

DEGRADATION AND CORROSION MITIGATION STRATEGIES IN STEEL INFRASTRUCTURES: THE CASE OF THE BENEDITO LEITE BRIDGE, CAXIAS-MA

DEGRADAÇÃO E ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DA CORROSÃO EM INFRAESTRUTURAS METÁLICAS: O CASO DA PONTE BENEDITO LEITE, CAXIAS-MA.

DEGRADACIÓN Y ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE LA CORROSIÓN EN INFRAESTRUTURAS METÁLICAS: EL CASO DEL PUENTE BENEDITO LEITE, CAXIAS-MA.

Joymayron Trindade de Souza ¹

Gabriela Silva Barbosa ²

Willian Thiago Campos de Paiva ³

Sérgio Otávio Barbosa Dias ⁴

Francisco Coutinho Pereira ⁵

Valney Moura da Silva ⁶

DESCRIPTORS

Steel structures (ou
Metallic structures),
Corrosion, Structural
pathology, Benedito
Leite Bridge.

ABSTRACT: Steel structures are cornerstones of modern civil engineering, standing out for their high strength, versatility, and speed of construction. However, the integrity of these systems can be compromised by the absence of effective preventive measures against degradation. This paper analyzes corrosive processes in metallic structures, investigating their primary mechanisms, typologies, and conditioning factors. The research adopts a practical approach by examining the Benedito Leite steel bridge, located in Caxias (MA), aiming to evaluate mitigation and prevention strategies that ensure the project's longevity. The results indicate that corrosion is a multifactorial phenomenon, influenced by material composition, environmental exposure (humidity and pollutants), structural design, and mechanical stress. It is concluded that the inadequate management of corrosive processes represents a critical risk to the durability and safety of metallic infrastructures.

DESCRIPTORES

Estruturas metálicas,
Corrosão, Patologia das
estruturas, Ponte
Benedito Leite.

RESUMO: As estruturas metálicas são pilares da engenharia civil moderna, destacando-se pela elevada resistência, versatilidade e celeridade executiva. Contudo, a integridade desses sistemas pode ser comprometida pela ausência de medidas preventivas eficazes contra a degradação. Este trabalho analisa os processos corrosivos em estruturas metálicas, investigando seus principais mecanismos, tipologias e fatores condicionantes. A pesquisa adota uma abordagem prática ao examinar a ponte metálica Benedito Leite, situada em Caxias (MA), com o intuito de avaliar estratégias de mitigação e prevenção que assegurem a longevidade da obra. Os resultados indicam que a corrosão é um fenômeno multifatorial, influenciado pela composição do material, exposição ambiental (umidade e poluentes), design estrutural e tensões mecânicas. Conclui-se que a gestão inadequada dos processos corrosivos representa um risco crítico à durabilidade e segurança das infraestruturas metálicas.

DESCRIPTORES

Estructuras metálicas,
Corrosión, Patología de
las estructuras, Puente
Benedito Leite.

RESUMEN: Las estructuras metálicas son pilares de la ingeniería civil moderna, destacándose por su elevada resistencia, versatilidad y celeridad de ejecución. No obstante, la integridad de estos sistemas puede verse comprometida por la ausencia de medidas preventivas eficaces contra la degradación. Este trabajo analiza los procesos corrosivos en estructuras metálicas, investigando sus principales mecanismos, tipologías y factores condicionantes. La investigación adopta un enfoque práctico al examinar el puente metálico Benedito Leite, situado en Caxias (MA), con el fin de evaluar estrategias de mitigación y prevención que aseguren la longevidad de la obra. Los resultados indican que la corrosión es un fenómeno multifactorial, influenciado por la composición del material, la exposición ambiental (humedad y contaminantes), el diseño estructural y las tensiones mecánicas. Se concluye que la gestión inadecuada de los procesos corrosivos representa un riesgo crítico para la durabilidad y seguridad de las infraestructuras metálicas.

