

Isabela de Carvalho Bertuci
Engenheira Civil
isabertuci@gmail.com

Eduarda Bertoletti Duarte
Bacharel em Ciências Biológicas
eduardabertoletti@gmail.com

Luciana Cristina Soto Herek Rezende
Doutora em Engenharia Química
Luciana.rezende@unicesumar.edu.br

UM ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARINHO EM EDIFICAÇÕES COSTEIRAS DE CONCRETO ARMADO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi propor uma solução que possa amenizar a degradação de construções litorâneas de concreto armado causada pelas patologias decorrentes do ambiente marinho, como a carbonatação do concreto e o ataque por íons cloreto. Foi realizada uma revisão bibliográfica de caráter qualitativa e exploratória, nas bases de dados ScienceDirect, SciELO, Scopus e ResearchGate no período de 2000 a 2021. Foram descritos os fatores responsáveis por influenciarem a corrosão do aço, encontrados na atmosfera marinha, bem como as patologias provocadas pelos agentes agressivos, os íons cloreto e o gás carbônico, e a ocorrência do processo de corrosão. Como resultado, duas foram as metodologias propostas para a diminuição da corrosão nas estruturas: a aplicação de produtos hidrofóbicos na superfície do concreto; e a utilização de resíduos de fibra de carbono na mistura do concreto. Dentre as propostas apresentadas, tem-se que a mais viável e de maior aproveitamento é a aplicação de produtos que minimizem o ataque pela água às superfícies das estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: Atmosfera marinha 1. Construção Civil 2. Construções litorâneas 3. Hidrofobicidade 4. Edificações Costeiras 5.

A STUDY ON THE INFLUENCE OF THE MARINE ENVIRONMENT ON COASTAL REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

ABSTRACT

The objective of this work was to propose a solution that would alleviate the degradation of coastal reinforced concrete constructions caused by pathologies arising from the marine environment, such as carbonation of concrete and attack by chloride ions. A qualitative and exploratory literature review was conducted in the ScienceDirect, SciELO, Scopus and ResearchGate databases from 2000 to 2021. The factors responsible for influencing the corrosion of steel found in the marine atmosphere were described, as well as the pathologies caused by aggressive agents, chloride ions and carbon dioxide, and the occurrence of the corrosion process. As a result, two methodologies were proposed to reduce corrosion in structures: the application of hydrophobic products on the concrete surface; and the use of carbon fiber residues in the concrete mix. In between the proposals presented, the most viable and most useful is the application of products that minimize the attack by water on the surfaces of reinforced concrete structures.

Keywords: Marine atmosphere 1. Construction 2. Coastal constructions 3. Hydrophobicity 4. Coastal Buildings 5.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é um material de construção resultante da combinação de cimento, água, agregados e barras de aço, união fundamental para o seu funcionamento estrutural, pois, quando reunidos, resistem simultaneamente aos esforços aos quais foram submetidos. Além da função estrutural, o concreto pode proporcionar a proteção das armaduras contra o meio externo por meio do cobrimento nominal (BOTELHO; MARCHETTI, 2019).

Juntamente com suas propriedades mecânicas, a sua durabilidade é relacionada à vida útil em serviço de estruturas expostas a determinadas condições ou ambientes (GUTIÉRREZ; AGUIRRE, 2013). A agressividade ambiental é classificada em relação ao tipo de ambiente para efeito de projeto, de modo que minimize os riscos de deterioração das estruturas (ABNT NBR 6118, 2014).

A ABNT NBR 6118 (2014) reparte a agressividade ambiental em quatro classes, da menos agressiva à mais agressiva, e determina a qualidade do concreto de cobrimento e os cobrimentos mínimos, como parâmetros de projeto, quanto à classificação do meio. O ambiente marinho possui agressividade forte, pois apresenta riscos de danos às estruturas.

A agressividade do ambiente marinho advém da umidade e concentração de sais presentes no meio, provenientes do aerossol marinho desprendido na quebra das ondas do mar e levado ao continente pelos ventos (BORBA JR, 2011). Assim, as construções situadas em território litorâneo correm o risco de patologias

caso não sejam adotadas medidas de proteção adequadas (MORENO et al., 2018).

