

Estudo das patologias em estruturas metálicas

Jerry Amorim Leal Júnior¹

Paulo Roberto Cabana Guterres²

Resumo

O artigo em questão tem como foco a análise de patologias em estruturas metálicas como um todo, trazendo uma revisão bibliográfica que permitirá identificar as causas de tais patologias e suas consequências às construções afetadas, bem como propor metodologias corretivas e, principalmente, preventivas. Tendo como referência ser um método menos convencional no Brasil que o uso do concreto armado e conseqüentemente com menor atenção para suas patologias, esse trabalho tem como objetivo promover a disseminação de informações que resultam na minimização de problemas construtivos básicos em estruturas de aço por meio de planejamentos eficientes e detalhamentos que se atentem para a área abordada. A pesquisa abrange aspectos desde inspeções durante a fabricação até a montagem das estruturas metálicas, trazendo um enfoque sobre a realização de projetos bem detalhados visando uma economia nas áreas de manutenção e correção. Conclui-se que existe a necessidade de precauções e o estabelecimento de uma metodologia eficiente para execução de tais obras.

Palavras-chave: Metodologias corretivas; fabricação; montagem; problemas construtivos.

Study of pathologies in steel structures

Abstract

The article in question focuses on the analysis of pathologies in metallic structures as a whole, bringing a bibliographical review that will allow to identify the causes of such pathologies and their consequences to sustainable constructions, as well as to propose corrective and, mainly, preventive methodologies. Having as a reference that it is a less conventional method in Brazil than the use of reinforced concrete and

¹ Graduando, Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

² Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

consequently with less attention to its pathologies, this work aims to promote the dissemination of information that results in the minimization of basic constructive problems in steel structures through efficient planning and details that pay attention to the area addressed. The research covers aspects from inspections during manufacturing to the assembly of metallic structures, bringing an approach on the realization of very detailed projects aiming at savings in the areas of maintenance and correction. It is concluded that there is a need for care and the establishment of an efficient methodology for the execution of such works.

Keywords: corrective methodologies; manufacturing; assembly; constructive problems.

1 Introdução

Patologias na área da construção civil são frequentes e difíceis de evitar, tornando-se, quase que impossível a não ocorrência de nenhuma patologia durante a vida útil de uma obra; no entanto o estudo das possíveis anomalias se torna necessário para que haja uma menor ocorrência das mesmas, tendo em vista o melhor aproveitamento da edificação com menor custo em manutenções, além de maior segurança da estrutura como um todo. Em obras construídas em estruturas metálicas as manifestações patológicas são variadas; mas, com predominância de corrosões, um dos focos deste trabalho, presentes em seus elementos estruturais constituintes. Tais patologias podem acarretar um colapso parcial ou total da estrutura, mesmo quando pontual; em caso de ligações e furações; e, até a necessidade de reforços e

manutenções frequentes. Assim quanto mais estudos e precauções, menores são os custos e os riscos.

Estruturas de aço chamam a atenção por sua rapidez e versatilidade no momento de sua montagem, mostrando uma maior eficiência em tempo de construção do que nas obras convencionais, contudo no Brasil é um método construtivo menos expressivo. Essa menor participação é acarretada pelo uso enraizado do método construtivo mais convencional do Brasil, construção em concreto armado, mas também decorre da menor familiarização desse mesmo por parte dos brasileiros. As vantagens da construção com estruturas metálicas acarretam diversos ganhos e diferenciais, no entanto apresentam desafios menos convencionais ao meio da construção civil brasileira, tais desafios que serão destrinchados

com o intuito de enriquecer o conhecimento sobre eles.

Posto isto, este trabalho tem a intenção na análise de patologias em estruturas metálicas como um todo, acarretando um estudo que permitirá identificar as causas de tais patologias e suas consequências às construções afetadas, bem como propor metodologias corretivas e, principalmente, preventivas, agregando conhecimento de casos e fornecendo material técnico ao uso deste sistema construtivo.

1 Materiais e métodos

A metodologia desenvolvida nesse trabalho é a de pesquisa bibliográfica trazendo combinações de conhecimentos a respeito do tema em si, uma pesquisa qualitativa a respeito das patologias em estruturas metálicas que foca buscar as causas e possíveis correções, assim como analisar possíveis efeitos preventivos.

2 Revisão bibliográfica

Nesse item será exposto a pesquisa bibliográfica realizada, trazendo embasamentos teóricos das possíveis causas e efeitos de vícios construtivos que

resultam em patologias em estruturas metálicas.

