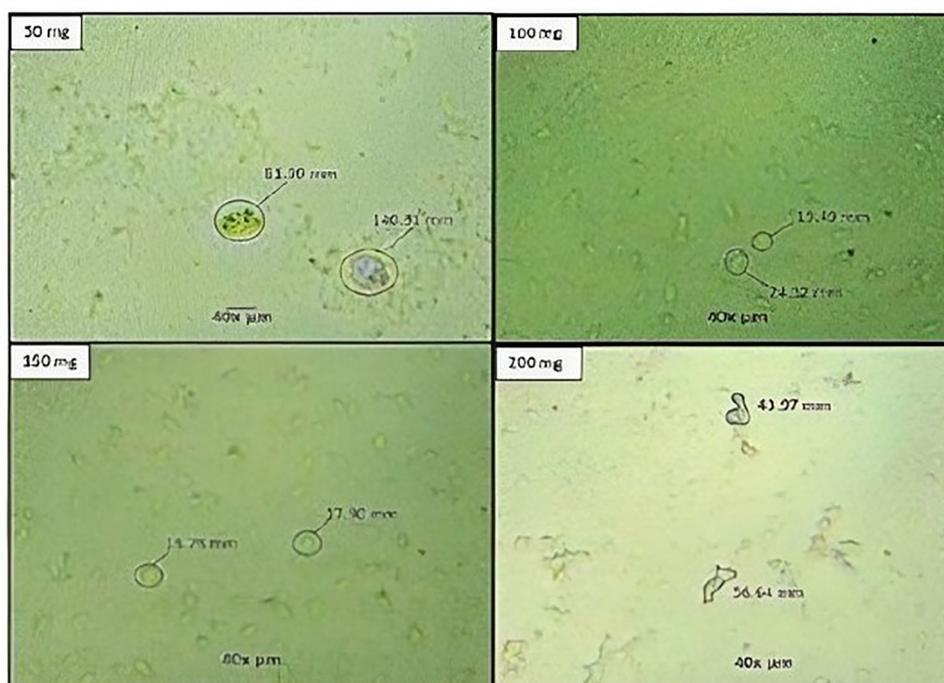


Figura 13: Microscopia de luz nas soluções coaguladas com Moringa em diferentes concentrações.

Mokhatab [13] afirma em seus estudos que as substâncias a base de amina, além da sua aplicação como inibidores de corrosão são utilizadas no processo de remoção de H₂S e CO₂ do gás natural, já nas regiões 1422 cm⁻¹ (P6) e 1192 cm⁻¹ (P7) observa-se o grupo metil composto por um átomo de carbono e dois de hidrogênio, ou seja, componente derivado do metano. Por fim, na região menos aparente do espectro 375 cm⁻¹ (P8) observa-se a presença de brometo, também conhecidos como sais de ácido bromídrico, encontrado também, na água do mar e responsável por ocasionar corrosão.

3.4. Microscopia de Luz em solução biocoagulada

As amostras biocoaguladas foram analisadas via microscopia óptica de luz nas concentrações usadas durante o todo experimento (50, 100, 150 e 200 mg/200 ml) das nanoformulações para observar a presença de glóbulos e homogeneidade dos mesmos. Foi utilizado um Microscópio de luz binocular da marca Leica DM 750 com objetivas fluorescentes e um aumento de 40X.

Para obter uma melhor visão dos resultados, foram realizadas análises por microscopia óptica nas amostras das nanoformulações nas concentrações de 50, 100, 150 e 200 mg/200 ml, com o objetivo de examinar a presença de glóbulos e a homogeneidade das amostras. Utilizou-se um Microscópio de Luz Binocular Leica DM 750 com objetivas fluorescentes e ampliação de 40X (Figura 13).

Em todas as amostras estudadas, apresentam as diferentes soluções e o tamanho de suas partículas encontradas através da análise. As nanoemulsões possuem formas semelhantes, e também são observados

aglomerados formando estruturas esféricas, como é o caso da concentração de 50 mg. Nota-se a presença de manchas similares a óleo no qual encontra-se visivelmente na semente de moringa justamente por conta de sua característica oleaginosa.

4. CONCLUSÕES

O estudo revelou que concentrações mais altas de pó da semente de moringa influenciam significativamente o comportamento eletroquímico dos materiais, resultando em menor potencial aplicado para a mesma intensidade de corrente. Este fenômeno indica alterações importantes no processo eletroquímico, o que deve ser considerado para otimizar o processo de tratamento de água com o biocoagulante. Portanto, além de proporcionar um método eficaz para o tratamento de água, é essencial adotar medidas de proteção adequadas para garantir a integridade das infraestruturas envolvidas (o tipo de tubulação para o transporte da água), assegurando um acesso contínuo e seguro à água potável em comunidades vulneráveis.

