

Mapeamento Tecnológico e Científico de Novas Composições Inibidoras de Corrosão

Technological and Scientific Mapping of New Corrosion Inhibitor Compositions

Williams Raphael de Souza Morais¹

Jaceguai Soares da Silva²

Gleybson Felipe dos Santos Alves³

Karolina Bertulino da Silva³

Carmem Lúcia de Paiva e Silva Zanta³

Josealdo Tonholo³

¹Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

²Centro Universitário Tiradentes, Maceió, AL, Brasil

³Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil

Resumo

A corrosão pode ser definida como a deterioração que ocorre quando um material (normalmente um metal) reage com seu ambiente, levando à perda de suas propriedades. Esses processos corrosivos causam grandes problemas nas mais variadas atividades, como nas da indústria química e petrolífera, dos meios de transportes e de comunicação, da odontologia, da medicina, de obras de arte. Nessa perspectiva, o presente artigo objetivou realizar um levantamento dos tipos de inibidores de corrosão, bem como das suas aplicabilidades, das principais substâncias e/ou dos materiais aplicados com essa finalidade. Para tal, foram efetuadas buscas em bases de natureza tecnológica e em bases de produção científica. Também foram recuperados 20 códigos distintos, de acordo com a International Patent Classification (IPC). O mapeamento realizado mostrou que os estudos sobre inibidores de corrosão têm crescido com o passar dos anos, principalmente nos últimos 10 anos.

Palavras-chave: Corrosão. Inibidor. Aço.

Abstract

Corrosion can be defined as the deterioration that occurs when a material (usually a metal) reacts with its environment, leading to the loss of its properties. Corrosive processes cause great problems in the most varied activities, for example in the chemical and petroleum industries, transportation and communication, dentistry, medicine and works of art such as monuments and sculptures. In this sense, the present article aimed to perform a survey of the types of corrosion inhibitors, their applicability, main substances and / or materials applied for this purpose. Thus, searches were made on bases of a technological nature and on scientific production bases. With respect to the Patent Classification (IPC), 20 different codes were recovered. The mapping showed that studies on corrosion inhibitors have grown over the years, especially in the last 10 years.

Keywords: Corrosion. Inhibitor. Steel.

Área tecnológica: Prospecção Tecnológica.



1 Introdução

A corrosão pode ser definida como a deterioração que ocorre quando um material (normalmente um metal) reage com seu ambiente, levando à perda de suas propriedades. Esse processo é provocado pela formação de pilhas ou células de corrosão em regiões distintas de um mesmo metal, com eletrólito e diferença de potencial entre os trechos da superfície do aço (GENTIL, 2011). Os processos corrosivos causam grandes problemas nas mais variadas atividades, como nas da indústria química e petrolífera, dos meios de transportes e de comunicação, da odontologia (restaurações metálicas, aparelhos de prótese), da medicina (ortopedia), de obras de arte (monumentos e esculturas). Seu impacto é sentido em áreas principais como: economia, segurança e meio ambiente (SASTRI, 2011).

Com relação aos impactos econômicos, estudos apontam que os custos anuais vinculados aos danos por corrosão variam em torno de 4% do Produto Interno Bruto (PIB) de um país industrializado (BARDAL, 2003). Se levado em consideração o PIB referente ao ano de 2016 do Brasil, que foi de R\$ 6,3 trilhões (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017), o valor estimado de gastos com reparos provocados pela corrosão chegaria à casa dos R\$ 250 milhões. Outro estudo aponta que 30% ou mais do aço produzido no mundo é utilizado para a reposição de peças deterioradas pela corrosão (NUNES; LOBO, 1990), e, apesar de ter passado décadas e mesmo com o avanço tecnológico, o quadro continua o mesmo.

Em um estudo mais específico, Craig O'Conner e Ahlskog (1982) realizaram uma investigação sobre a incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto, provocadas pela corrosão de armaduras. Ocorrido em 1982, o levantamento sobre o estado de conservação de 560 mil pontes americanas indicou que 39 mil delas deveriam ser reparadas ao custo de 7,2 bilhões de dólares (CRAIG *et al.*, 1982). No Brasil, ainda são poucos os dados e as pesquisas disponibilizados. Segundo Martins (2012), os custos diretos e principalmente os indiretos atingem valores monetários expressivos, como se pode deduzir dos seguintes números:

- a) indústria naval: US\$ 16 bilhões por ano nos Estados Unidos da América (EUA);
- b) indústria automobilística: US\$ 300 milhões por ano na Finlândia e 0,25% do PIB nos EUA;
- c) restauro da Torre Eiffel–França (7.000 t de aço): US\$ 40 milhões cada 7 anos (50–60 t de tinta);
- d) restauro da Estátua da Liberdade–EUA devido à corrosão interna galvânica, mais de US\$ 300 milhões;
- e) área da produção de energia: 2% do PIB (US\$ 50 bilhões) na Austrália, 3%–5% do PIB (US\$ 10–15 bilhões) na Suíça, 4% do PIB (US\$ 300 bilhões) nos EUA.

Esses fatos tornam o estudo da corrosão, principalmente no que diz respeito ao seu controle, fundamental para preservar a vida útil dessas peças e para minimizar gastos oriundos dos processos corrosivos relativos a inspeções, substituições e reparos de peças (POPOOLA *et al.*, 2013).

Atualmente existem diversas tecnologias associadas ao controle da corrosão, uma delas é a utilização de inibidores. Inibidores são substâncias que, quando presentes em concentrações adequadas no meio corrosivo, possuem a capacidade de reduzir ou eliminar a corrosão e não têm efeitos contrários às suas propriedades.

Os inibidores de corrosão podem ser classificados pela sua composição (orgânica ou inorgânica) ou pela sua ação (catódicos, anódicos, mistos, de adsorção) (GENTIL, 2011; MEDEIROS *et al.*, 2002); e uma grande variedade desses compostos tem sido utilizada para controlar a corrosão em diferentes meios agressivos (COELHO, 2005). Os inibidores de composição inorgânica (à base de cromatos, óxidos e nitritos) já foram os mais estudados e utilizados, porém alguns estudos já relatam que esses tipos de inibidores podem apresentar algum nível de toxicidade, a exemplo dos inibidores de corrosão à base de cromo hexavalente (Cr^{6+}), que tiveram larga escala de aplicação no mercado. Esses compostos à base de cromo hexavalente são considerados agentes mutagênicos, carcinogênicos e teratogênicos, por isso o seu uso tem sido restringido (RANI; BASU, 2012).