2.1 Patologias

O estudo de patologias é uma área da construção civil de extrema importância, tendo em vista que toda estrutura tem uma determinada vida útil. De acordo 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. Segundo Lichtenstein (1985), estes problemas podem ser apresentados de forma simples, sendo assim, de diagnóstico e reparo evidentes, ou então, de maneira complexa, exigindo uma análise individualizada.

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.

Para Helene (1993), alguns fenômenos são responsáveis por patologias nas estruturas; são eles: agentes atmosféricos e biológicos, variações de temperatura e de umidade, incompatibilidades de materiais e cargas excessivas.

Toda estrutura se deteriora com o passar do tempo, seja de pequeno porte e afetando poucas pessoas, como uma casa, até obras de maior porte e maior impacto na vida das pessoas, como pontes, prédios e barragens. Portanto, é de responsabilidade do engenheiro projetar e executar obras de maneira a minimizar manutenções e prolongar a vida útil, como é de responsabilidade do usuário dessa obra, quer privada quer pública, fazer a manutenção para preservá-la. Assim, se uma construção segue os parâmetros e rigores das normas técnicas e vistorias, estas ações irão prevenir o surgimento de patologias; e, conseqüentemente, de manutenções corretivas acintosas.

Segundo Capello (2010), muitas são as origens das patologias. Estas podem ocorrer desde projetos inadequados, até a má qualidade dos materiais empregados na construção. É destacado que a falta de controle tecnológico, falha na etapa de construção, equipe sem preparação para a execução de projetos mais elaborados e falta de fiscalização por parte dos gestores ou responsáveis pela execução do empreendimento podem dar origem às patologias no âmbito da construção civil.

Helene (2003) divide os principais problemas relacionados à construção civil nas seguintes porcentagens:

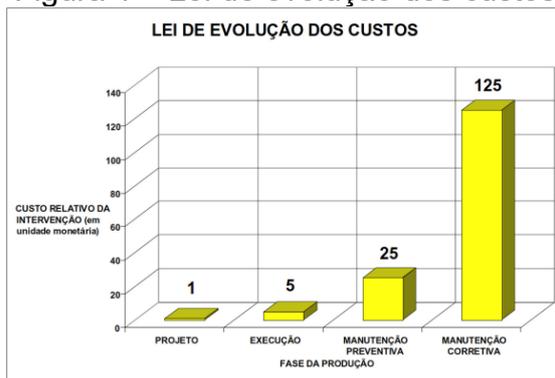
- 4% referem-se ao mau planejamento;
- 10% referem-se ao mau uso;
- 18% referem-se aos materiais utilizados;
- 28% referem-se à execução;
- 40% referem-se ao projeto.

As patologias das edificações identificadas nas construções não se desenvolvem sem causas. Lapa (2008) afirma que após concluir a fase de diagnóstico e prognóstico, o especialista passará para a fase de escolha das possíveis intervenções à problemática. Tais intervenções podem ser

concluídas sobre três diferentes causas, que são: de reparo, de recuperação e/ou de reforço.

Segundo Helene (1993) tal economia não traz retornos viáveis e justificáveis; pois, assim como retratado na Figura 1, o custo de manutenção corretiva é, disparadamente, mais oneroso do que medidas preventivas ou de um projeto, tecnicamente, mais bem elaborado e executado.

Figura 1 – Lei de evolução dos custos



Fonte: Helene (1993)

2.2 Estruturas metálicas

O método construtivo em questão permite uma ampla liberdade no projeto de arquitetura, maior área útil, flexibilidade, compatibilidade, menor prazo de execução e racionalização de materiais e mão de obra. A Figura 2 apresenta um exemplo de galpão de estrutura metálica. O aço estrutural, que é normatizado pela ABNT NBR 8800:2008, deve ter sua qualificação estrutural assegurada por norma brasileira e deve,

obrigatoriamente, possuir resistência de escoamento máxima de 450 MPa e ter a relação entre a resistência à ruptura (f_u) e ao escoamento (f_y) igual ou superior a 1,18.

Figura 2 – Galpão em estrutura metálica



Fonte: Autor (2022)

De maneira simplificada, de acordo com PINHO (1999), os elementos que compõem o sistema de estruturas metálicas são constituídos, essencialmente, por pilares, vigas, vigas secundárias, os sistemas de treliças e os contraventamentos.