¹ Discente do Curso superior de Engenharia Civil, Centro Universitário de Ciências e Tecnologias do Maranhão, Caxias, Maranhão, Brasil, eng.joymayron@gmail.com

² Discente do Curso superior de Engenharia Civil, Centro Universitário de Ciências e Tecnologias do Maranhão, Caxias, Maranhão, Brasil, arg.gabrielabarbosa@gmail.com.

³ Discente do Curso superior de Engenharia Civil, Centro Universitário de Ciências e Tecnologias do Maranhão, Caxias, Maranhão, Brasil, wthiago3167@gmail.com

⁴ Discente do Curso superior de Engenharia Elétrica, Centro Universitário de Ciências e Tecnologias do Maranhão, Caxias, Maranhão, Brasil, sergiodyas9@gmail.com

⁵ Discente do Curso superior de Engenharia Civil, Centro Universitário de Ciências e Tecnologias do Maranhão, Caxias, Maranhão, Brasil, frankmatematica@hotmail.com

⁶ Docente do Curso de Engenharia Civil, Engenharia Elétrica e Radiologia, Licenciado em Física e Mestre em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Piauí, Centro Universitário de Ciência e Tecnologia do Maranhão - UniFacema. Caxias, Maranhão - Brasil, valneymoura@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO/CONSIDERAÇÕES INICIAIS



As estruturas metálicas desempenham um papel fundamental na engenharia civil, sendo amplamente utilizadas em edifícios, pontes, torres e diversas outras construções devido à sua resistência, versatilidade e rapidez na execução das obras. No entanto, esses sistemas estão suscetíveis a problemas estruturais caso não sejam adotadas medidas preventivas adequadas.

Dentre as patologias que afetam os materiais metálicos, a corrosão do aço merece atenção especial. Assim como outros materiais estruturais, o aço exige cuidados específicos para evitar sua degradação ao longo do tempo. A corrosão é um processo natural e espontâneo que pode comprometer a integridade das estruturas ao reduzir a espessura dos elementos que as compõem. A velocidade desse desgaste está diretamente relacionada às condições ambientais, sendo mais acentuada em locais de alta umidade, áreas poluídas, regiões litorâneas e ambientes com agentes corrosivos, como piscinas [1].

Além disso, a relevância desse tema é significativo quanto a durabilidade das estruturas metálicas. Quando não controlada, a corrosão compromete a integridade estrutural e pode levar a falhas graves,

colocando em risco a segurança das edificações.

Assim, este trabalho pretende analisar os processos de corrosão em estruturas metálicas, identificando seus principais tipos, mecanismos e fatores influenciadores. Além disso, pretende-se compreender suas implicações práticas, analisando a ponte metálica da Benedito Leite, da cidade de Caxias (MA), avaliando possíveis estratégias de prevenção e mitigação para minimizar seus efeitos e garantir maior durabilidade às construções.

Diante desse cenário, se torna essencial a compreensão dos fatores que aceleram o processo corrosivo e adotar medidas preventivas eficazes. A pesquisa busca contribuir para a segurança e longevidade das construções, enfatizando a importância da manutenção periódica e da aplicação de métodos de proteção contra a corrosão.

2. METODOLOGIA



Este trabalho se baseia em uma pesquisa bibliográfica, utilizando como método principal a revisão de literatura. A coleta de dados foi realizada por meio de busca sistemática em bases de dados acadêmicos como Google Acadêmico e na plataforma virtual de livros Minha Biblioteca

utilizando palavras-chave relevantes ao tema

Processos Corrosivos e Engenharia. Foram considerados artigos científicos, livros e teses publicados em português e inglês, nos últimos 5 anos. Após a seleção dos documentos, realizou-se uma leitura minuciosa e crítica dos materiais selecionados, buscando identificar as principais ideias, teorias e resultados apresentados na literatura. As informações relevantes foram organizadas e sintetizadas para compor a discussão e as conclusões deste trabalho.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA



As estruturas metálicas desempenham um papel fundamental na infraestrutura urbana e de transporte, sendo amplamente utilizadas em pontes ferroviárias devido à sua alta resistência mecânica, leveza e durabilidade. No entanto, essas estruturas estão sujeitas a processos de degradação ao longo do tempo, principalmente em regiões de alta umidade e exposição direta aos elementos climáticos.

