

## AVALIAÇÃO DO PÓ DA FIBRA DA CASCA DE COCO VERDE COMO INIBIDOR DE CORROSÃO NATURAL DO AÇO CARBONO EM MEIO ÁCIDO

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 06/04/2021

### **Stéfany Saraiva Viana**

Universidade Estadual de Santa Cruz  
Ilhéus – BA  
<http://lattes.cnpq.br/5170059301984086>

### **Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves**

Universidade Estadual de Santa Cruz  
Ilhéus – BA  
<http://lattes.cnpq.br/7024935986388318>

### **Lhaira Souza Barreto**

Universidade Federal de Pernambuco  
Recife – PE  
<http://lattes.cnpq.br/6181792853510077>

### **Miriam Sanae Tokumoto**

Universidade Estadual de Santa Cruz  
Ilhéus – BA  
<http://lattes.cnpq.br/1369361529712124>

### **Fernando Cotting**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – MG  
<http://lattes.cnpq.br/3373558974232568>

### **Vera Rosa Capelossi**

Universidade Estadual de Santa Cruz  
Ilhéus – BA  
<http://lattes.cnpq.br/0713486577039303>

**RESUMO:** Dentre as diversas técnicas que podem ser empregadas para diminuir o processo de degradação de materiais metálicos,

destaca-se o uso de inibidores de corrosão, que são substâncias que atuam nas reações de oxirredução que ocorrem na dupla camada elétrica do eletrodo. A procura de inibidores alternativos surgiu devido à necessidade de que tais compostos sejam biodegradáveis, menos nocivos e que, preferencialmente, sejam provenientes de fontes renováveis. Estes compostos geralmente são de baixo custo e apresentam eficiência de inibição de corrosão comparável ao de substâncias já usualmente utilizadas. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar o pó da fibra da casca do coco verde (*Cocos nucifera L.*) como inibidor natural de corrosão em concentrações de 0,44 g.L<sup>-1</sup> a 1,77 g.L<sup>-1</sup> sobre o aço carbono AISI 1008 em meio de HCl 0,5mol.L<sup>-1</sup>. A eficiência de inibição foi determinada por ensaios gravimétricos de perda de massa, enquanto que a resistência à corrosão foi avaliada utilizando-se tanto a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), quanto as curvas de polarização potenciodinâmicas (CPP). Por fim, a análise morfológica do metal foi realizada por meio da microscopia óptica (MO). A eficiência de inibição aumentou com o aumento da concentração do inibidor no eletrólito, indicando que a máxima concentração avaliada (1,77 g.L<sup>-1</sup>) foi a que apresentou a maior eficiência de inibição (90,5 %). Comportamento semelhante foi observado quanto a resistência à corrosão. Esta mesma concentração proporcionou maior proteção ao substrato conforme observado nos ensaios de EIE e nas análises das CPP, reduzindo ainda a quantidade de produto de corrosão, conforme evidenciado pela MO. O composto atuou tanto nas reações

anódicas quanto nas catódicas, permitindo a sua classificação como inibidor misto. Portanto, o pó da fibra da casca do coco verde pode atuar como inibidor natural de corrosão sobre o aço carbono AISI 1008 nas condições avaliadas.

**PALAVRAS - CHAVE:** Corrosão, Inibidor Natural, EIE, Ensaios Gravimétricos, Coco Verde.

## EVALUATION OF GREEN COCONUT SHELL FIBER POWDER AS NATURAL CORROSION INHIBITOR ON CARBONSTEEL IN ACIDIC MEDIUM

**ABSTRACT:**The use of corrosion inhibitors is one of the most used technique to protect metallic materials against corrosion degradation. They are compounds that can act on the redox reactions that occur at the double layer of the electrode. Efforts have been made to investigate new eco-friendly compounds that can be used as corrosion inhibitor. These compounds are biodegradable, less harmful, low cost and obtained from renewable sources. Thus, this work aimed to evaluate the green coconut shell fiber powder (*Cocos nucifera L.*) as a natural corrosion inhibitor on AISI 1008 carbon steel in aqueous solution of HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup>. The inhibition efficiency was obtained by gravimetric tests. The corrosion resistance was evaluated by both electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and potentiodynamic polarization curves (PPC). The surface morphology of the substrate was analyzed by optical microscope (OM). The inhibition efficiency increased as increasing the inhibitor's concentration. The maximum concentration evaluated (1.77 g.L<sup>-1</sup>) reached the highest inhibition efficiency (90.5 %). This behavior was observed at the corrosion resistance analyses. The concentration of 1.77 g.L<sup>-1</sup> provided the greater corrosion protection by the EIS and PPC tests. A lesser amount of corrosion products was observed by the OM micrographs on the substrate surface when this compound was used. This compound acted in both anodic and cathodic reactions, being classified as mixed-type corrosion inhibitor. Therefore, the green coconut shell fiber powder can act as natural corrosion inhibitor on AISI 1008 carbon steel at these conditions evaluated.

