

NOVAS TECNOLOGIAS PARA PREVENIR A CORROSÃO DO CONCRETO EM ÁREAS LITORÂNEAS DO NORDESTE

LAÍS V. P.¹, LUIZ F. S. F.², GECÍLIO P. S.³

Resumo

Esse trabalho aborda os efeitos e desafios causados pela corrosão em estruturas de concreto armado em regiões litorâneas, com destaque para o Nordeste brasileiro. São apresentados os principais tipos de corrosão, causas, impactos e novas tecnologias estudadas para a mitigação do problema, como o uso de inibidores verdes e outros materiais adicionados ao concreto visando melhorar suas propriedades. O estudo demonstra a necessidade da prevenção e manutenção para garantir a durabilidade e segurança das construções expostas a ambientes agressivos.

Palavras-chave: Corrosão; Concreto armado; Inibidores verdes; Estruturas litorâneas.

Introdução

O concreto é um dos materiais mais antigos utilizado pela humanidade, se assemelhando com uma pedra. Sua composição envolve agregados, cimento e água. A água desempenha um papel importante na união e fixação desses materiais, além disso, diferentes misturas são adicionadas para aferir características específicas do próprio concreto. O concreto costuma ser reforçado com barras de aço, antes de ser lançado em moldes. Historicamente, têm-se evidências de ser encontrado a cerca de 2000 anos atrás em Roma, na época era amplamente utilizado na construção de aquedutos e estradas. Sendo assim, um material versátil e com grande durabilidade tendo papel crucial na engenharia ao longo da história^[1]. A corrosão é um problema recorrente nas áreas litorâneas do Nordeste brasileiro, devido à exposição dos materiais a elevada umidade, salinidade, ventos, gradientes de temperatura, entre outros fatores. Assim, as estruturas de concreto podem se tornar vulneráveis à corrosão, comprometendo a durabilidade e a vida útil das estruturas, devido a falha construtiva representando um risco para a segurança das pessoas que utilizam esses espaços^[3].

A deterioração do concreto pode ocorrer por ação química, podendo se suceder na pasta de cimento e no agregado, bem como por lixiviação de componentes e ataque no próprio cimento por meio de ácidos, resultando no aspecto típico do agregado. Por ação eletroquímica ocorre na armadura de reforço, (GENTIL et al 1996)^[2]. Diante desse contexto, é necessário buscar novas tecnologias que possam prevenir a corrosão do concreto nessas localidades, garantindo a preservação dessas estruturas nessas áreas com níveis de alto potencial corrosivo. Neste contexto, este trabalho propõe apresentar algumas tecnologias recentes empregadas com essa finalidade.

Desenvolvimento

2.1. Corrosão de estruturas de concreto em diferentes ambientes

A NBR 6118/2023, em suas instruções, assevera que a deterioração da estrutura de concreto é decorrência da agressividade do ambiente em seu entorno, afetando diretamente a saúde e a durabilidade das estruturas^[3]. Quando se encontram em zonas rurais ou enterradas apresentam níveis de deterioração mais fracos, porém em ambientes marinhos, industriais o risco de deterioração da estrutura é elevado. Fatores como: a umidade do ar, as chuvas, os ventos, a intensidade solar e a presença de contaminantes ar, SO₂, SO₃, SO₄, H₂S, NO_x, dentre outros são de grande importância para determinar os níveis de corrosividade atmosférica local. Os ventos do local são responsáveis em grande parte pelo transporte dos agentes corrosivos, tais como a salinidade (maresia), capazes de afetar as estruturas. A título de informação, em determinadas épocas do ano os ventos no Estado do Ceará podem chegar até 60 km/h conforme mostrado na Figura 1, contribuindo efetivamente para as elevadas taxas de corrosividade na região^[4].

