

# AVALIAÇÃO PATOLÓGICA DE ESTRUTURAS METÁLICAS INDUSTRIAIS

## PATHOLOGICAL ASSESSMENT OF INDUSTRIAL STEEL STRUCTURES

LIMA, João Guilherme Baía<sup>1</sup>  
PIMENTEL, Fabiano de Carvalho<sup>2</sup>

**RESUMO:** As estruturas metálicas são amplamente utilizadas em diversos setores, como construção civil e indústria, tendo seu uso expandido no Brasil desde 1812, com o crescimento das siderúrgicas, como a CSN em 1946. Suas vantagens sobre estruturas de concreto incluem menor peso, maior resistência à corrosão, flexibilidade de projeto e rapidez na construção. No entanto, patologias como corrosão, fadiga e deformações, além de problemas de projeto e execução, afetam a segurança e durabilidade das estruturas. Este estudo visa analisar tais patologias, suas causas e propor soluções por meio de revisão bibliográfica, buscando garantir o desempenho e durabilidade das edificações.

**Palavras-chave:** Estruturas metálicas. Patologia, corrosão.

**ABSTRACT:** Metal structures are widely used in various sectors such as construction and industry, with their usage expanding in Brazil since 1812, coinciding with the growth of steelworks like CSN in 1946. Advantages over concrete structures include lighter weight, greater corrosion resistance, design flexibility, and faster construction. However, pathologies such as corrosion, fatigue, deformations, along with design and execution issues, affect the safety and durability of these structures. This study aims to analyze these pathologies, their causes, and propose solutions through literature review, ensuring optimal performance and longevity of buildings.

**Keywords:** steel structures, pathology, corrosion.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil – Universidade Santa Úrsula – joao.lima@souusu.com.br

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Civil – COPPE e Docente da Engenharia Civil – Universidade Santa Úrsula – fabiano.pimentel@usu.edu.br

## 1 INTRODUÇÃO

Patologia, em termos gerais, é o estudo das doenças. É uma palavra de origem grega, que se divide em duas palavras: “PATHOS” e “LOGOS”, ou seja, estuda a origem, os sintomas e a natureza das doenças. No contexto das estruturas, patologia refere-se às alterações que ocorrem nessas estruturas ao longo do tempo, causando perda de sua integridade e funcionalidade. Essas alterações podem ser causadas por diversos fatores, como agentes físicos, químicos e biológicos.

As estruturas metálicas são amplamente utilizadas em diversos setores da indústria, como: na construção civil; em edifícios comerciais, industriais e residenciais; na indústria de óleo e gás; plataformas de petróleo e gás; na mineração, em estruturas de apoio à mineração; em Energia; usinas hidrelétricas, eólicas e solares, e na área de Transporte; em pontes, viadutos e vias férreas.

No Brasil, a produção de ferro teve seu marco inicial por volta de 1812, e o significativo progresso na fabricação de perfis em larga escala foi impulsionado com o estabelecimento das grandes siderúrgicas. Um exemplo notável é a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), que iniciou suas operações em 1946.

O emprego de estruturas metálicas no território brasileiro vem crescendo nos últimos anos, devido às suas vantagens em relação às estruturas de concreto armado, dentre os quais: menor peso próprio; maior resistência à corrosão; maior flexibilidade de projeto e maior velocidade de construção.

A ocorrência de patologias em estruturas metálicas é uma preocupação significativa na engenharia civil e na construção. Essas patologias podem incluir corrosão, fadiga, trincas e deformações, comprometendo a integridade e a segurança das estruturas além de falhas de projeto e execução.

Compreender as causas subjacentes, os mecanismos envolvidos e as medidas preventivas é crucial para garantir a segurança, funcionalidade, durabilidade e a eficácia dessas estruturas ao longo do tempo garantindo que a sua plena utilização ao longa da vida útil a que fora projetada.

O objetivo deste estudo é analisar os problemas predominantes encontrados em sistemas estruturais e construtivos, com ênfase na identificação das patologias mais frequentes, sua origem e causas. Além disso, buscamos propor soluções eficazes para abordar esses problemas e, assim, estabelecer uma base de dados abrangente e confiável.

A coleta e sistematização das informações, realizadas por meio de uma revisão

bibliográfica de artigos científicos e documentos técnicos sobre o tema, têm como finalidade auxiliar na identificação das causas mais comuns de patologias. Essa análise subsidia a avaliação das causas do processo corrosivo acelerado dos elementos metálicos de um pipe rack localizado no píer do Terminal Aquaviário de Barra do Riacho. Além disso, visa avaliar a segurança da estrutura e determinar uma solução adequada para reparar as patologias encontradas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O uso do aço no Brasil tem uma história que remonta ao século XIX, quando a primeira fábrica de ferro foi construída no Rio de Janeiro em 1812.

De acordo com DIAS (1997), as primeiras obras em aço eram vinculadas à construção das primeiras estradas de ferro no Brasil.

Para a construção da primeira usina siderúrgica de grande porte em território nacional (Companhia Siderúrgica Nacional) foi preciso importar perfis metálicos para a conclusão dos galpões. Até a década de 70, as construções metálicas eram restritas praticamente a instalações industriais e galpões metálicos. Somente a partir de meados dos anos 80 a estrutura metálica começou a ser utilizada em maior escala em nosso país. Estamos vivendo atualmente uma expansão do uso de novas tecnologias de construção, incluindo aqui outros sistemas estruturais (CASTRO, 1999).