Essas condições podem gerar a corrosão das armaduras devido ao ataque de íons cloreto e/ou carbonatação do concreto, os quais agem individualmente ou em conjunto (ADAM et al., 2016). A corrosão das barras de aço provoca a redução da seção resistente, e o tempo de vida útil e a estabilidade estrutural das construções são afetados (MORENO et al., 2018).

Os fatores que influenciam a corrosão das armaduras de edifícios expostos à zona de atmosfera marinha são a distância da costa, velocidade e direção dos ventos predominantes, umidade relativa do ar, presença de ciclos de molhagem-secagem e a existência de obstáculos que aumentam ou diminuem o nível de exposição das estruturas (ADAM et al., 2016).

Diante do exposto, realizou-se um estudo para a minimização do ataque de agentes agressivos provenientes da atmosfera marinha em edificações costeiras de concreto armado, objetivando prolongar a vida útil e prevenir danos. Avaliou-se as opções e limitações de estudos que oferecem medidas resolutivas para conter as deteriorações em construções de concreto armado em ambientes litorâneos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e exploratório, por meio da leitura crítica e interpretativa de artigos científicos, livros, normas e outros documentos relevantes ao assunto.

Quanto aos artigos científicos, foram analisados no idioma inglês, localizados e extraídos de buscas no ScienceDirect, SciElo, Scopus e ResearchGate no período de 2000 a 2021. Foram utilizados os descritores na língua inglesa: Coastal Buildings; Construction Pathologies in Marine Environment; Marine Aerosol; Concrete Carbonation; Corrosion.

Após a análise dos artigos pesquisados, selecionou-se documentos e informações pertinentes, considerando as patologias do ambiente marinho, para o trabalho em questão. Por fim, propôs-se soluções para as patologias em questão, visando minimizá-las, a fim de não comprometer a durabilidade e estabilidade estrutural das edificações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando se trata da durabilidade de uma estrutura qualquer, esta deve atender seus usuários por muitos anos e, ao longo de sua vida útil, precisa oferecer resistir aos fatores ambientais e de uso que alteram suas propriedades técnicas iniciais (ABNT NBR 5674, 2012). Segundo Borba Jr (2011), a baixa durabilidade das estruturas provoca três tipos de problemas: econômicos, ambientais e sociais. O primeiro refere-se aos custos associados à manutenção ou restauração de estruturas degradadas, que nem sempre são inclusos no orçamento da obra e aumentam extraordinariamente com o tempo.

O custo ambiental se deve ao fato da necessidade de remover as matérias primas dos recursos naturais antes que sejam necessárias. O social é tido em conta pela inacessibilidade de serviços, como no caso de um edifício que ameaça desmoronar. Se a estrutura estiver

comprometida, a construção deixa de cumprir suas funções (BORBA JR, 2011).

Para a durabilidade das edificações de concreto armado, método construtivo com diversidades de uso, é de extrema importância a avaliação prévia em projeto para garantir as condições de segurança, estabilidade e funcionalidade durante o tempo de serviço, sem custos presumidos de manutenção e reparos (GENTIL, 2017).

3.1. Concreto e armadura

A principal característica do concreto é resistir aos esforços de compressão, porém, não suporta satisfatoriamente os de tração. Torna-se então, necessária a adição do aço para suprir a parte tracionada da peça de concreto armado (BOTELHO; MARCHETTI, 2019).

A combinação de concreto e aço atende a resistência dos esforços em conjunto, mas o concreto de cobertura protege as armaduras, concedendo uma proteção química, devido ao seu elevado pH, que permite a formação de uma película protetora do aço. Bem como, desenvolve uma barreira física pela espessura de concreto, evitando o contato direto do metal com os agentes agressivos (MEIRA, 2017).

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), as estruturas de concreto armado devem ser executadas conforme foram projetadas, com o intuito de não apresentarem riscos que comprometam sua segurança, estabilidade e vida útil. Desse modo, é exigido que os projetos das estruturas sejam efetuados com a finalidade de resistir às condições ambientais, relacionados à agressividade do ambiente marinho.

O ambiente marinho é considerado um meio de forte agressividade às estruturas de concreto armado pela existência de diversos

agentes invasivos, sejam eles de origem física, química ou biológica. Geralmente, a ação desses agentes acontece simultaneamente (MORILLAS et al., 2020).

