



Avaliação da eficiência do casquilho de Guaraná como inibidor de corrosão em meio de HCl por análise gravimétrica e morfológica

*Amanda Pires Nogueira de Souza¹, Antonio dos Reis de Faria Neto², Emerson da Costa Rios³,
Raimundo Ribeiro Passos⁴, Leandro Aparecido Pocrifka⁵*

Resumo

O aço carbono e suas ligas são materiais que possuem alta empregabilidade na sociedade devido as suas excelentes propriedades mecânicas e ao seu baixo custo em relação a outros metais. Porém, apesar de possuir uma gama de aplicações tecnológicas, possui baixa resistência à corrosão, principalmente em meios ácidos. Uma das formas de proteger o metal da corrosão é a utilização de inibidores de corrosão, os quais são substâncias orgânicas ou inorgânicas que ao serem adicionadas ao meio corrosivo podem diminuir ou até mesmo evitar que ocorra a oxidação do metal. Neste contexto, o presente trabalho estudou o casquilho de guaraná, rejeito de colheita do fruto, como fonte de inibidores de corrosão vegetal utilizando ensaio gravimétrico e de microscopia óptica *in-situ*. Os resultados encontrados indicam que o extrato obtido a partir desse rejeito pode atuar como inibidor de corrosão do aço AISI 1045 em meio de ácido clorídrico, pois uma eficiência de inibição de aproximadamente 80 % foi obtida nas técnicas aplicadas. Além disso, com a técnica de microscopia *in-situ* foi possível observar qualitativamente a morfologia da corrosão na presença e na ausência do inibidor, mostrando a ação do mesmo na prevenção da corrosão.

Palavras-Chave: Aço carbono, microscopia óptica *in-situ*, inibidor de Guaraná.

Evaluation of Guaraná leaves efficiency as corrosion inhibitor in HCl medium by gravimetric and morphological analysis. Carbon steel and its alloys are materials that have high employability in society due to their excellent mechanical properties and low cost compared to other metals. However, despite having a range of technological applications, it has low corrosion resistance, especially in acidic media. One way to protect the metal from corrosion is to use corrosion inhibitors, which are organic or inorganic substances which, when added to the corrosive medium, can reduce or even prevent metal oxidation. In this context, the present work studied the guaraná shell, fruit harvesting reject, as a

¹ Pesquisadora, Dept. Acadêmico de Mecânica, UTFPR, Curitiba, PR, Brasil. amandapiresn17@gmail.com

² Pesquisador, Dept. de Materiais e Tecnologia, FEG/UNESP, Guaratinguetá, SP, Brasil;
antonio.fariant@gmail.com

³ Professor Adjunto, Dept. de Química, ICE/UFAM, Manaus, AM, Brasil. emersonrios@ufam.edu.br

⁴ Professor Associado, Dept. de Química, ICE/UFAM, Manaus, AM, Brasil. rrpassos@ufam.edu.br

⁵ Professor Associado, Dept. de Química, ICE/UFAM, Manaus, AM, Brasil. pocrifka@gmail.com



source of green corrosion inhibitors using gravimetric and in situ optical microscopy assay. The results indicate that the extract obtained from this waste can act as a corrosion inhibitor of AISI 1045 steel in hydrochloric acid medium, since an inhibition efficiency of approximately 80 % was obtained in the applied techniques. Moreover, with the *in-situ* microscopy technique it is possible to qualitatively observe the morphology of corrosion in the presence and absence of the inhibitor, showing its action in preventing corrosion.

Keywords: Carbon steel, *in-situ* optical microscopy, Guarana inhibitor.

1. Introdução

Dentre os metais, o aço carbono e suas ligas são os materiais que possuem maior empregabilidade na sociedade, tanto pelo seu custo relativamente baixo quanto às suas excelentes propriedades mecânicas. Porém, apesar de possuir uma gama de aplicações tecnológicas, ele possui baixa resistência à corrosão, principalmente em meios ácidos (FARSAK; KELES; KELES, 2015; YILDIZ, 2015). Uma das formas de evitar esse processo natural é utilizar inibidores de corrosão, os quais são substâncias orgânicas ou inorgânicas que ao serem adicionadas ao meio corrosivo podem diminuir ou até mesmo evitar que ocorra a dissolução do metal (MOURYA, 2014; BIDI; AZADI; RASSOULI, 2020).