Ainda de acordo com CASTRO (1999), o aço está sendo redescoberto pelos nossos projetistas, que estão procurando aproveitar suas vantagens.

O uso do aço ainda é limitado a alguns setores de alto poder aquisitivo, mas está se tornando cada vez mais popular, conquistando uma parcela maior do mercado.

Projetos estruturais em aço são um campo relativamente especial de projetos de construção. Os projetos da estrutura de aço diferem dos projetos de engenharia estrutural convencionais principalmente nos problemas especiais que devem ser considerados durante a construção, transporte, instalação e operação (RIBEIRO, 1997 apud MOREIRA et al, 2019).

Neste mesmo sentido BAUERMANN (2002) afirma que, no desenvolvimento dos projetos deve-se levar em conta todo o processo de produção, e no caso das construções metálicas, incluem-se a fabricação de componentes industrializados, o transporte e a montagem dos mesmos, resultando em um plano de atividade que deve ser desenvolvida pelos especialistas envolvidos no projeto.

O aço possui diversas vantagens no seu uso onde podemos destacar no seu uso na

indústria e construção civil:

- Resistência: o aço é um material muito resistente, o que permite a construção de estruturas mais leves e eficientes.
- Ductilidade: o aço é um material dúctil, o que significa que ele pode ser deformado sem quebrar. Essa propriedade é importante para absorver impactos e evitar danos estruturais.
- Durabilidade: o aço é um material durável, o que significa que ele pode suportar condições adversas por longos períodos.
- Flexibilidade de projeto: as estruturas metálicas podem ser projetadas de forma mais flexível do que as estruturas de concreto armado, o que permite a construção de estruturas com formas mais complexas.
- Menor peso próprio: o aço é um material mais leve que o concreto armado, o que facilita o transporte e a montagem das estruturas.
- Reaproveitamento: o aço é um material 100% reciclável, o que contribui para a sustentabilidade.

O aço possui inúmeras vantagens como elemento estrutural, como a elevada resistência, possuindo o maior índice de resistência quando verificada a relação da resistência com o peso específico do material. Assim, devido a sua leveza e grande resistência, é o material mais indicado para elementos estruturais em grandes vãos. Além disso, devido seu processo industrial e sua composição química, o aço obtém elevada ductilidade e alto grau de confiança quanto a suas propriedades físicas, deixando o projeto estrutural mais confiável (FAKURY et al, 2016 apud CASTRO, RIBAS, 2021).

De acordo com LOPES (2001) uma das características da estrutura metálica é a fácil adaptação e versatilidade de concepção as necessidades específicas de cada aplicação, pois raramente uma solução adotada para uma aplicação é aproveitado em outro projeto.

As melhorias de produtividade são atribuídas aos avanços tecnológicos em equipamentos e métodos de construção nas últimas duas décadas. Projetos estruturais de aço são um campo relativamente especial de projetos de construção. Existem muitos fatores que afetam a produtividade nesse campo. A indústria da construção, especialmente a construção de projetos de estrutura de aço, é classificada como uma das principais indústrias, e ajuda no desenvolvimento e alcance do objetivo da sociedade (PRAVIA, BETINELLI, 1998).

Assim a estrutura metálica passa a ter um papel de muita importância, harmonizando desempenho estrutural à limpeza visual, além de apresentar um único desempenho quanto a

esforços de tração e compressão, atendendo as qualidades que os engenheiros almejam (DIAS, 1997).

De acordo com PRAVIA e BETTINELLI (1998) apud PORTES (2022), projetar uma estrutura é dar solução para a segurança, funcionalidade, durabilidade, os quais necessitam da mesma prioridade. As falhas ou acidentes estruturais tem sua origem em qualquer ação ligada ao processo de construção. Na construção metálica as determinações seguem as fases: concepção estrutural (projeto, detalhamento e dimensionamento), fabricação, montagem, utilização e manutenção. Visualizam se as falhas como um resultado de execução humana: a ineficácia técnica do pessoal comprometido em toda a fase no processo de construção, utilização de materiais de má qualidade, de causas naturais provocando o envelhecimento precoce dos materiais que compõem as estruturas (por exemplo, corrosão) e de ações externas ambientais conforme pesquisas feitas pelos próprios autores.

Com o aumento do uso do aço nas estruturas metálicas dos projetos de edificações, em especial nas instalações industriais, é inevitável discorrer sobre os problemas a que estas estruturas estão sujeitas, isto é, sobre as ocorrências patológicas desde o projeto até a manutenção ao longo da vida útil da edificação.

Segundo com MOREIRA e RIPPER (1998), Patologia das Estruturas é o estudo das origens, formas de manifestações, consequências e mecanismos de ocorrências das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

O termo patologia, na construção civil, é interpretado como um processo de deterioração dos materiais responsáveis por compor o sistema estrutural, onde cada material tem seu modo particular de reagir aos agentes externos e internos, em que cada material tem uma velocidade de degradação diferente um do outro (BESSA, 2019).

