

Estudo comparativo das eficiências de agentes inibidores comerciais de corrosão em estruturas marítima de concreto armado

As estruturas de concreto armado expostas ao meio marítimo estão sujeitas ao desenvolvimento de diferentes tipos de corrosão que ocasionam a deterioração do material, diminuição das propriedades mecânicas, custos e falhas de segurança operacionais. Entre os diferentes mecanismos de proteção à corrosão das estruturas, destacam-se os inibidores de corrosão. Através do método de revisão integrativa, a seguinte pesquisa fez o comparativo entre às eficiências de proteção de diferentes inibidores de corrosão que são frequentemente comercializados, comparando à resistência a compressão e potencial de corrosão em diferentes corpos de prova, que foram alocados ao ambiente marítimo: imersos em água do mar, atmosfera marinha e condições que simulam esse ambiente, como soluções de NaCl em diferentes concentrações. Como resultado da pesquisa, evidenciaram-se com maior eficiência de proteção os seguintes inibidores de corrosão: nitrato de cálcio, tungstato de sódio e molibdato de sódio. Quando realizado os comparativos da resistência à compressão dos diferentes corpos de provas, aqueles ao qual continha como inibidor o nitrato de cálcio ou tungstato de sódio, atingiu eficiências satisfatórias. Enquanto para o comparativo dos diferentes potenciais de corrosão, os corpos de prova que utilizou como inibidores o molibdato de sódio e o nitrato de cálcio, apresentou menos regiões com corrosão ativa nas estruturas. Evidencia-se a necessidade de adequar a concentração do inibidor de corrosão a estrutura de aço e a relação água/cimento para produção do concreto, as diferentes funcionalidades das estruturas também devem ser levadas em consideração, pois há operacionalidades que catalisam o processo de corrosão.

Palavras-chave: Concreto armado; Estruturas marítimas; Corrosão; Inibidores de corrosão.

Comparative study of the efficiencies of inhibitive agents corrosion commercials in concrete maritime structures armed

Reinforced concrete structures exposed to the marine environment are subject to the development of different types of corrosion that cause deterioration of the material, decrease in mechanical properties, costs and operational safety failures. Among the different mechanisms for protecting structures from corrosion, corrosion inhibitors stand out. Through the integrative review method, the following research made a comparison between the protection efficiencies of different corrosion inhibitors that are frequently commercialized, comparing the resistance to compression and corrosion potential in different specimens, which were allocated to the marine environment: immersed in sea water, marine atmosphere and conditions that simulate this environment, such as NaCl solutions in different concentrations. As a result of the research, the following corrosion inhibitors, calcium nitrate, sodium tungstate and sodium molybdate, were shown to have the greatest protection efficiency. When comparing the compressive strength of the different specimens, those to which calcium nitrate or sodium tungstate contained as an inhibitor, achieved satisfactory efficiencies. As for the comparison of different corrosion potentials, the specimens that used sodium molybdate and calcium nitrate as inhibitors, showed fewer regions with active corrosion in the structures. The need to adapt the concentration of the corrosion inhibitor to the steel structure and the water / cement ratio for concrete production is evident, the different functionalities of the structures must also be taken into account, as there are operations that catalyze the corrosion process.

Keywords: Reinforced concrete; Marine structures; Corrosion; Corrosion inhibitors.

Received: 25/04/2021

Approved: 27/05/2021

Topic: Engenharia Química

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Graziella Ferreira de Melo 
Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5084749887691686>
<http://orcid.org/0000-0002-2022-8649>
gferreirademelo@outlook.com

João Victor Alves Laurentino 
Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9472394433465359>
<http://orcid.org/0000-0003-3342-6537>
victorphysics@gmail.com

Lucileitor Oliveira Santos 
Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4670897310577091>
<http://orcid.org/0000-0003-1251-9291>
lucileitor_oliveira01@hotmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0007

Referencing this:

MELO, G. F.; LAURENTINO, J. V. A.; SANTOS, L. O.. Estudo comparativo das eficiências de agentes inibidores comerciais de corrosão em estruturas marítima de concreto armado. *Engineering Sciences*, v.9, n.2, p.66-80, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0007>

INTRODUÇÃO

A necessidade industrial e da construção civil de buscas por maior quantitativo de matérias primas, deslocamentos e aproveitamento de espaços faz necessário um maior entendimento de ambientes marinhos e suas relações corrosivas nas estruturas, significativamente pode-se citar as estruturas presentes em plataformas petrolíferas e estacas de pontes (SILVA, 2015). O concreto armado, por sua vez, é formado a partir de cimento, água, areia e pedras ou brita, tendo em sua estrutura armaduras em aço. A associação de concreto ao aço permite que as estruturas constituídas de concreto armado possuam resistência a esforços mecânicos, facilidade de ser moldados e boa durabilidade (BASTOS, 2019). Essas características, segundo Oliveira et al. (2020), tornam as estruturas de concreto armado adequadas para uso em construções civis, sendo comumente utilizados em paredes de contenção, pavimentos, pontes, reservatórios e barragens.

A corrosão, afirma Gentil (2011) é a deterioração de um material, geralmente os metais, devido a ações eletroquímicas ou químicas do meio ambiente, estando relacionadas ou não a esforços mecânicos. A corrosão é prejudicial a longevidade do material pois o danifica estruturalmente, podendo resultar, por exemplo, em diminuição das resistências mecânicas, além do prejuízo econômico ocasionado e possíveis acidentes. Regularmente o aço utilizado no concreto é envolvido de agentes anticorrosivos (GUIMARÃES, 2010), no entanto o contato direto do concreto com o meio ambiente resulta em corrosões (FREIRE, 2005). O ambiente marinho é dado como o um dos maiores propulsores de corrosões em estruturas, comumente relacionadas a penetração externa de íons cloreto, segundo Araujo et al. (2010). Em consonância com Ponte (2003), a água marinha possui cerca de 3,4% de sais dissolvidos e o potencial hidrogeniônico está na faixa de 8, logo levemente alcalino.