**KEYWORDS:** Corrosion, Natural Inhibitor, EIS, Gravimetric Tests, Green Coconut.

## 1 | INTRODUÇÃO

As ligas de aço carbono são amplamente utilizadas em diversos setores (mercado automotivo, construção civil, implementos agrícolas e eletroeletrônicos no geral) devido a uma gama de características como boa resistência mecânica, excelente conformabilidade e soldabilidade atrelados a um baixo custo (SULAIMAN et al., 2019). Todavia este versátil material possui baixa resistência à corrosão na maioria dos meios em que é comumente empregado (CHIGONDO; CHIGONDO, 2016).

O fenômeno da corrosão é de ocorrência natural e está diretamente relacionado com a deterioração do metal devido a processos químicos ou eletroquímicos com ou sem esforços mecânicos envolvidos (WANG et al., 2019). Além dos impactos econômicos e artísticos/históricos que são atribuídos ao fenômeno corrosivo (KOCH, 2017; SABA; QUIÑONES-BOLAÑOS; MARTÍNEZ BATISTA, 2019), o mesmo é considerado um dos principais fatores quanto à perda de segurança dos mais diversos equipamentos, ferramentas, edificações

e construções, podendo ocasionar sérios desastres (ALEF; BARIFCANI, 2020; NAM et al., 2018).

Um dos métodos de proteção contra o avanço da corrosão está relacionado ao uso de inibidores de corrosão (BARRETO et al., 2017, 2018; JESUS et al., 2020; SANTOS et al., 2020). Estes podem ser substâncias isoladas ou um conjunto de substâncias com ação sinérgica (LOTO, 2014; LOTO; LOTO, 2013) que quando adicionados em pequenas proporções possuem a capacidade de inibir ou retardar a interação do material com o meio onde o mesmo se encontra (ASAN; ASAN, 2020), elevando, desta forma, o tempo de vida útil do metal e a segurança operacional (NAM et al., 2018).

Nam et al. (2018) destacam que estas substâncias podem ser classificadas quanto a sua natureza química (inorgânica ou orgânica); comportamento (oxidantes ou não-oxidantes); e ainda quanto ao mecanismo de ação (inibidores catódicos, anódicos, mistos e ainda adsorptivos). Geralmente os inibidores inorgânicos atuam tanto como inibidores catódicos quanto como anódicos. Já os orgânicos além de poderem atuar como inibidores catódicos e/ou anódicos, também são capazes de formar uma película adsorvida na superfície do material, tendo esta última classe de inibidores atraído especial atenção (SULAIMAN et al., 2019; UMOREN et al., 2019).

Estes compostos apresentam em sua constituição longas moléculas de hidrocarbonetos funcionalizadas, como diversos ácidos graxos, aminas orgânicas, flavonóides, polifosfatos e alcalóides com a presença abundante de heteroátomos (N, O e S) em sua cadeia molecular (SULAIMAN et al., 2019). Devido a essa estrutura, tais compostos podem facilmente serem adsorvidos na superfície do metal (JESUS et al., 2020; SANTOS et al., 2020). Como resultado desta interação, é observado a redução da taxa de corrosão deste material.

Muitos dos inibidores utilizados atualmente apresentam elevada toxicidade que podem resultar em problemas e riscos tanto ambientais quanto ao ser humano (LOTO et al., 2018). Assim, tem-se realizado diversos estudos pela comunidade científica com compostos oriundos de fontes naturais e renováveis que possam ser abundantes, biodegradáveis e apresentarem tanto baixo custo quanto baixa ou nula toxicidade (UMOREN et al., 2019). Dessa forma, o estudo de inibidores naturais de origem vegetal tem crescido nos últimos anos, com especial destaque aos inibidores naturais oriundos de resíduos agroindustriais (LOTO; LOTO, 2019; MOBIN; BASIK; ASLAM, 2019; POPOOLA, 2019) potentiodynamic polarization measurement (PDP).