Em consonância com os demais autores, CASTRO e RIBAS (2021), definem patologia da construção como:

*[...] “o estudo das causas, efeitos e consequências do desempenho insatisfatório das edificações, destinado a apurar e corrigir defeitos em construções, prevenindo e evitando-se, assim, problemas futuros. As manifestações patológicas, por sua vez, são vícios ou defeitos de construção que se instalam nas edificações por falhas de projeto, execução, utilização ou falta de manutenção (CASTRO e RIBAS, 2021).*

É essencial a identificação e levantamento das patologias existentes nas edificações e estruturas, afim de se obter um diagnóstico da origem e das causas de forma a viabilizar um tratamento adequado para estruturas construídas bem como servir de *know how* para evitar a repetição destas ocorrências em projetos futuros.

Segundo GUTERRES (2016), o levantamento de anomalias num conjunto de edifícios deve servir para que os processos de intervenção, quer em edificações antigas quer em

edificações atuais, que estejam apresentando anomalias, devem ser executados depois de cumprido um longo percurso investigatório; o qual começa pelo levantamento, análise e interpretação da situação existente e culmina num diagnóstico das manifestações anômalas identificadas. Só assim poder-se-á estabelecer os parâmetros entre os quais poderemos atuar, definindo os níveis aceitáveis de qualidade e segurança com que a construção ficará após a intervenção de recuperação.

As patologias em estruturas metálicas, relacionam-se aos processos de corrosão presentes em seus elementos estruturais constituintes. E, mesmo quando identificadas de forma localizada, como em ligações soldadas e parafusadas, são capazes de levar toda a estrutura ao colapso, resultando em incidentes com prejuízo material ou até acidentes com perdas humanas. Portanto, quanto mais cedo forem analisadas e sanadas, menores serão os custos de manutenção e os riscos de acidentes no local (XEREZ NETO, CUNHA, 2020).

Os estudos sobre patologias em estruturas são baseados em informações abordadas em estudos anteriores sobre análise de materiais, caracterização e técnicas de construção. Não é de nenhum valor para considerar os mecanismos reais de causa e efeito isoladamente, sem considerar natureza dos materiais e sistemas dentro do contexto maior em que as considerações e decisões são tomadas (SANTOS, 1998).

Como se sabe, no Brasil não há uma especificidade de clima, sendo possível acompanhar no mesmo dia desde elevadas temperaturas até fartos volumes de chuva, e essas intempéries colaboram para o aparecimento de manifestações patológicas que estão correlacionadas com um ou mais modelos de deterioramento de construções em estrutura metálica que vão de construções simples como: residenciais e comerciais até as construções de grande porte, como: pontes, viadutos, túneis, obras hidráulicas (PORTES, 2022).

Já SACCHI e DE SOUZA (2016) dizem que os agentes agressivos que afetam o comportamento das construções durante o seu tempo de vida útil são:

- Ações ambientais: elevada umidade, respingos de marés;
- Agentes externos agressivos: águas contaminadas, terrenos com solo contaminado, gases nocivos, produtos químicos;
- Causas naturais ligadas ao envelhecimento dos materiais componentes das estruturas (corrosão).

Ainda em relação as origens das patologias, porém mudando o foco da constituições dos materiais e o meio em que estão inseridos, os problemas nas estruturas metálicas também podem estar relacionados às etapas de construção, desde a concepção do projeto até a operação

e manutenção da instalação.

As patologias na construção civil podem ter várias origens, desde projetos inadequados até a má qualidade dos materiais empregados. Outros fatores que podem contribuir para o surgimento de patologias são: falta de controle tecnológico, falhas na etapa de construção, equipe sem preparo para projetos mais elaborados e falta de fiscalização por parte dos gestores ou responsáveis pela execução do empreendimento.

Para CASTRO e RIBAS (2021) principais fatores que levam ao surgimento de patologias nas construções são: a concepção incorreta de projetos, o emprego de materiais impróprios, a simples utilização e a falta de manutenção.

As anomalias em estruturas metálicas também são, na grande maioria, resultantes de falhas de projetos, erros na fabricação e montagem das estruturas causadas por negligência ou inexistência de controle de qualidade ou então da falta de manutenção (SACCHI, DE SOUZA, 2016).

O Quadro 1 ao lado indica as principais origens de manifestações patológicas na construção civil em geral.

Fontes de anomalias na construção	
Causa	Porcentagem
Projeto	42,00%
Execução	28,40%
Materiais	14,50%
Uso	9,50%
Vários	5,60%

FONTE: HENRIQUES (2001).

Por outro lado, em sua pesquisa, OLIVEIRA (2013) identificou que a ocorrência de problemas patológicos em edificações está associada a diferentes fases do processo construtivo. Na Europa, a maior incidência ocorre durante a fase de projeto, enquanto no Brasil, a fase de execução é responsável por 52% dos problemas, seguida pelo projeto, com 18%. Portanto, a implementação de um sistema de gestão da qualidade é fundamental para garantir a execução adequada da obra.

Segundo SACCHI e DE SOUZA (2016), as principais anomalias em projetos são citadas em exemplos práticos, conforme abaixo:

- Inexperiência de projetistas;
- Incompatibilidade dos projetos de estruturas metálicas e concreto armado;
- Falhas no gabarito de furação;
- Falta de detalhamento das ligações;

- Furos não previstos em projeto, realizados no momento da montagem;
- Locais inacessível para aperto dos parafusos;
- Locais de difícil acesso para montagem das estruturas;
- Peças grandes e local confinado para a montagem da estrutura.