Os cloretos, através da água, atmosfera marinha ou degelo dos sais, penetram o material através do processo de difusão impregnação ou absorção capilar de águas contendo teores de cloreto. Os íons cloretos são responsáveis por acelerar a condutividade elétrica no eletrólito, sendo catalisador do processo de corrosão e produtos de corrosões, ocasionando mitigações nas propriedades mecânicas das estruturas (CAVALCANTI et al., 2010). Já os íons sulfatos agem através do processo de cristalização dos sais de sulfato, ocorrendo quando a concentração de sais se torna muito elevada, devido à evaporação da água (PONTES, 2019).

Os métodos para combate à corrosão dependem de diferentes variáveis relacionadas ao material, como composição química e condições de superfície, assim como o meio corrosivo, projetos de estruturas e condições operacionais (ALVES et al., 2016). Segundo Oliveira et al. (2018), os inibidores de corrosão são substâncias ou misturas que realizam a proteção total ou controle de corrosões nas estruturas através da formação de uma barreira física, como um filme na superfície do material (RESENDE et al., 2017).

A facilidade de introdução e homogeneização das substâncias inibidoras de corrosão na água utilizada no processo de amassamento do concreto armado ou aplicação direta dos inibidores de corrosão nas superfícies da estrutura é um excelente indicativo de potencialidade dessa ferramenta para à ação anticorrosiva (FREIRE, 2005). Nesse sentido, o seguinte trabalho busca realizar o comparativo, através de

literaturas de modo integrativo, quanto as eficiências de proteção anticorrosiva de inibidores comerciais de corrosão, debruçando-se através de resultados de potencialidade de corrosão de agentes inibidores de corrosão para estruturas de concreto armado e resistências mecânicas à compressão.

METODOLOGIA

A seguinte pesquisa tem como fonte de dados investigativos as literaturas que convém ao âmbito da pesquisa, utilizando-se do método da revisão integrativa. Tal método segundo Souza et al. (2010), consiste em conduzir conhecimentos e aplicabilidades a partir de pesquisas práticas, de modo a correlacionar e compactar informações no objetivo de poder fazer afirmações no contexto do tema estudado.

A coleta de dados foi realizada no período de fevereiro a abril de 2021. Os materiais foram selecionados cuidadosamente ao longo de todo o processo de concepção. Fez-se uso das plataformas de pesquisa: Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Acadêmico. Os descritores foram utilizados em português e inglês, sendo eles: corrosão marítima, concreto armado, corrosão em concreto armado, agentes corrosivos, reações eletroquímicas, agentes inibidores de corrosão. Utilizou-se de operadores lógicos para correlacionar os descritores no processo de levantamento de literaturas utilizadas no artigo.

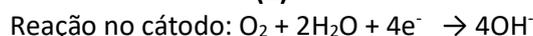
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Corrosão em ambiente marinho

A água do mar é uma solução salina uniforme, contendo elevadas concentrações de sais, óxidos, gases dissolvidos, micro-organismos, particulados, além do ambiente atmosférico que conta com a presença de alto percentual de umidade relativa, radiações solares e efeitos das marés (SOUZA, 2019), fatores que agem como propulsores e catalisadores do processo de corrosão. Gentil (2011) afirma que a atmosfera marinha, em média, é caracterizada por ter 38% a mais de corrosão relativa quando comparado com a atmosfera rural. As equações 1 e 2 demonstram a ação corrosiva da água do mar em metais.



(1)



(2)

Entre os sais presentes na água do mar, destaca-se a presença de: sulfato de potássio (K_2SO_4), sulfato de cálcio ($CaSO_4$), cloreto de potássio (KCl), cloreto de sódio (NaCl), cloreto de magnésio ($MgCl_2$) e sulfato de magnésio ($MgSO_4$), como mostra a Tabela 1. Além disso, o potencial hidrogeniônico da água do mar, encontra-se alcalino e torna-se excelente eletrólito para os íons.

Pannoni (2007) diz que os particulados de íons sulfatos, cloretos e enxofres atuam dissolvidos na água do mar estando em contato direto com as estruturas, assim como são propagados através das direções e intensidade dos ventos.

Tabela 1: Relação de salinidade nos mares e oceanos e concentração de íons.

Salinidade Nos Oceanos E Mares		
Oceano e Mar	Salinidade (% em partes por mil)	
Oceano Atlântico	3,54%	
Oceano Índico	3,48%	
Oceano Pacífico	3,45%	
Mar Mediterrâneo	3,74%	
Mar Negro	1,8%	
Mar Vermelho	4,00%	
Mar Morto	Em média: 27,0%	
Mar Morto	A 50 metros de profundidade: 32,6%	
Mar de Aral	Em média: 34,8%	
Mar de Aral	A 20 metros de profundidade: 38,8%	
Concentração De Íons Na Água Do Mar De 3,5% De Salinidade		
Íon	Símbolo Químico	% Salinidade (partes por mil)
Cloro	Cl ⁻	1,93
Sódio	Na ⁺	1,06
Sulfato	SO ₄ ⁻²	0,27
Magnésio	Mg ⁺²	0,13
Cálcio	Ca ⁺²	0,04
Potássio	K ⁺	0,04
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	0,01

Fonte: UFRGS (2008)

Os íons cloretos faz-se presente em maior concentração entre os sais em água do mar, Mainier et al. (2001) afirma que quanto maior a concentração de íons na solução eletrolítica mais intenso torna-se o processo de corrosão, logo os cloretos são agentes corrosivos agressivos, principalmente a estruturas metálicas. Quando os cloretos estão suspensos no ar, possuem a capacidade de adsorção em superfícies de metais, sendo capaz de penetrar os poros da estrutura e formar uma película corrosiva de degradação constante. É responsável por formar e acelerar determinadas corrosões como a corrosão por pite.

Os sulfatos atacam diretamente a estrutura do concreto por meio do processo de difusão os íons na estrutura do material, formando compostos expansivos e causando fissuração e desintegração da matriz do material (AGUIAR, 2019). Santos et al. (2013) relata que íons de enxofre proporcionam e propagam a corrosão, reduzindo a plasticidade e promovendo rachadura nas estruturas, quando presentes em ambiente marítimo, surgindo devido a transformação do produto químico de *dimethyl sulphoniopropionate*.