Segundo Lima (2011), a água do mar é o principal agente responsável dos processos físicos e químicos de degradação, com alto teor de sais, como cloreto (Cl^-), sódio (Na^+), sulfato (SO_4^{2-}), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}) e potássio (K^+). Eles representam em torno de 99% das espécies químicas dissolvidas na água do mar. A concentração destes varia de acordo com a profundidade, a temperatura, a latitude e a distância da costa.

Em construções costeiras, o efeito do aerossol marinho, que consiste em uma névoa de água salgada, está plenamente interligado com seu distanciamento da costa, ou seja, quanto maior for esta distância, menor será o seu teor de sal. Outro fator determinante para o seu comportamento é o grau de exposição das estruturas ao ambiente (ADAM et al., 2016). O ambiente marinho é dividido em diferentes zonas de agressividade, conforme a região em que a estrutura está localizada, tais como a zona de atmosfera marinha, de respingos, de variação de maré e submersa (LIMA, 2011).

A zona de atmosfera marinha recebe um teor moderado de sais pela pulverização das ondas, transportados pelo ar, e depositam-se na superfície do concreto em forma sólida ou como gotículas de água salgada. Essa névoa salina possui sais inorgânicos (sulfatos, nitratos e cloretos) e matéria orgânica (MORILLAS et al., 2020). O teor de sais presentes no aerossol está associado com o afastamento dos edifícios em relação ao mar (SANGIORGIO et al., 2019). Quanto maior for a distância, menor será o seu

teor de sal, tal como para distâncias maiores do que 750 metros da orla (LIMA, 2011).

Segundo Meira et al. (2008), a maior concentração de íons cloreto aerotransportados estão, nos primeiros 100 m da orla. Todavia, segundo Moreno et al. (2018), em muitos casos a distância dos edifícios em relação ao mar é inferior a 100 metros, sendo necessário se atentar ao grau de exposição destes ao ambiente marinho, de acordo com a distância da costa.

Considerando os elevados níveis de umidade relativa ao ar dos ambientes litorâneos (em torno de 85%), propiciam um gradiente entre a umidade presente nas camadas de concreto mais próximas à superfície e as camadas mais internas do concreto, favorecendo a penetração dos íons cloreto para o interior do material. Além do que, a exposição da estrutura sob a umidade e temperatura controlam os ciclos de molhagem e secagem, que influenciam na velocidade de carbonatação e no transporte de íons cloreto (BALESTRA, 2017).

Acerca da temperatura, em situação na qual está não é afetada a umidade interna do material (ambiente controlado), seu aumento acelera o processo corrosivo. Entretanto, em condições naturais de exposição, quando a temperatura se eleva, o concreto perde umidade interna e a velocidade de corrosão diminui (MEIRA, 2017). A variação térmica, juntamente com a presença de ventos e umidade do ambiente, contribui para a geração de fissuras nas estruturas, facilitando o ingresso de agentes agressivos no concreto (ANDRADE, 2001).

Comumente, os edifícios nos ambientes litorâneos são próximos uns dos outros, nos quais, os que estão expostos podem servir como quebra-vento para outros, protegendo-os dos

efeitos da maresia. A escolha do local apropriado para a construção de um edifício deve ser feita conforme as características do solo e de seu entorno, contudo, geralmente, sobretudo os resorts, preferem basear-se em fatores econômicos e não técnicos (MORENO et al., 2018).

Considerando o que foi observado, tanto as características ambientais quanto as condições de exposição têm influência na vida útil das estruturas de concreto armado atacadas por agentes agressivos. Por esse motivo, deve-se conhecer os parâmetros que influenciam o surgimento de patologias que afetam os edifícios localizados na costa (ANDRADE, 2001).

3.2. Patologias no concreto armado provocadas pelo ambiente marinho

As manifestações patológicas mais comuns e de maior incidência nas estruturas de concreto são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas aparentes no concreto, os ninhos de concretagem e a corrosão das armaduras, sendo esta última mais incidente em edifícios litorâneos por efeito da maresia (HELENE, 1992).

Os mecanismos de deterioração e envelhecimento da estrutura de concreto devem ser considerados na avaliação destas patologias, como os preponderantes de deterioração relativos ao concreto, à armadura e à estrutura propriamente dita. Quanto ao ambiente marinho, evidenciam-se os fenômenos químicos na deterioração relativos à armadura: a despassivação por carbonatação e por cloretos (ABNT NBR 6118, 2014).