Em contrapartida há os inibidores orgânicos, que podem ser sintéticos ou naturais. A maioria apresenta em suas estruturas nitrogênio, enxofre e oxigênio, os quais promovem maior interação com a superfície do metal. A área dos inibidores de corrosão está passando por mudanças do ponto de vista das questões ambientais, devido às exigências dos órgãos ambientais em diferentes países, que impuseram normas e regulamentação para o uso e descarte de inibidores de corrosão como toxicidade, biodegradabilidade e critérios de bioacumulação (SASTRI, 2011). Uma tendência atual é a utilização de inibidores orgânicos naturais, por apresentarem diversas vantagens. Em grande parte, são de fontes renováveis, biodegradáveis, de fácil aquisição, baixo custo e, especialmente, não contêm metais com elevado poder de toxicidade (FELIPE *et al.*, 2013).

Dentro desse contexto, o presente artigo tem como objetivo realizar um levantamento dos tipos de inibidores de corrosão, bem como das suas aplicabilidades, e das principais substâncias e/ou dos materiais aplicados com essa finalidade, a fim de verificar como esse mercado tem tratado as exigências dos órgãos ambientais em países que impõem normas e regulamentação para o uso e descarte de inibidores de corrosão como toxicidade, biodegradabilidade e critérios de bioacumulação.

2 Metodologia

Neste trabalho foram efetuadas buscas em bases de natureza tecnológica e em bases de produção científica. As buscas foram realizadas a fim de construir um cenário no qual se pudesse comparar as produções científicas e tecnológicas sobre inibidores de corrosão e, assim, proporcionar um panorama atual do mercado e da academia sobre o tema.

As buscas foram realizadas de 22 a 26 de junho de 2018. Para realizar o mapeamento científico, foram utilizadas como fontes os bancos de dados das bases Scopus e Scientific Electronic Library Online (SciELO); e para o levantamento tecnológico, foram utilizadas as bases do Instituto da Propriedade Industrial (INPI), base tecnológica brasileira; do Portal de Patentes da América Latina (LATIPAT), que contém um banco de documentos públicos de patentes da América Latina e da Espanha; do Derwent Innovations Index (DERWENT), da Thomson Reuters Scientific, base internacional de patentes. Todos os acessos foram realizados por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no canal de acesso Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

A busca na base Scopus foi realizada inserindo-se os termos de busca em “search”, “document search”, “article title” e “abstract”, e o refinamento da busca foi feito selecionando-se o campo “document type: article”. Na base SciELO, os termos foram inseridos no campo de buscas e a pesquisa restringida apenas ao título.

Na base do INPI, utilizou-se a opção “busca avançada” e, na sequência, as palavras-chave foram inseridas nos campos referentes a “título” e “resumo”. Na base LATIPAT, optou-se por realizar as pesquisas na opção “busca avançada” e por inserir os verbetes nos campos correspondentes a “título” e “título ou resumo”. Na base Derwent, escolheu-se a opção “título” para recuperar os documentos.

Foi usado o truncador “*”, a fim de aumentar o campo de busca do verbete utilizado, e os operadores booleanos “and” e “or”, com o objetivo de efetuar o cruzamento entre as palavras-chave.

As palavras-chave utilizadas na realização das buscas estão organizadas no Quadro 1, a seguir, e dispostas nas três línguas utilizadas: inglês, espanhol e português, respectivamente.

Quadro 1 – Palavras-chave utilizadas na busca dos artigos e das patentes

SCOPUS/DERWENT	LATIPAT/SciELO	INPI
<i>Corros* and steel</i>	<i>(Corros* and (aço or acero or steel))</i>	Corrosão e aço
<i>(Corros* and (inhib* or inib*))</i>	<i>(Corros* and (inhib* or inib*))</i>	Corrosão e inibidor
<i>(Corros* and steel and (inhib* or inib*))</i>	<i>(Corros* and (aço or acero or steel) and (inhib* or inib*))</i>	Corrosão e aço e inibidor
<i>(Corros* and (inhib* or inib*) and organic)</i>	<i>(Corros* and (inhib* or inib*) and inorganic)</i>	Corrosão e inibidor orgânico
<i>(Corros* and (inhib* or inib*) and inorganic)</i>	<i>(Corros* and (inhib* or inib*) and inorganic)</i>	Corrosão e inibidor inorgânico
<i>(Corros* and (inhib* or inib*) and organic and inorganic)</i>	<i>(Corros* and (inhib* or inib*) and Organic and inorganic)</i>	Corrosão e inibidor inorgânico e orgânico

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2018)

Os resultados obtidos possibilitaram vislumbrar o avanço das combinações de inibidores corrosivos para aço na esfera acadêmica e tecnológica ao longo dos anos. Dados como maiores depositantes e publicadores de artigos científicos, entre outros, também foram obtidos e serão detalhados no tópico a seguir.

3 Resultados e Discussões

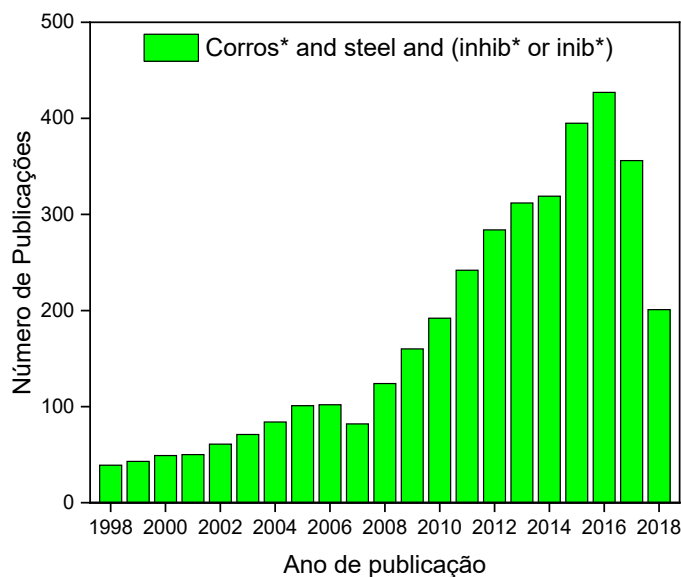
O quantitativo de patentes com pedidos de depósito via Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT) e artigos científicos, recuperados por meio de combinações das palavras-chave descritas na metodologia, está exposto na Tabela 1. Nas bases de dados científicas utilizadas, SciELO e Scopus, foi recuperado um grande volume de artigos, principalmente nas combinações com os termos “Corros*”, “aço or acero or steel” e “inhib* or inib*”. Porém, nas bases tecnológicas Derwent, LATIPAT e INPI, o volume de patentes não é muito expressivo se comparado ao item anterior.