Portanto, é necessário divulgar os aspectos construtivos do aço, incluindo os problemas típicos desse tipo de sistema estrutural. Para isso, é importante estudar as patologias nas estruturas de aço nas edificações, para que os profissionais envolvidos possam se basear nessas informações na hora de projetar e executar suas obras.

De acordo com XEREZ NETO e CUNHA (2020) podemos dividir as principais patologias das estruturas metálicas em três categorias: adquiridas, transmitidas e atávicas.

- **Patologias Adquiridas:** provenientes da ação de elementos externos, como poluição atmosférica, umidade, gases ou líquidos corrosivos e vibrações excessivas provocada pelo uso inadequado da estrutura. A corrosão é a mais visível.
- **Patologias Transmitidas:** originárias de vícios ou desconhecimento técnico do pessoal de fabricação ou montagem da estrutura. É o caso, por exemplo, de soldadores que não se preocupam em retirar a pintura dos pontos de solda, ignorando que a carbonização da tinta prejudica a qualidade do serviço. Estão inclusos, também, os casos de falta de prumo.
- **Patologias Atávicas:** resultantes de má concepção de projeto, erros de cálculo, escolhas de perfis inadequados, ou, do uso de tipos de aço com resistência diferente das consideradas no projeto. Não são fáceis de reparar, costumam exigir reforços, tais como escoramentos.

Segundo PRAVIA e BETINELLI (2016) as manifestações patológicas mais comuns e suas causas podem ser destacadas no Quadro 2 abaixo:

QUADRO 2: As manifestações patológicas mais comuns e as principais causas.	
Manifestações patológicas no aço	Principais causas
Corrosão localizada	Causada por deficiência de drenagem das águas pluviais e deficiências de detalhes construtivos, permitindo o acúmulo de umidade e de agentes agressivos.
Corrosão generalizada	Causada pela ausência de proteção contra o processo de corrosão.
Deformações excessivas	Causadas por sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos no projeto original, ou ainda, deficiências na disposição de travejamentos.
Flambagem local ou global	Causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou deficiências no enrijecimento local de chapas, ou efeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto e cálculo.
Fratura e propagação de fraturas	Falhas estas iniciadas por concentração de tensões, devido a detalhes de projeto inadequados, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas no projeto.

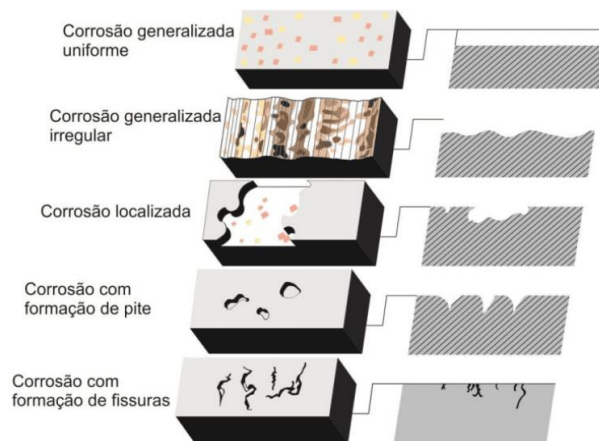
FONTE: PRAVIA e BETINELLI (2016).

Para HELENE (1993), a corrosão é uma interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica.



- **Corrosão localizada:** afeta uma parte limitada da superfície metálica e provoca a formação de cavidades.
- **Corrosão generalizada:** Corrosão que se processa em toda extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura.
- **Corrosão galvânica:** Caracterizada por um processo eletroquímico, que normalmente ocorre entre metais ou duas ligas metálicas dissimilares, conectadas eletricamente e em contato com o meio corrosivo.

**Figura 1- Tipos de corrosão**



Fonte: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/corrosao>

De maneira técnica as principais corrosões citadas por XEREZ NETO e CUNHA (2020) no estudo das patologias advindas de corrosões são do tipo uniforme (Foto 1), alveolar, galvânica, puntiforme ou pitting ou por pites (Foto 2), por lixiviação, entre outras.

A implantação de um controle de qualidade no detalhamento, fabricação e montagem

**Foto 1 – Corrosão Uniforme**



Fonte: PONTE (2003)

**Foto 2 - Corrosão por pites**



Fonte: ASTM (2014)

das estruturas garante a redução da necessidade de intervenções para corrigir falhas. Utilizar ensaios não destrutivos é uma ferramenta de grande importância na avaliação da integridade e

do atual estado de uso das edificações (COSTA, 2012).

O uso de materiais de construção especiais resistentes à corrosão, a aplicação de barreiras inertes como a pintura, a utilização de métodos de proteção catódica ou anódica, bem como os ajustes no meio eletrólito ou corrosivos da química, a aplicação de inibidores específicos para controle de corrosão, além da aplicação de sistemas anti-corrosivos (LEMARG, 2020).

Para um bom resultado é de extrema importância, a integração entre as áreas de projeto, fabricação e montagem de uma estrutura metálica, onde deverão ser discutidas as soluções de projetos e as características das peças fabricadas, de tal forma a se evitar na montagem a não disponibilidade de equipamentos, custo excessivo, incompatibilidade da sequência construtiva, alteração no esquema estático e falta de segurança do trabalho. (SACCHI, DE SOUZA, 2016).