3.2.1. Carbonatação

Segundo James et al. (2019), o concreto é alcalino (pH de 12 a 14) e, então é formada

uma película fina que adere ao aço, protegendo-o da corrosão. Na carbonatação, o gás carbônico (CO_2) penetra no concreto pelos poros, reage com os produtos de hidratação de cimento, como hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), e leva à redução do pH, neutralizando sua alcalinidade. Essa combinação gera o carbonato de cálcio (CaCO_3), insolúvel.

A carbonatação atinge o aço, destruindo sua camada protetora e expondo as armaduras à atmosfera, que, na presença de umidade e oxigênio, leva a uma diferença significativa de potencial elétrico. Resulta, dessa forma, em duas regiões, o ânodo (onde o aço é dissolvido), e cátodo (formação dos íons hidróxidos) (JAMES et al., 2019).

O pH do concreto se reduz em torno 8, devido à carbonatação, que segundo Gentil (2017), ocorre pela reação do gás carbônico, com a água provinda do ambiente, leva à despassivação do aço e à corrosão. Dentre os principais fatores induzidos pela carbonatação, que provocam a corrosão, estão a umidade, a porosidade do concreto e a chuva (JAMES et al., 2019). Esse gás dissolvido na água forma o ácido carbônico (H_2CO_3), que possui um pH baixo e acelera o processo de quebra da camada passivadora do aço. Quando entra em contato com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), resulta na produção do carbonato de cálcio (CaCO_3), ocasionando o mesmo processo de carbonatação.

A velocidade da carbonatação depende do teor de umidade do concreto e da umidade relativa do ambiente em relação ao fator água/cimento. Para a verificação da profundidade de carbonatação, utiliza-se a fenolftaleína, que aponta a alcalinidade (GENTIL, 2017).

3.2.2. Íons Cloreto

Sobre a durabilidade das edificações de concreto armado, a corrosão das armaduras provocadas pelo ataque dos íons cloreto é um problema grave às estruturas (ANDRADE, 2001). Em regiões litorâneas, os íons são derivados da névoa salina e depositam-se na superfície do concreto, penetrando no interior do concreto pela rede de poros (MORENO et al., 2015). O ingresso dos íons cloreto na estrutura, neutraliza a camada passivadora do aço, provocando a despassivação das armaduras, iniciando-se o processo de corrosão (GUTIÉRREZ; AGUIRRE, 2013).

Meira (2017) afirma que a corrosão é acelerada quando os íons cloreto reagem com os íons de ferro presentes nas armaduras, resultando em cloretos de ferro (FeCl_2), ainda salienta que estas moléculas de cloreto ferroso perdem estabilidade e, por meio de hidrólise, produzem hidróxido de ferro ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) e liberam os íons cloreto para novas reações.

James et al. (2019) acredita que este processo contribui para a formação de uma célula eletroquímica, na presença de oxigênio e umidade. O concreto irá atuar como eletrólito na célula, e as barras de aço levarão os elétrons do ânodo para o cátodo, fechando o circuito.

A evolução do processo de corrosão introduz mais íons cloreto no concreto, somados aos já existentes formando novas reações. Isso provoca a degradação das armaduras, propagação de fissuras, e prejudica a resistência do concreto (JAMES et al., 2019). A aproximação dos íons cloreto com a armadura não representa, por si só, o início do processo de corrosão. Uma das condições para que se dê início a esse processo é que a quantidade de cloretos seja suficiente para a despassivação do aço (MEIRA, 2017).

Para edifícios de concreto armado expostos a cloretos, como é o caso das estruturas em ambientes marinhos, a ABNT NBR 12655 (2015) especifica que os teores máximos de íons cloreto nessas estruturas seja de 0,15% sobre a massa de cimento e que a máxima relação água/cimento em massa para esse tipo de exposição é de 0,45. Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), o teor de Cl^- é de 0,05% em relação à água de amassamento do concreto.