Tabela 1 – Resultados das buscas nas bases SciELO, Scopus, Derwent, LATIPAT e INPI

	SciELO	SCOPUS	DERWENT	LATIPAT	INPI
(Corros* and (aço or acero or steel))	353	16.432	16.439	275	120
(Corros* and (inhib* or inib*))	207	8.149	13.648	672	64
(Corros* and (aço or acero or steel) and (inhib* or inib*))	116	4.002	1.195	20	181
(Corros* and (inhib* or inib*) and (organic))	2	173	1.329	0	1
(Corros* and (inhib* or inib*) and (inorganic))	1	37	405	0	0
(Corros* and (inhib* or inib*) and (organic) and (inorganic))	0	15	174	0	0

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Ao utilizar os verbetes “Corros* and (aço or acero or steel) and (inhib* or inib*)” nas bases científicas, muitos artigos foram recuperados; nessas buscas, verificou-se um direcionamento para as áreas de química, ciências dos materiais e metalurgia. No Scopus foram recuperados 4.002 artigos, revelando-se um interesse científico nessa área de estudo; nota-se que, com o passar dos anos, as publicações cresceram de forma exponencial, principalmente nos últimos 10 anos, como demonstrado na Figura 1.

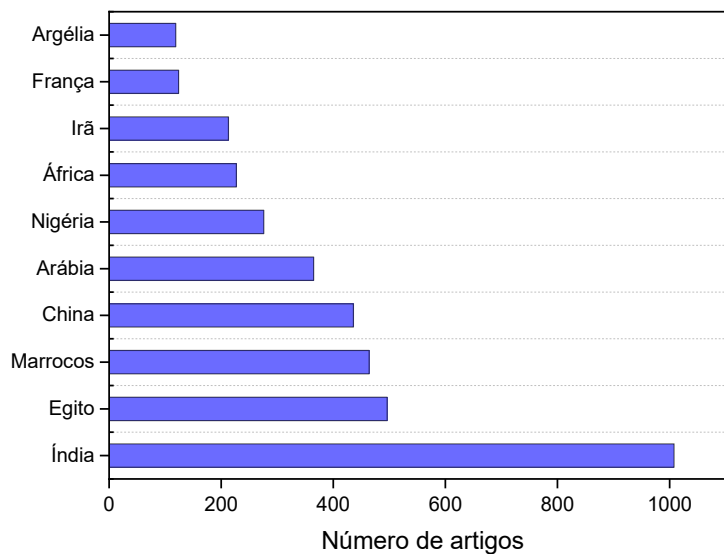
Figura 1 – Quantidade de artigos científicos publicados nos últimos 20 anos relacionados a inibidores de corrosão para aço, recuperados pela busca no Scopus

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Ainda sobre a busca dos termos citados anteriormente, a Figura 2 relaciona os países com maior volume de publicações na área. A Índia é o país que apresenta a maior quantidade de artigos, com o dobro da quantidade de artigos do Egito, que ocupa a segunda posição do ran-

king. Tal resultado pode ser explicado pelo fato de a Índia ser um dos países que mais sofrem com perdas relacionadas a corrosão, o seu PIB aumentou 2,5 vezes nas últimas duas décadas, a poluição veicular aumentou oito vezes e a poluição das indústrias quadruplicou, formando um cenário que propicia esse tipo de processo. Outro fato alarmante é que, embora a alta corrosão seja normalmente esperada nas áreas costeiras, uma pesquisa nacional mostrou que Mettupalayam, uma cidade no interior do estado de Tamil Nadu, é um dos cinco lugares no país onde a corrosão é “extremamente severa” (VALLIAPAN, 2010).

Figura 2 – Quantidade de artigos publicados por país na base Scopus relacionados aos termos *corros**, *aço* e *inibidor*



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

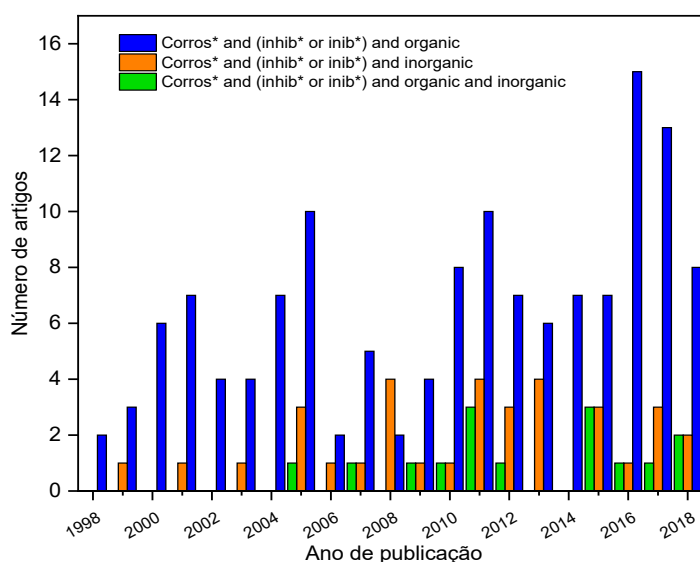
Com relação à busca dos termos “(*Corros* and (inhib* or inib*) and (organic)*)”, (*Corros* and (inhib* or inib*) and (inorganic)*)” e (*Corros* and (inhib* or inib*) and (organic)*) na base SciELO, foram recuperados três artigos relacionados à primeira e à segunda combinação, como disposto no Quadro 2. Nos dois artigos sobre inibidores de corrosão de composição orgânica, os autores fazem uso de compostos nitrogenados, que já são conhecidos como bons materiais de adsorção porque a presença do nitrogênio gera pontos de ligação ou de “elétrons livres”, o que favorece a interação com a superfície do metal; e no artigo sobre inibidores de corrosão de composição inorgânica, os autores fazem uso de pigmentos inorgânicos com características que favorecem seu uso em relação às preocupações ambientais. Em seus estudos, os autores conseguem chegar a um percentual de inibição da corrente de corrosão maior do que 92%.

Quadro 2 – Artigos recuperados pelo SciELO sobre a utilização de compostos orgânicos e inorgânicos como inibidores de corrosão

PALAVRAS-CHAVE	AUTORES	MATERIAL UTILIZADO	ANO
<i>(Corros* and (inhib* or inib*) and organic)</i>	Thirumalaikumar, M.; Jegannathan, S.	Nitronas aromáticas.	2011
	Khalifa, O. R.; Abdallah, S. M.	N-[N-(4-metoxifenil)benzenossulfonamido]-3-carboxi-4-metil-4-(4-metilfenil)-3-butenamida, N-(N1-fenilbenzenossulfonamido)-3-carboxi-4-metil-4-(4-metilfenil)-3-butenamida e N-[N-(4-clorofenil)benzenossulfonamido]-3-carboxi-4-metil-4-(4-metilfenilo)3-butenamida.	2011
<i>(Corros* and (inhib* or inib*) and inorganic)</i>	Leite, A. O. S.; Araújo, W. S.; Margarit, I. C. P.; Correia, A. N.; Lima-Neto, P.	Pigmentos inorgânicos comerciais considerados ecologicamente corretos: fosfato de zinco (ZP), molibdato de zinco (ZM), molibdato de zinco e cálcio (ZCM), fosfomolibdato de zinco (ZPM) e fosfomolibdato de zinco e cálcio (ZCPM).	2005

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2018)

Na base Scopus, muitos artigos foram recuperados com a combinação dos termos “*(Corros* and (inhib* or inib*)*”, “*organic*”, “*inorganic*” e de ambos juntos, principalmente nos últimos 20 anos, como apresentado na Figura 3. Ainda sobre a Figura 3, observa-se que os inibidores à base de materiais orgânicos contém mais expressividade do que os inorgânicos e isso demonstra que se tem buscado o desenvolvimento de inibidores de corrosão que possam diminuir ou até mesmo impedir os efeitos negativos como toxicidade, biodegradabilidade e bioacumulação dos inibidores à base de inorgânicos.