Reações corrosivas no concreto armado em ambiente marítimo

As estruturas de concreto armado são habitualmente utilizadas em ambientes marinhos, onde o nível de agressividade ambiental ao material é classificado, segundo a Norma Brasileira 6118 de 2014, como forte. Podendo ser estruturas imersas ou próximas a água do mar, sendo aplicadas comumente em pilares de pontes, plataformas petrolíferas e estruturas prediais.

O ataque à essas estruturas em ambiente marinho ocorrem em duas vertentes: degradação do concreto e corrosão da armadura de aço. Onde o concreto é deteriorado pela presença dos sais e a armadura de aço passa pela ação corrosiva gerada pelos particulados dissolvidos e precipitados, gases, micro-organismos e elementos químicos resultam em deterioração direta na estrutura, como mostra a Figura 1.

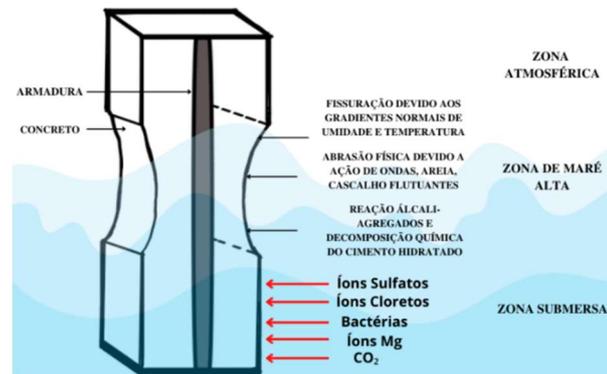


Figura 1: Representação de um pilar de concreto armado exposto à água do mar.

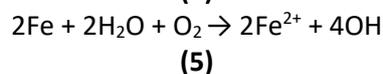
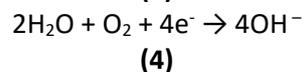
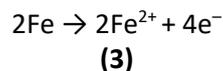
Têm-se os cloretos como os íons que mais danificam as estruturas do concreto armado (MEIRA et al., 2019), através da difusão iônica e absorção. Estruturas de concreto armado próximas a zona do ambiente marinho são constantemente afetadas pelo aerossol, como mostra a Tabela 2, Kang (2019) define aerossol marinho como a névoa constituída de água e sais oriundos do mar, propagando-se íons cloretos pelo ambiente.

Tabela 2: Faixas de agressividade do aerossol marinho.

Faixas de agressividade		Distâncias aproximadas para o local de estudo (m)
Nível de agressividade	Deposição média (mgCl ⁻ /m ² .dia)	
Elevada	Acima de 100	Até 100
Moderada	Entre 10 e 100	Entre 100 e 750
Mínima	Menor que 10	Acima de 750

Fonte: Adaptado de Meira (2004).

Os íons cloretos, íons magnésio, oxigênio dissolvido, dióxido de carbono agem diretamente na estrutura do concreto (FEITOSA, 2019). As reações eletroquímicas que representam o processo de oxirredução nas armaduras de aço são mostradas a seguir, onde na equação 3 o ânodo representando a dissolução do metal, na equação 4 representa o cátodo em meio neutro e aerado e na equação 5 mostra a reação global de corrosão.



Fatores físicos como a intensidade dos ventos, umidade relativa, predominância das marés sob as estruturas, temperaturas elevadas que agem como catalisador das reações corrosivas, assim como a relação de água e cimento no concreto, são fatores que podem resultar em áreas possíveis de corrosão no material.

Além de fatores físicos e químicos, a presença de micro-organismos também resulta em impactos negativos na estrutura, Costa (1997) diz que as bactérias anaeróbicas que produzem ácido sulfídrico (H₂S) pode ser transformado em ácido sulfúrico (H₂SO₄) por bactérias aeróbicas, resultando em redução do potencial hidrogeniônico e deterioração ao concreto. Ressalva-se que a corrosão provoca diminuição da eficiência da estrutura e da segurança, além de prejuízos financeiros. Moreno (2019) afirma que a

Organização Mundial da Corrosão evidencia que 2,8% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial é direcionado a manutenções causadas por esse tipo de deterioração.

Agentes inibidores de corrosão

A proteção dos materiais ao processo de corrosão através da utilização de agentes inibidores de corrosão ocorre através da passivação ou polarização, incorporando-as proteções anódicas e catódicas (SANTOS et al., 2013). Os revestimentos corrosivos são constituídos de películas formada de compostos que reagem com os metais, assim como, podem ser formados de outros metais com altos valores de sobretensão (HOEHNE, 2013), já as proteções que podem ser do tipo catódica quando formadas por substâncias constituídas de íons metálicos impedindo a difusão do oxigênio no material ou proteções anódicas que possibilitam a passivação do material a partir de uma corrente anódica externa (GENTIL, 2011). Freitas (2005) afirma que além das proteções dos agentes inibidores nas regiões anódicas e catódicas da armadura do concreto pode mitigar o processo difusivo dos íons cloretos.

A técnica de controle do meio para mitigação da ação corrosiva também é recorrentemente utilizada, dá-se através do controle do potencial hidrogeniônico e através da desaeração. Enquanto os agentes inibidores são substâncias, em diferentes concentrações, de caráter orgânico ou inorgânico que atuam desacelerando ou inibindo as reações eletroquímicas de corrosão nos materiais (RAJEEV et al., 2012). Gentil (2011), afirma que as classificações dos agentes inibidores ocorrem referente ao seu mecanismo de atuação e composição como mostra a Figura 2.

