

## Artigo

**Aspectos Gerais Sobre Corrosão e Inibidores Vegetais**

Felipe, M. B. M. C.; Maciel, M. A. M.\*; Medeiros, S. R. B.; Silva, D. R.

Rev. Virtual Quim., 2013, 5 (4), 746-758. Data de publicação na Web: 31 de agosto de 2013

<http://www.uff.br/rvq>**General Aspects of Corrosion and Plant Inhibitors**

**Abstract:** Corrosion is a natural process that can easily be found in different types of surfaces and represents a major cause of economic losses in the industrial sector. Nowadays, the corrosion control involves different aspects such as economical, technical, and environmental. Generally, the chemical, electrochemical or electrolytic corrosion processes are spontaneous, leading to modifications in the physicochemical characteristics of materials. In this article, it is included the biocorrosion, which is influenced by microorganisms. In general, corrosion inhibitors are highly toxic limiting both handling and disposal. Recently, great scientific interest is focused in the natural inhibitors from plant sources due to the significant microbiological control as well as inhibitive property on electrochemical corrosion. In addition, vegetal inhibitors represent an important alternative in a biotechnological context.

**Keywords:** Vegetal species; corrosion; inhibitor.

**Resumo**

A corrosão constitui um processo natural que pode ser facilmente encontrado em diferentes tipos de superfícies e representa uma das principais causas de perdas econômicas no setor industrial. Atualmente, o controle da corrosão metálica tem fundamental importância econômica, técnica e ambiental. Geralmente os processos reacionais que desencadeiam a corrosão são espontâneos, de caráter químico, eletroquímico ou eletrolítico e tendem a modificar as características físico-químicas dos materiais. Incluída nesse contexto, encontra-se a biocorrosão, que é influenciada por microorganismos. No combate à corrosão, destacam-se em maior escala, os inibidores de corrosão de caráter químico que atuam eficazmente em qualquer tipo de processo corrosivo. De forma abrangente, os inibidores de corrosão são altamente tóxicos dificultando seu manuseio e descarte. Recentemente, inibidores de origem vegetal têm despertado interesse científico em função da atividade microbiológica, bem como ação de inibição a corrosão eletroquímica. Em adição, se enquadram em um contexto biotecnológico alternativo.

**Palavras-chave:** Espécies vegetais; corrosão; inibidor.

\* Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Centro de Ciências Exatas e da Terra, CEP 59072-970, Natal-RN, Brasil.

✉ [mammaciел@quimica.ufrn.br](mailto:mammaciел@quimica.ufrn.br)

DOI: [10.5935/1984-6835.20130053](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20130053)

## Aspectos Gerais Sobre Corrosão e Inibidores Vegetais

Maria Beatriz M. C. Felipe,<sup>a</sup> Maria Aparecida M. Maciel,<sup>b,c,\*</sup> Sílvia R. B. Medeiros,<sup>d</sup> Djalma R. Silva<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Núcleo de Pesquisa em Petróleo e Energias Renováveis, CEP 59072-970, Natal-RN, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Centro de Ciências Exatas e da Terra, CEP 59072-970, Natal-RN, Brasil.

<sup>c</sup> Universidade Potiguar Laureate International Universities, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Campus Salgado Filho, CEP 59075-000, Natal-RN, Brasil.

<sup>d</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Biologia Celular e Genética, Centro de Biociências, CEP 59072-970, Natal-RN, Brasil.

\* [mammaci@quimica.ufrn.br](mailto:mammaci@quimica.ufrn.br)

*Recebido em 14 de dezembro de 2012. Aceito para publicação em 28 de agosto de 2013*

1. Corrosão
2. Meios corrosivos
3. Extratos vegetais como inibidores de corrosão
4. Extratos vegetais como inibidores de CIM
5. Considerações Finais

### 1. Corrosão

---

Dentre os vários conceitos sobre corrosão, um dos mais divulgados define a corrosão como sendo a deterioração de um material metálico ou não-metálico, ou ainda, a deterioração das propriedades desses materiais por ação química ou eletroquímica do meio ambiente ao qual estejam expostos, bem como por injúria mecânica.<sup>1,2</sup> Uma vez que a maioria dos metais existe estável na natureza, na forma de compostos óxidos, sulfetos e carbonatos, o processo de corrosão é um modo natural dos metais retornarem ao estado de menor energia. Geralmente, a

corrosão ocorre espontaneamente, com consequentes modificações nas propriedades químicas e/ou físicas dos materiais, sendo, portanto, uma das principais causas de danos nas estruturas metálicas industriais. A Figura 1 mostra alguns exemplos de estruturas metálicas danificadas por processos corrosivos.