O principal mecanismo pelo qual a maioria dos inibidores de corrosão atua é através da adsorção de seus íons ou moléculas sobre a superfície do metal. Em relação ao tipo de inibidores de corrosão, aqueles que são solúveis no meio líquido onde a peça ou material a ser protegido está inserido apresentam uma grande vantagem, pois eles podem ser aplicados *in situ* (RAJA, 2008). Todavia, devido ao aumento da preocupação com o meio-ambiente, a tendência tem sido a

utilização de inibidores provenientes de fontes renováveis e não agressivas ao ambiente ao invés de inibidores tóxicos, esses inibidores são chamados de inibidores verdes, pois são inofensivos ao meio ambiente e ao ser humano (RAJA, 2008; TORRES, 2008; DE FARIA NETO et al., 2019). Suas principais fontes são provenientes de extratos de plantas ou de material biodegradável.

A atividade de inibição destes produtos se dá pela presença de constituintes heterocíclicos ou policíclicos, como alcalóides, flavonóides, taninos e celulose em sua composição química (RAJA, 2008). O Guaraná (*Paullinia Cupana*) é um arbusto de origem Amazônica, que pode ser encontrado no Brasil, Peru, Colômbia e Venezuela. Apesar de ser um excelente estimulante devido à presença de cafeína, pesquisas recentes revelam que a atividade antioxidante é uma outra característica encontrada no fruto. (ROCHETTI, 2015; KODAMA; HOTSUMI, 2011; PERES, 2010).

Nos últimos anos, muitos pesquisadores se dedicaram ao estudo da utilização de inibidores de origem vegetal no combate à corrosão. Alguns exemplos são o uso de extratos de rejeito de Ziziphora (DEHGHANI et al., 2020), de

folha de Oliveira (HARB et al., 2020), de chá verde (LIU et al., 2019) e de *Tithonia diversifolia* (Girassol Mexicano) (DIVYA et al., 2019), os quais apresentaram boa eficiência atuando como inibidores de corrosão.

Dessa forma, tendo em vista a tendência na utilização de produtos naturais como fontes alternativas de inibidores de corrosão, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade de inibição de extratos aquosos obtidos a partir de casquilhos de guaraná na proteção de peças de aço carbono imersas em meios aquosos ácidos. Para tanto, foi realizado ensaio de perda de massa e microscopia óptica para acompanhamento da corrosão *in situ*.

2. Materiais e Métodos

2.1 Preparo das Soluções

Como matéria-prima para obtenção do extrato inibidor de corrosão utilizou-se casquilhos de guaraná, Figura 1. Estes, após o descarte na colheita do guaraná em Maués-AM, foram secos em estufa a 60°C por 24 horas, e a seguir foram triturados a pó.

Para preparar a solução estoque, foram adicionados 12,0 g de pó de casquilho a 120,0 mL de HCl 1,0 M. Essa mistura foi aquecida a 95°C por 45 minutos sob agitação, e a seguir resfriada. Após a solução estoque atingir a temperatura ambiente, foram preparadas soluções de HCl 0,01 M contendo as seguintes concentrações de casquilho: 1, 2, 5, 10, 20 e 50 g L⁻¹. Apesar do processo de obtenção das soluções com inibidor ser agressivo, DE FARIA NETO et al. (2019)

mostrou, com auxílio de ensaio de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), que com a adição de pó do casquilho de guaraná em ácido clorídrico ocorre a formação de compostos que podem ser responsáveis pela ação antioxidante do produto, na proteção da superfície do aço carbono.



Figura 1 – Casquilhos de guaraná (Casca que envolve o fruto) após colheita realizada em Maués-AM.