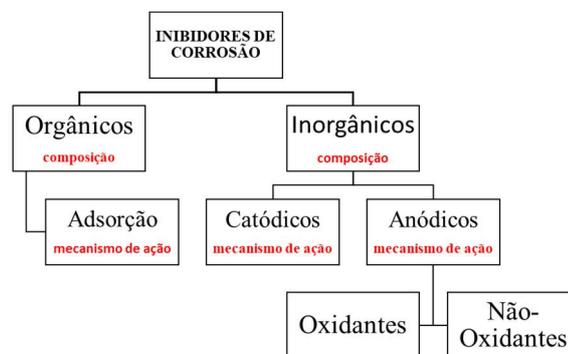
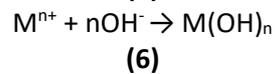
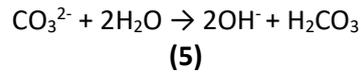


Figura 2: Classificação dos inibidores de corrosão. **Fonte:** Adaptado de Dariva et al. (2014)

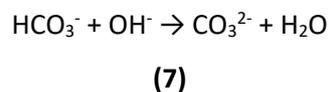
Segundo Romualdo (2012), a determinação do inibidor de corrosão adequado dá-se levando em consideração as seguintes questões: as causas da corrosão do sistema, o custo, propriedades e mecanismos de atuação dos inibidores a serem utilizados e as condições adequadas para utilização e controle. Corriqueiramente esse método de proteção à corrosão é utilizado em caldeiras, sistemas de resfriamentos, estruturas marítimas com ênfase nas plataformas petrolíferas, que é o setor mais utiliza desses agentes (FINŠGAR et al., 2014).

Os inibidores anódicos são aqueles que retardam ou controlam reações anódicas. Seu funcionamento ocorre reagindo com o produto da corrosão, formando um filme insolúvel com capacidade de se aderir na superfície do metal, resultando em polarização anódica. Substâncias como boratos, silicatos, hidróxidos e carbonatos são exemplos desse tipo de inibidor. As equações 5 e 6 mostram a reação dos

carbonatos como inibidor anódico reagindo com íons metálicos presente no anodo. Esses inibidores podem ser do tipo oxidante quando reagem na presença de oxigênio ou não-oxidantes quando reagem na ausência de oxigênio (GENTIL, 2011; RODRIGUES, 2012).



Já os inibidores catódicos são as substâncias que resultam em íons metálicos que serão responsáveis por reagir com a alcalinidade catódica resultando compostos insolúveis. Seu mecanismo funciona com bloqueio da passagem do oxigênio e elétrons, mitigando o processo catódico, gerando a polarização catódica (RODRIGUES, 2012). Sulfatos de magnésio, níquel e zinco são comumente usados como inibidores catódicos, onde nas reações formam hidróxidos quando associadas as hidroxilas, OH⁻, obtendo ações inibidoras. A reação 7 demonstra o mecanismo dos agentes inibidores catódicos em águas com dureza do tipo temporária (GENTIL, 2011; ROMUALDO, 2012).



O processo de adsorção é caracterizado pela permanência e concentração de certos sólidos na superfície observada (NASCIMENTO et al., 2020). Os inibidores de adsorção são formados por substâncias orgânicas, que segundo Gentil (2011), é constituído de grupos fortemente polares que resultam películas protetoras por adsorção. Esses agentes possuem sua eficiência de proteção a corrosão atrelada a inúmeros fatores, entre eles a concentração das substâncias, velocidade e volume do fluido, temperatura e superfície metálica. Entre os grupos orgânicos presente nas cadeias das substâncias inibidoras por adsorção, encontra-se as aminas que são eficientemente adsorvidas pelos metais gerando excelente proteção aos materiais metálicos.

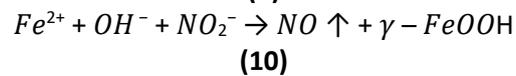
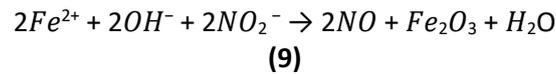
Agentes inibidores de corrosão em estruturas marítima de concreto armado

Entre os diversos tipos de agentes inibidores de corrosão comercializados, para estruturas de concreto armado dá-se destaque para os inorgânicos a base de nitrito de cálcio e sódio, assim como os orgânicos a base de aminas (FREIRE, 2005). Essa pesquisa expõe de 6 diferentes inibidores, como mostra a Tabela 3, para a comparativos de eficiência.

Tabela 3: Inibidores de corrosão analisados na pesquisa.

Inibidor	Composição
01	Nitrito de Sódio (NaNO ₂)
02	Molibdato de Sódio (Na ₂ MoO ₄)
03	Nitrito de Cálcio (Ca(NO ₃) ₂)
04	Orgânico base de Amina
05	Orgânico base de Tiouréia
06	Tungstato de Sódio (Na ₂ WO ₄)

Os agentes com base em íons nitrito são considerados excelentes agente inibidores (RESENDE et al., 2017), reagem diretamente contra os íons cloretos para a formação de uma película de óxido férrico, como mostra as equações 9 e 10.



Os agentes inibidores de Molibdato de Sódio (Na_2MoO_4) atuam no metal por adsorção, onde na presença íons cloretos, atuam no processo de troca iônica na interface do metal, tendo concentrações específicas para atuar como protetor a corrosão (UCHÔA, 2007). Segundo Melo et al. (2014), os grupos funcionais amins atuam formando obstáculos compactos na superfície do material através da adsorção por meio da água. As cadeias de amins são lineares, como mostra a figura 3, e a quantidade de carbono presente é de 3 à 15 carbonos, sendo a quantidade de carbonos presentes relacionadas a potencialidade da inibição ao processo corrosivo.

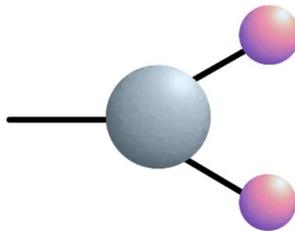


Figura 3: Grupo amina.

Os agentes inibidores de corrosão orgânico com base de Tiouréia formam um filme protetor tanto na região anódica quanto catódica, comumente utilizadas para estruturas de aços carbono. A estrutura orgânica da Tiouréia é representada na figura 4, onde há a presença de dipolo que será responsável por ter o enxofre como elemento negativo e cedendo elétrons para assim interagir com o aço (UCHÔA, 2007).