Com o crescente avanço tecnológico mundial, a demanda por produtos resistentes à corrosão é significativa. De fato, estudos recentes estimam que, mundialmente, os custos anuais vinculados aos danos da corrosão se encontram em torno de 4 % do Produto Interno Bruto (PIB) de um país industrializado.<sup>3</sup> Nesse contexto, as práticas

de gerenciamento e controle da corrosão podem reduzir 20 % de custos relacionados com aspectos diretos [manutenção (processos de proteção) e/ou substituição de peças ou equipamentos] ou indiretos, como

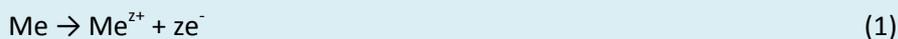
paralisações acidentais em função da perda de eficiência dos equipamentos, contaminação do produto, perda da produção e eventual comprometimento da segurança pessoal e ambiental.<sup>1,3</sup>



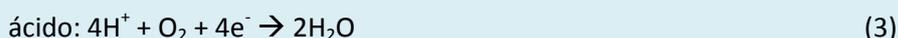
**Figura 1.** Estruturas metálicas danificadas por processos corrosivos: (a) estrutura de poço de armazenamento de combustível; (b) tubo proveniente de oleoduto; (c) torneira; (d) estrutura metálica interna de bloco de concreto; (e) corrimão (Fonte: autoria própria)

Os fenômenos corrosivos podem ser resumidos em quatro grupos principais: corrosão em meio aquoso (90 %), corrosão à elevadas temperaturas (8 %), corrosão em meio orgânico (1,8 %) e corrosão por metais líquidos (0,2 %).<sup>4</sup> Os dois primeiros sendo aceitos como processos puramente eletroquímicos, e os outros de mecanismo ainda indefinidos.<sup>4</sup> Nos processos de corrosão estão envolvidas reações de oxidação-redução, em que ocorre perda de elétrons

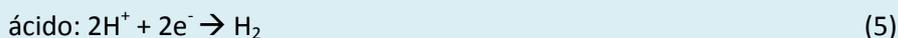
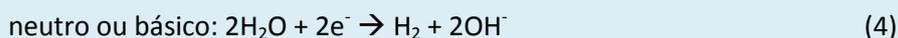
por uma espécie e ganho de elétrons por outra, sem que haja acúmulo de carga elétrica. A reação de oxidação é chamada de reação anódica na qual o metal é dissolvido e transferido para a solução na forma de íons metálicos (Reação 1). A reação de redução é denominada de reação catódica na qual o oxigênio é geralmente reduzido em soluções aeradas (Reações 2 e 3). Em soluções não-aeradas ocorre a produção de hidrogênio molecular (Reações 4 e 5).

**Reação Anódica:****Possíveis reações catódicas:**

- Em meio aerado:

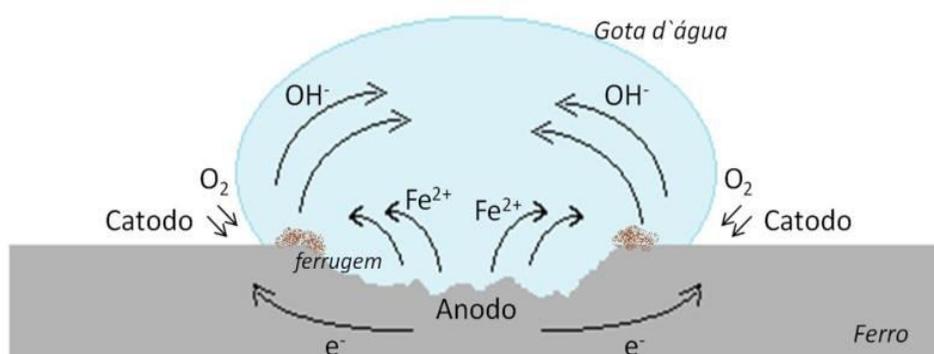


- Em meio não aerado:



Como a maioria das reações se desencadeia em meio aquoso, os processos de maior ocorrência são de caráter eletroquímico com condução iônica através do eletrólito em contato com o metal associado a uma passagem de corrente elétrica (quando o metal reage com um meio não-iônico diz-se que a corrosão é uma corrosão química).<sup>4</sup> Na Figura 2 encontra-se um esquema representativo de corrosão em meio aquoso, em que a superfície do metal é

o catodo e o centro da gota é o anodo (na região da gota, ocorre oxidação do ferro).<sup>4</sup> As reações de caráter anódico e catódico ocorrem simultaneamente, com passagem de elétrons da região anódica para a catódica através do metal. No entanto, essas reações desencadeiam uma série de reações subsequentes que podem gerar novos processos eletroquímicos e, portanto, influenciam a deterioração do metal de forma diferenciada.



**Figura 2.** Esquema representativo de processo corrosivo de caráter eletroquímico (adaptação de Wolyne, 2003<sup>4</sup>)

## 2. Meios corrosivos

Todos os materiais são passíveis de sofrerem corrosão desde que o meio a que forem expostos seja suficientemente