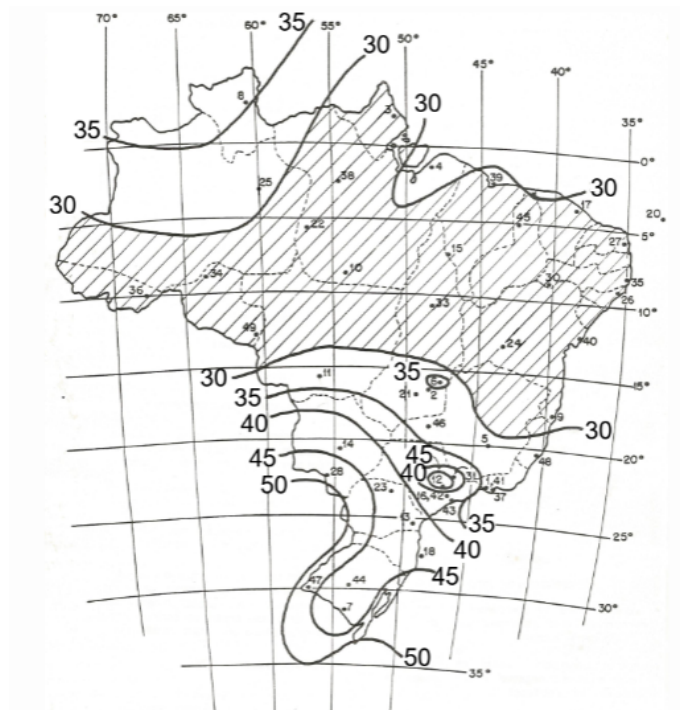


Figura 1. Mapa dos Ventos. (NBR6118/2023 - Projetos de Estruturas de Concreto)

A Figura 2, mostra os tipos de corrosão mais comuns, onde se verifica que a corrosão generalizada ocorre de forma uniforme em toda extensão da estrutura. Já na localizada, o desgaste ocorre em uma superfície limitada tendendo a se aprofundar de modo mais rápido que o processo generalizado. Nos pites, o ataque é gerado em zonas discretas, rompendo a capa passiva, como no caso da ação corrosiva dos cloretos. A formação de fissuras, por sua vez, é decorrente de cargas pontuais direcionais, com ocorrência comum em processos cíclicos de tração. (MEIRA, GIBSON).

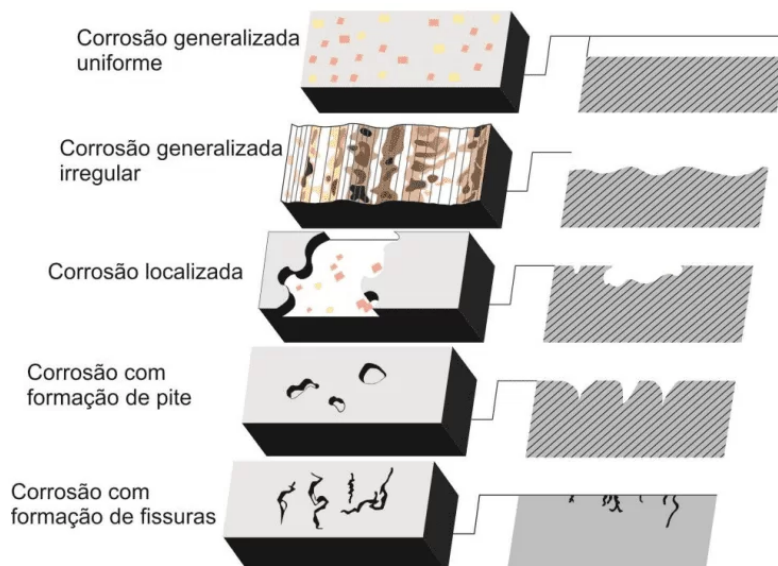


Figura 2. Tipos de Corrosão. (Feliú, 1984)

Nos ambientes rurais, observa-se geralmente baixos níveis de contaminantes químicos quando comparados aos urbanos, que podem apresentar elevadas concentrações de agentes corrosivos, principalmente em zonas industrializadas, gerando grandes problemas com chuva ácida que ajuda no processo de degradação dos materiais. (SICA. 2006).

O nordeste, composto pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, por possuir extensa área litorânea apresenta altas taxas de salinidade, conforme na Figura 3, gerando um grande problema para as estruturas localizadas no litoral^[24].

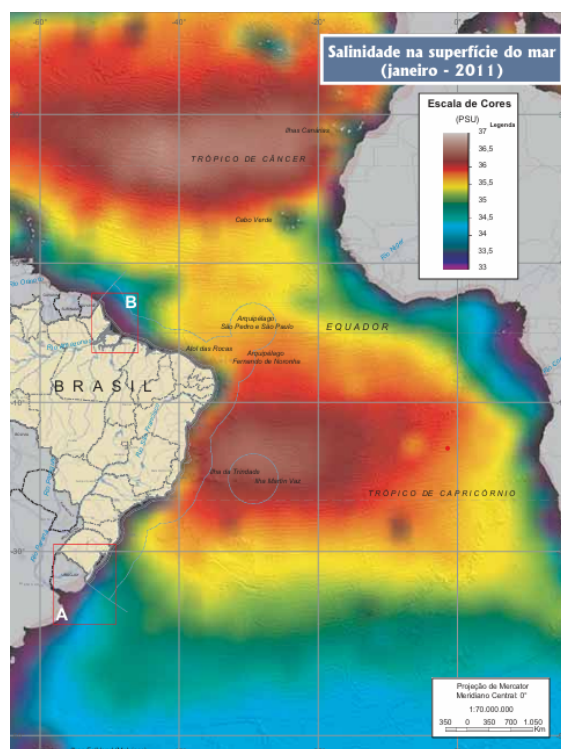


Figura 3.(IBGE)