Neste cenário, pode-se destacar o uso da fibra da casca do coco verde, fruto do coqueiro (*Cocos nucifera L.*), subproduto de fácil obtenção das regiões costeiras do Brasil. Devido a presença de moléculas com potencial antioxidantes, como a lignina e taninos, por exemplo, a fibra da casca do coco verde apresenta elevado potencial de uso como inibidor natural de corrosão (MOTHÉ; MIRANDA, 2009; UMOREN et al., 2012).

Assim, este trabalho visou avaliar o pó da fibra da casca do coco verde como

inibidor natural de corrosão sobre o aço carbono AISI 1008 em meio contendo HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> por meio de técnicas gravimétricas e ensaios eletroquímicos que consistiram na análise da espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) e das curvas de polarização potenciodinâmicas (CPP). Ao final, a morfologia do substrato foi analisada por microscopia óptica (MO).

## 2 | METODOLOGIA

Foi utilizado como substrato o aço carbono AISI 1008, tendo a sua superfície tratada com lixas d'água nas granulometrias de 80, 120, 320, 400, 500, 600 e 1200. Ao final do processo de lixamento, o substrato foi submetido a sucessivas lavagens (água destilada, acetona e etanol), sendo seco com corrente de ar quente e armazenado em dessecador de amostras.

O inibidor natural de corrosão foi obtido a partir da casca de cocos verdes oriundos da região litorânea do município de Ilhéus-BA, conforme esquema apresentado na Figura 01. O material particulado obtido após a peneira de 170 *mesh* denominou-se de pó da fibra da casca do coco verde.

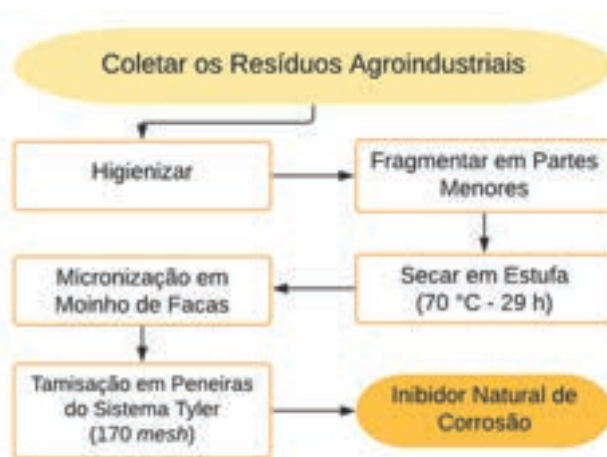


Figura 01 – Esquema de preparo do pó a ser utilizado como inibidor natural de corrosão a partir dos resíduos agroindustriais.

Os ensaios gravimétricos de perda de massa foram realizados em conformidade com a norma ASTM G1. Os ensaios consistiram na imersão do substrato em solução aquosa de HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> na ausência e na presença do inibidor de corrosão. As concentrações estudadas de inibidor de corrosão foram: 0,44g.L<sup>-1</sup>, 1,11 g.L<sup>-1</sup> e 1,77g.L<sup>-1</sup>. Os substratos ficaram imersos pelo período de 2 h, tendo sido realizado em triplicata para cada condição avaliada. Salienta-se que as amostras foram pesadas antes e após o ensaio em balança

analítica com precisão de  $\pm 0,1$  mg.

Os ensaios eletroquímicos foram realizados em um potenciostato/galvanostato PGSTAT302N da Metrohm Autolab controlado pelo *software* NOVA 1.11. O sistema consistiu em um eletrodo de referência de Ag|AgCl|KCl sat, um contra eletrodo de titânio revestido com ródio, e como eletrodo de trabalho foi utilizado o aço carbono AISI 1008, com área exposta de  $1 \text{ cm}^2$ . Os ensaios foram realizados em triplicata, a uma temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , em sistema não agitado e não aerado, empregando como eletrólito a solução aquosa de  $\text{HClO}_4$ ,  $5 \text{ mol.L}^{-1}$ , na presença e na ausência do inibidor de corrosão.