Após os ensaios, observou-se também que todas as amostras de aço, apresentaram variações na perda e ganho de massa. No entanto, destaca-se que a amostra revestida com tinta epóxi mostrou um aumento de massa de 33,12 g para 36,73 g após 30 dias. Essa mudança pode ser atribuída ao possível desgaste lateral das peças ou ao desprendimento da camada de verniz durante o contato com a solução ao longo do tempo. Por outro lado, as amostras não revestidas, pesavam 30,38 g aos 60 dias e diminuíram para 30,28 g ao final do experimento. Houve também perda de massa na amostra revestida com junta de solda, que passou de 80,58 g para 80,05 g ao longo do período, representando uma redução de 0,53 g. Tais observações indicam que as condições de exposição influenciaram diretamente nas alterações de massa das amostras, especialmente evidenciadas pelo comportamento divergente das amostras revestidas e não revestidas durante o experimento.

A amostra de aço patinável sem revestimento em contato com a solução de água bruta tratada com pó de semente da moringa apresentou uma perda de massa de -0,66, o que representa um aumento de 1,94% em comparação com a amostra de aço revestida com tinta epóxi em contato com a solução tratada com sulfato, que teve perda de massa de 0,33, equivalente a 0,94%. Esses resultados podem indicar que a presença de elementos como o brometo na composição química da semente de moringa acelerou o processo de oxidação da amostra nua, resultando em uma maior perda de massa. Diante disto, para uma análise mais abrangente da corrosão, é recomendável aumentar a duração do ensaio de corrosão por imersão, permitindo uma avaliação mais precisa dos efeitos a longo prazo da interação entre o material do aço e a solução biocoagulada.

Portanto, conclui-se que a concentração ideal de 200 mg de pó de semente de moringa por 200 ml de água demonstrou ser eficaz na biocoagulação da água do rio. A solução manteve um pH neutro, com valor de 7,1 antes do ensaio de corrosão por imersão e 6,52 após, indicando estabilidade adequada para uso humano após o tratamento completo da água. Além disso, a turbidez foi reduzida para 2,7 NTU, dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira em termos de qualidade organoléptica. Esses resultados mostram que a semente de moringa pode ser usada como um coagulante natural viável para o tratamento de água em comunidades com acesso limitado a tecnologias convencionais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DMM/IFMA, ao LABMDC/IFMA, ao PPGQ/IFMA, à CAEMA, à Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e ao PPGMEC.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] OPAS-BRASIL. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)*. <https://www.paho.org/pt/topicos/agenda-para-desenvolvimento-sustentavel>. Acessado em janeiro de 2024.
- [2] LINO, M.M., FERREIRA, M.P.A., DELATORRE, A.B., *et al.*, “Estudo preliminar sobre o uso da semente de moringa oleífera como coagulante orgânico”, In: *III Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade*, 2020.
- [3] TANAC. *Unidades de Negócios - TANAC*. <https://www.tanac.com.br/produto/tratamento-de-agua/>, acessado em setembro de 2023.
- [4] LIMA, N.M., “*Aplicação da Moringa oleífera no tratamento de água com turbidez*”, Tese de M.Sc., Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2015. http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/643/1/niedja_maria_lima.pdf, acessado em março de 2022.
- [5] WOLYNEC, S., *Técnicas eletroquímicas em corrosão*, São Paulo, EDUSP, 2003.
- [6] ASTM INTERNACIONAL, *ASTM G59-97(2020): Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements*, West Conshohocken, PA, ASTM Internacional, 2023.

- [7] ASTM INTERNATIONAL, *ASTM G31-21, Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*, West Conshohocken, ASTM International, 2021.
- [8] SEGATINI, K., “*Estudo do desempenho de poliamina sobre desestabilização de suspensões coloidais ricas em ferro e sílica*”, Tese de M.Sc., Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021. <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/>, acesso em outubro de 2022.
- [9] PERISSINATO, A.G., “*Desenvolvimento de nanoemulsões biocompatíveis como sistema de liberação intraocular do Celecoxibe*”, Tese de D.Sc., Araraquara, UNESP, 2019.
- [10] SOLMAZ, R., “Investigação do mecanismo de inibição da corrosão e estabilidade da vitamina B1 em aço-carbono em solução 0,5 M de HCl”, *Ciência da Corrosão*, v. 81, pp. 75–84, 2014.
- [11] GARCIA, L.P., SANTOS, A.R., “Aplicação de inibidores de corrosão na indústria de Petróleo e Gás”, *I EPG*, v. 2, n. 1, pp. 33, 2013.
- [12] SILVERSTEIN, R.M., WEBSTER, F.X., KIEMLE, D.J., *et al.*, “Identificação espectrométrica de compostos orgânicos”, In: Skoog, D.A., Holler, F.J., Crouch, S.R. (eds.), *Princípios de análise instrumental*. 6 ed., Porto Alegre, Bookman, pp. 12–23, 2009.
- [13] MOKHATAB, S., POE, W.A., SPEIGHT, J.G., *Handbook of Natural Gas Transmission & Processing*, Burlington, MA, USA, Gulf Professional Publishing, 2006.