Essa quantidade é denominada de limite crítico de cloreto e depende de inúmeras variáveis, como o tipo de cimento, relação a/c, espessura do recobrimento, quantidade de umidade, temperatura, agressividade do meio, cura e outros, havendo, portanto, dificuldade de ser estabelecido um limite seguro abaixo do qual não haveria possibilidade de despassivação da armadura de aço (MOTA et al., 2012). Os Cl^- no concreto são determinados por meio de técnicas analíticas via úmida (PEREIRA; CINCOTTO, 2001).

3.2.3. Corrosão

Segundo Meira (2017), o período no qual a estrutura é capaz de cumprir suas funções para as quais foi projetada é chamado de vida útil e possui fase de iniciação e de propagação.

A fase de iniciação é o período em que os agentes agressivos, o dióxido de carbono e os íons cloreto penetram pelo concreto até alcançarem as armaduras e romperem sua película passivadora. Sua duração é monitorada pela permeabilidade, difusibilidade e sucção capilar de gases ou líquido (MOTA et al., 2012).

Conforme Mota et al. (2012), na fase de propagação há aceleração do processo de corrosão pela presença de oxigênio, umidade e temperatura. Nesse estágio apresentam-se as

situações do período de vida útil de serviço que dura até o aparecimento de manchas na superfície do concreto ou fissurações no concreto de cobrimento, ou seu deslocamento; e o período de vida útil total que dura até a ruptura e colapso parcial ou total da estrutura.

A corrosão das armaduras caracteriza-se pela deterioração do aço, que gera óxidos e hidróxidos de ferro por ação eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração ocasionada pela interação entre o aço e seu meio operacional representa modificações prejudiciais desagradáveis no material, como desgaste, alterações químicas na composição ou estruturais, e torna-o inadequado para o uso (GENTIL, 2017).

O mecanismo de corrosão eletroquímica do aço, no concreto, envolve a presença de água ou umidade relativa do meio. No entanto, acontece na presença de um eletrólito, entre uma diferença de potencial de eletrodo e na disponibilidade de oxigênio. Porventura, se algum destes elementos ausentar-se, o processo de corrosão não iniciará ou não será concluído, caso esteja em andamento (MOTA et al., 2012).

Após a ação conciliada da umidade, do oxigênio e de agentes corrosivos, principalmente cloretos, a película passivadora do aço é destruída, dando início ao processo de corrosão. A concentração destes elementos é variável por toda extensão da armadura, resultando em uma pilha de corrosão, devido à presença de um eletrólito que envolve a barra de aço. Através da zona anódica, deriva-se uma corrente elétrica onde ocorrem as reações de oxidação do aço (MOTA et al., 2012).

Devido ao aumento da formação de ferrugem, ocorre uma redução contínua da seção transversal das armaduras, e verifica-se a redução da área de aço determinada a resistir aos esforços de tração e diminuição na resistência de ligação entre o concreto e o aço (BALESTRA et al., 2017). Essa degradação sofrida pelo aço suspende seu uso, e sua durabilidade e desempenho não atendem às suas finalidades (GENTIL, 2017).

Meira (2017) alega que para dificultar a ocorrência de corrosão eletroquímica é indispensável dispor de um cobrimento de boa qualidade e baixa porosidade, evitando a entrada de agentes agressivos e diminuindo a disponibilidade de água e oxigênio. Conforme a ABNT NBR 6118, o cobrimento das armaduras e o controle da fissuração reduzem o efeito da carbonatação e do ataque por cloretos. A norma também estabelece os cobrimentos mínimos segundo a classe de agressividade ambiental e tipo de elemento estrutural.

Na corrosão nas armaduras de concreto armado em ambientes litorâneos, a ação dos íons Cl^- apresentam uma corrosão localizada, denominada puntiforme ou por pite, enquanto a carbonatação dá lugar a uma corrosão do tipo generalizada, chamada uniforme (GENTIL, 2017). Nesse tipo de corrosão, as reações redox ocorrem na extensão da superfície da barra, com perda uniforme de espessura. Já na corrosão por pite, as reações se processam em pontos ou áreas localizadas na superfície metálica (GENTIL, 2017).

Em comparação, a forma de corrosão por pite é uma das mais prejudiciais, visto que, embora afete pequenas partes da superfície da barra, pode provocar a perda de espessura do

material metálico, ocasionando perfurações e pontos de concentração de tensões. Assim, ocorre a diminuição de resistência mecânica do material e possibilidade de rompimento. A caracterização da corrosão segundo a morfologia contribui para o esclarecimento do mecanismo e na aplicação de medidas adequadas de proteção (GENTIL, 2017).