3.1 – Aspectos Estruturais das Pontes Metálicas

Pontes metálicas são compostas por perfis de aço que trabalham predominantemente à tração e compressão,

sendo projetadas para suportar cargas dinâmicas significativas, como o tráfego ferroviário. A resistência dessas estruturas depende da manutenção adequada e da proteção contra agentes externos, como a corrosão [2].

Figura 1: Ponte Metálica Benedito Leite, Caxias-MA



Fonte: Elaboração própria (2026).

Figura 2: Localização da ponte metálica Benedito Leite, Caxias-MA



Fonte: (GOOGLE MAPS, 2025)

A Ponte Metálica Benedito Leite, que permite a travessia da ferrovia, que tem contribuição direta na ligação Ferroviária de São Luís à Teresina, foi finalizada em 1928. Essa ponte apresenta sérios sinais de desgaste, incluindo a ausência de dormentes,

corrimões danificados e corrosão evidente nas partes estruturais. Esses fatores comprometem a segurança operacional e podem levar a falhas estruturais se não forem adotadas medidas de reparação [3].

3.2 – Processos de Corrosão e Deterioração

Na infraestrutura urbana, diversas estruturas que estão presentes no nosso cotidiano são erguidas com materiais metálicos, como pontes, edificações, estruturas portantes, como outdoors, coberturas, entre outros. A corrosão é um dos principais problemas que afetam estruturas metálicas expostas a ambientes agressivos. O contato constante com água e poluentes atmosféricos acelera a degradação do aço, reduzindo sua capacidade de resistência mecânica [3]. Logo, essa deterioração natural dos materiais é uma patologia a ser evitada na engenharia, uma vez que ela resulta na diminuição da durabilidade e eficácia desse material. No entanto, é um fenômeno que produz uma substância (óxido estável) na superfície que contribui na diminuição da celeridade dos efeitos corrosivos, protegendo-o [4].

3.3 – Tipos de Corrosão:

De acordo com MATLAKHOV [5], a corrosão do aço pode ser classificada entre os tipos baseados por mecanismos e por sua

morfologia, sendo eles:

3.3.1 – Classificação baseada no mecanismo.

A corrosão pode ocorrer por mecanismos químicos ou eletroquímicos, variando conforme o meio ao qual o metal está exposto.

- Corrosão química: Ocorre em ambientes não eletrolíticos, como gases secos (aquecidos ou não), gases úmidos em temperaturas superiores a 100 °C, solventes orgânicos sem água, sais fundidos e metais líquidos.

- Corrosão eletroquímica: ocorre em meios eletrolíticos, como o ar úmido, águas naturais (doces ou salgadas), solos úmidos e soluções aquosas, onde há presença de um eletrólito que permite a transferência de cargas.

3.3.1 – Classificação baseada na morfologia.

- Corrosão uniforme: O metal se desgasta de forma igual em toda a sua superfície, causando uma perda de espessura contínua e previsível.

- Corrosão irregular: O desgaste ocorre em toda a superfície, porém de maneira desigual, formando regiões mais afetadas que outras. Conforme ilustrado na figura 4 e 5.

- Corrosão por placas: A corrosão aparece em áreas específicas e se espalha

tanto lateralmente quanto em profundidade, formando regiões bem definidas de ataque.

- Corrosão alveolar: Desenvolve-se em regiões específicas da superfície, formando cavidades com diâmetro semelhante à profundidade.