Figura 3 – Quantidade de artigos publicados nos últimos 20 anos sobre inibidores de corrosão orgânicos, inorgânicos e de ambos juntos, recuperados pela busca no Scopus

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Outro aspecto interessante são os resultados obtidos a partir da busca “*Corros* and (inhib* or inib*) and organic and inorganic*”: quinze artigos são recuperados a partir do ano 2000 (Figura 3), porém apenas dez artigos atendem ao objetivo da busca, os outros tratam de estudos comparativos de inibidores avaliados separadamente, demonstrando a tendência recente de

utilização de novos compostos como inibidores de corrosão, pois os artigos relacionados são datados em menos de dez anos. No Quadro 3 estão descritos os materiais utilizados nesses artigos como as composições utilizadas derivadas a partir da ancoragem de cátions em moléculas orgânicas e algumas delas derivadas de produtos naturais, como é o caso do extrato das folhas da *Cichoriumc intybus L.*

Quadro 3 – Artigos recuperados no Scopus sobre a utilização simultânea de compostos orgânicos e inorgânicos como inibidores de corrosão

AUTORES	MATERIAL UTILIZADO	ANO
Sanaei, Z.; Ramezanzadeh, B.; Shahrabi, T.	Pigmento híbrido orgânico/inorgânico à base de acetato de zinco- <i>Cichorium intybus L.</i> (extrato das folhas).	2018
Rassouli, L.; Naderi, R.; Mahdavian, M.	Nanopartículas de zeólita NaX como reservatório de Zn ²⁺ e 2- mercaptobenzotiazol.	2018
Sanaei, Z.; Bahlakeh, G.; Ramezanzadeh, B.	Pigmento híbrido orgânico/inorgânico verde baseado em cátions de zinco- <i>Cichoriumc intybus L.</i> (extrato das folhas).	2017
Chawada, G.; Dholakiya, B. Z.	Filmes anticorrosivos derivados de sol-gel incorporados com 2-mercaptobenzotiazol, 2-amino-5-metilthiazole e 1,2,3-benzotriazol.	2016
Gelman, D.; Lasman, I.; Elfimchev, S.; Starosvetsky, D.; Ein-Eli, Y.	Híbrido orgânico/inorgânico à base de Poli(etileno glicol) diácido e óxido de zinco.	2015
Hu, J.; Huang, D.; Song, G.-L.; Guo, X.	Aminopropiltrióxido de sódio (APTS-Na) e nitrato de zinco.	2011
Huang, D.; Hu, J.; Song, G.-L.; Guo, X.	Sulfonato de Sódio (Dodecilbenzeno) e fosfato de sódio.	2011
Fernando, I. R.; Daskalakis, N.; Demadis, K.D.; Mezei, G.	4-pirazol sulfato com diversos cátions (Rb ⁺ , Cs ⁺ , Mg ²⁺ , Sr ²⁺ e Cu ²⁺) como ligantes.	2010
Naderi, R.; Mahdavian, M.; Attar, M. M.	Pigmentos de polifosfato de alumínio e zinco inorgânicos como fosfato de zinco modificado e acetilacetato de zinco e mistura de benzimidazole, representando substituição orgânica de fosfato de zinco.	2009
Demadis, K. D.; Katarachia, S. D.; Koutmos, M.	ATMP(amino tris methylen phosphonate) e Zn ²⁺ .	2005

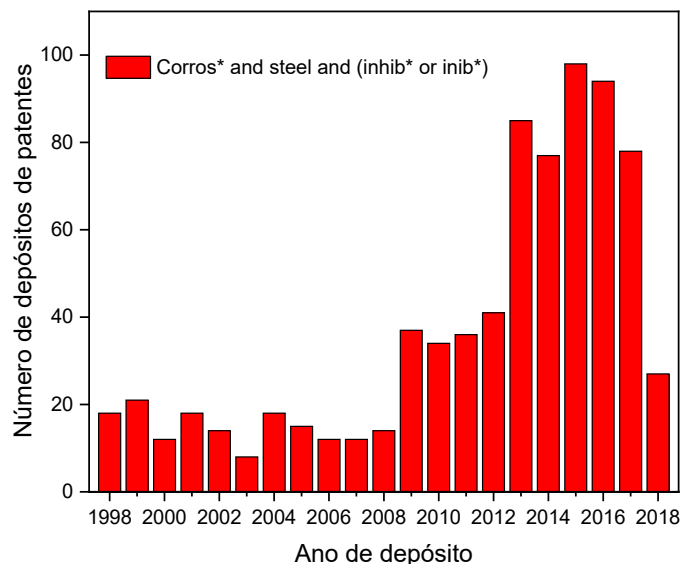
Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2018)

Na busca patentária foram utilizadas as seguintes bases: LATIPAT, Derwent e INPI. Quando utilizados os verbetes relacionados “*Corros* and (aço or acero or steel) and (inhib* or inib*)*”, muitas patentes foram recuperadas, sendo o número de patentes recuperadas do LATIPAT e INPI 16% a menos do que a quantidade recuperada no Derwent. Essa busca mostrou a relevância do tema em nível mundial, visto que os prejuízos com corrosão, dependendo do país, podem chegar a milhões. Além disso, outra constatação foi o interesse acerca do tema nos últimos anos, visto que, a partir de 2014, o número de depósitos de patentes duplicou em relação ao do ano anterior, como exposto na Figura 4, e nesses últimos anos a quantidade de depósitos aumentou consideravelmente.