É estabelecido na ABNT NBR 8800:2008 que na análise estrutural deve-se considerar a influência de todas as ações que possam produzir significativos efeitos sobre tal estrutura, assim verificando sua natureza e as possíveis combinações e aplicando-se os respectivos coeficientes de ponderação para que sejam analisadas as

combinações mais críticas fazendo a verificação tanto de Estado Limite Último (ELU) quanto para o Estado Limite de Serviço (ELS).

2.3 Patologias em estruturas metálicas

O termo patologia dedica-se, de maneira geral, ao estudo de falhas e sistemas de degradação, como descrito acima, seja por ação humana ou pelo uso de material. No caso desse trabalho terá uma área muito mais específica, por estar relacionada ao estudo de “doenças” em estruturas metálicas.

De acordo com Neto e Cunha (2020), as patologias em estruturas de aço podem ser classificadas como adquiridas, que são provenientes de elementos externos; transmitidas, que são provenientes de vícios construtivos e/ou falta de conhecimento técnico; e, também, atávicas, que são resultado de erros de cálculo e/ou dimensionamento.

Estruturas metálicas podem apresentar diversos tipos de patologias, algumas mais difíceis de se combaterem que outras. Na concepção de uma obra desse método construtivo temos as seguintes fases: projeto, detalhamento, dimensionamento, fabricação, montagem, utilização e manutenção. Cada uma destas etapas apresenta riscos de ocorrência

de patologias, sendo mais crítico ou não dependendo da capacidade de manutenção e dificuldade de execução desta manutenção.

Masseguer (1991) ressalta que os erros na etapa de projeto são a causa de uma grande parte dos problemas patológicos. Sendo um tipo construtivo que demanda uma precisão milimétrica, os cuidados no detalhamento devem ser redobrados para evitar, ao máximo, a fabricação defeituosa de uma peça. Assim como a parte de dimensionamento deve ser feita de maneira correta evitando flechas excessivas que incomodam visualmente e trazem instabilidade a estrutura.

Nas fases iniciais de projeto e fabricação da estrutura as principais falhas e mais comuns são: erros de dimensionamento, ausência de elementos estruturais como contraventamentos e elementos para enrijecer a estrutura, falta de ancoragem entre os elementos estruturais, incompatibilidade entre estrutura metálica e fundação, e problemas advindos de soldas e ligações parafusadas mal dimensionadas e mal executadas.

Ainda, segundo Masseguer (1991), é destacado que 41% das patologias em

estruturas metálicas estão ligadas a erros de projeto, erros estes, que são advindos das fases primárias de uma obra. As patologias mais comuns e de maior ocorrência nas estruturas de aço são aquelas ligadas à corrosão, seja localizada ou generalizada, deformações e flechas excessivas, flambagem local ou global e fraturas e propagação de fraturas.

Pannoni (2012), ilustra nas Figuras 3 e 4 tipos de problemas que serão abordados e as devidas soluções para algumas das mais frequentes patologias que ocorrem em estruturas metálicas. Tais imagens mostram que com devidas precauções mínimas pode-se impedir a ocorrência de inúmeras patologias nas peças metálicas, ressaltando ainda mais, que o cuidado e a precaução, assim como a manutenção, acarretam a maior viabilidade desse material e menor incidência de ações corretivas e a quase inexistência de problemas estruturais advindos de intempéries.

Figura 3 – Tipos de problemas e soluções típicas

PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA	PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA
UMIDADE E SUJEIRA PODEM SE ACUMULAR NA FENDA	UTILIZE PERFIL T OU OUTRA GEOMETRIA	UMIDADE PENETRA NA FENDA	UTILIZE CORDÃO DE SOLDA OU SELANTE
CORROSÃO POTENCIAL (FRESTA)	ELIMINE A FENDA POR SOLDAGEM OU SELANTE (EPOXI OU POLIURETANO)	CONDIÇÃO DESFAVORÁVEL	CONDIÇÃO FAVORÁVEL
CANTOS VIVOS E SOLDA DESCONTÍNUA	CANTOS ARREDONDADOS E SOLDA CONTÍNUA	REFORÇOS CRIAM ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA	ELIMINE O ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA
CUIDADO COM O ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA	CRIE SITUAÇÕES QUE EVITEM O ACÚMULO DE SUJEIRA E ÁGUA		

Fonte: Pannoni (2012).