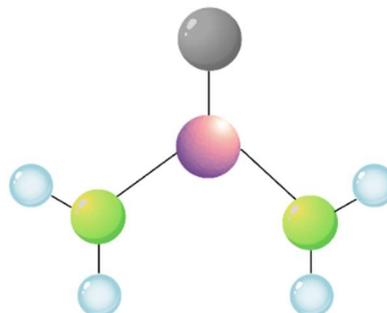


Figura 4: Estrutura da Tiouréia.

O Tungstato de Sódio atua como inibidor catódico em materiais metálicos sob diferentes condições do meio, o mecanismo ocorre através da adsorção competitiva com os íons cloretos. Bueno (2008) afirma que é necessário maior concentração dessa substância para estruturas imersas em águas com presença de íons cloretos.

Resistência à compressão

As propriedades mecânicas dos materiais estão associadas a segurança de aplicação das estruturas. Almeida (2012) afirma que a resistência mecânica é dada como a força resultante da aplicação de uma força no material. A resistência à compressão é um esforço do tipo axial que resulta em diminuição vertical ou ruptura do corpo de prova em análise, sendo representado em Mega Pascal (MPa), a representação da equação 8.

$$T = \frac{F}{A}$$

(8)

T: tensão de compressão;
F: força de compressão;
A: área de seção do corpo.

Quando se trata do concreto a resistência à compressão é a principal propriedade mecânica que se deve avaliar (ALMEIDA, 2012), pois é responsável por correlacionar outras propriedades como fluência e elasticidade através das normas regentes. Geralmente para realização dos ensaios de compressão aos corpos de prova de concreto faz-se uso de uma máquina universal de ensaios como mostra a figura 5, que é responsável por aplicar a força sob o corpo de prova, a mesa que apoia a peça, e os corpos de provas são padronizados.

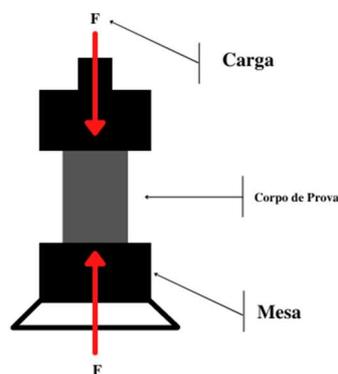


Figura 5: Ensaio de Compressão.

Técnica do potencial de corrosão

O potencial de corrosão é dado a partir do equilíbrio dinâmico, partindo dos átomos do metal que deixam a estrutura, ionizam-se e hidratam-se enquanto os cátions fazem-se depósitos sobre os metais. A dissolução dos ânions e deposição dos cátions são processos associados à movimentação da densidade de corrente do sistema (FIGUEIREDO, 2016). É uma técnica não destrutiva, utilizada para acompanhar a corrosão dos aços em concretos. O acompanhamento da estrutura deve ser realizado de modo a não modificar o local e as condições do meio (FREIRE, 2005). Determina-se a facilidade dificuldade de transferência elétrica entre o aço e regiões do concreto, analisando o concreto e a armadura de aço simultaneamente.

Esse potencial resulta em detalhes gráficos possíveis de definir as regiões afetadas pelo processo de corrosão (ROCHA, 2012). A determinação dos potenciais de corrosão de estruturas é determinada a partir

de equipamentos, como o eletrodo de cobre ou sulfato de cobre. A desvantagem do método é por apresentar aproximações da corrosão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das literaturas selecionadas (FREIRE, 2005; TREVISOL et al., 2017; BOLINA et al., 2013; MEDEIROS et al., 2002; HECK, 2008; UCHÔA, 2007; MODESTO, 2008; VIEIRA et al., 2010), se fez possível comparar a resistência mecânica de compressão e o potencial de corrosão de inibidores comerciais sob corpos de prova de concreto armado imersos, nas condições de próximos ao mar, e em soluções salinas de diferentes concentrações. Uma síntese das diferentes análises é apresentada na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Parâmetros das pesquisas analisadas.

Referência	Inibidor	Meio de Imersão	Período de análise	Análise
(FREIRE, 2005)	Nitrito de cálcio sem acelerador; Nitrito de cálcio sem acelerador, Nitrito de cálcio 3%; base de éster e amina.	Solução de 3% NaCl; Instalação na orla marítima.	10 meses.	Resistência a compressão; potencial de corrosão.
(TREVISOL et al., 2017)	Tungstato de sódio 1%; Tungstato de sódio 2%; Molibdato de sódio 1%; Molibdato de sódio 2%.	Solução de NaCl a 3,5%.	41 dias.	Resistência à Compressão; Potencial de corrosão;
(BOLINA et al., 2013)	Nitrito de cálcio de 1%; Nitrito de sódio de 4%; Molibdato de sódio.	Solução de NaCl a 3,5%.	30 dias.	Resistência a compressão; potencial de corrosão.
(MEDEIROS et al., 2002)	Nitrito de Sódio (2%)	Solução de NaCl 5%.	15 dias.	Resistência à Compressão; Potencial de corrosão;
(HECK, 2008)	Molibdato de sódio;	Solução de NaCl 3,5%.	28 dias e 7 meses respectivamente para as análises.	Resistência à Compressão; Potencial de corrosão.
(UCHÔA, 2007)	Molibdato de sódio 2%; Molibdato 2% + Tiouréia 0,67%.	Solução de diferentes concentrações de NaCl.	12 meses.	Resistência à compressão.
(MODESTO, 2008)	Molibdato de sódio; Tungstato de sódio.	Solução de 0,05 mol/L NaCl.	7 dias.	Potencial de corrosão.
(VIEIRA et al., 2010)	Nitrito de Cálcio.	Solução de 3,5% de cloreto de sódio; Em uma plataforma de pesca, no litoral Sul do estado de Santa Catarina.	28 dias e 3 meses.	Resistência à Compressão; Potencial de corrosão;