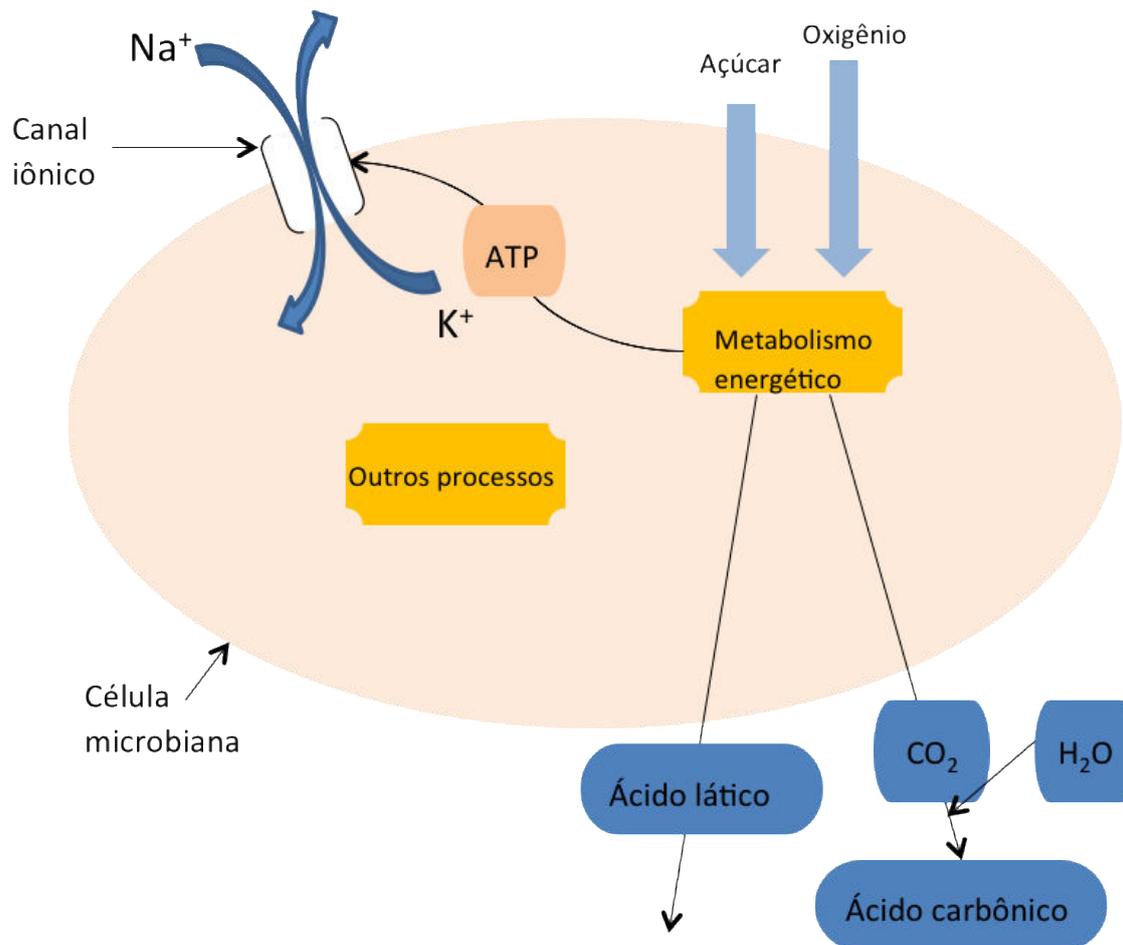
agressivo. Portanto, antes de se propor a utilização de um material é necessário o estudo sobre a sua adequabilidade ao meio e às condições operacionais presentes, já que um determinado meio pode ser extremamente agressivo para um material

específico e inativo para outro. De forma geral, os processos corrosivos podem estar vinculados aos seguintes meios agressivos:<sup>1</sup>

- Atmosfera (material particulado, umidade, gases: CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>)
- Água (organismos dispersos, sólidos suspensos, chuva ácida, outros)
- Solo (acidez, porosidade)
- Produtos químicos

A corrosão atmosférica (proveniente da condensação da umidade sobre a superfície do metal) pode apresentar características similares às evidenciadas no meio aquoso, em que variação de pH, temperatura, composição química e aeração favorecem à corrosão. No meio úmido, há de se considerar, ainda, a deterioração de um material devido à atividade microbiológica, sendo conhecida como Corrosão Influenciada por Microrganismos (CIM) ou biocorrosão.<sup>5</sup>

Vários ambientes são favoráveis ao crescimento microbiano, dessa forma, muitos equipamentos estão sujeitos à biocorrosão. O fenômeno CIM resulta de interações entre a superfície do metal com produtos abióticos na presença de células microbianas e seus metabólitos.<sup>5</sup> Os principais tipos microbianos associados aos metais em habitats aquáticos ou terrestres correspondem as bactérias redutoras de sulfato (BRS), oxidantes de enxofre e manganês, oxidantes/redutoras de ferro, secretoras de ácidos orgânicos e lodo, além de algas e fungos.<sup>6</sup> A Figura 3 descreve sistematicamente os principais mecanismos responsáveis pela liberação de espécies iônicas que caracterizam o metabolismo energético e a troca iônica através da membrana, afetando, dessa forma, a cinética eletroquímica na interface metálica.<sup>7</sup> Como exemplos de ambientes susceptíveis ao ataque de microorganismos destacam-se: água do mar, rios e sistemas de refrigeração, regiões pantanosas, solos contendo resíduos orgânicos ou sais diversos.