Figura 4 – Tipos de problemas e soluções típicas

PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA	PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA
UMIDADE E SUJEIRA PODEM SE ACUMULAR NA FENDA	USE SELANTE PARA DIFICULTAR O INGRESSO DA ÁGUA	ÁGUA RETIDA	NÃO ACUMULA ÁGUA
A CHAPA DE BASE E OS CHAMADORES NO NÍVEL DO SOLO RESULTAM EM RETENÇÃO DE ÁGUA	A CHAPA DE BASE ACIMA DO SOLO, SOBRE BARRAS DE CONCRETO PROMOVE A PROTEÇÃO INCLINAÇÃO PARA DRENAGEM DA ÁGUA	SOLDAS A BARRAS E CRIA FRESTA	SOLDE O TOPO DA JUNTA
		ENRUPECEDORES IMPEDEM A DRENAGEM	DEIXE FURO PARA DRENAGEM
		CRIAÇÃO DE FRESTA	ELIMINAÇÃO DE FRESTA

Fonte: Pannoni (2012).

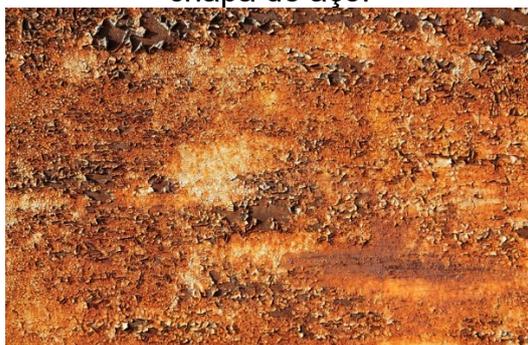
2.4 Tipos de patologias em estruturas metálicas

O tópico traz as principais patologias vinculadas ao método construtivo em questão, apresentando as causas e efeitos nas peças metálicas desde sua fabricação até a montagem, trazendo também métodos de prevenção e remediação.

2.4.1 Corrosão

Para Helene (1986), a “corrosão é uma interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica”, a Figura 5 exemplifica um tipo específico de corrosão. Na execução e fabricação de peças de estruturas metálicas os tipos de corrosões afetam no tipo de manutenção que deve atuar nesse local, seja localizada, quando atua em um ponto específico e muitas vezes advindo de deficiência de drenagem de águas pluviais e exposição a agentes agressivos ou deficiências de detalhes construtivos, ou generalizadas, quando ocorre a ausência de mecanismo de proteção contra tal corrosão.

Figura 5 - Corrosão uniforme em chapa de aço.

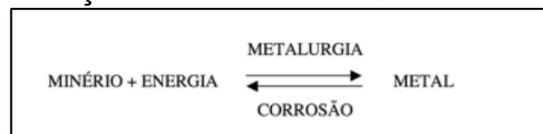


Fonte: <https://pt.dreamstime.com/photos-images/corros%C3%A3o.html> (2023).

O metal apresenta um ciclo onde a corrosão faz parte da vida útil desse material, como retratado na Figura 6, mas as proteções são necessárias para o

maior aproveitamento dessa vida útil e melhor qualidade desse material.

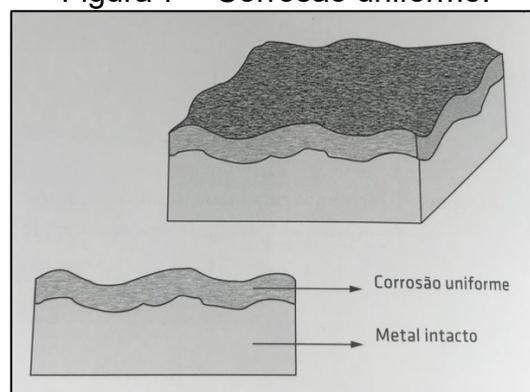
Figura 6 – Esquema das etapas de obtenção de um metal e de corrosão.



Fonte: Gentil (2012).

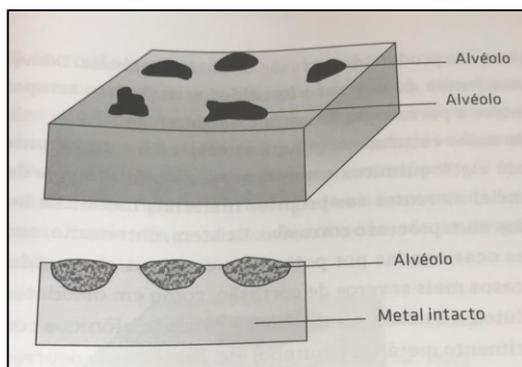
De maneira técnica as principais corrosões citadas por Neto e Cunha (2020) no estudo das patologias advindas de corrosões são do tipo uniforme (Figura 7), alveolar (Figura 8), puntiforme ou pitting ou por pites (Figura 9), por esfoliação, galvânica, entre outras. Em comum entre esses, tem-se a atuação em locais, principalmente, de ligação com a estrutura, seja em locais de ligação entre peças metálicas, sejam solda ou parafusada, locais de ligação entre concreto e estrutura metálica e ligações entre fundação e a estrutura.