As taxas de corrosão em áreas marítimas podem atingir de 30 a 40 vezes a das áreas rurais (HELENE, 1986). Em estudos realizados com aerogeradores instalados nestas condições, verifica-se que as estruturas estão sujeitas a diferentes zonas de exposição: partes completamente submersas, expostas a névoa, a variações das marés e de respingo. A partir de análises realizadas, concluiu-se que a zona de respingo da maré é a mais agressiva no que diz respeito à corrosão, enquanto a área que se encontra totalmente submersa na água apresenta a menor taxa de corrosão. (JÚNIOR, 2022)

2.2. Problemas gerados pela corrosão

Problemas causados pela corrosão geram custos diretos e indiretos para a sociedade, que se utiliza de prédios, barragens e pontes localizadas próximos ao litoral. A seguir são citados alguns exemplos vivenciados na região nordeste.

2.2.1 Barragem do Pericumã - Maranhão

A barragem em questão, localizada no município de Pinheiro, perto do Golfo Maranhense, destinada para separar a água salgada da doce, inaugurada no início dos anos 1980 pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), operou por mais de 30 anos sem manutenção apropriada. Em 2019, apresentou problemas estruturais, afetando uma população de 70 mil habitantes^[20]. Com complicações nos cabos de aço das comportas e riscos de rompimentos em seus cabos de sustentação durante os reparos e manutenção realizados pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contrás as Secas)^[21].

2.2.2 Ponte Newton Navarro - Rio Grande do Norte

Uma das principais rotas de deslocamento da capital do estado, a ponte que possui 1,8 km de extensão, inaugurada em 2007, vem sofrendo com desgastes na estrutura metálica, gerando prejuízo e risco à população. A corrosão nas vigas de sustentação e sinais de deterioração nas grades de proteção lateral, afetam os usuários^[22].

2.2.3 Praia do Futuro - Fortaleza

Um local bastante afetado pela maresia dos estados nordestinos, é a Praia do Futuro localizada em Fortaleza, que ao longo dos anos vem prejudicando moradores e empresas hoteleiras. O nível de salinidade decorrente do litoral se assemelha ao do Mar Morto, fazendo com que os prejuízos de manutenção e os danos causados pelo spray marinho seja de mais de R\$ 25 mil reais per capita anuais, em concertos estruturais e trocas de eletrodomésticos, impactando a demanda imobiliária. O setor hoteleiro também encontra dificuldade em manter certos tipos de equipamentos e estruturas de concreto armado. Estas que deveriam durar em torno de 10 anos sem manutenção, degradam-se em torno de 1 a 2 anos. As estruturas de distribuição de energia como fiações e postes também são severamente afetadas. Dados da Enel (Companhia de Energia do estado) apresentaram em 2016 a substituição de 100 postes na região com menos de um ano de uso^[23].

2.3. Concretos que Inibem a Corrosão

Atualmente são conhecidas várias soluções comerciais indicadas para retardar o máximo possível a corrosão gerada em estruturas. Há pelo menos quatro alternativas de composições de cimento e concreto que prometem permeabilidade contra as ações de diversos agentes corrosivos, são estes:

- Concreto de Alto Desempenho (CAD), reduzindo a porosidade e permeabilidade, por utilizar aditivos e adições especiais, aumentando sua resistência podendo chegar a 100 MPa de resistência à compressão, possuindo alta durabilidade e resistência a carbonatação do concreto e protegendo a armação de ambientes corrosivos como os salinos. Além da diminuição do peso e da quantidade de concreto utilizado na obra^[14].
- O material pozolânico que se transformaria em Concreto com Sílica Ativa (CSA), estudado por autores na Noruega na década de 1960, formando o silicato de cálcio hidratado, apresenta uma característica semelhante quanto a formação de Pasta quando se hidrata o cimento, melhorando a resistência do material (TRINDADE, 2017), provocando uma diminuição na reatividade álcali-sílica, excelente na aderência ao aço, diminuindo a corrosão da armadura^[15,16].
- O concreto UHPC (*Ultra High Performance Concrete*) ou Concreto de Ultra Alto Desempenho, é um concreto bem novo no mercado brasileiro, porém possui uma variedade de formas para moldá-lo, pois não possui agregados graúdos como a pedra britada bastante utilizada na construção civil. Esse tipo de tecnologia empregada no mercado nacional pode trazer grandes avanços para a longevidade de estruturas encontradas em áreas litorâneas^[17].
- Concreto Auto-Adensável (CAA), um material bem fluido e de fácil manuseio, desenvolvido no Japão na década de 80, cujo diferencial é a grande quantidade de agregados miúdos em relação aos graúdos, empregando assim mais cimento em sua manipulação, consumindo também a sílica ativa, e diminuindo a porosidade do concreto ou o *filler* calcário como aditivos^[18]. Dessa forma, também é indicado para habitações de interesse social por ser mais acessível. Assim, o CAA se torna um concreto com mais agilidade de produção e fazendo com que construções utilizem bem menos água por conta de seus aditivos superplastificantes, e tendo um melhor acabamento final e mais rápido (TAGLIANI, 2021).

2.4. Inibidores Verdes

As resinas epóxi bem como as vinílicas vêm sendo cada vez mais utilizadas, como tintas para proteção de armaduras e estruturas metálicas na construção civil, tendo em vista o caráter protetivo das mesmas em ambientes diversos, a despeito de suas toxicidades principalmente durante o manejo^[9]. Porém vem surgindo um novo tipo de tratamento mais ecológico, as nanopartículas, que apresentam uma solução mais adequada aos processos de corrosão do aço para a construção civil.

Outros tipos de inibidores verdes tais como o Coco Babaçu, o boldo e pimenta preta, também vêm sendo testados. Entre as vantagens de utilização dos mesmos destaca-se a disponibilidade de amplas áreas de cultivo^[10]. No caso específico do babaçu mais de 12 milhões de hectares vêm sendo cultivados em três estados nordestinos: Piauí, Maranhão e Bahia, tornando viável a distribuição do óleo para outras regiões com mais facilidade. (PERES et al., 2019) relata que o óleo do coco babaçu, em testagem de variações em gramas apresenta ação inibidora

contra corrosão superior a 50% quando comparado a alternativas já disponíveis no mercado (36% de inibição) em condições similares, demonstra maior eficiência, menor toxicidade e custo inferior em comparação aos oferecidos pelo mercado nacional. A Pimenta Preta, originária da Índia, apresentou elevada inibição contra a corrosão. Pois, estudos demonstraram que quanto maior a presença do extrato da planta, maiores os níveis de inibição em casos específicos (superior a 95%) (BEATRIZ et al., 2015).

Resultados e Discussões

Neste trabalho verificou-se que a influência da maresia e dos agentes poluentes no ar afetam diretamente a durabilidade do concreto, levando ao aumento da porosidade e à exposição da armadura. Estudos apontam que regiões com maiores concentrações de cloretos e maior velocidade dos ventos são mais propensas a apresentar patologias estruturais, como fissuração e desprendimento do concreto de recobrimento das armaduras. Por fim, os estudos de caso analisados, como os danos estruturais observados na Ponte Newton Navarro (RN) e na Barragem do Rio Pericumã (MA), reforçam a necessidade de manutenção preventiva e do uso de técnicas construtivas adequadas para ambientes marinhos. Infraestruturas que não recebem inspeção regular apresentam riscos elevados de comprometimento estrutural, o que pode acarretar altos custos de reparação e impactos sociais negativos.

Conclusões

A corrosão em estruturas de concreto armado é um grande problema em áreas litorâneas, devido à presença de cloretos, ventos fortes e alta umidade, que aceleram o desgaste do material. Isso compromete tanto a segurança quanto a durabilidade das construções. Para mitigar esses efeitos, é essencial utilizar materiais mais resistentes à corrosão, adotar técnicas construtivas adequadas e manter um plano de inspeção e manutenção preventiva. Além disso, investir em pesquisas e capacitação que permitam desenvolver soluções mais eficazes e sustentáveis, reduzindo custos e impactos ambientais a longo prazo.