Inicialmente foi realizada a determinação do potencial de circuito aberto ( $E_{CA}$ ) por 90 min, para verificar a estabilização do potencial de corrosão. Em seguida, obteve-se as medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE), utilizando o intervalo de frequência de 100 kHz a 10 mHz com 10 pontos.década<sup>-1</sup> e amplitude de 10 mV em relação ao  $E_{CA}$ . Por fim, as curvas de polarização potenciodinâmicas (CPP) foram obtidas no intervalo de sobretensão em relação  $E_{CA}$  de  $-30 \text{ mV}$  a  $+250 \text{ mV}$  (ramo anódico) e de  $-250 \text{ mV}$  a  $+30 \text{ mV}$  (ramo catódico), com velocidade de varredura igual a  $0,5 \text{ mV.s}^{-1}$ .

A superfície do aço carbono AISI 1008 foi avaliada por microscopia óptica (MO) com auxílio de estereomicroscópio Leica S9, controlado pelo *software* Leica Application Suite. O substrato foi analisado antes e após a imersão no eletrólito, na ausência e na presença do inibidor natural de corrosão na melhor condição identificada pelos ensaios gravimétricos e eletroquímicos.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análise dos Ensaios Gravimétricos

Os resultados apresentados na Tabela 01 foram calculados utilizando os dados obtidos por meio do ensaio de perda de massa. A taxa de corrosão,  $C_p$ , foi determinada por meio da Equação 01, onde  $m_i$  e  $m_f$  tratam-se da variação da massa do substrato (g),  $S$  trata-se da área do substrato exposta ao eletrólito ( $\text{cm}^2$ ) e  $t$  é o tempo de exposição do substrato (s).

$$C_p = \frac{m_i - m_f}{S \cdot t} \quad \text{Equação 01}$$

Empregando a taxa de corrosão determinada previamente foi possível calcular a densidade de corrente de corrosão,  $i_{Corr}$ , por meio da Equação 02, onde leva-se em consideração a constante de Faraday ( $F = 96485,33 \text{ s.A.mol}^{-1}$ ) e o equivalente gramade metal ( $Eq_{metal} = 27,93 \text{ g}$ ), considerando o do Fe.

$$i_{Corr} = \frac{C_p \cdot F}{Eq_{metal}} \quad \text{Equação 02}$$

A taxa de corrosão também pode ser empregada para se determinar a eficiência de inibição de um determinado composto,  $\eta$ , por meio da Equação 03, onde leva-se em consideração a taxa de corrosão na ausência do inibidor,  $C_{i0}$ , e na presença do inibidor,  $C_{i1}$ .

$$\eta = \left( 1 - \frac{C_{i1}}{C_{i0}} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação 03}$$

Concentração do Inibidor Natural de Corrosão (g.L <sup>-1</sup> )	$C_i \times 10^{-6}$ (g.cm <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )	$i_{Corr}$ (A.cm <sup>2</sup> )	$\eta$ (%)
Branco	278,4	0,096	-
0,44	5,9	0,020	78,9
1,11	3,4	0,012	87,9
1,77	2,6	0,009	90,5

Tabela 01 –Taxa de corrosão ( $C_i$ ), densidade de corrente de corrosão ( $i_{Corr}$ ) e eficiência de inibição ( $\eta$ ) calculados por meio dos ensaios gravimétricos para o aço carbono AISI 1008 após 2 h de imersão solução aquosa de HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> na ausência e na presença do pó da fibra da casca do coco verde como inibidor natural de corrosão.

Avaliando os dados apresentados na Tabela 01, observa-se que a presença do pó da fibra da casca do coco verde no eletrólito promoveu a redução da taxa de corrosão e da densidade de corrente de corrosão a medida em que se aumentou a concentração do mesmo na solução. Portanto, o aumento da concentração do inibidor no meio promoveu o aumento da eficiência de inibição.

Os inibidores naturais de corrosão adsorvem-se nos sítios ativos do substrato dificultando as reações de troca de elétrons em sua superfície, bloqueando, assim, os sítios eletroquimicamente ativos (NAM et al., 2018; SANTOS et al., 2020). Desta forma, o aumento da concentração destes compostos tende a aumentar a taxa de sítios não disponíveis até o ponto de saturação.