3.3. Métodos resolutivos que previnem a corrosão

3.3.1. Primeiro método

Courard et al. (2021) destacam que a durabilidade e manutenção das edificações litorâneas já existentes, por razões econômicas, são extremamente necessárias para interromper ou reduzir os processos de deterioração por carbonatação e por ataque de íons cloreto em seus estágios iniciais. Contudo, visando manter a integridade destas construções, tais como respeito à aparência original, cor ou textura e integração paisagística, requer-se o uso de técnicas minimamente agressivas e a seleção de materiais estéticos de alta qualidade.

A fim de proteger as estruturas dos agentes agressivos do ambiente, Courard et al. (2021) objetivaram reduzir a presença de água ou infiltrações no concreto com a utilização de produtos hidrofóbicos. Os produtos mais comuns são: silano (SiH_4), siloxano (R_2SiO) e uma mistura desses dois componentes. Neste tipo de tratamento, a superfície interna dos poros é revestida, porém eles não são preenchidos. Estes produtos desempenham a proteção das estruturas de concreto armado contra a entrada de água, bem como retardam a corrosão do aço, diminuindo a velocidade de carbonatação e disponibilidade de vapor d'água.

Este tratamento pode reduzir a taxa de absorção de água, a penetração de sais

dissolvidos em água líquida externa, a penetração de íons cloreto e melhorar a resistência química do concreto. A aparência da superfície de concreto é minimamente afetada ou inalterada. O principal objetivo do tratamento hidrofóbico é aumentar o ângulo de contato da água e reduzir a energia livre superficial do concreto, conforme este ângulo aumenta, o umedecimento da superfície diminui (COURARD et al., 2021). A proteção varia com a condição do substrato de concreto (idade, porosidade, teor de umidade, rugosidade da superfície etc.) e com o processo de tratamento (quantidade e tipo de produto, tempo de escovação e método de aplicação) (COURARD et al., 2021).

Considera-se que a impregnação hidrofóbica se correlaciona à razão a/c e à concentração de produto. Sendo assim, a respeito do desempenho do tratamento em relação à carbonatação, a profundidade de carbonatação diminui quando a concentração de produtos hidrofóbicos aumenta e quando se apresenta uma razão a/c mais baixa (0,5 e 0,6) (COURARD et al., 2021). Sob outro ponto de vista, o tratamento hidrofóbico aparenta não ter nenhum efeito positivo no caso de relação a/c mais alta (0,7), qualquer que seja a concentração do produto ativo, o que provavelmente se deve à porosidade e estrutura dos poros e o teor de umidade, causando a penetração de CO_2 no concreto, favorecendo o processo de carbonatação (COURARD et al., 2021).

3.3.2. Segundo método

Wei et al. (2021) discutem a possibilidade de utilização de resíduos de fibra carbono picada (FCP) na mistura do concreto para reduzir a corrosão do aço em estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho.

A fibra de carbono é um material sintético que possui alta resistência mecânica, resistência à corrosão, baixa densidade e de custo decrescente. Apenas cerca de 60% da produção de compósitos de fibra de carbono é consumida de maneira eficiente, cujo restante é considerado resíduo e seu custo de descarte é elevado, portanto, torna-se uma aplicação valiosa como um recurso sustentável.

No entanto, a aplicação da FCP em estruturas de concreto armado ainda é limitada. Como a superfície da FCP é recoberta por uma película hidrofóbica, ela pode aglomerar-se facilmente durante o processo de mistura, causando pouca dispersão da FCP no concreto. Ainda apresenta um grande risco de corrosão do acoplamento galvânico entre a FCP e as barras de aço, possibilitando a corrosão galvânica, bem como a falta de compreensão dos efeitos de variados teores de FCP na taxa de corrosão de estruturas de concreto armado (WEI et al., 2021). No experimento, foram preparadas vigas de concreto teste em três lotes: lote V1 (viga controle, 0% FCP), lote V2 (2,5% FCP) e lote V3 (5% FCP). Foi aplicado um carregamento contínuo e exposição das amostras em ambientes hostis semelhantes de uma solução marinha de NaCl a 3,5% (fração de massa), um ciclo úmido-seco e alta temperatura (50°C) no laboratório para acelerar a corrosão (WEI et al., 2021).