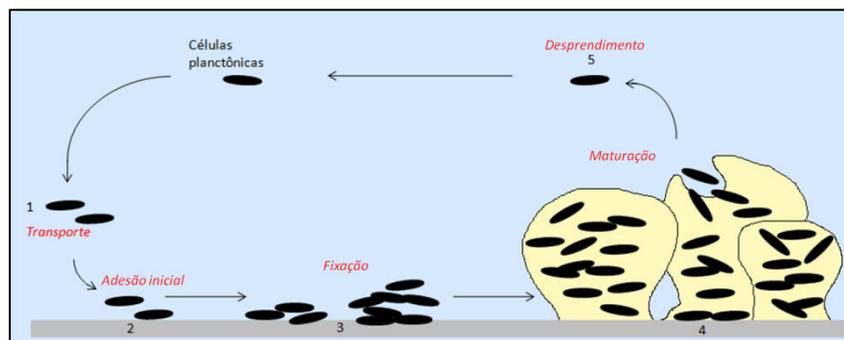


**Figura 3.** Diagrama representativo para os principais mecanismos responsáveis pela liberação de espécies iônicas (adaptação de Ramírez e colaboradores, 2009<sup>7</sup>)

Com relação ao mecanismo de ação, os microrganismos se aderem à superfície metálica e se desenvolvem na forma de biofilmes estrutural e dinamicamente complexos. Esses sistemas se apresentam em forma de gel contendo no mínimo 95 % de água e uma matriz de substâncias exopolissacarídicas, na qual células microbianas e detritos inorgânicos se encontram em suspensão.<sup>8</sup> A atividade microbiana desses biofilmes pode afetar a cinética das reações anódicas e catódicas próximas a superfície metálica, ou modificar ainda, a composição química de filmes protetores, desencadeando a corrosão.<sup>9-11</sup> No entanto, alguns trabalhos reportam a ação protetora temporária de biofilmes.<sup>12,13</sup> Na Figura 4 se encontra uma representação sistemática das fases de formação e

desprendimento de um determinado biofilme. Na fase 1 as células são transportadas por transporte passivo, convectivo ou difuso; na fase 2, ocorre a adesão inicial dessas células na superfície em contato; na fase 3, ocorre a fixação dessas células e a elaboração de polímeros extracelulares, ou exopolímeros, que passam a envolver e aglutinar as células protegendo-as contra condições adversas do meio circundante, ajudando, ainda, na fixação do biofilme. Na fase 4, caso haja condição nutricional favorável, ocorre a colonização, com o crescimento de novas células e associação de outros microrganismos; e finalmente na fase 5, ocorre o desprendimento do biofilme, por fatores dependentes do meio ou relacionados a atividade metabólica das populações

colonizantes.<sup>14</sup>



**Figura 4.** Representação sistemática da formação de biofilme (adaptação de O’Toole e colaboradores, 2000<sup>8</sup>)

Nos últimos anos, a CIM tem sido extensivamente investigada e em função da complexidade deste tipo de ocorrência, vários mecanismos vêm sendo propostos para justificar o fenômeno da biocorrosão, podendo-se destacar: (1) aeração diferencial, em que a heterogeneidade do biofilme pode gerar áreas com diferentes concentrações de oxigênio, levando à formação de pites;<sup>15</sup> (2) despolarização dos metais, que ocorre devido a formação de produtos na superfície metálica capazes de provocar mudanças de parâmetros eletroquímicos, como o potencial de corrosão, por exemplo; (3) biomineralização, proveniente da deposição de minerais decorrente do metabolismo microbiano em superfícies metálicas podendo resultar em enobrecimento ou deterioração do material;<sup>16</sup> (4) complexação de substâncias poliméricas extracelulares com íons metálicos que facilitam a adesão do biofilme no substrato.<sup>6</sup>

### 3. Extratos vegetais como inibidores de corrosão

Atualmente, a utilização de inibidores de corrosão representa o método mais utilizado no combate à corrosão. Esses compostos diminuem ou evitam a reação do metal com o meio circundante diminuindo a taxa de corrosão principalmente por: (a) adsorção de

íons/moléculas na superfície do metal, (b) diminuição ou aumento da reação anódica e/ou catódica, (c) diminuição da taxa de difusão dos reagentes até a superfície do metal, e (d) diminuição da resistência elétrica da superfície metálica.<sup>17</sup> Geralmente, o efeito protetor desejado ocorre com fácil aplicação do inibidor e em pequenas quantidades. No entanto, a maioria dos inibidores comerciais possui deposição moderada e detém elevada toxicidade. Dessa forma, esforços vêm sendo empregados objetivando-se a aquisição de inibidores mais eficientes e ecologicamente viáveis. Nesse contexto, fatores relacionados à segurança humana e ambiental, custo/benefício e eficácia de inibição também são parâmetros que devem ser avaliados.

Os inibidores de corrosão à base de vegetais surgem como alternativas promissoras, por serem de fontes renováveis, biodegradáveis, de fácil aquisição, baixo custo e, especialmente, por não conterem metais pesados. Pesquisas científicas têm mostrado a eficácia de extratos vegetais como inibidores de corrosão em diferentes metais e suas ligas expostos a diversos meios corrosivos. Na sua grande maioria, os extratos vegetais consistem em misturas orgânicas complexas ricas em uma composição química favorável para inibição à corrosão<sup>17</sup>.