Para efeito comparativo, a busca realizada no *site* PatentInspiration utilizando os termos “*corros* and steel and (inhib* or inib*)*” revelou que o maior depositante de patente de inibidores de corrosão em aço é o Japão e que o Brasil se apresenta como depositante na quinta posição. Em relação a inibidores de corrosão em aço pesquisados na base Derwent, o Japão também é o maior depositante de patentes; e o Brasil, o 29º depositante de patentes. Outro fato importante é que a Índia, apesar de apresentar um grande volume de artigos publicados,

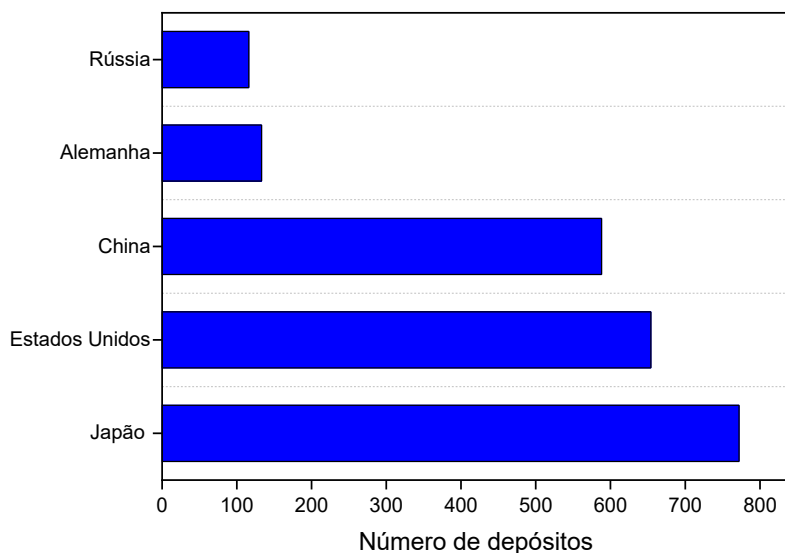
na busca tecnológica não se encontra entre os cinco países que mais depositaram patentes na área (Figura 5).

Figura 4 – Quantidade de patentes depositadas nos últimos 20 anos relacionadas a inibidores de corrosão para aço, recuperadas pela busca no Derwent



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

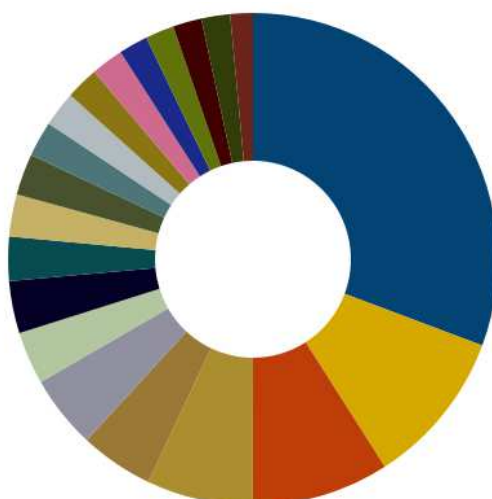
Figura 5 – Quantidade de patentes depositadas por país no site PatentInspiration relacionadas aos termos “*corros* and steel and (inhib* or inib*)*”



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Em relação à International Patent Classification (IPC), foram recuperados 20 códigos distintos na busca pelos termos “*Corros* and (aço or acero or steel) and (inhib* or inib*)*”, via PatentInspiration, como disposto no gráfico apresentado na Figura 6. A partir dos dados apresentados na Figura 6, verifica-se que a maior parte das patentes está relacionada ao código C23F11/00, que agrupa as patentes relacionadas à “inibição da corrosão de materiais metálicos por aplicação de inibidores a superfícies sujeitas à corrosão ou por adição de inibidores ao agente corrosivo”.

Figura 6 – Percentual de depósitos de patentes de acordo com a IPC, via PatentInspiration

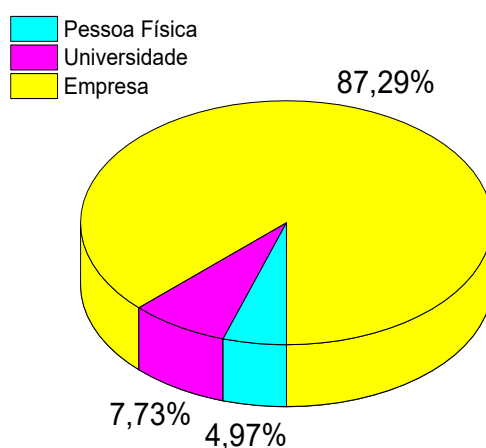


	C23F11/00 (31%)	Inibição da corrosão de materiais metálicos por aplicação de inibidores a superfícies sujeitas à corrosão ou por adição de inibidores ao agente corrosivo.
	C23G1/00 (10%)	Limpeza ou desincrustação de materiais metálicos com soluções ou sais fundidos.
	C09D5/00 (9%)	Composições de revestimento, p. ex., tintas, vernizes ou lacas caracterizadas por sua natureza física ou efeitos produzidos; pastas de enchimento.
	C23C22/00 (7%)	Tratamento químico de superfícies de material metálico por reação de superfícies com um líquido reativo, deixando produtos reacionais do material da superfície no revestimento, p. ex., revestimento por conversão, passivação de metais.
	C02F5/00 (5%)	Amolecimento da água; prevenção de incrustação; adição de anti-incrustantes ou de desincrustantes na água, p. ex., adição de agentes sequestrantes.
	C22C38/00 (5%)	Ligas ferrosas, p. ex., ligas de aço.
	B05D7/00 (3%)	Processos, não por aplicação de flocos, especialmente adaptados à aplicação de líquidos ou outros materiais fluentes a superfícies especiais ou à aplicação de líquidos especiais ou outros materiais fluentes.
	C09K8/00 (3%)	Composições para perfuração de orifícios ou poços; composições para o tratamento de orifícios ou poços, p. ex., para as operações de acabamento ou de reparação.
	B32B15/00 (3%)	Produtos em camadas que contenham essencialmente metal.
	C09D7/00 (3%)	Características de composições de revestimento, não abrangidas no grupo C09D 5/00.
	C04B24/00 (3%)	Uso de materiais orgânicos como ingredientes ativos para argamassas, concreto, pedra artificial ou similar, p. ex., plastificantes.
	C09D163/00 (2%)	Composições de revestimento à base de resinas epóxi; composições de revestimento à base de derivados de resinas epóxi.
	C23C28/00 (2%)	Revestimento para obtenção de pelo menos dois revestimentos superpostos tanto por métodos não incluídos em um dos grupos principais C23C 2/00-C23C 26/00 como pela combinação dos métodos incluídos pelas subclasses C23C e C25D.
	C23C2/00 (2%)	Processo de imersão a quente ou a frio para aplicar um material de revestimento em estado fundido sem modificar a forma do objeto; aparelhos para esse fim.
	C10N30/00 (2%)	Propriedades físicas ou químicas particulares que são aperfeiçoadas pelo aditivo caracterizando a composição lubrificante, p. ex., aditivos multifuncionais.
	C04B28/00 (2%)	Composições de argamassas, concreto, pedra artificial ou similares, contendo ligantes inorgânicos ou produtos de reação de um ligante inorgânico e um ligante orgânico, p. ex., cimentos de policarboxilatos.
	C23F13/00 (2%)	Meios para impedir a corrosão de metais por meio de proteção anódica ou catódica.
	C10N40/00 (2%)	Uso ou aplicação específica da composição lubrificante.
	C25D5/00 (2%)	Eletro galvanização caracterizada pelo processo; pré-tratamento ou pós-tratamento das peças de trabalho.
	C09K5/00 (1%)	Matérias para transferência de calor ou para a produção de diferenças de temperatura de outro modo que não pela combustão, p. ex., refrigerantes; materiais para a produção de calor ou frio por reações químicas outras que não pela combustão.