Os resíduos das amostras foram tratados superficialmente com epóxi para a dispersão uniforme de FCP na mistura de cimento, devido à superfície hidrofóbica da fibra de carbono e para evitar o acoplamento galvânico entre a fibra de carbono e as barras de aço no concreto durante o procedimento. Ademais, os espécimes foram monitorados por 360 dias, utilizando

técnicas eletroquímicas para medição de corrosão, tais como: resistência de polarização linear (RPL) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) (WEI et al., 2021).

A taxa de corrosão diminuiu significativamente nas amostras das vigas de concreto armado com resíduos de FCP tratados com epóxi. Isso pode ser atribuído principalmente à redução da entrada de cloretos nas estruturas pela adição de resíduos de FCP tratados com epóxi para reduzir as atividades corrosivas no ambiente marinho (WEI et al., 2021). A adição de um alto teor de FCP pode levar à diminuição da resistência a corrosão, pois propicia maiores vazios microscópicos na interface sólido/cimento, que aumentarão a taxa de permeação de cloreto na solução de NaCl, o que promove diretamente a difusão de oxigênio e, portanto, diminui a resistência elétrica (WEI et al., 2021).

Desse modo, um teor de 2,5% de FCP deve ser a proporção ideal na redução das atividades de corrosão e a mistura de FCP deve ser adequadamente dispersa no concreto. Medições não destrutivas para detecção do processo de corrosão são recomendadas para avaliar a atividade de corrosão sem destruir as estruturas existentes. Os métodos eletroquímicos de LPR e EIS apresentaram boa concordância nos resultados dos ensaios de deslocamento de carga, onde um menor nível de corrosão correspondeu a uma maior carga final das vigas (WEI et al., 2021).

4. CONCLUSÃO

Em virtude dos aspectos analisados, nota-se a relevância quanto à minimização das

patologias provocadas pelos agentes agressivos provenientes do ambiente marinho, que favorecem a degradação de construções de concreto armado localizadas neste tipo de ambiente, comprometendo sua vida útil. Nesse sentido, foi realizada uma revisão relatando o desempenho das estruturas de concreto armado perante os fenômenos existentes nesta atmosfera, que provocam a corrosão das armaduras. Abordou-se dois métodos resolutivos distintos, porém com a finalidade de reduzir a entrada de agentes agressivos na superfície do concreto armado para a atenuação da taxa de corrosão das armaduras.

O método desenvolvido por Courard et al. (2021) aponta um tratamento com produtos hidrofóbicos para construções já existentes, com o intuito de preservar as estruturas, reduzindo ou interrompendo o processo de corrosão. Aparenta ser uma técnica com uma aplicação não tão complexa e de custo acessível. Contudo, não é integralmente eficiente, necessitando ainda de estudos aprofundados para apresentar maiores resoluções.

Já a metodologia investigada por Wei et al. (2021), sugere a utilização de resíduos de fibra de carbono picada, tratados com epóxi, que pode ser consumido como um material inovador em compósitos de concreto. Apresenta um bom desempenho, porém o custo ainda é elevado para sua aplicação e é indicado apenas para novas construções, sendo recomendados mais estudos sobre o tema, pois são identificadas algumas imprecisões nos resultados.

Em síntese, a técnica mais apropriada para a prolongação da durabilidade das estruturas de concreto armado em meio marinho, reduzindo a entrada de agentes agressivos, é a aplicação

superficial de produtos hidrofóbicos no concreto, por motivos econômicos e de maior aproveitamento.

REFERÊNCIAS

Adam, J. M.; Moreno, J. D.; Bonilla, M.; Pellicer, T. M. Classification of damage to the structures of buildings in towns in coastal areas. *Engineering Failure Analysis*, Valencia, v. 70, p. 212-221, 2016.

Andrade, J. J. O. Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos. 2001. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5674: manutenção de edificações: requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6118: projetos de estruturas de concreto armado: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 12655: concreto de cimento Portland: preparo, controle, recebimento e aceitação: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

Balestra, C. E. T.; Lima, M. G.; Medeiros-Junior, R. A.; Monteiro, A. J. A. E. Parâmetros ambientais e materiais que afetam a penetração de cloretos em estruturas de concreto – estudo de caso da ilha dos arvoredos. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 270-282, 29, 2017.