Halambek e colaboradores demonstraram o efeito anticorrosivo do óleo extraído de *Lavandula angustifolia* L. em material de liga de alumínio exposto a uma solução de NaCl a 3 %, mesmo quando avaliado em altas temperaturas. Todas as concentrações do óleo (1 a 20 ppm) apresentaram elevadas eficiências de inibição à corrosão.<sup>18</sup> Os extratos de folhas e sementes da espécie *Gossypium hirsutum* L. (conhecida vulgarmente como algodoeiro) também foi eficaz na inibição de corrosão em alumínio em condição alcalina (NaOH 2 mol L<sup>-1</sup>). A eficácia da espécie *G. hirsutum* foi atribuída à presença de taninos, de aminoácidos e do composto fenólico gossipol (Figura 5).<sup>19</sup>

O extrato de *Pongamia pinnata* apresentou eficiência de inibição à corrosão em aço, em meio ácido (HCl 1 mol L<sup>-1</sup>). O efeito inibitório desse extrato foi atribuído à formação de um filme protetor adsorvido

eficientemente na superfície metálica.<sup>20</sup> Torres e colaboradores (2011) estudaram a inibição à corrosão de extratos aquosos obtidos de grãos de café (uma mistura das espécies *Coffea arabic* e *Coffea canéfora*) utilizando técnicas eletroquímicas e gravimétricas no monitoramento do processo corrosivo em aço carbono, em solução de HCl 1 mol L<sup>-1</sup>. A eficiência de inibição desses extratos variou proporcionalmente ao aumento das suas concentrações, bem como com o aumento da temperatura.<sup>21</sup>

Outros extratos vegetais tiveram suas atividades anticorrosivas avaliadas em aço carbono expostos a diferentes meios agressivos, citando apenas alguns exemplos: *Justicia gendarussa*, *Phyllanthus amarus*, *Areca cathecu*, *Uncaria gambir*.<sup>22-25</sup> A Tabela 1 apresenta uma série de vegetais que foram avaliados como inibidores de corrosão em diferentes tipos de materiais.

Espécie	Partes avaliadas	Meio agressivo	Metal	Técnica empregada	Ref.
<i>Acacia cyanophyll</i>	Folhas	1 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Polarização potenciodinâmica, EIE	36
<i>Aegle marmelos</i>	Folhas	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	20
<i>Aloe vera</i>	Folhas	1 - 2,5 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; 2 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono; Zinco	Gasometria e Termometria; Perda de massa	23 e 19
<i>Anacardium occidentale</i>	Casca do fruto	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	EIE	33
<i>Ananas comosus</i> L.	Folhas	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Gasometria	34
<i>Andrographis paniculata</i>	Folhas	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	20
<i>Artemisia pallens</i>	Partes aéreas	4 N e conc. HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização, SEM, FT-IR	35
<i>Azadirachta indica</i>	Folhas	2 mol L <sup>-1</sup> HCl, 1 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Gasometria	37

<i>Bacopa monnieri</i>	Caule	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa	20
<i>Citrus</i>	Casca do fruto	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	EIE	33
<i>Citrus aurantium</i>	Frutos	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	20
<i>Coffea arabic/ Coffea canephora</i>	Grãos	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	21
<i>Colocasia esculenta</i>	Folhas	0,1 - 2,5 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	MEV	23
<i>Dacryodis edulis</i>	Folhas	1 mol L <sup>-1</sup> HCl, 0,5 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	38
<i>Datura stramonium</i>	Folhas	1 mol L <sup>-1</sup> HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE, MEV	39
<i>Ferula gumosa</i>	Óleo, resina e goma	2 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço inoxidável	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	40
<i>Ficus religiosa</i>	Caule	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	20
<i>Garcinia kola</i>	Sementes	2 mol L <sup>-1</sup> HCl, 1 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Gasometria	37
<i>Gossypium hirsutum L.</i>	Folhas e sementes	2 mol L <sup>-1</sup> NaOH	Alumínio	Perda de massa	19
<i>Hibiscus sabdariffa</i>	Cálices; Folhas	2 mol L <sup>-1</sup> HCl, 1 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Gasometria	37
<i>Justicia gendarussa</i>	Folhas	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE, AFM, ESCA	22
<i>Lavandula angustifolia L.</i>	Óleo essencial	3% NaCl	Alumínio	Perda de massa, EIE, MEV	18