2.2 Ensaios gravimétricos

Para a obtenção dos dados de perda de massa dos corpos de prova do aço AISI 1045, a partir de ensaios de imersão, foi utilizada uma solução HCl 0,01 M pura e outras contendo inibidores de casquilho de guaraná nas concentrações citadas anteriormente. Os corpos de provas, previamente lixados, limpos e pesados, foram imersos nas soluções (com e sem inibidor) por um período de 2 horas em temperatura ambiente. Após a imersão, foram limpos e pesados novamente, a fim de obter a massa final. Com os dados obtidos, foi possível determinar a taxa de corrosão do aço nas diferentes soluções. Todos os procedimentos foram realizados

segundo a ABNT – NBR 6210 (2008) e os ensaios foram realizados em triplicata.

A taxa de corrosão (r) foi calculada conforme Equação 1:

$$r = \frac{K \times W}{A \times t \times d} \quad (1)$$

onde, K é uma constante equacional ($8,76 \times 10^4$ para se obter r em mm/ano); W a variação de massa em gramas; A é área do corpo de prova em cm^2 ; t é o tempo em horas; d é a densidade do aço carbono ($7,87 \text{ g cm}^{-3}$).

Outro parâmetro utilizado para avaliar o efeito do inibidor é a eficiência de inibição (E), dada pela Equação 2:

$$E = \frac{r_0 - r_c}{r_0} \times 100 \quad (2)$$

onde, r_0 e r_c são as taxas de corrosão do aço na ausência e presença do inibidor, respectivamente.

2.3 Caracterização morfológica

Para o estudo morfológico da superfície do aço após imersão nas soluções ácidas, o preparo dos corpos de prova do aço AISI 1045 foi realizado segundo a norma ASTM E 3-11 (2017) seguindo as etapas de seccionamento, embutimento a frio utilizando resina poliéster, lixamento na sequência granulométrica de 220, 320, 400, 600, 1000, 1200 e 1500 *mesh* seguido de polimento utilizando pasta de diamante $0,25 \mu\text{m}$. A caracterização morfológica foi dividida em duas análises: Microscopia óptica *ex situ* e microscopia óptica *in situ*. Para ambas as caracterizações foi utilizado

um microscópio óptico invertido da marca BEL.

Na microscopia óptica *ex situ*, a amostra de aço com $0,2 \text{ cm}^2$ de área exposta foi imersa em um béquer contendo 10 ml de HCl $0,01 \text{ M}$ a cada 10 minutos por um período de 2 horas. A cada intervalo de imersão, as amostras foram submetidas a análises de microscopia óptica. Em seguida, o mesmo procedimento foi realizado com a solução de HCl $0,01 \text{ M}$ contendo concentração de 15 g L^{-1} de casquilho de guaraná.

O experimento de microscopia óptica *in situ* teve a finalidade de acompanhar em tempo real o ataque ocorrente em toda a superfície da amostra de aço em HCl $0,01 \text{ M}$, contendo ou não inibidor. Para obter uma completa visualização da superfície do aço no microscópio foi utilizado uma amostra usinada com $0,0078 \text{ cm}^2$ de área. Neste experimento, foram utilizadas as mesmas condições do que o ensaio anterior, porém foi utilizado um recipiente com fundo de vidro plano de modo que a amostra de aço (imersa em meio ácido com ou sem inibidor) manteve sua face exposta diretamente para a objetiva de um microscópio óptico invertido. Com o auxílio do *software IS Capture*, programou-se a captação de imagens da superfície do aço imerso na solução em intervalos de 30 segundos durante 1 hora. A partir da análise da série de imagens com o *software ImageJ* (ZIMER 2011), foi possível mensurar a fração de área de corrosão, ou seja, foi medido as regiões escuras (consideradas produtos de corrosão) em

relação às regiões claras (microestrutura sem corrosão).

Nos experimentos de caracterização morfológica foi utilizada uma solução com menor concentração de ácido a fim de reduzir o número de bolhas de gás hidrogênio formadas na superfície do aço, as quais interferem no processo de análise das imagens.