## 3.2 Análise dos Ensaios Eletroquímicos

### 3.2.1 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

A partir da análise dos resultados apresentados no diagrama de Nyquist (Figura 02a), observa-se que a presença do pó da fibra do coco verde no meio não modificou o mecanismo de corrosão do substrato, tendo apresentado o mesmo perfil de curva na situação em que tal composto não estava presente (MOBIN; BASIK; ASLAM, 2019). Nota-se que à medida que se aumentou a concentração do inibidor natural de corrosão, o diâmetro do semiarco capacitivo também aumentou, sendo este o comportamento usualmente reportado para os inibidores provenientes de plantas e resíduos biodegradáveis (BARRETO et al., 2017, 2018; JESUS et al., 2020).

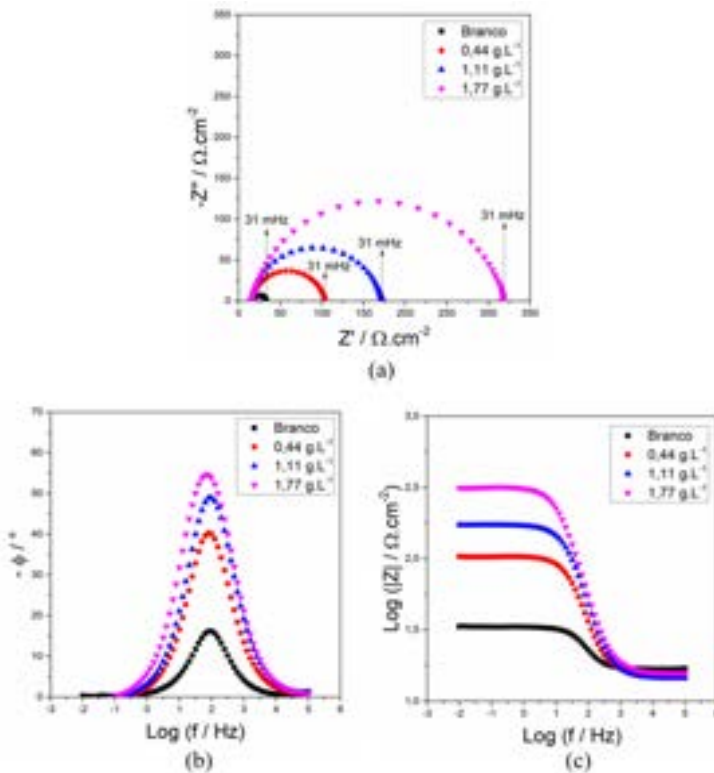


Figura 02 – Diagramas de EIE obtidos após 90 min de imersão em HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> para o aço carbono AISI 1008 na presença e na ausência do pó da fibra da casca do coco verde em diferentes concentrações, sendo (a) diagrama de Nyquist; (b) diagrama de Bode contendo o ângulo de fase; e (c) o diagrama de Bode contendo o logaritmo do módulo de impedância.

Tal comportamento indica que a presença deste composto no meio promoveu o aumento da proteção do metal frente aos fenômenos corrosivos. Corroborando com os resultados expostos nos ensaios gravimétricos, a máxima resistência à corrosão foi obtida na concentração de 1,77 g.L<sup>-1</sup> do pó da fibra da casca do coco verde, sendo ainda mais evidente ao se analisar o diagrama de Bode contendo o logaritmo do módulo de impedância (Figura 02c).

Destaca-se por meio do diagrama de Bode contendo o ângulo de fase (Figura 02b) a presença de uma única constante de tempo. Desta forma, o processo interfacial é controlado por meio da transferência de carga tanto na ausência quanto na presença do composto. Assim, o mecanismo de proteção promovido pelo pó da fibra do coco verde é devido ao bloqueio dos sítios eletroquimicamente ativos, dificultando a troca de elétrons entre a superfície do metal e o meio (SANTOS et al., 2020), resultando, desta forma, no aumento do ângulo de fase com o aumento da concentração deste inibidor natural de corrosão.

### 3.2.2 Curvas de Polarização Potenciodinâmicas (CPP)

Estão presentes na Figura 03 tanto o ramo catódico quanto o ramo anódico na ausência e na presença do pó da fibra da casca do coco verde em diferentes concentrações. Destaca-se que, de modo análogo ao reportado nos ensaios da EIE, a presença do inibidor no meio não promoveu mudança no perfil da curva obtida, indicando que não houve alteração quanto ao mecanismo de corrosão do aço carbono AISI 1008. No entanto, a presença do inibidor promoveu o deslocamento tanto do ramo catódico quanto do ramo anódico das curvas de polarização para valores de potencial, no geral, menos negativos, sugerindo que os mesmos reduziram a atividade corrosiva do substrato.