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

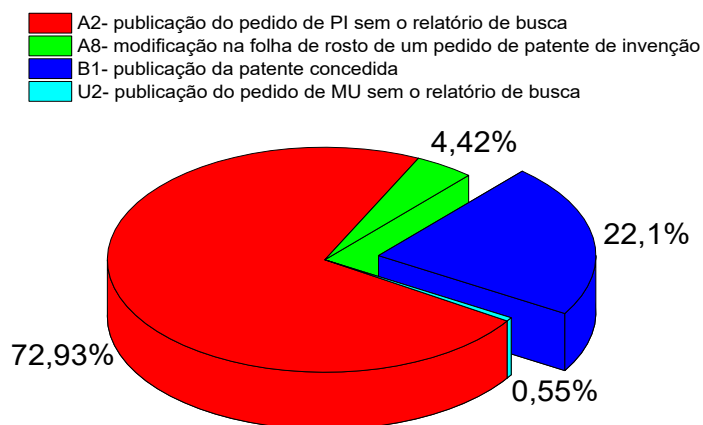
Na busca realizada na base do INPI foram recuperados 181 documentos de depósito, e uma verificação sobre a categoria dos depositantes foi executada. A identificação de quem são os detentores das patentes (Figura 7) mostrou que pessoas jurídicas estão em primeiro lugar, com expressivos 87,29% do total; em segundo, universidades, com 7,73% do total; e em terceiro, pessoas físicas, com 4,97%. Além de identificar os detentores, foi verificado o *status* desses depósitos (Figura 8), cujo resultado mostrou que a maior parte se encontra com *status* A2 (publicação do pedido de PI sem relatório de busca) e que as 40 patentes concedidas, identificadas pelo *status* B1, 22,1% do total, pertencem a empresas.

Figura 7 – Detentores das patentes recuperadas na base do INPI



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Figura 8 – *Status* das patentes recuperadas na base do INPI



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Em pesquisa à base do LATIPAT, com a mesma combinação de termos utilizada na base do INPI, 20 documentos de patentes foram recuperados, porém apenas 13 referem-se a composições de inibidores de corrosão. No Quadro 4 estão detalhados esses documentos, sendo mais da metade patentes requeridas por empresa. Nessa busca, o Brasil é o país de origem da maior parte desses depósitos. Nas composições dos inibidores de corrosão propostos por essas patentes, encontram-se alguns ácidos orgânicos, polímeros, fungos e alguns materiais de origem

natural, como óleo de coco e quitosana. Comparando-se os Quadros 2 e 4, constata-se que nenhum dos artigos tem relação autoral com as patentes depositadas, isso infere que os autores dos artigos não depositaram as patentes relacionadas ao estudo realizado.

Quadro 4 – Composição de inibidores de corrosão de aço a partir dos documentos de patentes recuperados na base do LATIPAT

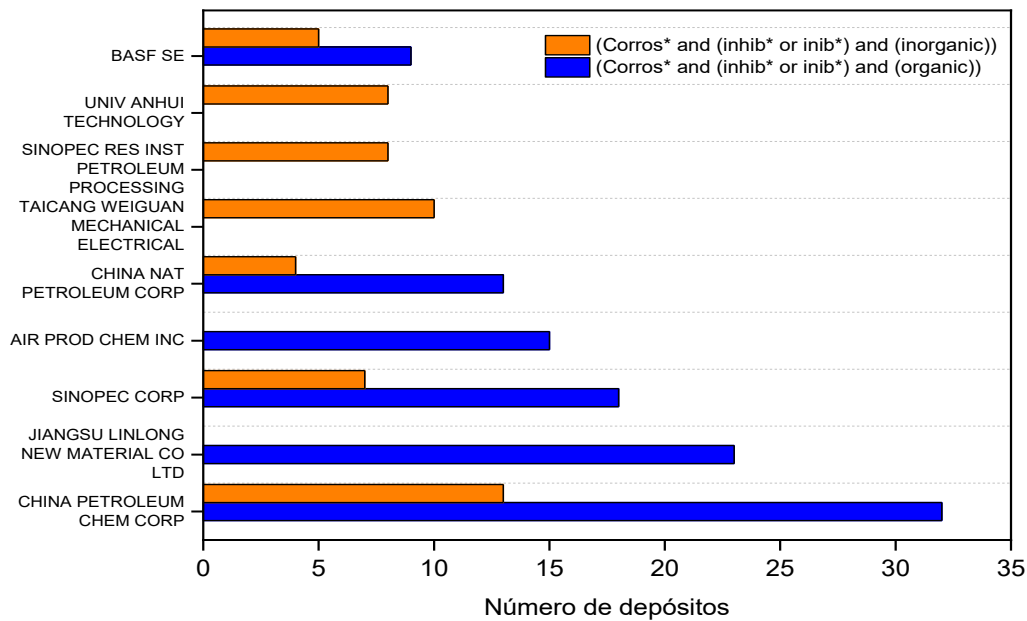
REQUERENTE	MATERIAL UTILIZADO	PAÍS	IPC	ANO	STATUS
COVENTYA SAS [FR] EWH IND GMBH & CO KG [DE]	Derivado orgânico de uma argila bentonítica e ureia modificada.	Brasil	C23C22/00	2017	A2
QUAKER CHEM CORP [US]	Ácidos aromáticos e ácidos naftalênicos; derivados de imidazolina com um poro alquilo C6-24, e idos C6-24 succicos alquilo e alcenilo, incluindo os seus compostos do tipo anidrido.	Argentina	C09K15/20	2000	A1
DU PONT [US]	Surfactante e alquilfosfato.	México	C09K15/32; C10M173/02; C23F11/00; C23F11/10; (IPC1-7): C10M173/02; C23F11/10.	1997	A
SIKA AG	Amino e/ou hidroxialquilamino neutralizados com um ou mais ácidos inorgânicos e/ou derivados e/ou ácidos carboxílicos alifáticos, um ou mais tensoativos e agentes hidrófogos aquosos, selecionados a partir de grupos de organosiliconas.	Espanha	C04B41/46; C04B41/62; (IPC1-7): C04B111/26; C04B111/72; C04B41/62; C23F11/14.	2000	T1
BEKAERT SA NV	Ácidos graxos, ácidos aromáticos e ácidos naftenicos, em forma de ácido ou de sal; derivados de imidazoline com fração alquil; e compostos anidridos alquilcuccinico assim como misturas dos compostos.	Espanha	C08J5/06; C08K5/098; C08K5/36; C08L91/00; C09D191/00; C09D5/08; C10M141/08; C23F11/00; C23F11/10; B29K305/12; (IPC1-7): B29K305/12; C08J5/06; C10M141/08; C23F11/10.	2001	T3
NALCO CHEMICAL CO	Polímeros de pouco peso molecular.	Espanha	C02F5/12; C08L33/04; C08L33/26; C23F11/10; C23F11/12; C23F11/14; C23F11/173; (IPC1-7): C02F5/12; C23F11/173.	1998	T3