3. Resultados e Discussão

3.1 Ensaios gravimétricos

Os ensaios de perda de massa por imersão do aço AISI 1045 foram realizados em temperatura ambiente (25 °C) no meio de HCl 0,01 M puro e contendo inibidor a base de casquilho de guaraná em diferentes concentrações, conforme descrito na parte experimental. A partir dos dados de variação de massa das amostras de aço em cada condição experimental e utilizando a Equação 1 foi possível quantificar as taxas de corrosão (mm/ano), as quais são apresentadas na Tabela 1 e na Figura 2.

Tabela 1 - Taxa de corrosão (r) dos corpos de prova fabricados em aço AISI 1045 imersos em soluções de HCl 0,01 M puro e contendo inibidor a base de casquilho de guaraná em diferentes concentrações (25°C).

Concentração Inibidor (g L ⁻¹)	Taxa de corrosão [r] (mm/ano)
0	1,72 ± 0,09
1	1,07 ± 0,06
2	0,94 ± 0,07
5	0,93 ± 0,08
10	0,73 ± 0,07
20	0,65 ± 0,01
50	0,62 ± 0,01

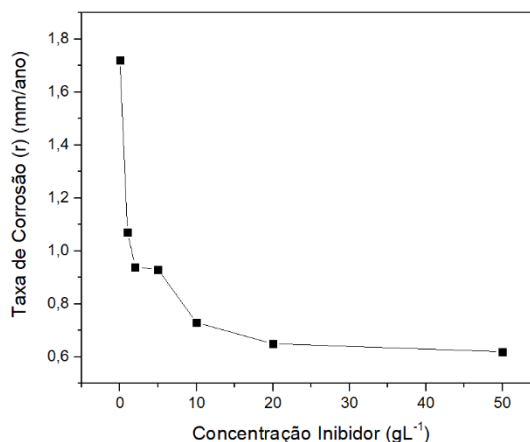


Figura 2 – Gráfico mostrando a eficiência do inibidor a base de casquilho de guaraná em diferentes concentrações (25°C) a partir da queda da taxa de corrosão.

Os resultados observados na Tabela 1 evidenciam um decréscimo da taxa de corrosão do aço quando o inibidor é adicionado na solução ácida, mesmo na quantidade de 1 grama do extrato em 1 litro de solução. Além disso, fica claro que com o aumento da concentração de inibidor a taxa de corrosão tende a diminuir cada vez mais, caracterizando que o seu uso foi eficaz na redução da deterioração do aço.

A partir da taxa de corrosão, foi possível calcular a eficiência do inibidor para cada concentração usada, utilizando a Equação 2. A eficiência encontrada para a maior concentração do inibidor, 50 g L⁻¹ em HCl 0,01 M foi de 63,9%, como pode ser observado no gráfico da Figura 3. No entanto, ao fazer uma análise visual do gráfico, é possível perceber que a partir da concentração de 20 g L⁻¹ a eficiência de inibição pouco se modificou, menos de 2%, indicando uma possível saturação das moléculas inibidoras na superfície do metal. Com base nesses dados, verifica-se

que é possível economizar matéria prima utilizando menores concentrações de inibidor, até certo limite, sem perder a eficácia. Portanto, optou-se por realizar os experimentos para caracterização morfológica com concentração de inibidor de 15 g L^{-1} , a qual fornece uma inibição de aproximadamente 60 %.

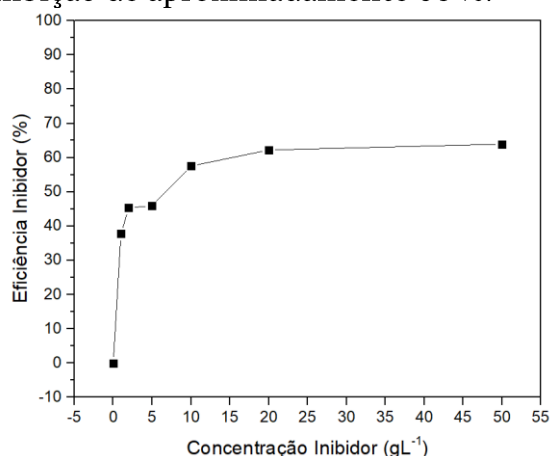


Figura 3 – Variação da eficiência de inibição em função da concentração do inibidor de casquilho de guaraná em solução de HCl 1,0 M, para o aço AISI 1045 em temperatura ambiente ($25 \text{ }^\circ\text{C}$).