Um bom diagnóstico das causas das patologias, bem como a definição métodos de reparo e reforço é essencial para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas metálicas. A identificação das principais causas e as estratégias de prevenção e controle são fundamentais para a implantação de um projeto.

### **3 METODOLOGIA**

Para atingir os objetivos propostos neste estudo, foi realizada uma inspeção detalhada dos elementos metálicos de ligação na estrutura pré-moldada de concreto do Pipe Rack, localizado no Píer do Terminal Aquaviário da Barra do Riacho. Esta inspeção foi motivada pela observação de um avançado processo de corrosão nesses componentes.

Inicialmente, procedeu-se com a realização da inspeção visual da estrutura, que permitiu a identificação preliminar de danos nos elementos de ligação entre vigas e pilares. Esta fase incluiu uma vistoria geral, seguida de uma análise táctil-visual minuciosa, abrangendo todos os elementos de ligação das vigas longitudinais e transversais no primeiro nível, bem como suas conexões com os pilares correspondentes. Em segmentos específicos do Pipe Rack, foi possível realizar a inspeção até o topo da estrutura.

Os objetivos específicos do estudo de caso foram:

- Identificar as principais manifestações patológicas nos elementos metálicos;
- Analisar as causas subjacentes aos danos observados;
- Avaliar a capacidade portante residual da estrutura em decorrência da perda de espessura;
- Estabelecer a prioridade de tratamento para os danos identificados;

- Propor um procedimento de recuperação estrutural adequado.

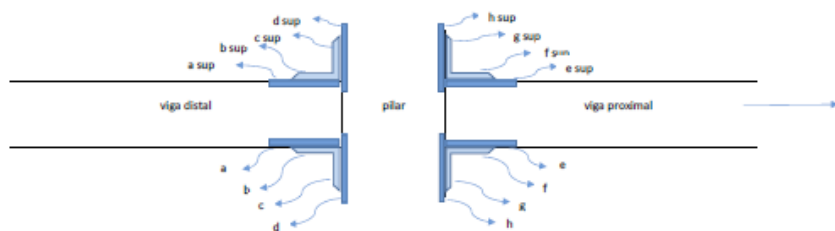
Complementando a inspeção visual, e com o intuito de quantificar a severidade do processo corrosivo, realizou-se uma inspeção ultrassônica para medir a perda de espessura em amostras selecionadas das chapas metálicas. Esta técnica não-destrutiva possibilitou uma avaliação precisa da degradação material e suas implicações na integridade estrutural.

A medição da espessura foi executada por amostragem em diversos pórticos do Pipe Rack. Os resultados foram sistematizados em tabelas, considerando a localização de cada ponto medido e a espessura correspondente, conforme indicado pelo equipamento de ultrassom. As posições dos pontos de medição foram codificadas alfabeticamente de "a" a "h" para os elementos inferiores, e de "aSUP" a "hSUP" para os pontos superiores.

Os dados obtidos nas medições de espessura foram compilados e serão apresentados na Tabela 01, fornecendo uma base sólida para a definição do escopo do procedimento de recuperação estrutural a ser implementado.

**Tabela 01**

Tramo (Pórtico)	Pilar (a partir da casa de controle)	Ponto	Medição de espessura (mm)							
			Posição nos insertos	Inserto distal	e projeto	perda de e (%)	Posição nos insertos	Inserto proximal	e projeto	perda de e (%)
18	2	1	a	11,72	12,5	6%	e	11,33	12,5	9%
			b	15,87	16	1%	f	16,09	16	-1%
			c	15,92	16	1%	g	15,97	16	0%
			d	14,01	16	12%	h	13,99	16	13%
17	3	2	a	11,27	12,5	10%	e	11,88	12,5	5%
			b	16,04	16	0%	f	15,95	16	0%
			c	14,98	16	6%	g	15,9	16	1%
			d	13,97	16	13%	h	15,15	16	5%
			a superior	10,69	12,5	14%	e superior	12,14	12,5	3%
			b superior	12,69	16	21%	f superior	12,79	16	20%
			c superior	12,78	16	20%	g superior	12,84	16	20%
			d superior	11,99	16	25%	h superior	11,8	16	26%
	3 - face oposta	3	e	12,23	12,5	2%	a	12,16	12,5	3%
			f	15,92	16	1%	b	16,12	16	-1%
			g	15,91	16	1%	c	15,96	16	0%
			h	16,01	16	0%	d	15,61	16	2%
15	5	4	a	10,11	12,5	19%	e	11,09	12,5	11%
			b	16,01	16	0%	f	15,83	16	1%
			c	14,32	16	11%	g	15,92	16	1%
			d	12,93	16	19%	h	15,23	16	5%
14	6	5	a	11,69	12,5	6%	e	12,25	12,5	2%
			b	15,92	16	1%	f	16,09	16	-1%
			c	14,2	16	11%	g	15,91	16	1%
			d	13,67	16	15%	h	15,27	16	5%
13	7	6	a	11,21	12,5	10%	e	11,09	12,5	11%
			b	15,08	16	6%	f	15,94	16	0%
			c	15,03	16	6%	g	15,56	16	3%
			d	14,3	16	11%	h	13,85	16	13%
12	8	7	a	11,87	12,5	5%	e	12,23	12,5	2%
			b	16,08	16	0%	f	15,97	16	0%
			c	15,53	16	3%	g	15,96	16	0%
			d	15,48	16	3%	h	15,35	16	4%



Fonte: RL-4150.70-6315-140-PEI-101

## 4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso concentra-se no Terminal Aquaviário de Barra do Riacho – TABR,

implantado entre os anos de 2010 e 2013. A infraestrutura em foco é o Pipe Rack do Pier, que foi projetado com uma estrutura pré-moldada de concreto. Essa estrutura é caracterizada pela utilização de 'inserts' metálicos para a ligação por engastamento entre pilares e vigas. Na direção transversal, os elementos metálicos de ligação são complementares aos apoios isostáticos formados pelos consolos nos pilares e dentes nas vigas. Já na direção longitudinal, a estabilidade da ligação entre pilares e vigas depende exclusivamente desses elementos metálicos.