O nitrito de cálcio sem acelerador foi utilizado como inibidor de corrosão em um dos corpos de prova (cp's) de Freire (2005), onde foi aplicado o cobrimento da armadura em 2,5 cm e a relação de água/cimento foi de 0,53 para o concreto, elevando 10 Mega Pascal (MPa) para a resistência mecânica de compressão. Na pesquisa de Vieira et al. (2010), os cp's com a relação 0,45 de água/cimento, tendo o nitrito de cálcio como inibidor de corrosão, obteve 50% a mais em sua resistência a compressão axial, que o corpo de prova (cp) de referência. Para análise de potencial de corrosão de Freire (2005), os cp's que teve como inibidor de corrosão o nitrito de cálcio 3%, nitrito de cálcio sem acelerador e nitrito de cálcio com acelerador, obteve um percentual de 50% de potencial corrosível na estrutura em até 120 dias após a exposição aos meios, enfatizando a queda do percentual gradativamente. Para cp's com 3% de nitrito de cálcio, nitrito de cálcio sem acelerador e nitrito de cálcio com acelerador imersos em uma solução de 3% de NaCl não desenvolveu corrosão ativa em 225 dias.

Para Bolina et al. (2013), foi analisado um cp com o inibidor nitrito de cálcio de 1% e nitrito de sódio de 4% ao qual obtiveram respectivamente -297 mili Volts (mV) e -248 mV. Medeiros et al. (2002), sob

análise de cp utilizando o nitrito de sódio como inibidor, em ação de íons cloretos sob o concreto armado, obteve o percentual de redução entre 75% e 100%, para 0,4 água/cimento no primeiro corpo de prova e 0,6 água/cimento para o segundo corpo de prova, determinado que a concentração de nitrito de sódio e a resistência a compressão é inversamente proporcional.

Para Heck (2018), o cp utilizando o molibdato de sódio como inibidor de corrosão, teve a relação de 0,5 água/cimento e 228,44 gramas do inibidor em seu processo de produção. A análise de resistência a compressão axial após 28 dias de sua fabricação, obteve 30,25 MPa, enquanto o cp de referência obteve 34,52 MPa, para análise do potencial de corrosão manteve-se como passivo até quatro meses de análises, posteriormente torna-se ativo para corrosão no cp de concreto armado, o mesmo período que o corpo de prova sem a presença de inibidor em sua estrutura. Já para Uchôa (2007), para os cp's utilizando o molibdato de sódio como inibidor de corrosão em diferentes percentuais, obteve resultados inferiores ao cp de referência quanto a compressão, especificamente entre 12% inferior a resistência a compressão que o cp de referência, em 12 meses de produção dos corpos de prova. No entanto os cp's que teve inibidores mistos de molibdato e tiouréia, obteve excelentes resultados quanto a resistência a compressão, próximo de 35 MPa, atingindo eficiência quanto a corrosão devido a imersão na solução salina.

Freire (2005) analisou um corpo de prova com 1% orgânico base de éster e amina ao qual obteve resistência moderada para compressão e para a análise de potencial de corrosão, entre os diferentes inibidores de corrosão analisado, o misto de éster e amina obteve o menor potencial de corrosão, no entanto com 225 dias de observação, determinou região de corrosão ativa por pitting na estrutura.

Para Modesto (2008) a análise deu-se a partir de corpos de prova de aço-carbono imersos em água do mar obtendo $0,006 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para a velocidade de corrosão e para solução de NaCl 3,5% deu-se $0,007 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Para determinação do potencial de corrosão fez análise com imersão por 24 horas dos corpos de provas, onde o cp de referência, ou seja, sem a presença de inibidores de corrosão, obteve -694 mV, o molibdato de sódio obteve -449 mV e o tungstato de sódio -651 mV, interpretando semelhanças quanto a presença do Na_2MoO_4 e Na_2WO_4 , destacando que quanto maior a concentração dessas substâncias mais positivo o potencial de corrosão para a estrutura que a utiliza.

Trevisol et al. (2017) incorporou em cp's distintos os seguintes inibidores de corrosão: tungstato de sódio 1%, tungstato de sódio 2%, molibdato de sódio 1% e molibdato de sódio 2%, que foram imersos em uma solução de NaCl 3,5%, onde se obteve que os cp's com molibdato de sódio 1% e tungstato de sódio 2% obtiveram respectivamente 34,6 MPa e 35,3 MPa, os maiores resultados quanto a compressão, enquanto que para os potenciais de corrosão, os cp's com molibdato de sódio 1% e 2%, atingiram respectivamente -920mV e -870 mV, já para os cp's com tungstato de sódio 1% e 2% marcaram -940 mV e -920 mV.

Em parâmetros gerais, são diferentes corpos de provas, com diferentes relações água/cimento, distintos inibidores de corrosão com concentrações e soluções e tempos diferentes de imersão, no entanto é possível avaliar a eficiência geral nos cp's a partir dos dados da literatura considerada. A Figura 5 mostra a eficiência dos cp's comparado com seus respectivos corpos de provas de referência, ou seja, sem a presença de inibidores de corrosão e expostos ao meio corrosivo.

Evidencia-se que entre os diferentes inibidores em análise mostrados na Figura 6, o molibdato de sódio 2% foi o que atingiu maior percentual de eficiência quando comparado com a eficiência do respectivo cp sem inibidor da análise, em contrapartida, as amostras de molibdato de sódio em 1% para Trevisol et al. (2017) e molibdato de sódio para Uchôa (2007) atingiram a percentuais inferiores ao percentual de resistência mecânica a compressão que os seus respectivos corpos de prova de referência, logo destaca-se condições como: tempo de exposição ao meio de imersão e concentração salina do potencial eletrólito, a maior exposição dos cp's ao meio e por o mesmo estar com uma concentração elevada, potencializa o ataque dos cloretos nas estruturas e consequentemente a destruição do concreto, podendo ocasionar corrosão generalizada. Comumente a hidratação do cimento do concreto representa um aumento na resistência mecânica a compressão, enfatizando o nitrato de cálcio, como excelente.