3.2 Caracterizações morfológicas

O ensaio de microscopia *ex situ* foi realizado com o objetivo de analisar a ação do meio corrosivo na microestrutura da amostra de aço carbono AISI 1045. Os corpos de provas foram expostos ao meio de HCl 0,01 M, tanto na ausência de inibidor quanto na presença, e as micrografias obtidas para cada condição experimental são visualizadas nas Figuras 4 e 5 respectivamente. Importante salientar que a concentração de HCl utilizada, de 0,01 M, foi escolhida para evitar uma intensa formação de bolhas de gás hidrogênio formadas na superfície do metal, o que ocasionaria dificuldades para avaliação das imagens. Uma vez que a

natureza química do ácido é a mesma, a tendência é que o mecanismo de corrosão, nesse caso particular de dissolução ativa do aço, seja o mesmo em faixas próximas de pH. Portanto, pode-se utilizar esses resultados para auxiliar nas interpretações dos resultados das outras etapas do trabalho.

A Figura 4(a), onde se visualiza a microestrutura do material no tempo inicial, ilustra a superfície do aço AISI 1045 devidamente polida antes de ser submetida ao ataque com HCl 0,01M. Após 10 minutos de ataque, Figura 4(b), é possível identificar uma tendência à delineação da microestrutura devido ao processo de corrosão do material. Embora a visualização da microestrutura não seja tão nítida mesmo ao longo de 2 horas (Figuras 2c e 2d), por se tratar de um aço AISI 1045 espera-se que a mesma seja formada por microconstituente perlítico (Lamelas alternadas de Ferrita e Cementita) que segundo a literatura são muito suscetíveis à corrosão devido à formação micropilhas galvânicas entre a cementita (Fe_3C) que age como cátodo e a ferrita que age como ânodo (ANGELI, 2006; DE FARIA NETO et al., 2019).

Observando a sequência de imagens da Figura 5, sistema no qual estava presente o inibidor de corrosão obtido a partir do casquilho de guaraná, percebe-se pouca atividade corrosiva na superfície do aço em relação às imagens da Figura 4. Logo, pode-se inferir que as moléculas de inibidor contidas no extrato do casquilho de guaraná se adsorveram na superfície do aço formando uma película protetora. Todavia, a corrosão sofrida

concentrou-se nas inclusões do metal, o que fica evidente pelas áreas escuras (região anódica) circundadas por halos claros (regiões catódicas) presentes nas Figuras 5b-5d. Dessa forma, apesar do inibidor agir na maior parte da área do

metal evitando o tipo de corrosão uniforme, sua ação não foi suficiente nos pontos de inclusão, não sendo, portanto, recomendado para casos de corrosão localizada por pites.

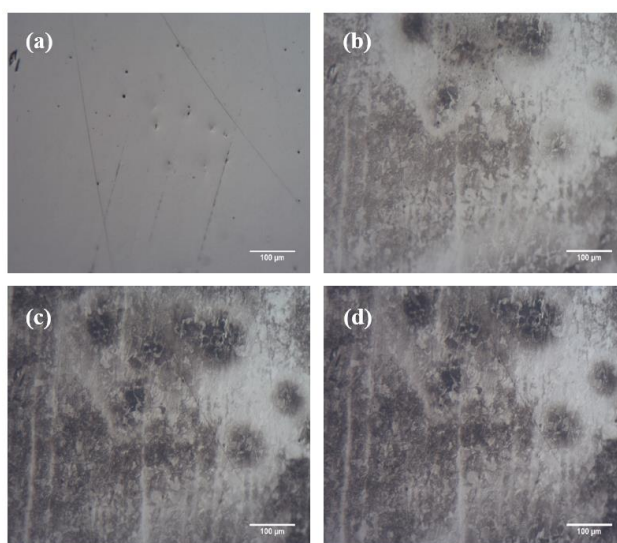


Figura 4 – Micrografias *ex-situ* da superfície do aço AISI 1045 após imersão em HCl 0,01 M. a) início; b) 10 minutos; c) 40 minutos; d) 120 minutos.