A foto 04 ilustra uma visão geral do Pipe Rack, enquanto a foto 05 detalha a ligação por engastamento. Estas imagens evidenciam a configuração estrutural mencionada.

*Foto 04 – Visão geral Pipe Rack*



*Fonte: RL-4150.70-6315-140-PEI-101*

*Foto 05 – Elementos de ligação*



*Fonte: RL-4150.70-6315-140-PEI-101*

Menos de três anos após a finalização da construção do Pipe Rack, foi observado um intenso processo corrosivo nos elementos metálicos de ligação entre vigas e pilares. Este fenômeno suscitou preocupações significativas relacionadas não só à durabilidade da estrutura, mas também à sua estabilidade.

Durante a avaliação, todos os dados foram identificados e analisados. As observações foram feitas com base nas normas técnicas aplicáveis, bem como em ilustrações e manuais de referência. A análise criteriosa dos dados coletados proporcionou uma compreensão aprofundada do caso, revelando as causas potenciais das manifestações patológicas e delineando possíveis estratégias de reparo para a estrutura em questão.

## **5 RESULTADOS**

Durante a inspeção realizada, foi evidenciado um processo corrosivo significativo ao

longo de todo o Pipe Rack. A maioria dos elementos metálicos de ligação entre vigas e pilares, bem como as chapas do topo das vigas transversais de apoio da Tubulação, foram afetados por este fenômeno. As principais manifestações patológicas observadas incluíram:

- a) Esfoliação nas superfícies das chapas metálicas (Foto 6);
- b) Esfoliação em algumas soldas (Foto 7);
- c) Fendilhamento do concreto na altura de embutimento das chapas, tanto nas vigas quanto nos pilares (Foto 8).

*Foto 06 – Esfoliação na chapa*



*Fonte: RL-4150.70-6315-140-PEI-101*

*Foto 07 – Esfoliação na solda*



*Fonte: RL-4150.70-6315-140-PEI-101*

*Foto 08 – Fendilhamento no concreto*



*Fonte: RL-4150.70-6315-140-PEI-101*

A análise revelou que a causa desse processo corrosivo intenso e precoce nos elementos metálicos de ligação da estrutura pré-moldada está relacionada a uma possível falha no sistema de pintura anti-corrosiva, seja na especificação ou na execução do mesmo. De acordo com a norma N-1550, para ambientes marítimos como a orla marítima onde o Pipe Rack está situado, os elementos metálicos estruturais devem ser protegidos de acordo com a Condição 2 - Ambiente de alta agressividade. Esta condição exige a aplicação de demãos específicas de tintas

epóxi, conforme normas N-2630 e N-2628, com 100 µm (tinta de fundo) de fosfato de zinco de alta espessura e 200 µm (tinta de acabamento) de tinta epóxi poliamida de alta espessura, respectivamente.

Contudo, a análise da documentação de qualidade de pintura revelou que os elementos de ligação da estrutura foram protegidos apenas com uma demão de tinta de fundo, como documentado no relatório de inspeção de pintura e tratamento de superfície, Figura 2.

**Figura 2 – Trecho do Relatório de Inspeção de Pintura e Tratamento de superfície**

APLICAÇÃO DAS TINTAS					
		1º DEMÃO	2º DEMÃO	3º DEMÃO	4º DEMÃO
Norma Utilizada		N-2630			
Fabricante		Akzo Nobel Ltda			
Cor		Cinza Claro 0085			
Certificado		575226-577993			
Lote de Fabricação	Componente A	LJ 7435 BRB1			
	Componente B	LJ 7604 BRA8			
Data de Validade	Componente A	09/2011			
	Componente B	09/2011			
Temp. Ambiente (°C)		31			
U.R.A. (%)		62			
Temp. do Substrato (°C)		29			
Ponto de Orvalho (°C)		22			
Início	Data	24/01/11			
	Hora	12:00			
Término	Data	24/01/11			
	Hora	15:00			
Método Aplicação		PISTOLA CONVENCIONAL			
Película Seca Especificada (µm)		100			
Película Seca Encontrada (µm)		Ver descrição			
Aderência		Gr 0			
Laudo		Aprovado			
DESCRIÇÃO DAS PEÇAS/EQUIPAMENTOS					
PEÇA	Qtd.	M²	RUGOSIDADE (µm)	EPS (µm)	EPS (µm)
inseto(cartoneira 3" x 3/8" + barra chata 2" x 1/2"	43	-	50	127	
Inseto 2060 x 150	07	-	50	127	
inseto(cartoneira 4x 3/4 + chapa 5/8 + barra rod. 1/2"	1	-	50	127	

Fonte: RL-4150.70-6315-140-PEI-101

Além disso, a análise tátil-visual dos elementos metálicos de ligação entre vigas e pilares mostrou que, apesar das espessuras aparentes das camadas esfoliadas nas superfícies das chapas, a perda de espessura desses elementos metálicos é pequena, aproximadamente 6,5%.