REQUERENTE	MATERIAL UTILIZADO	PAÍS	IPC	ANO	STATUS
EXXON RESEARCH ENGINEERING CO	Óleo mineral, um sabão de lanolato de bário e sulfonato de hidrocarboneto de bário sintético.	Brasil	B21C9/00; C10M141/08; C10M163/00; C10N10/04; C10N30/12; C10N40/24; (IPC1-7): C10M1/38.	1979	A
UNIV AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS [MX]	Extrato do fungo Ganoderma lucidum.	México	C09D5/14; C12N1/14; C23F11/00; C23F15/00.	2017	A
CT FED DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS [BR] FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS FAPEMIG [BR]	Diacetato de clorexidina.	Brasil	C23F11/10	2016	A2
INST MEXICANO DEL PETRÓLEO [MX]	Composto à base de derivados de imidazolininas (glioxalidinas) contendo duas cadeias laterais.	México	C23F11/12; C23F11/00.	2014	A
UNIV FED DO PIAUI [BR]	Polianilina e policloreto de vinila.	Brasil	C09D179/00; C09D5/08.	2014	A2
UNIV FED DE ALAGOAS UFAL [BR]	Compostos heterocíclicos mesoiônicos dispersos em microemulsão de óleo de coco saponificado.	Brasil	C23F11/10	2014	A2
UNIV FED DE ALAGOAS UFAL [BR]	Composição à base de quitosana como inibidor de corrosão em aço.	Brasil	C23F11/06; C23F11/173.	2012	A2
Empresa		Universidade			

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2018)

Para melhor filtrar os resultados, foram combinados os termos “Corros* and (inhib* or inib*) and organic” e “Corros* and (inhib* or inib*) and organic”; desse modo, foram recuperados muitos documentos de patentes no Derwent. A Figura 9 mostra as dez principais organizações solicitantes das invenções depositadas, conforme dados da base Derwent. Os dados demonstram serem os depositantes, quase em sua totalidade, empresas, e apenas algumas, universidades. Entre as dez organizações que mais solicitaram patentes, destacam-se a “China Natural Petroleum Corporation”, a “Sinopec Corporation”, a “BASF SE” e a “China Petroleum & Chemical Corporation”, tanto no depósito de inibidores à base de orgânicos quanto de inorgânicos, embora o número de orgânicos seja mais expressivo, refletindo a demanda do mercado por composições que atendam às questões ambientais.

Figura 9 – Principais organizações solicitantes de patentes, conforme a base Derwent

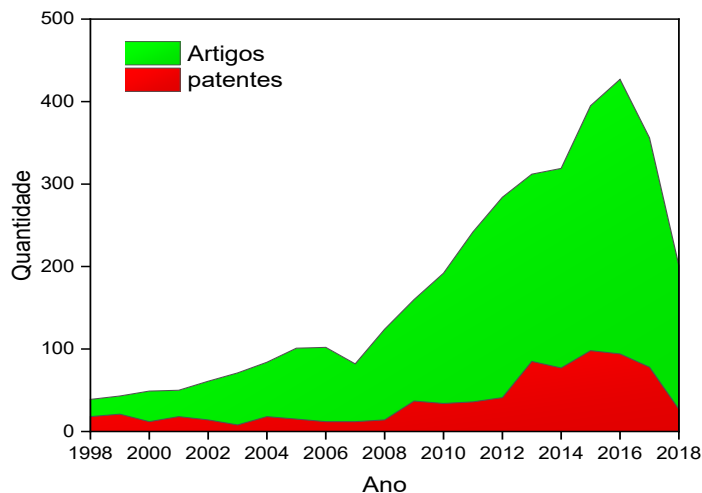


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Ainda sobre as combinações dos termos citados anteriormente, na base LATIPAT, a busca foi nula para ambas e, no INPI, apenas um documento foi recuperado, porém não se tratava de uma composição de um inibidor, e sim de um dispositivo de teste para determinar a concentração de um inibidor de corrosão orgânico.

A Figura 10 demonstra a relação entre a quantidade de artigos e de patentes recuperados na base Scopus e na base Derwent, nos últimos 20 anos, com a utilização dos verbetes “Corros* and (aço or acero or steel) and (inhib* or inib*)”. Com o gráfico, pode-se observar que a quantidade de artigos publicados é muito superior à quantidade de patentes depositadas, embora nem todo artigo científico tenha um potencial de produto tecnológico. Ao relacionar esse potencial, o quantitativo não ultrapassou 30%.

Figura 10 – Comparativo da quantidade de artigos científicos e de depósitos de patentes registrados nos últimos 20 anos, relacionados aos inibidores de corrosão em aço, nas bases Scopus e Derwent



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Quanto ao nível de prontidão tecnológica, observa-se que, com a anotação dos registros patentários e bibliográficos supracitados, alguns inibidores de corrosão em aço de natureza inorgânica e alguns derivados de orgânicos já se encontram no mercado patenteados e em utilização em algumas empresas, caracterizando um TRL-8 e TRL-9. Em relação aos inibidores inorgânicos/orgânicos, apesar dos documentos recuperados, não foi possível obter algum estudo de viabilidade técnica e econômica (EVTE) ou ainda a citação de testes com composições pré-comerciais, caracterizando o estágio da tecnologia como intermediário entre TRL-4 e TRL-5.

4 Considerações Finais

Entende-se que a corrosão é um grave problema para as indústrias têxtil, de alimentos, de petróleo, da construção civil, entre outras, com consequências diretas e indiretas nos materiais metálicos largamente usados atualmente, por isso a necessidade da otimização de estudos que visem a minimizar as perdas por deterioração desses materiais.