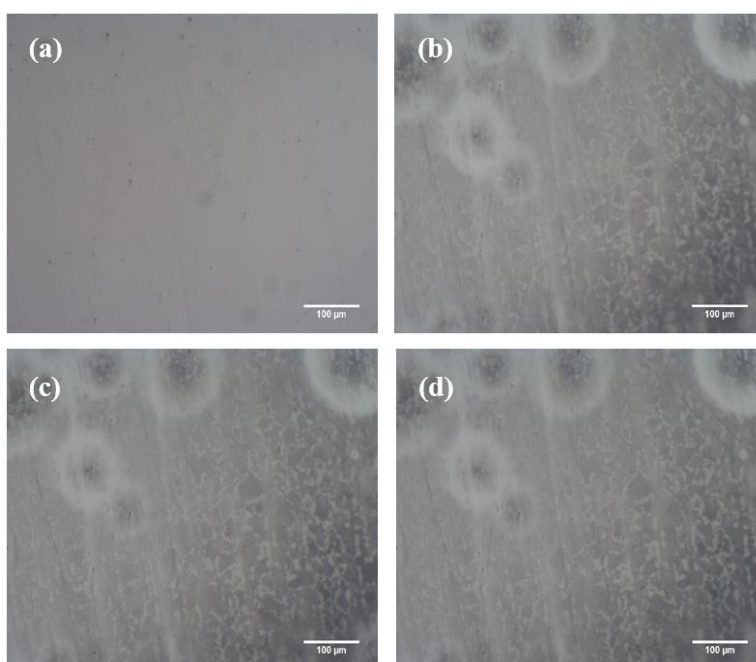


Figura 5 - Micrografias *ex-situ* da superfície do aço AISI 1045 após imersão em HCl 0,01 M contendo o inibidor de casquilho de guaraná a 15 g L⁻¹. a) início; b) 10 minutos; c) 40 minutos; d) 120 minutos.

Com o auxílio das imagens de microscopia óptica *in situ*, Figura 6, foi possível observar toda a superfície da amostra do aço durante o tempo de imersão na solução ácida tanto na presença como na ausência de inibidor de

casquilho de guaraná, demonstrando tanto qualitativamente quanto quantitativamente a eficiência do casquilho de guaraná em inibir a deterioração do aço AISI 1045.

Tempo (s)	0	450	900	1350
Solução HCl 0,01 M				
Solução HCl 0,01 M + Inibidor 15 g/L⁻¹				
Tempo (s)	1800	2250	2700	3600
Solução HCl 0,01 M				
Solução HCl 0,01 M + Inibidor 15 g/L⁻¹				

Figura 6 - Micrografias *in situ* da superfície do aço AISI 1045, após imersão em HCl 0,01 M na ausência e presença de inibidor de casquilho de guaraná em concentração de 15 g L⁻¹ em temperatura ambiente (25°C).

A sequência de micrografias da Figura 6 demonstra o nível de corrosão em relação ao tempo, onde fica claro que a amostra sem inibidor mostra alto grau corrosivo, já em 450 segundos após o início do experimento. Para esse mesmo

tempo não foi observada mudança significativa, com exceção de um leve escurecimento na condição experimental onde havia a presença do inibidor. Após 450 segundos, percebe-se que houve uma pequena alteração para ambas as

condições. Apesar de a percepção visual fornecer essa ideia de estabilização, é importante recorrer a ferramentas quantitativas para se ter uma interpretação mais precisa. Dessa forma, ao comparar a fração de área escura, que está diretamente relacionada ao nível de corrosão, utilizando o software ImageJ para as duas condições, é possível perceber que a amostra sem inibidor foi atacada

mais agressivamente pela solução de HCl, indicando o quanto o inibidor foi eficiente em proteger a superfície da segunda amostra. Por meio das imagens obtidas e dos resultados do tratamento das mesmas com o software, foi construído o gráfico da Figura 7, o qual detalha quantitativamente a evolução da porcentagem de corrosão superficial em relação ao tempo.