- Corrosão por pites: Inicia-se em pequenos pontos isolados e se aprofunda no metal, podendo se propagar a longas distâncias. Conforme ilustrado na figura 6,7 e 8.

- Corrosão interna: Começa em áreas localizadas e avança ao longo dos contornos dos grãos, paralelamente à superfície do material.

- Corrosão intergranular: Ocorre nos contornos dos grãos e se estende por grandes distâncias, geralmente paralela à superfície.

- Corrosão transgranular: Propaga-se através dos grãos do metal, avançando em direção perpendicular à superfície.

- Corrosão intertransgranular: Acontece tanto nos contornos quanto no interior dos grãos, com propagação perpendicular à superfície.

- Corrosão filiforme: Desenvolve-se ao longo de riscos ou defeitos superficiais, sem grande penetração no material.

- Corrosão por manchas: Surge em regiões isoladas da superfície, sem se expandir significativamente pelo metal. Conforme ilustrado na Figura 3.

- Corrosão em trincas: Ocorre no interior de fissuras estreitas, principalmente em suas extremidades, avançando em profundidade.

- Corrosão em fendas: Desenvolve-se em espaços confinados e estreitos (como juntas), com propagação significativa no interior do metal. Conforme ilustrado na figura 9 e 10.

- Corrosão em juntas soldadas: Aparece ao redor do cordão de solda, especialmente na zona termicamente afetada, podendo avançar no material.

- Corrosão seletiva: Consiste na remoção preferencial de um dos elementos da liga metálica, afetando a superfície e podendo se propagar internamente.

Figura 3: Corrosão por manchas no piso da passarela da ponte.



Fonte: Elaboração própria (2026).

Figura 4 e 5: Corrosão irregular nos rebites e internamente às treliças da Ponte Metálica Benedito Leite, Caxias–MA.



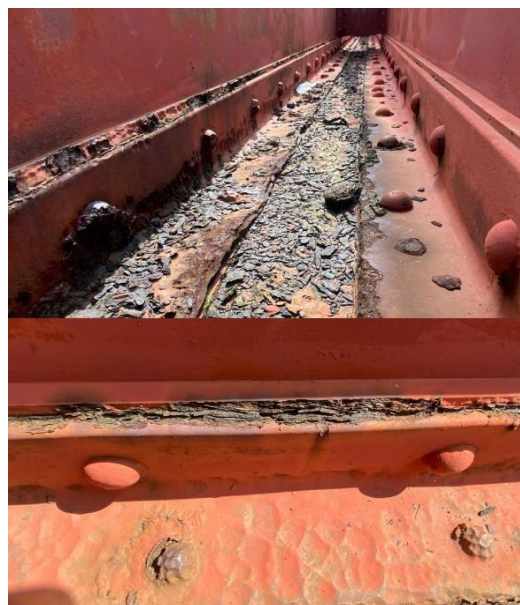
Fonte: Elaboração própria (2026).

Figura 6, 7 e 8: Corrosão por pites, no corrimão e chapas do piso da passarela de pedestres da Ponte Metálica Benedito Leite.



Fonte: Elaboração própria (2026).

Figura 9 e 10: Corrosão em fendas, na viga interna da ponte metálica do Benedito Leite



Fonte: Elaboração própria (2026).

Dessa forma, a deterioração da ponte metálica do trem em Caxias–MA demonstra a urgência de uma avaliação estrutural mais aprofundada e manutenção preventiva.

3.4 – Inibidores de Corrosão

Conforme Tolentino [4], é possível inibir os efeitos da taxa de corrosão desde que tenha conhecimento de alguns fatores que permitem apontar o inibidor apropriado para diminuição da degradação do metal e sugerir formas de produção quanto a composição do meio corrosivo para a liga metálica ou os seus revestimentos, são eles: o mecanismo de corrosão e a composição da liga metálica e do meio corrosivo.