A avaliação por ultrassom concentrou-se exclusivamente na medição da espessura das chapas afetadas pelo processo corrosivo, sem aprofundar-se na inspeção das soldas. Isso ocorreu porque a patologia identificada nessas juntas era superficial.

A memória de cálculo do projeto executivo do Pipe Rack não incluía a verificação estrutural dos elementos metálicos de ligação, limitando-se ao carregamento das vigas longitudinais pelo peso próprio, que resultava em um esforço cortante de 24,3 kN nos elementos

de ligação com os pilares. Entretanto, foi identificada a presença de carregamentos adicionais devido ao bandejamento de cabos e aos dutos de pequeno diâmetro no nível superior do Pipe Rack. Para maior segurança, optou-se por considerar um carregamento no elemento de ligação equivalente ao dobro do peso próprio da viga, ou seja, 48,60 kN.

Com base no esforço cortante de 48,60 kN atuante no inserto 5, determinou-se a tensão de tração resultante na chapa, alinhada aos chumbadores superiores, conforme a expressão: (1):

$$\sigma_{\text{atuante}} = \frac{48,60\text{kN}}{2x[(0,260 - 3x0,0125)x0,016x(1 - 0,065)]\text{m}^2} = 7.300,36\text{kPa} = 7,3\text{MPa} \quad (1)$$

A análise da expressão (1) revela que a tensão de tração atuante no material da chapa é significativamente inferior à sua tensão admissível, aproximadamente 250 MPa.

Apesar da perda de espessura das chapas, a análise estrutural demonstrou que a capacidade portante da estrutura pré-moldada não foi comprometida pois esta perda de espessura não compromete a segurança estrutural devido a tensão de tração resultante na chapa, no alinhamento dos chumbadores superiores, ser inferior à sua tensão admissível.

Diante das manifestações patológicas observadas e das implicações da degradação nos elementos metálicos de ligação na capacidade portante da estrutura pré-moldada, e visando reparar os danos causados pela corrosão e garantir a segurança da estrutura, foi definido um procedimento de recuperação que consiste nos seguintes passos:

- 1°. Remoção do concreto rompido junto aos elementos metálicos de ligação e das chapas das vigas transversais;
- 2°. Preparação das superfícies metálicas e do concreto conforme N-1550, considerando as peculiaridades do estado atual dos elementos e a existência de tubulações e cabos elétricos;
- 3°. Complementação das soldas onde necessário, seguindo as especificações do projeto executivo e as normas técnicas pertinentes;
- 4°. Aplicação do sistema de pintura anti-corrosiva preconizado pela N-1550, Condição 2, em todos os elementos metálicos de ligação, nas chapas e nos vergalhões das vigas transversais;
- 5°. Preenchimento com argamassa estrutural tixotrópica C-30 MPa dos vazios decorrentes do fendilhamento do concreto, aplicando o procedimento de preparação da superfície recomendado pelo fabricante da argamassa;
- 6°. Proteção com pintura epoxídica impermeabilizante das superfícies dos elementos

estruturais pré-moldados onde o fendilhamento do concreto envolveu pequeno volume, sem expor a armadura;

- 7°. Aplicação de pintura epoxídica impermeabilizante na superfície do concreto, numa faixa de 10cm de largura, contornando todos os elementos de ligação da estrutura e as chapas de topo das vigas transversais.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise detalhada dos agentes agressivos que comprometem a integridade das construções civis ao longo de sua vida útil, destacando a corrosão como a principal manifestação patológica em estruturas de aço, conforme identificado por SACCHI e DE SOUZA (2016) e corroborado por HENRIQUES (2001). As falhas nos processos de fabricação e montagem, especialmente na etapa de pintura, foram reconhecidas como fatores críticos para o surgimento dessa patologia.

Os resultados do estudo de caso indicaram que, apesar da variabilidade nas perdas de espessura detectadas pelo ultrassom, não se faz necessária a implementação de reforço estrutural. A interrupção do processo corrosivo permite a aceitação das estruturas no estado atual, uma vez que as espessuras das chapas metálicas foram definidas considerando aspectos construtivos.

As conclusões obtidas permitem afirmar que:

- i. A requalificação da superfície e a aplicação de um sistema de proteção conforme o projeto original são medidas suficientes para recuperar a capacidade resistente e prolongar a vida útil da estrutura.

- ii. Em locais onde as soldas começaram a corroer, será essencial realizar uma preparação adequada da superfície e executar os complementos necessários.

- iii. É possível estabelecer um procedimento de recuperação que minimize a necessidade de recursos adicionais.

É importante ressaltar que os custos efetivos para a solução adotada não foram contemplados neste estudo, conforme o procedimento definido para o reparo dos elementos metálicos.

Este artigo abre caminho para futuras pesquisas que possam não apenas analisar as causas e as medidas corretivas das patologias em estruturas metálicas, mas também avaliar a vida útil remanescente das estruturas sob as cargas existentes sem intervenções corretivas. Além disso, sugere-se a avaliação do projeto original quanto à escolha de ligas metálicas mais



resistentes e a análise de custo-benefício da utilização de conexões metálicas em comparação com estruturas de concreto. Tais estudos contribuirão significativamente para o aprimoramento das decisões de projeto e para a exploração das potencialidades das estruturas metálicas na engenharia civil.