Neste artigo, demonstrou-se que os estudos sobre inibidores de corrosão têm crescido com o passar dos anos, principalmente nos últimos 10 anos, e que as maiores detentoras das patentes depositadas são empresas, um aspecto que demonstra a necessidade de maior interação entre empresas e universidades, com o objetivo de desenvolver pesquisas e fortalecer essa área de estudo.

Observou-se que as composições dos inibidores de corrosão têm sido diversificadas com a utilização de vários compostos, constatando-se o declínio da utilização de material inorgânico na composição desses produtos e a ascensão dos orgânicos, que têm ganhado importância pelas suas vantagens e eficiência como produto. Nesse sentido, destacam-se os orgânicos de origem natural como óleo de coco, quitosana, extratos fúngicos, os quais apresentam a grande vantagem de serem atóxicos, biodegradáveis e de atender a critérios de bioacumulação.

Observou-se, por fim, que estão sendo criados inibidores obtidos a partir de compostos híbridos (orgânico/inorgânico), geralmente moléculas orgânicas com diversos cátions inorgânicos como ligante. Entretanto, essas composições não são uma realidade no mercado, apesar dos resultados positivos encontrados nos artigos recuperados nas bases de dados, e ainda não possuem documento de patentes depositadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem os financiamentos recebidos da FAPEAL, FINEP, CNPq e CAPES.

Referências

BARDAL, E. **Corrosion and protection**. 1. ed. London: Springer-Verlag, 2003.

CRAIG, J. R.; O'CONNER, D. S.; AHLKOG, J. J. Economic of bridge deck. **Protection Methods Materials Performance**, p. 32–34, 1982.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 584 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **PIB recua 3,6% em 2016 e fecha ano em R\$ 6,3 trilhões**. 2017. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/9439-pib-recua-3-6-em-2016-e-fecha-ano-em-r-6-3-trilhoes>>. Acesso em: 10 maio 2017.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Classificação de patentes. 2018**. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/classificacao-de-patentes>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

MARTINS, J. I. F. P. A corrosão: a outra perspectiva de abordagem. **Corros. Prot. Mater.**, Lisboa, v. 31, n. 2-4, p. 59, 2012.

MEDEIROS, M. H. F. *et al.* Utilização do nitrito de sódio como inibidor de corrosão em estruturas de concreto armado sujeitas a ação dos íons cloretos. **Revista Engenharia Civil** (Universidade do Minho), Braga, v. 15, p. 19-28, 2002.

NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.

PATENTES DA AMÉRICA LATINA E ESPANHA (LATIPAT). **Base de dados on-line**. [2018]. Disponível em: <<https://lp.espacenet.com/>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

PATENTINSPIRATION. **Base de dados on-line**. [2018]. Disponível em: <<https://app.patentinspiration.com/>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

POPOOLA, L. T. *et al.* Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation. **International Journal of Industrial Chemistry**, [S.l.], v. 4, n. 35, p. 1-15, 2013.

RANI, B. E. A.; BASU, B. B. J.; Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: an overview. **International Journal of Corrosion**, [S.l.], v. 2012, p. 1-15, 2012.

SASTRI, V. S. **Green corrosion inhibitors: theory and practice**. 1. ed. Hoboken; New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 328 p.

SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE (SciELO). **Base de dados on-line**. [2017]. Disponível em: <<http://www.scielo.org/php/index.php>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

SCOPUS. **Base de dados on-line**. [2017]. Disponível em: <<https://www.scopus.com/home.uri>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

VALLIAPAN, M. Our “iron pillar” way to resolve corrosion management. **Chemical Engineering World**, Mumbai, v. 64, 2010.

Sobre os Autores

Williams Raphael de Souza Morais

E-mail: williamsraphael745@gmail.com

Formação: Doutorando em Materiais no Programa de Pós-Graduação em Materiais (PGMtr), pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); mestre em Ciências, subárea Físico-Química, pelo Instituto de Química e Biotecnologia (IQB) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL); graduado em Engenharia Civil, pela Faculdade Pitágoras, e licenciatura em Química, pelo Instituto de Química e Biotecnologia (IQB) da UFAL.

Endereço profissional: Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Química Fundamental, Laboratório de Eletrossíntese Orgânica. Campus Recife, Avenida Prof. Moraes Rego, 1.235, Cidade Universitária – Recife, PE. CEP: 50670-901.

Jaceguai Soares da Silva

E-mail: jaceguaisoares@hotmail.com

Formação: Doutor e mestre em Ciências, subárea Físico-Química, pelo Instituto de Química e Biotecnologia (IQB) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL); e especialista em Gestão Ambiental e licenciado em Química, pela Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL).

Endereço profissional: Centro Universitário Tiradentes. Campus Maria Amélia Uchôa, Avenida Gustavo Paiva, 5.017, Cruz das Almas – Maceió, AL. CEP: 57038-000.

Gleybhson Felipe dos Santos Alves

E-mail: gleybhson_felipe@hotmail.com

Formação: Graduando em Química Tecnológica e Industrial, pelo Instituto de Química e Biotecnologia (IQB) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL); e técnico em Química, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL).

Endereço profissional: Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Química e Biotecnologia, Laboratório de Eletroquímica Aplicada. Campus A. C. Simões, Avenida Lourival Melo Mota, s/n., Tabuleiro dos Martins – Maceió, AL. CEP: 57072-900.

Karolina Bertulino da Silva

E-mail: karolinabertulino@hotmail.com

Formação: Graduanda em Química Tecnológica e Industrial, pelo Instituto de Química e Biotecnologia (IQB), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Endereço profissional: Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Química e Biotecnologia, Laboratório de Eletroquímica Aplicada. Campus A. C. Simões, Avenida Lourival Melo Mota, s/n., Tabuleiro dos Martins – Maceió, AL. CEP: 57072-900.

Carmem Lúcia De Paiva e Silva Zanta

E-mail: zanta@hotmail.com

Formação: Doutora e mestra em Físico-Química, pela Universidade de São Paulo (Ribeirão Preto-USP); bacharela em Química Industrial, pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP).

Endereço profissional: Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Química e Biotecnologia, Laboratório de Eletroquímica Aplicada. Campus A. C. Simões, Avenida Lourival Melo Mota, s/n., Tabuleiro dos Martins – Maceió, AL. CEP: 57072-900.

Josealdo Tonholo

E-mail: tonholo@gmail.com

Formação: Doutor e mestre em Físico-Química, pelo Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo (USP); bacharel e licenciado em Química, pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto.

Endereço profissional: Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Química e Biotecnologia, Laboratório de Eletroquímica Aplicada. Campus A. C. Simões, Avenida Lourival Melo Mota, s/n., Tabuleiro dos Martins – Maceió, AL. CEP: 57072-900.