Inibidores de corrosão são elementos que podem se apresentar em meios corrosivos podendo decrescer a taxa de

corrosão caso esteja em concentrações baixas, impedindo o avanço da corrosão [7]. Os procedimentos mais comuns para controle de corrosão utilizam-se de proteções espontâneas resultantes do processo corrosivo, que criam uma barreira de proteção impossibilitando a degradação do metal. Para garantir que este método seja à prova de falhas, é essencial que a superfície passe por um tratamento de remoção de impurezas que limpe resquícios como graxa, materiais oleosos e óxidos provenientes da corrosão [4]

De acordo com Gentil [7], os inibidores podem ser classificados com base em sua composição e comportamento. Em relação à composição, são divididos em orgânicos e inorgânicos. Já quanto ao comportamento, incluem categorias como oxidantes, não oxidantes, anódicos, catódicos e de adsorção.

3.5 – Normas e Manutenção de Estruturas Metálicas

Conforme as normas técnicas, como a **ABNT NBR 9452** [8], inspeções regulares são essenciais para identificar patologias estruturais e garantir a segurança das pontes ferroviárias. A manutenção preventiva envolve o uso de revestimentos de proteção, a troca de componentes desgastados e a execução de ações para minimizar o efeito de cargas dinâmicas [9].

4. CONCLUSÕES



Diante disso, concluímos que a corrosão em estruturas metálicas é um problema significativo que compromete a durabilidade, a resistência e a integridade de diversas construções e equipamentos. Conforme observado, a corrosão ocorre devido a uma reação química ou eletroquímica do material com o ambiente, apresentando-se de várias maneiras, cada uma com suas próprias características e mecanismos.

Conforme os resultados obtidos, a corrosão é influenciada por diversos fatores, incluindo a composição do metal, as condições ambientais (como umidade, temperatura e poluentes), o design da estrutura e a presença de tensões mecânicas. Para mitigar esse problema, existem métodos preventivos eficazes, como a aplicação de revestimentos protetores, o uso de inibidores de corrosão e a adoção de um design estrutural que reduza a exposição a ambientes agressivos. Além disso, uma comunicação visual adequada pode auxiliar na identificação precoce de riscos, contribuindo para a preservação das estruturas metálicas.

Contudo, é necessário a implementação de programas de monitoramento e conservação regulares para detectar e aliviar a corrosão antes que cause

danos significativos, entretanto utiliza-se de estratégias de manutenção é de fundamental importância para garantir a longevidade e segurança das estruturas.

REFERÊNCIAS

- 
1. E SILVA, Ana Lydia Reis de Castro; FAKURY, Ricardo Hallal; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto**. [S. l.]: Pearson Universidades, 2015. 496 p. ISBN 8543001129.
 2. TROPPER, P. *Engenharia de Estruturas Metálicas*. Porto Alegre: Bookman, 2005.
 3. HELENE, P. *Durabilidade das Estruturas de Concreto e Aço*. São Paulo: PINI, 2002. LIMA, R.; SILVA, M. *Patologias em Pontes Metálicas e Estratégias de Manutenção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
 4. TOLENTINO, Nathália Motta de C. **Processos Químicos Industriais Matérias-primas, Técnicas de Produção e Métodos de Controle de Corrosão**. Rio de Janeiro: Érica, 2015. E-book. p.141. ISBN 9788536531106. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536531106/>. Acesso em: 03 abr. 2025.
 5. MATLAKHOV, Anatoly Nikolaevich. **Corrosão e Proteção dos Materiais**. [S. l.]: Paco Editorial, 2021. 340 p. ISBN 8546210586.
 6. GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. E-book. p.1. ISBN 9788521637998. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521637998/>. Acesso em: 03 abr. 2025.
 7. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
 8. SOUZA, A.; MELO, C. *Inspeção e Manutenção de Infraestruturas Ferroviárias*. Recife: UFPE, 2017