<i>Lawsonia inermis</i>	Folhas	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Polarização potenciodinâmica, EIE, MEV/EDS	41
<i>Mangifera indica L.</i>	Casca do fruto	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	EIE	33
<i>Moringa oleifera</i>	Frutos	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa	20
<i>Murraya koenigii</i>	Folhas	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	20
<i>Occimum viridis</i>	Folhas	2 mol L <sup>-1</sup> HCl, 1 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Gasometria	37
<i>Olea europaea L</i>	Folhas	2 mol L <sup>-1</sup> HC	Aço carbono	Perda de massa Polarização potenciodinâmica, Voltametria cíclica	42
<i>Olea europaea L</i>	Folhas	Salmoura	Aço carbono	Polarização potenciodinâmica, EIE	44
<i>Opuntia ficus Mill</i>	Caule	2 mol L <sup>-1</sup> HCl	Alumínio	Perda de massa, Gasometria, Termometria, Polarização	43
<i>Passiflora</i>	Casca do fruto	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	EIE	33
<i>Phyllanthus amarus</i>	Folhas e sementes	2 mol L <sup>-1</sup> , 5 mol L <sup>-1</sup> HCl, 2 mol L <sup>-1</sup> , 5 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Perda de massa e Gasometria	45
<i>Piper longum</i>	Frutos	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	20
<i>Pongamia pinnata</i>	Sementes	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE, FT-IR	20
<i>Prosopis cinerari</i>	Casca do caule, folhas e frutos	0,5 - 2 N HCl, 0,5 - 2 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Perda de massa	47
<i>Raphanus sativus</i>	Sementes	1 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Polarização potenciodinâmica, EIE	48

<i>Sansevieria trifasciata</i>	Folhas	2 mol L <sup>-1</sup> HCl, 2 M KOH	Alumínio	Gasometria	27
<i>Strychnos nuxvomica</i>	Sementes	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	20
<i>Syzygium cumini</i>	Sementes	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	50
<i>Telferia occidentalis</i>	Folhas	2 mol L <sup>-1</sup> HCl, 1 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aço carbono	Gasometria	37
<i>Terminalia arjuna</i>	Caule	1 mol L <sup>-1</sup> HCl	Aço carbono	Perda de massa, Polarização potenciodinâmica, EIE	20
<i>Vernonia amygdalin</i>	Folhas	0,4 mol L <sup>-1</sup> HNO <sub>3</sub> ; 0,1 mol L <sup>-1</sup> HCl, 0,1 mol L <sup>-1</sup> HNO <sub>3</sub>	Aço carbono; Alumínio	Perda de massa	46 e 49

EIE: Espectroscopia de Impedência Eletroquímica; MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura; EDS: Espectrometria de Energia Dispersiva; FT-IR: Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier; XPS: Espectroscopia Fotoeletrônica de Raios X.

#### 4. Extratos vegetais como inibidores de CIM

Agentes biocidas atuam na inibição aos processos corrosivos influenciados por microrganismos, favorecendo a diminuição ou eliminação de, pelo menos, 20 % da ação corrosiva quando complementada com a aplicação de processos de sanitização e limpeza (química e/ou mecânica). O uso de biocidas requer conhecimentos e cuidados específicos, tais como: seletividade com relação aos microrganismos-alvos, degradabilidade, capacidade de apresentar o efeito inibidor desejado sob as condições operacionais, corrosividade para as superfícies do sistema, manuseio, dosagem e custo.

De acordo com seu caráter químico, os biocidas podem ser classificados em dois grandes grupos: oxidante (por exemplos, ozônio, peróxido de hidrogênio, compostos de cloro) e não oxidantes (compostos sulfurados, estanho, isotiazolinonas, sais de

cobre, aldeídos, sais quaternário de amônio). Assim como os inibidores de corrosão, a maioria dos biocidas utilizados industrialmente é de origem sintética, baixa especificidade e elevada toxicidade.<sup>26</sup>

Como a corrosão é decorrente de fatores bióticos e abióticos, a utilização de inibidores de corrosão específicos com capacidade de impedir a adesão ou a proliferação de microrganismos é de grande interesse em pesquisas científicas desenvolvidas em biotecnologia. Nesse contexto, as plantas surgem como fontes biosustentáveis ricas em compostos orgânicos capazes de combater os processos CIM e eletroquímico em geral. No entanto, poucos estudos abordam a aplicação de produtos naturais com a finalidade de inibir a corrosão influenciada por microrganismos.

Como exemplos, pode-se destacar estudos realizados com o extrato polar de *Piper guineens*, o qual demonstrou ser um excelente inibidor de corrosão metálica e também da proliferação de bactérias redutoras de sulfato (*Desulfotomaculum* sp.),

frequentemente associadas a processos corrosivos.<sup>27</sup> O extrato hidroalcoólico da planta *Artemisia pallens* apresentou atividade antibacteriana frente às cepas *Pseudomonas aeruginosa* e *Shigella fastidiosa*, com de eficiência máxima significativa (94 %) na inibição à corrosão, em meio ácido.<sup>28</sup> Estudos preliminares foram divulgados para a espécie *Croton cajucara* Benth, uma planta medicinal nativa da Amazônia. O extrato hidroalcoólico das cascas do caule dessa planta mostrou ser uma fonte rica em diterpenos do tipo clerodano,<sup>29</sup> tendo sido comprovada sua eficácia antimicrobiana (*Escherichia coli*, *Bacillus cereus* e *Enterococcus faecium*)<sup>30,31</sup> bem como ação anticorrosiva relevante (94 %) em aço carbono AISI 1020, em meio salino, quando veiculado em uma microemulsão, porém, quando solubilizado no solvente orgânico dimetilsulfóxido, apresentou eficácia moderada (65 %).<sup>32</sup>

## 5. Considerações Finais

Atualmente, o controle da corrosão está inserido em um contexto científico biotecnológico com ampla abordagem multidisciplinar, objetivando desenvolvimento tecnológico sustentável. Nesse contexto, é alvo de investigações produtos de baixa toxicidade que sejam ecologicamente aceitáveis, com eficiência de inibição à corrosão significativa. Muitos são os grupos que propõem a utilização de extratos de plantas, de princípios ativos naturais, bem como bioformulações. Esses estudos se encontram em fase de desenvolvimento, já que os mecanismos de adsorção ou identificação do princípio bioativo em extratos com comprovada ação inibitória, são minoria.

### Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Gentil, V.; *Corrosão*, 3a.ed., LTC: Rio de Janeiro, 1996.
- <sup>2</sup> Sheir, L. L.; Jarman, R. A.; Burstein, G. T.; *Corrosion Control*, 3a. ed., Butterworth-Heinemann: Oxford, 2000.
- <sup>3</sup> Bardal, E.; *Corrosion and Protection*, 1a. ed., Springer-Verlag: London, 2003.
- <sup>4</sup> Wolynec, S. *Técnicas Eletroquímicas em Corrosão*; 1a. ed., USP: São Paulo, 2003.
- <sup>5</sup> Videla, H.; Herrera, L. K. *Int. Microbiol.* **2005**, *8*, 169. [PubMed]
- <sup>6</sup> Beech, I. B.; Sunner, J. *Curr. Opin. Biotechnol.* **2004**, *15*, 181. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>7</sup> Ramírez, N.; Regueiro, A.; Arias, O.; Contreras, R. *Biotechnol. Apl.* **2009**, *28*, 72. [Link]
- <sup>8</sup> O'Toole, G.; Kaplan, H. B.; Kolter, R. *Ann. Rev. Microbiol.* **2000**, *54*, 49. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>9</sup> Miranda, E.; Bethencourt, M.; Botana, F. J.; Cano, M. J.; Sánchez-Amaya, J. M.; Corzo, A.; García de Lomas, J.; Fardeau, M. L.; Ollivier, B. *Corros. Sci.* **2006**, *48*, 2417. [CrossRef]
- <sup>10</sup> Rajasekar, A.; Anandkumar, B.; Maruthamuthu, S.; Ting, Y. P.; Rahman, P. K. S. M. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2010**, *85*, 1175. [CrossRef][PubMed]
- <sup>11</sup> Ashassi-Sorkhabi, H.; Moradi-Haghighi, M.; Zarrini, G. *Mater. Sci. Eng., C* **2012**, *32*, 303. [CrossRef]
- <sup>12</sup> Gunasekaran, G.; Chongdar, S.; Gaonkar, S. N.; Kumar, P. *Corros. Sci.* **2004**, *46*, 1953. [CrossRef]
- <sup>13</sup> Mansfeld, F. *Electrochim. Acta* **2007**, *52*, 7670. [CrossRef]
- <sup>14</sup> van Loosdrecht, M. C.; Lyklema, J.; Norde, W.; Zehnder, J. *Microbiol. Rev.* **1990**, *54*, 75. [PubMed]