Borba Jr, José Carlos. Agressividade ambiental em zona de atmosfera marinha: estudo da deposição de cloretos e sua concentração em concretos na região sudeste. 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

- Botelho, M. H. C.; Marchetti, O. Concreto armado eu te amo. 10. ed. São Paulo: Blucher, 2019. 544 p.
- Courard, L.; Zhao, Z.; Michel, F. Influence of hydrophobic product nature and concentration on carbonation resistance of cultural heritage concrete buildings. *Cement And Concrete Composites*, [S.L.], v. 115, p. 103860, 2021.
- Gentil, V. Corrosão. 6. ed. [Reimpr.] - Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- Gutiérrez, R. M.; Aguirre, A. M. Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. *Materiales de Construcción*, [S.L.], v. 63, n. 309, p. 7-38, 21, 2013.
- Helene, P. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.
- James, A.; Bazarchi, E.; Chiniforush, A. A.; Aghdam, P. P.; Hosseini, M. R.; Akbarnezhad, A.; Martek, I.; Ghodoosi, F. Rebar corrosion detection, protection, and rehabilitation of reinforced concrete structures in coastal environments: a review. *Construction and Building Materials*, [S.L.], v. 224, p. 1026-1039, 2019.
- Lima, M.G. Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto, *Concreto: Ciência e Tecnologia*, IBRACON, cap. 21, vol. 1, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo, 2011.
- Meira, G.R.; Andrade, C.; Alonso, C.; Padaratz, I.J.; Borba, J.C. Modelling sea-salt transport and deposition in marine atmosphere zone – A tool for corrosion studies. *Corrosion Science*, [S.L.], v. 50, n. 9, p. 2724-2731, 2008.
- Meira, G. R. Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnósticos e prevenção. João Pessoa: IFPB, 2017. 130 p.
- Moreno, J. D.; Bonilla, M.; Adam, J. M.; Borrachero, M. V.; Soriano, L. Determining corrosion levels in the reinforcement rebars of buildings in coastal areas. A case study in the Mediterranean coastline. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 100, p. 11-21, 2015.
- Moreno, J. D.; Pellicer, T. M.; Adam, J. M.; Bonilla, M. Exposure of RC building structures to the marine environment of the Valencia coast. *Journal Of Building Engineering*, [S.L.], v. 15, p. 109-121, 2018.
- Morillas, H.; Mendonça Filho, F. F.; Derluyn, H.; Maguregui, M.; Grégoire, D.; Madariaga, J. M. Decay processes in buildings close to the sea induced by marine aerosol: salt depositions inside construction materials. *Science Of the Total Environment*, [S.L.], v. 721, p. 137687, 2020.
- Mota, J.M.F; Barbosa, F. R; Costa e Silva, A. J; Franco, A. P. G; Carvalho, J.R. Corrosão de Armadura em Estruturas de Concreto Armado devido ao Ataque de Íons Cloreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54., 2012, Maceió. Anais [...]. Maceió: Ibracon, 2012.
- Pereira, L. F. L. C.; Cincotto, M. A. Determinação de cloretos em concreto de cimentos Portland: influência do tipo de cimento. São Paulo: EPUSP, 2001. 19 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/294).
- Sangiorgio, V.; Uva, G.; Fatiguso, F.; Adam, J. M. A new index to evaluate exposure and potential damage to RC building structures in coastal areas. *Engineering Failure Analysis*, [S.L.], v. 100, p. 439-455, 2019.
- Wei, A.; Tan, M. Y.; Koay, Y.; Hu, X.; Al-Ameri, Riyadh. Effect of carbon fiber waste on steel corrosion of reinforced concrete structures exposed to the marine environment. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 316, p. 128356-128367, 2021.

Autor (a) Isabela Bertucci

Engenheira Civil pela Universidade Cesumar - UNICESUMAR

Autor (a) Eduarda Bertoletti

Bióloga e mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas pela Universidade Cesumar – UNICESUMAR Bolsista CAPES

Autor (a) Luciana C S Herek Rezende

Prof. Dra. Em Engenharia Química. Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas pela Universidade Cesumar – UNICESUMAR Bolsista ICETI