## REFERÊNCIAS

**AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM E8.**

Disponível em: <[www.astm.org/Standards/E8.htm](http://www.astm.org/Standards/E8.htm)>. Acesso em: 20/06/2023.

AZEVEDO NETO, João Henrique M.; OLIVEIRA, Renan Santos; SANTOS, Erika Fernanda; FROTA, Matheus Handeri A.; SALMÃO, Pedro Emilio A.. **Patologias em estruturas metálicas. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, Teófilo Otoni, V. 10, out. 2022. ISSN 2178-6925. Disponível em:

<[https://revistas.unipacto.com.br/storage/publicacoes/2022/1162\\_patologias\\_em\\_estruturas\\_metalicas.pdf](https://revistas.unipacto.com.br/storage/publicacoes/2022/1162_patologias_em_estruturas_metalicas.pdf)>. Acesso em: 20/08/2023.

BAUERMANN, M. **Investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos de aço**. 2002. 269 p. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002.

BESSA, A. R. O. **Manifestações patológicas em estrutura metálica: um estudo de caso da corrosão, causas e consequências em pilares treliçados na cidade de Água Nova-RN. Monografia**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Bacharel em Engenharia Civil. 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5057/1/Ant%c3%b4nioROB\\_MONO.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5057/1/Ant%c3%b4nioROB_MONO.pdf)>. Acesso em: 25/09/2023.

CASTRO, E. C.; RIBAS, R. A. J. Análise de manifestações patológicas na interface entre estrutura metálica e sistemas de fechamento: estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 7, p. 72904-72918, jul. 2021.

CASTRO, Eduardo M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. 1999. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

COSTA, F. G. **Manutenção das estruturas metálicas com utilização dos ensaios não destrutivos**. In: **Construmetal 2012**. São Paulo, 2012.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo: Zigurate Editora, 1997.

GUTERRES, P. R. C. Argamassas de reabilitação: Estudo da sua utilização e do seu comportamento para o tratamento e recuperação de construções afetadas por eflorescências. **Tese (Doutorado em Engenharia Civil)** – Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2016.

HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. **Tese de Doutorado**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

LEMARG Engenharia. **Corrosão em metais – Princípios e prevenção**, 2020. Disponível em: <<https://lemarg.com.br/corrosao-em-metais/>>. Acesso em: 05/10/2023.

LOPES, J. A. E. Produtividade da mão-de-obra em projetos de estrutura metálica. . **Dissertação Mestrado em Engenharia Civil** – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MOREIRA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

OLIVEIRA, Daniel Ferreira. Levantamento de causas de patologias na construção civil. **Trabalho de conclusão de graduação**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, 2013.

PETROBRAS. **N-1550**: Pintura Externa de Estruturas Metálicas em Aço Carbono de Instalações Terrestres. Disponível em: <<https://canalforneceador.petrobras.com.br/regras-de-contratacao/catalogo-de-padronizacao#especificacoes-tecnicas>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

PETROBRAS. **N-2628**: Tinta epóxi poliamida de alta espessura. Disponível em: <<https://canalforneceador.petrobras.com.br/regras-de-contratacao/catalogo-de-padronizacao#especificacoes-tecnicas>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

PETROBRAS. **N-2630**: Tinta de fundo epóxi de alta espessura. Disponível em: <<https://canalforneceador.petrobras.com.br/regras-de-contratacao/catalogo-de-padronizacao#especificacoes-tecnicas>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

PETROBRAS. **RL-4150.70-6315-140-PEI-101**: Inspeção dos elementos metálicos de ligação da estrutura de concreto do pipe rack do píer. Rio de Janeiro, 2016.

PONTE, H. A. Fundamentos da Corrosão. **Apostila** da disciplina eletroquímica aplicada e corrosão. Universidade Federal do Paraná. 2003. 16p. Disponível em: <<http://www.gea.ufpr.br/arquivos/lea/material/Apostila%20Corrosao.pdf>>. Acesso em: 18/12/2023.

PORTES, C. P. **Patologias em estruturas metálicas**: Estudo de caso em torres de linha de transmissão. **Artigo** apresentado à Unisul como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, Santa Catarina, 2022.

PRAVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A. **Conceito e estudos de casos de falhas em estruturas metálicas**. Construção Metálica, São Paulo, n.35, p.56-61. 1998.

RIBEIRO, L. F. L. **Elementos de aço II**. Disciplina do curso de pós-graduação em construção metálica – CIV762, UFOP. Ouro Preto, 1997. Apud MOREIRA et al. **Estudo de patologias em estruturas metálicas e o impacto ambiental na produção do material**. Semioses: Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade. Rio de Janeiro, 2019.

SACCHI, C. C. A.; DE SOUZA, S. C. Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, p. 1-15, 2016.

SANTOS, P. **Consultoria preventiva na construção com aço acompanha a gestão de qualidade. Construção Metálica.** São Paulo, p. 10-17, 1º trimestre de 1998.

XEREZ NETO, J. D.; CUNHA, A. S. **Estruturas metálicas:** Manual prático para projetos, dimensionamento e laudos técnicos. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2020.