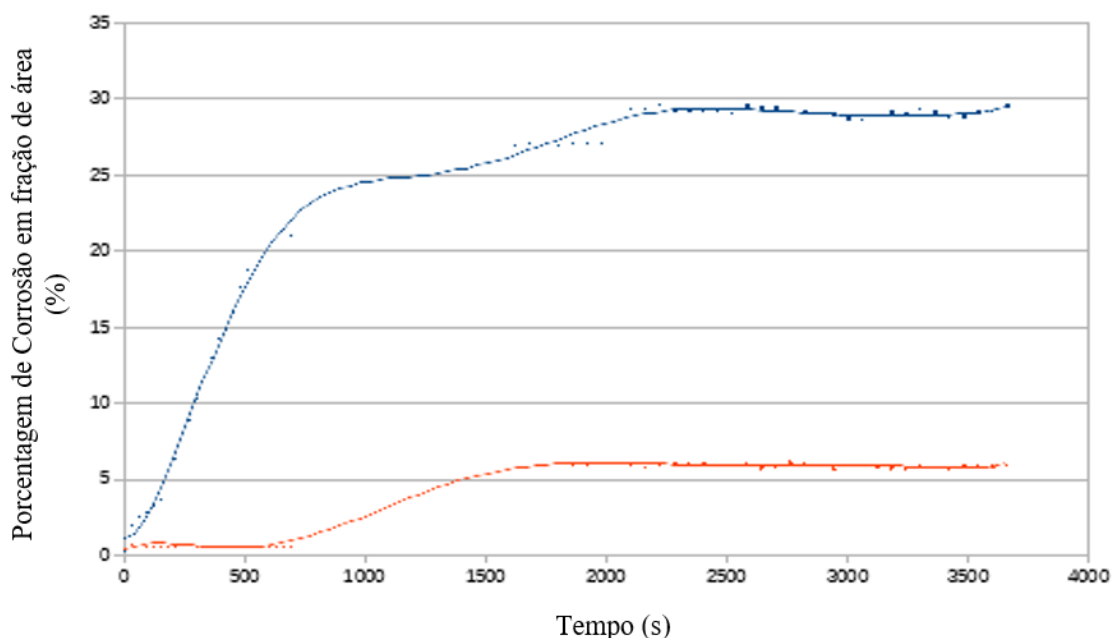


Figura 7 – Avanço da corrosão superficial do aço em função do tempo para o sistema sem inibidor (Linha azul) e com inibidor (Linha laranja)

A partir do gráfico da Figura 7, observa-se que a curva referente ao sistema sem inibidor (linha azul) chega próximo a um percentual de 30%, para a corrosão superficial no tempo de 3600 segundos, valor significativamente superior quando comparada a curva referente ao sistema contendo o inibidor (linha laranja), onde o valor máximo de área atacada foi de 5,9%. O resultado obtido neste tipo de análise corrobora

com aquele obtido no ensaio gravimétrico, apesar de obtermos parâmetros que apresentam significados físicos diferentes. Considerando a eficiência, o inibidor obteve uma eficiência de aproximadamente 80 % em relação às áreas de corrosão, valor que se assemelha com os resultados do ensaio gravimétrico. Dessa forma, fica bem evidente que o inibidor teve um excelente desempenho, pois reduziu



significativamente o ataque corrosivo na superfície do aço. Portanto, pode-se afirmar que o inibidor de casquilho de guaraná tem grande potencial para aplicação como inibidor de corrosão verde.