Figura 7 – Corrosão uniforme.



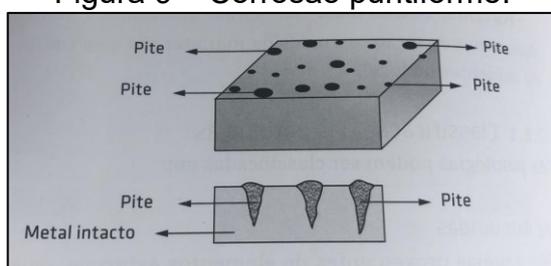
Fonte: Neto e Cunha (2020).

Figura 8 – Corrosão alveolar.



Fonte: Neto e Cunha (2020).

Figura 9 – Corrosão puntiforme.



Fonte: Neto e Cunha (2020).

Tendo em vista os diversos tipos de corrosão e os possíveis problemas acarretados por tais patologias, as ações preventivas são de muito mais valia que as ações de correções. No Anexo N da ABNT NBR 8800:2008 é apresentado praticas boas e preventivas para evitar tais ações nas peças metálicas. A prevenção supera a remediação em todos os casos. Assim algumas medidas podem ser tomadas para proteger a estrutura, como enumerado por Neto e Cunha (2020) tais como:

- Usar revestimentos metálicos: carboneto de cromo, carboneto de tungstênio, revestimentos de zinco etc;
- Usar revestimentos orgânicos: pinturas, óleos, substâncias betuminosas etc;
- Usar revestimentos inorgânicos: como inibidores anódicos e catódicos;
- Evitar contato entre dois metais de constituições diferentes (contato bimetálico);
- Remover o oxigênio e a água, para que não entrem em contato com os elementos estruturais;
- Usar proteção catódica;
- Adotar a passivação;
- Elaborar projetos com riqueza em detalhes, de modo a passar métodos de evitar a corrosão já na fase de projeto;
- Evitar ao máximo a solda de campo;
- Sempre especificar o uso de pintura adequada;
- Especificar em projeto o recobrimento dos conectores com suas porcas e arruelas;
- Evitar o uso de perfis I, U e L voltados para a parte externa de uma cobertura ou virados para cima, a fim de evitar nestes o acúmulo de água e poeira indesejado;
- Proteger as bases dos pilares de modo que sejam soldadas a chapas de bases, estas por sua vez,

fixadas a fundação por meio de conectores adequados;

- Sempre proteger as estruturas em relação ao ambiente externo com telha de cobertura e de fechamentos laterais;
- Evitar a criação de frestas entre dois perfis/chapas unidos entre si;
- Projetar os tipos de soldas, de maneira eficiente e evitar o uso de solda intermitente;
- Projetar estrutura de modo que, mesmo que se usem tipos de aços diferentes, estes ainda sejam compatíveis entre si.

É importante se atentar para o ambiente onde a obra será executada, seus impactos e suas necessidades a fim de analisar o tipo correto de proteção necessário para melhor custo-benefício da obra por um longo período.

A pintura industrial é um dos métodos de proteção anticorrosiva mais utilizados. No entanto as próprias pinturas apresentam defeitos, sejam esses de duração, especificação de material ou qualidade desse material. Na Tabela 1 são fornecidos o tempo de durabilidade de proteção propiciado pela tinta em função de suas especificações. Na Tabela 2 Nunes e Lobo (2014) trazem as

principais falhas nas pinturas, assim como as causas e soluções possíveis.

Tabela 1 – Duração da proteção contra corrosão em função dos requisitos de cada tipo de tinta.

Duração da proteção	Requisitos para diferentes tintas
Curta duração (1 a 5 anos)	Materiais monocomponentes, como as tintas alquídicas, emulsões e acrílicas.
Média duração (5 a 10 anos)	Materiais bicomponentes, como primers ricos em zinco, tintas apoxídicas e poliuretânicas.
Longa duração (mais de 10 anos)	Sistemas bicomponentes, como metalização seguida de tintas apoxídicas e poliuretânicas etc.

Fonte: Neto e Cunha (2020).

Tabela 2 – Falhas e defeitos nas pinturas – causas e soluções.