Referências

- [1] A História do Concreto. Disponível em: <<https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2017/03/22/a-historia-do-concreto/>>. Acesso em: 6 mar. 2024.
- [2] GENTIL, Vicente. *Corrosão*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 345 p.
- [3] NBR6118/2023 - Projetos de Estruturas de Concreto
- [4] MARTINS, P. Ventos de até 60 km/h atingirão Fortaleza e outras 168 cidades do Ceará. Disponível em: <<https://gcm.ais.com.br/noticias/2024/08/01/ventos-de-ate-60-km-h-atingirao-fortaleza-e-outras-168-cidades-do-ceara/>>. Acesso em: 8 mar. 2025.
- [5] MEIRA, Gibson Rocha. *Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção*. João Pessoa: IFPB, 2017. 130 p. ISBN 978-85-63406-62-0.
- [6] SICA, Y. C. Mapeamento da corrosividade atmosférica de São Luís – MA e a correlação das variáveis ambientais que influenciaram na degradação dos materiais metálicos. 2006 Trabalho do Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Área de Concentração em Engenharia e Ciências dos Materiais, do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná
- [7] HELENE, Paulo R. L. *Corrosão em armaduras para concreto armado*. São Paulo: Pini/Ipt. Acesso em: 25 set. 2024. , 1986
- [8] JÚNIOR, S. Análise da corrosão em torres de sustentação de aerogeradores: causas e mitigação. Repositorio.ufc.br, 2022. <<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/64646>> Acesso em: 25 set. 2024.
- [9] CLEMENTE, G. et al. O USO DE MATERIAIS HÍBRIDOS OU NANOCOMPOSTOS COMO REVESTIMENTOS ANTICORROSIVOS DO AÇO. Química Nova, 1 jan. 2021.
- [10] COUTINHO, C. Babaçu: riqueza natural do Brasil. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/babacu-riqueza-natural-do-brasil/>>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- [11] PERES, J. et al. Estudo da eficiência do Orbignya oleifera como inibidor verde de corrosão para aço com baixo teor de carbono comparado com inibidor comercial em solução HCl 1M. Matéria (Rio de Janeiro), v. 24, n. 3, 2019.
- [12] Estudos com a folha de boldo do brasil, realizado por (DE OLIVEIRA; DA SILVA; CARDOSO et al.,2018)
- [13] BEATRIZ et al. Inhibitory Effect of Piper Nigrum L. Extract on the Corrosion of Mild Steel in Acidic Media. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 5, 1 jan. 2015.
- [14] NEVES, A. Concreto de Alto Desempenho (CAD): Entenda O Que é e Quais As Suas Aplicações. Disponível em: <<https://www.blok.com.br/blog/concreto-de-alto-desempenho#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20o%20concre>

to%20de%20alto%20desempenho%3F,press%C3%A3o%20e%20tens%C3%A3o%20muito%20superior%20aos%20concretos%20tradicionais.>. Acesso em: 9 mar. 2025.

[15] TRINDADE, Marcos Rogério Diniz. Utilização da sílica ativa na composição do concreto de alta resistência: análise da viabilidade técnica e econômica. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), Palmas-TO, 2017

[16] MAGALHÃES, R. Concreto de sílica ativa (por que está no concreto). Disponível em: <<https://compraco.com.br/blogs/construcao-civil/concreto-de-silica-ativa-por-que-esta-no-concreto>>. Acesso em: 9 mar. 2025.

[17] OBRA, M. DA. As aplicações e inovações do Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC) - Mapa da Obra. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/concreto-uhpc/>>. Acesso em: 9 mar. 2025.

[18] MARKETING TECNOSIL. Concreto auto-adensável: Principais características e aplicações -. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-auto-adensavel-principais-caracteristicas-e-aplicacoes-2/>>. Acesso em: 9 mar. 2025.

[19] Concreto Auto Adensável: exemplos de aplicações em obras. Disponível em: <<https://engenharia360.com/o-que-e-concreto-auto-adensavel/>>. Acesso em: 11 mar. 2025.

[20] Justiça determina recuperação urgente da barragem do Pericumã, no Maranhão da G1 2019: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2019/07/05/justica-determina-recuperacao-urgente-da-barragem-do-pericumã-no-maranhao.ghml>

[21] Barragem do Rio Pericumã enfrenta sérios problemas estruturais, Maranhão, 2013: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2013/03/barragem-do-rio-pericumã-enfrenta-serios-problemas-estruturais.htm>

[22] Crea detecta problemas estruturais na Ponte de Igapó, em Natal By na Ponte Container: G1 Year: 2018 URL: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/crea-detecta-problemas-estruturais-na-ponte-de-igapo-em-natal.ghml>

[23] LIMA, P. Efeitos da corrosão afetam moradores da Praia do Futuro. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/metro/efeitos-da-corrosao-afetam-moradores-da-praia-do-futuro-1.1684128>>. Acesso em: 18 fev. 2025.

[24] Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/atlas/tematicos/16366-atlas-geografico-das-zonas-costeiras-e-oceanicas-do-brasil.html>>. Acesso em: 3 mar. 2025.