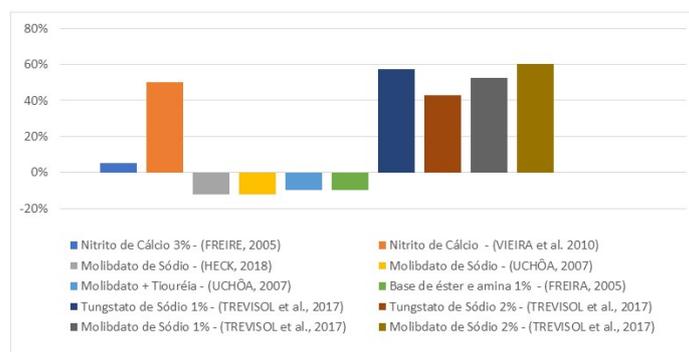


Figura 6: Comparativo de eficiência da resistência compressiva de corpos de provas com inibidores e sem inibidores de corrosão.

De modo similar, faz-se possível comparar os diferentes resultados entre as distintas pesquisas quanto ao potencial de corrosão, como mostra a Figura 7. Através desses dados é possível avaliar o potencial corrosivo de passividade ou de ativação no meio de imersão das estruturas.

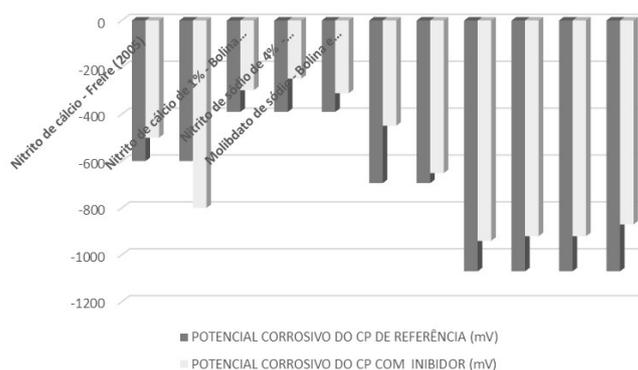


Figura 7: Comparativo do potencial corrosivo para os diferentes corpos de provas com inibidores e seus respectivos corpos de prova de referência.

É perceptível que os inibidores catódicos tornam os potenciais corrosivos mais negativos e mitigam a solubilidade de íons ferrosos, já os inibidores de adsorção deslocam os potenciais positivamente e negativamente, para os inibidores anódicos os potenciais corrosivos são deslocados positivamente. Destaca-se o molibdato de sódio por manter o potencial de corrosão para seus respectivos cp's menores que os potenciais de corrosão dos cp's de referência. O corpo prova tendo o inibidor orgânico a base de

estér e amina atingiu maior potencial corrosivo atingindo a corrosão ativa, além do impacto agressivo ao meio ambiente, necessitando de melhor avaliação.

Comumente, os resultados para análise de resistência compressiva e de potencial corrosivo para os inibidores de nitritos, atingem ótimos resultados, sendo frequentemente aplicado a estruturas marítima de concreto armado.

CONCLUSÕES

A utilização de estruturas de concreto armado é necessária para diversas aplicações, contudo o ambiente marítimo é agressivo e as estruturas diretamente expostas ao mar ou indiretamente através da atmosfera marítima são afetadas pela formação de diversos tipos de corrosão, logo se torna comum à utilização de inibidores de corrosão para diminuir os danos ocasionados. A pesquisa em questão buscou avaliar o potencial de proteção de diferentes inibidores de corrosão comercializados e aplicados a estruturas de concreto armado, comparando os potenciais de corrosão e resistência à compressão dos corpos de provas depois de serem expostos diretamente ou indiretamente ao mar e corpos de provas imersos em soluções salinas que simulam a água do mar.

Entre as referências analisadas, evidencia-se que frequentemente os inibidores mais utilizados são o nitrito de cálcio e molibdato de sódio. Para a análise comparativa da resistência à compressão dos corpos de provas analisados destaca-se o nitrito de cálcio, onde resulta em aumento da resistência, assim como tungstato de sódio que obteve excelentes percentuais de eficiência quanto a resistência compressiva dos corpos de provas analisados nas diferentes condições de exposição. Já o molibdato de sódio é instável quanto a resistência à compressão, dependendo de fatores como concentração do inibidor, condições de exposição e relação água/cimento do concreto. Para os percentuais de potenciais de corrosão, evidenciam-se os inibidores de nitrito de cálcio e molibdato de sódio, ao qual atingiram excelente controle de corrosão, mantendo frequentemente os corpos de provas em situação de passividade e não de corrosão ativa. Contudo, os inibidores nitrito de cálcio e molibdato de sódio destacam-se para proteção das estruturas de concreto armado, em diferentes concentrações e níveis de exposição marítima.

Ao longo da pesquisa destacou-se as diferentes eficiências de proteção dos distintos inibidores de corrosão nas estruturas marítimas de concreto armado, sendo relevante considerar o tempo de exposição das estruturas, assim como o inibidor correto e sua respectiva concentração. Outra importante consideração dá-se quanto a diminuição da relação água/cimento e aumento das espessuras do concreto de constituição e cobertura total da armadura de aço.

REFERÊNCIAS

ALVES, B. X. P.; MOURA, G. L.; GALDINO, T. P.; BRANDÃO, M. C. R.. **Estudo comparativo entre os diversos métodos empregados no combate à corrosão na indústria do petróleo**. 2016.

ARAUJO, A.; PANOSSIAN, Z.. **Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho**: estudo de caso. 2010.

BASTOS, P. S. S.. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2019.

BOLINA, C. C.; CASCUDO, O.. **Inibidores de corrosão**: análise da eficiência frente à corrosão do aço induzida por cloretos e carbonatação em meio aquoso. 2013.

CAVALCANTI, A. N.; CAVALCANTI, G. A. A.. **Inspeção técnica do píer de atracação de Tambaú**. 2010.

ROCHA, F. C.. **Leituras de potencial de corrosão em estruturas de concreto armado**: influência da relação água/cimento, da temperatura, da contaminação por cloretos, da espessura de cobrimento e do teor de umidade do concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, 2012.