4. Conclusão

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- A preparação da solução inibidora, por método de infusão foi eficaz;
- O ensaio de perda de massa apresentou bons resultados de redução da taxa de corrosão, mostrando a eficiência (63,9%) do inibidor de casquilho de guaraná em concentração de 50 g L⁻¹;
- O experimento de microscopia óptica foi eficaz no monitoramento de corrosão, demonstrando que a solução inibidora minimizou o efeito de degradação no aço carbono AISI 1045 exposto ao meio ácido;
- A caracterização de microestruturas corroídas com e sem adição de inibidor em conjunto com o Software ImageJ se mostraram uma ferramenta para análise de eficiência de inibição;
- A utilização da técnica de microscopia *in situ* se mostrou útil por permitir acompanhar as reações de corrosão em toda a superfície do aço;
- Devido a eficiência encontrada, o casquilho de guaraná pode ser um aditivo proeminente no combate a corrosão em meio industrial.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES, CNPq e FAPEAM (edital 002/2018, Universal Amazonas, Proc. N° 062.01348/2018).

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 3-11**: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. 2017.
- ANGELI, J. et al. Etching techniques for characterizing the phases of low-alloy dual-phase and TRIP steels. **Praktische Metallographie**, v. 43, n. 10, p. 489-504, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – **NBR 6210**: Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão. 2008.
- BIDI, M. A.; AZADI, M.; RASSOULI, M. A new green inhibitor for lowering the corrosion rate of carbon steel in 1 M HCl solution: Hyalomma tick extract. **Materials Today Communications**, p. 100996, 2020.
- DE FARIA NETO, A. R. et al. Evaluation of Paullinia Cupana as a green corrosion inhibitor for carbon steel utilizing gravimetric and electrochemical noise techniques. **Materials Research Express**, v. 6, n. 7, p. 076522, 2019.
- DEGHANI, A. et al. Potential role of a novel green eco-friendly inhibitor in corrosion inhibition of mild steel in HCl solution: Detailed macro/micro-scale experimental and computational



explorations. **Construction and Building Materials**, v. 245, p. 118464, 2020.

DIVYA, P. et al. Tithonia Diversifolia flower Extract as green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acid Medium. **Materials Today: Proceedings**, v. 18, p. 1581-1591, 2019.

FARSAK, M.; KELEŞ, H.; KELEŞ, M.. A new corrosion inhibitor for protection of low carbon steel in HCl solution. **Corrosion Science**, v. 98, p. 223-232, 2015.

HARB, M. B. et al. Olive leaf extract as a green corrosion inhibitor of reinforced concrete contaminated with seawater. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, n. 3, p. 4846-4856, 2020.

KODAMA, A. L.; HOTSUMI, Tatiane Noda. **Investigação e caracterização de produtos naturais como inibidores de corrosão atóxicos para aço carbono em meio de ácido clorídrico**. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

LIU, Y. et al. Effect of ginger extract as green inhibitor on chloride-induced corrosion of carbon steel in simulated concrete pore solutions. **Journal of cleaner production**, v. 214, p. 298-307, 2019.

MOURYA, P.; BANERJEE, S.; SINGH, M. M. Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by Tagetes erecta (Marigold flower) extract as a

green inhibitor. **Corrosion Science**, v. 85, p. 352-363, 2014.

PERES, R. S. **Propriedades anticorrosivas de camadas de conversão à base de taninos como pré-tratamento para o aço carbono 1020**. Dissertação de Mestrado. UFRGS, Porto Alegre. 2010.

RAJA, P. B.; SETHURAMAN, M. G. Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media—a review. **Materials letters**, v. 62, n. 1, p. 113-116, 2008.

ROCHETTI, A. L.. **Caracterização dos efeitos antitumorais do guaraná sobre modelo murino de células tronco cancerosas**. Tese de Doutorado. USP, São Paulo. 2015.

TORRES, V. V. **Extratos de produtos naturais como inibidores de corrosão para o aço-carbono 1020**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Química, UFRJ, Rio de Janeiro. 2008.

YILDIZ, R. An electrochemical and theoretical evaluation of 4,6-diamino-2-pyrimidinethiol as a corrosion inhibitor for mild steel in HCl solutions. **Corrosion Science**, v. 90, p. 544-553, 2015.

ZIMER, A. M. et al. Investigation of AISI 1040 steel corrosion in H₂S solution containing chloride ions by digital image processing coupled with electrochemical techniques. **Corrosion Science**, v. 53, p. 3193-3201, 2015.