As densidades de corrente de corrosão tanto no ramo anódico quanto no ramo catódico também sofrerem redução quando se compara o aço AISI 1008 na presença e na ausência do pó da fibra da casca do coco verde, sendo possível estabelecer a diminuição da mesma com o aumento da concentração do inibidor. Desta forma, torna-se plausível considerar que a presença do inibidor no meio tende a inibir tanto as reações anódicas de dissolução do substrato, quanto as reações catódicas de evolução de hidrogênio, permitindo a classificação do pó da fibra do coco verde como um inibidor misto. Tal comportamento é comumente reportado para outros inibidores provenientes de plantas ou de resíduos agroindustriais (JESUS et al., 2020; MOBIN; BASIK; ASLAM, 2019; SANTOS et al., 2020).

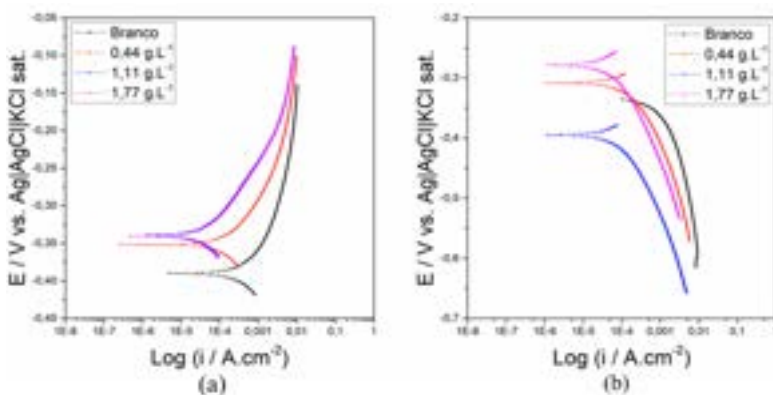


Figura 03 – Curvas de Polarização Potenciodinâmicas obtidas após 105 min de imersão em HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> para o aço AISI 1008 na presença e na ausência do pó da fibra da casca do coco verde em diferentes concentrações, sendo (a) o ramo anódico; (b) o ramo catódico.

Salienta-se que a diminuição da densidade de corrente de corrosão tanto anódica quanto catódica pode ser atribuída à adsorção de moléculas liberadas do inibidor nos sítios eletroquimicamente ativos do substrato (SANTOS et al., 2020). A fibra do coco verde possui em sua constituição majoritariamente moléculas de celulose, hemicelulose e lignina (MOTHÉ; MIRANDA, 2009). As mesmas são longas cadeias de hidrocarbonetos cíclicos



que apresentam em sua constituição o oxigênio como principal heteroátomo presente, conferindo potencial antioxidante às moléculas (GUILHEN et al., 2017).

### 3.3 Análise da Morfológica

A análise morfológica foi realizada utilizando o microscópio óptico (MO), estando presente na Figura 04 o aço carbono AISI 1008 antes e após a imersão em solução aquosa de HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> por 2 h na ausência e na presença do pó da fibra da casca do coco verde na concentração do inibidor na melhor condição identificada (1,77 g.L<sup>-1</sup>). Salienta-se que alguns pontos indicativos da degradação proveniente da corrosão estão indicados nas próprias micrografias.