- <sup>15</sup> Rajasekar, A.; Ting, Y. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2011**, *50*, 12534. [[CrossRef](#)]
- <sup>16</sup> Angell, P. *Curr. Opin. Biotech.* **1999**, *10*, 269. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>17</sup> Rani, B. E. A.; Basu, B. B. J. *Int. J. Corros.* **2012**, *2012*, 1. [[CrossRef](#)]
- <sup>18</sup> Halambek, J.; Berković, K.; Vorkapić-Furač, J. *Corros. Sci.* **2010**, *52*, 3978. [[CrossRef](#)]
- <sup>19</sup> Abiola, O. K.; Otaigbe, J. O. E.; Kio, O. J. *Corros. Sci.* **2009**, *51*, 1879. [[CrossRef](#)]
- <sup>20</sup> Singh, A.; Ahamad, I.; Singh, V. K.; Quraishi, M. A. *J. Solid State Electrochem.* **2010**, *15*, 1087. [[CrossRef](#)]
- <sup>21</sup> Torres, V. V.; Amado, R. S.; Sá, C. F.; Fernandez, T. L.; Riehl, C. A. S.; Torres, A. G.; D'Elia, E. *Corros. Sci.* **2011**, *53*, 2385. [[CrossRef](#)]
- <sup>22</sup> Satapathy, A. K.; Gunasekaran, G.; Sahoo, S. C.; Amit, K.; Rodrigues, P. V. *Corros. Sci.* **2009**, *51*, 2848. [[CrossRef](#)]
- <sup>23</sup> Eddy, N. O. *Port. Electrochim. Acta* **2009**, *27*, 579. [[CrossRef](#)]
- <sup>24</sup> Kumar, K. P. V.; Sankara, M. S. N.; Thusnavis, G. R. *J. Mater. Sci.* **2011**, *46*, 5208. [[CrossRef](#)]
- <sup>25</sup> Hussin, M. H.; Kassim, M. J. *Mater. Chem. Phys.* **2011**, *125*, 461. [[CrossRef](#)]
- <sup>26</sup> Videla, H. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **2002**, *49*, 259. [[CrossRef](#)]
- <sup>27</sup> Oguzie, E. E.; Ogukwe, C. E.; Ogbulie, J. N.; Nwanebu, F. C.; Adindu, C. B.; Udeze, I. O.; Oguzie, K. L.; Eze, F. C. *J. Mater. Sci.* **2011**, *47*, 3592. [[CrossRef](#)]
- <sup>28</sup> Elango, A.; Nandi, D.; Vinayagam, J. M.; Arumugam, P.; Churala, D. S.; Giri, V. S.; Mukherjee, J.; Garai, S.; Jaisankar, P. *J. Complementary Integr. Med.* **2009**, *6*. [[Link](#)]
- <sup>29</sup> Maciel, M. A. M.; Pinto, A. C.; Brabo, S. N.; Silva, M. N. *Phytochemistry* **1998**, *49*, 823. [[CrossRef](#)]
- <sup>30</sup> Felipe, M. B. M. C.; Medeiros, S. R. B.; Silva, D. R.; Gomes, F. E. S.; Anjos, G. C.; Maciel, M. A. M. *Resumos da 31<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, Águas de Lindóia, Brasil, 2008. [[Link](#)]
- <sup>31</sup> Felipe, M. B. M. C.; Medeiros, S. R. B.; Silva, D. R.; Anjos, G. C.; Maciel, M. A. M. *Resumos da 32<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, Fortaleza, Brasil, 2009. [[Link](#)]
- <sup>32</sup> Felipe, M. B. M. C.; Silva, D. R.; Martinez-Huitle, C. A.; Medeiros, S. R. B.; Maciel, M. A. M. *Mater. Corros.* **2013**, *63*, 530. [[CrossRef](#)]
- <sup>33</sup> da Rocha, J. C.; Gomes, J. A. D. P.; D'Elia, E. *Corros. Sci.* **2010**, *7*, 2341. [[CrossRef](#)]
- <sup>34</sup> Ekanem, U. F.; Umoren, S. A.; Udousoro, I. I.; Udoh, A. P. *J. Mater. Sci.* **2010**, *20*, 5558. [[CrossRef](#)]
- <sup>35</sup> Kalaiselvi, P.; Chellammal, S.; Palanichamy, S.; Subramanian, G. *Mater. Chem. Phys.* **2010**, *2-3*, 643. [[CrossRef](#)]
- <sup>36</sup> Avci, G.; Keles, Y. *Surf. Interface Anal.* **2011**, *10*, 1311. [[CrossRef](#)]
- <sup>37</sup> Oguzie, E. E. *Corros. Sci.* **2008**, *50*, 2993. [[CrossRef](#)]
- <sup>38</sup> Oguzie, E. E.; Enenebeaku, C. K.; Akalezi, C. O.; Okoro, S. C.; Ayuk, A. A.; Ejike, E. N. *J. Colloid Interface Sci.* **2010**, *1*, 283. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>39</sup> Raja, P. B.; Sethuraman, M. G. *Surf. Rev. Lett.* **2007**, *6*, 1157. [[CrossRef](#)]
- <sup>40</sup> Behpour, M.; Ghoreishi, S. M.; Kashani, M. K.; Soltani, N. *Mater. Corros.* **2009**, *11*, 895. [[CrossRef](#)]
- <sup>41</sup> Ostovari, A.; Hoseinie, S. M.; Peikari, M.; Shadzadeh, S. R.; Hashemi, S. J. *Corros. Sci.* **2009**, *9*, 1935. [[CrossRef](#)]
- <sup>42</sup> El-Etre, A. Y. *J. Colloid Interface Sci.* **2007**, *2*, 578. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>43</sup> El-Etre, A. Y. *Corros. Sci.* **2003**, *11*, 2485. [[CrossRef](#)]
- <sup>44</sup> Abdel-Gaber, A. M.; Abd-El-Nabey, B. A.; Khamis, E.; Abd-El-Khalek, D. E. *Desalination* **2011**, *1-3*, 337. [[CrossRef](#)]
- <sup>45</sup> Okafor, P. C.; Ikpi, M. E.; Uwah, I. E.; Ebenso, E. E.; Ekpe, U. J.; Umoren, S. A. *Corros. Sci.* **2008**, *8*, 2310. [[CrossRef](#)]

- <sup>46</sup> Nwabanne, J. T.; Okafor, V. J. *Emerging Trends Eng. Appl. Sci.* **2011**, *4*, 619. [[CrossRef](#)]
- <sup>47</sup> Sharma, M. K.; Arora, P.; Kumar, S.; Mathur, S. P.; Ratnani, R. *Corros. Eng., Sci. Technol.* **2008**, *3*, 213. [[CrossRef](#)]
- <sup>48</sup> Noor, E. A. *Mater. Chem. Phys.* **2011**, *131*, 160. [[CrossRef](#)]
- <sup>49</sup> Avwiri, G. O.; Igbo, F. O. *Mater. Lett.* **2003**, *22-23*, 3705. [[CrossRef](#)]
- <sup>50</sup> Singh, A.; Ebenso, E. E.; Quraishi, M. A. *Int. J. Corros.* **2012**, *20*. [[CrossRef](#)]