DARIVA, C. G.; GALIO, A. F.. **Corrosion Inhibitors**: principles mechanisms and applications. 2014.

AGUIAR, S. B.. **Contribuição da presença de sulfatos e sulfetos para corrosão em esgotos sanitários tratados por lagoas de estabilização**. Monografia (Bacharelado em Química) – Universidade Federal do Ceará, 2019.

ALMEIDA, S. M.. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante**. 2012.

BUENO, G. V.. **Formulação e otimização de uma mistura de inibidores de corrosão para aço carbono em meio de água de resfriamento industrial usando planejamento estatístico**: mistura de inibidores de corrosão para aço carbono em meio de água. 2008.

MEDEIROS, M. H. F.; MONTEIRO, E. B.; CARNEIRO, F. P.; BARKOKÉBAS JÚNIOR, B.. **Utilização do nitrito de sódio como inibidor de corrosão em estruturas de concreto armado sujeitas a ação dos íons cloretos**. 2002.

OLIVEIRA, D. F.; SILVA, C. G.; CARDOSO, S. P.. **Inibidor de corrosão ambientalmente seguro**: avaliando extratos de *Plectranthus barbatus* Andrews. 2018.

SOUZA, C. A. F.. **Patologias em estruturas de betão armado por influência do ambiente marítimo**: estudo de caso. 2019.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R.. **Revisão integrativa**: o que é e como fazer. 2010.

DEIP, A. R.. **Estudo da eficiência de proteção contra a corrosão em aço aisi 1020 utilizado na indústria petroquímica empregando revestimentos inteligentes: incorporação de trocadores iônicos do tipo hdl-bta em matriz epoxídica**. 2017.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDA, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C.. **Adsorção**: aspectos teóricos e aplicações ambientais. 2020.

FIGUEIREDO, E. P.. **Ensaio eletroquímico para avaliação da corrosão das armaduras**. 2016.

FINŠGAR, M.; JACKSON, J.. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: a review. *Corrosion Science*, v.86, p.17-41, 2014.

SANTOS, C. F.; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ECHEVARRIA, M. C. C.. **Corrosão**. 2013.

FREIRE, K. R. R.. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. 2005.

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

GUIMARÃES, J.. **Patologias em estruturas de concreto armado, revestimentos e pisos**: estudo de caso de patologias no edifício Piemonte. 2010.

HECK, A. F.. **Análise da viabilidade do uso de benzoato e molibdato como inibidores de corrosão em estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, 2018.

HOEHNE, J. L.. **Estudo da utilização de adesivo estrutural para redução de pontos de solda nas partes móveis de veículos e correlação da estrutura do compósito metal/recobrimento/adesivo formado com seu desempenho mecânico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal De Minas Gerais, 2013.

BORBA JÚNIOR, J. C.. **Agressividade ambiental em zona de atmosfera marinha**: estudo da deposição de cloretos e sua concentração em concretos na região sudeste. 2011.

KANG, H. S.. **Estudo da influência do teor de íons sulfato na corrosão do alumínio em meios de cloreto**. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

MAINIER, F. B.; LETA, F. R.. **O ensino de corrosão e de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente**. 2001.

MEIRA, G. R.. **Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto armado**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MEIRA, G. R.; FERREIRA, P. R. R.. **Revisão sobre ensaios acelerados para indução da corrosão desencadeada por cloretos em concreto armado**. 2019.

MELO, R.; CUNHA, M. L.. **Preparação e Avaliação de Inibidores de Corrosão, à base de Triazina, em Solução de HCl**. 2014.

MODESTO, M. G.. **Efeito inibidor do tungstato de sódio e da amoxicilina em solução e em filmes de acetato de celulose na corrosão da liga de aço-carbono aisi 1020 em nacl 0,05 mol/l**. 2008.

MORENO, V. F.. **Síntese e aplicação de derivados quinolínicos como inibidores de corrosão em aço inoxidável aisi 430**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, 2019.

OLIVEIRA, D. H.; SOARES, R. A. B.; SANTOS, V. H. D.. **Comparação entre as vantagens da utilização de estrutura metálica e estrutura de concreto armado**. 2020.

PANNONI, D. F.. **Fundamentos da Corrosão**. *Pintura Industrial*, v.48, n.16, p.32-35, 2007.

PONTE, H. A.. **Apostila Fundamentos da Corrosão**. Universidade Federal do Paraná, 2003.

PONTES, V. C. P.. Sulfatos na degradação. In: PONTES, V. C. P.. **Efeitos dos sulfatos na degradação do concreto**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, 2019.

RAJEEV, P.; SURENDRANATHAN, A. O.; MURTHY, C. S. N.. Corrosion mitigation of the oil well steels using organic inhibitors: a review. **Journal of Materials and Environmental Science**, v.3, n.5, p.856-869, 2012.

RESENDE, C.; DINIZ, A. F.; MARTELLI, P. B.; BUENO, A. H. S.. **Avaliação da Eficiência de Inibidores de Corrosão para Concretos em Ambientes Contaminados com CO₂ e Íons Cloretos**. 2017.

RODRIGUES, D. C. Q.. **Inibidores sintéticos de corrosão**: Mestrado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

ROMUALDO, M. V. S.. **Estudo de inibidores sintéticos de corrosão para o aço carbono 1020 em meios altamente corrosivos**. 2012.

SILVA, S. S. E.. **Diagnóstico de Estruturas de Concreto em Ambientes Marinhos**: estudo de caso de uma plataforma de pesca. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, 2015.

TREVISOL, C. A.; SILVA, P. R. P.; PAULA, M. M. S.; PELISSER, F.. **Avaliação de inibidores de corrosão para estruturas de concreto armado**. 2017.

UCHÔA, S. B. B.. **Inibição de corrosão em concreto armado: eficiência e comportamento do sistema tiouréia/molibdato de sódio**. Tese (Doutorado em Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, 2007.

VIEIRA, D. V.; PELISSER, F.; PAULA, M. M. S.; MOHAMAD, G.; NÓBREGA, A. C. V.. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado**. 2010.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.