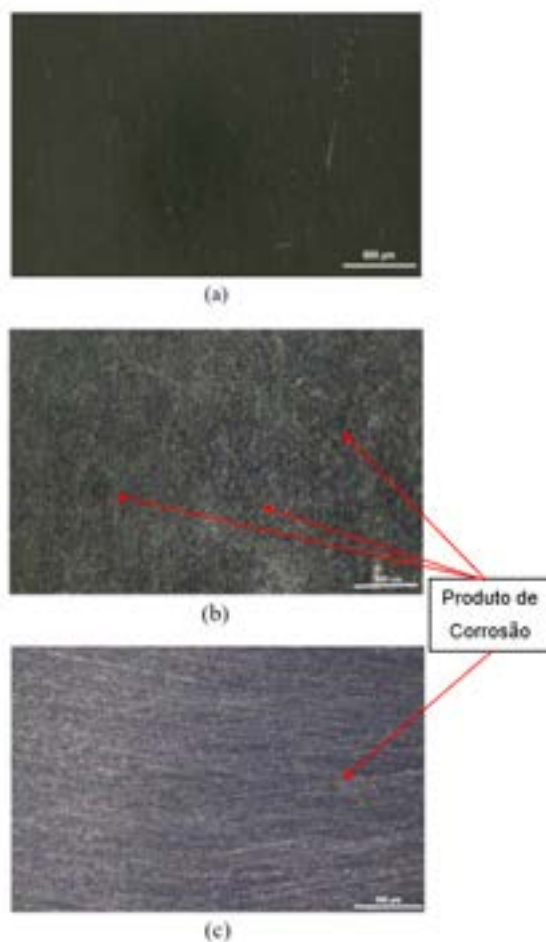


Figura 04 – Micrografias com 50x (escala de 500 μm) de ampliação obtidas via Microscopia Óptica (MO), sendo (a) o aço AISI 1008 antes da imersão; (b) o aço AISI 1008 após 2 h imersão em solução aquosa de HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> na ausência do pó da fibra da casca do coco verde; e (c) o aço AISI 1008 após 2 h de imersão em solução aquosa de HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> na presença de 1,77 g.L<sup>-1</sup> do pó da fibra da casca do coco verde.

Por meio das micrografias é evidente a presença de alguns riscos na superfície que são devidos à abrasão das lixas utilizadas no tratamento da superfície do substrato (Figura 04a). Ao se avaliar o substrato após imersão na ausência do inibidor é observada a corrosão generalizada devido ao ataque ácido. A presença dos óxidos decorrentes da corrosão do substrato tornou a superfície com maior rugosidade (Figura 04b). No entanto, a proteção do aço AISI 1008 conferida pelo inibidor foi notada. Ao se utilizar o inibidor em sua melhor concentração identificada anteriormente, o substrato aparenta, ao final do ensaio, ter menor rugosidade e aspereza superficial, indicando menor formação de produtos de corrosão (Figura 04c).

## 4 | CONCLUSÕES

A resistência à corrosão do aço AISI 1008 aumentou com o aumento da concentração do pó da fibra da casca do coco verde, indicando que o mesmo pode ser utilizado como inibidor natural de corrosão sobre o aço carbono. A concentração de  $1,77 \text{ g.L}^{-1}$  foi a que apresentou a maior eficiência de inibição (90,5 %), como também a maior resistência à corrosão tanto nos ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) quanto na análise das curvas de polarização potenciodinâmicas (CPP) decorrente da redução da densidade de corrente de corrosão tanto anódica quanto catódica, o que permite a classificação deste inibidor natural de corrosão como do tipo misto. Também foi observada a proteção do aço carbono AISI 1008 por meio de micrografias provenientes da microscopia óptica (MO), onde menor quantidade de produtos de corrosão foram observados no substrato exposto em ambiente ácido contendo  $1,77 \text{ g.L}^{-1}$  do pó da fibra da casca do coco verde.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento CNPq, CAPES e FAPESB pelas bolsas de iniciação científica e mestrado, como também à PROPP/UESC pelo auxílio financeiro; à Usiminas S.A. pelo fornecimento do aço AISI 1008; ao Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Estadual de Santa Cruz (CME/UESC, BA, BR) pelas análises de Microscopia Óptica; e ao Laboratório de Materiais e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Santa Cruz (LAMMA/UESC, BA, BR) pelo suporte, insumos e equipamentos que possibilitaram a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; BARIFCANI, A. **Effect of N-methyl-diethanolamine and film forming corrosion inhibitor on gas hydrate, and empirical modeling for degradation.**Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 184, n. September 2019, p. 106522, 2020.
- ASAN, G.; ASAN, A. **Inhibitor effect of nicotinamide on corrosion of aluminum.** Journal of Molecular Structure, v. 1201, 2020.
- BARRETO, L. S. et al. **Evaluation of the anticorrosion performance of peel garlic extract as corrosion inhibitor for ASTM 1020 carbon steel in acidic solution.**Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, n. 3, 10 ago. 2017.
- BARRETO, L. S. et al. **Study and Assessment of the Efficiency of the Cocoa Bark Extracted from the Theobroma Cacao as an Inhibitor of the Corrosion of Carbon Steel in Substitution of Benzotriazole.** Materials Research, v. 21, n. 1, p. 1–9, 30 nov. 2018.
- CHIGONDO, M.; CHIGONDO, F. **Recent Natural Corrosion Inhibitors for Mild Steel: An Overview.** Journal of Chemistry, v. 2016, p. 1–7, 2016.
- GUILHEN, A. et al. **High-density green polyethylene biocomposite reinforced with cellulose fibers and using lignin as antioxidant.** Journal of Applied Polymer Science, v. 45219, p. 1–10, 2017.
- JESUS, M. E. S. DE et al. **Evaluation of Efficiency of Avocado Seed Powder (Persea Americana) As a Corrosion Inhibitor in Sae 1008 Carbon Steel in Acidic Medium.**Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 10, p. 77197–77215, 2020.
- KOCH, G. **Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies: Production and Transmission.** 1st Editio ed. Cambridge, MA, USA: Elsevier, 2017.
- LOTO, C. A. **Synergism of Saccharum officinarum and Ananas comosus extract additives on the quality of electroplated zinc on mild steel.** Research on Chemical Intermediates, v. 40, n. 5, p. 1799–1813, 2014.
- LOTO, C. A.; LOTO, R. T. **Effect of dextrin and thiourea additives on the zinc electroplated mild steel in acid chloride solution.** International Journal of Electrochemical Science, v. 8, n. 12, p. 12434–12450, 2013.
- LOTO, C. A.; LOTO, R. T. **Inhibition and Adsorption Effects of Lavandula and Ricinus communis Oils on Mild Steel Corrosion in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.** Journal of Chemical Technology and Metallurgy, v. 54, n. 6, p. 1352–1360, 2019.
- LOTO, R. T. et al. **Synergistic effect of benzonitrile and benzothiazole on the corrosion inhibition of 316 stainless steel in 6m hcl solution.** Minerals, Metals and Materials Series, v. Part F12, p. 901–908, 2018.
- MOBIN, M.; BASIK, M.; ASLAM, J. **Pineapple stem extract (Bromelain) as an environmental friendly novel corrosion inhibitor for low carbon steel in 1 M HCl.** Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, v. 134, p. 595–605, 2019.

MOTHÉ, C. G.; MIRANDA, I. C. **Characterization of Sugarcane and Coconut Fibers by Thermal Analysis and FTIR.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 97, p. 661–665, 2009.

NAM, N. D. et al. **A study on the mixed corrosion inhibitor with a dominant cathodic inhibitor for mild steel in aqueous chloride solution.** Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, v. 91, p. 556–569, 2018.

POPOOLA, L. T. **Progress on pharmaceutical drugs, plant extracts and ionic liquids as corrosion inhibitors.** Heliyon, v. 5, n. 2, p. e011143, 2019.

SABA, M.; QUIÑONES-BOLAÑOS, E. E.; MARTÍNEZ BATISTA, H. F. **Impact of environmental factors on the deterioration of the Wall of Cartagena de Indias.** Journal of Cultural Heritage, v. 39, p. 305–313, 2019.

SANTOS, A. M. et al. **Evaluation of Palm Kernel Cake Powder (*Elaeis guineensis* Jacq.) as Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Acidic Media.** Metals and Materials International, n. 0123456789, 18 jan. 2020.

SULAIMAN, K. O. et al. **Understanding the corrosion inhibition of mild steel by selected green compounds using chemical quantum based assessments and molecular dynamics simulations.** Journal of Molecular Liquids, v. 279, p. 342–350, 2019.

UMOREN, S. A. et al. **Coconut coir dust extract: A novel eco-friendly corrosion inhibitor for Al in HCl solutions.** Green Chemistry Letters and Reviews, v. 5, n. 3, p. 303–313, 2012.

UMOREN, S. A. et al. **A critical review on the recent studies on plant biomaterials as corrosion inhibitors for industrial metals.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry, vol. 76, p. 91-115, 2019.

WANG, C. et al. **Modified chitosan-oligosaccharide and sodium silicate as efficient sustainable inhibitor for carbon steel against chloride-induced corrosion.** Journal of Cleaner Production, v. 238, p. 117823, 2019.