Descrição dos tipos de falhas ou defeitos	Causas	Correções
Impregnação (lixa): Superfície da tinta apresenta-se áspera como lixa.	Abrasivos e poeiras levados pelo vento para a tinta ainda úmida. Pintura sobre superfícies contaminadas com abrasivos e poeira. Aplicação de tintas com rolo ou trincha contaminados com pelos, areia, poeira ou abrasivos.	Proteger a área a ser pintada. Retirar a tinta ainda úmida com panos umedecidos em solventes. Lixar a pintura contaminada e aplicar nova demão.
Poros (porosidade): A película de tinta apresenta	Superfície contaminada.	Lixar a superfície e aplicar nova demão, ou retirar toda

Descrição dos tipos de falhas ou defeitos	Causas	Correções
descontinuidades invisíveis a olho nu ou não.	Retenção de solventes ou ar no filme de tinta. Atomização deficiente. Temperatura do substrato muito alta. Água no ar de atomização da pistola.	a pintura e fazer nova aplicação.
Pele ou casca de laranja: A pintura apresenta-se rugosa semelhante a uma casca de laranja.	Ocorre nas aplicações com pistola devido: <ul style="list-style-type: none"> ▪ à proximidade da superfície. ▪ à pressão baixa na pistola. ▪ à um solvente muito volátil. ▪ à tinta muito viscosa. ▪ à umidade no solvente. ▪ à um bico inadequado. 	Ajustar as condições de aplicação. Lixar e aplicar novas demãos.
Pulverização seca (overspray): A superfície da tinta apresenta um aspecto fosco e áspero, porém sem o desprendimento do pó.	Solvente muito volátil. Pistola muito distante da superfície ou com pressão excessiva. Temperatura ambiente muito elevada.	Aplicar um pano umedecido com solvente antes da secagem da tinta. Após a secagem, lixar e aplicar nova demão, ajustando a distância da pistola à superfície e/ou utilizando um solvente menos volátil.
Empolamento (bolhas): A película de tinta apresenta-se com saliências semiesféricas que variam de tamanho e intensidade.	Retenção de solventes. Processo corrosivo acelerado. Efeito de eletromose. Contaminação do ar e/ou dos equipamentos de aplicação com sal, óleo, água e outros. Incompatibilidade entre demãos de tintas.	Após secar, lixar as partes afetadas, preparar a superfície e repintar conforme a especificação técnica. A depender da extensão do problema, deve-se lixar e aplicar novas demãos.

Descrição dos tipos de falhas ou defeitos	Causas	Correções
	Umidade relativa do ar elevada. Superfície fria.	
Enrugamento: A película de tinta apresenta-se irregular, com encolhimento e/ou ondulação da película.	Espessura da película muito alta. Solventes muito voláteis. Superfície fria. Não atendimento dos intervalos entre demãos.	Após secar, lixar as partes afetadas, preparar a superfície e repintar conforme a especificação técnica. A depender da extensão do problema, deve-se remover ou lixar a pintura a aplicar novas demãos.
Sangramento: A película apresenta-se manchada pelo afloramento de substâncias ou pigmento da cor da demão que está abaixo, devido à solubilidade da demão inferior.	Cores claras sobre cores escuras, principalmente sobre o vermelho ou marrom. O solvente do novo acabamento dissolve a tinta antiga. A ação de solventes fortes da tinta de acabamento provoca a dissolução da tinta de fundo, manchando o acabamento. Aplicação de tintas sobre tintas à base de alcatrão	Dar uma demão de selagem. Consultar o fabricante quanto a recomendação de produtos
Oxidação Precoce: A superfície pintada apresenta-se com pontos de corrosão logo após a aplicação da primeira ou das primeiras demãos.	Rugosidade excessiva (picos expostos). Película muito fina em meios muito agressivos.	Controlar a rugosidade. Aplicar demãos mais espessas em ambientes mais agressivos. Diminuir, dentro dos limites, os intervalos entre demãos para reduzir os riscos de corrosão precoce.

Fonte: Nunes e Lobo (2014).

2.4.2 Falhas de projeto

Segundo Sacchi (2016) a grande maioria das anomalias nesse método construtivo advêm de falhas de projetos, erros de fabricação e montagem de estruturas causadas por negligência ou inexistência de controle de qualidade e/ou então manutenção.

Ao se falar sobre as deformações em peças de estrutura metálica caímos sobre a análise de possíveis problemas de cálculo, advindos da fase de projeto dessa edificação, que seria de acordo com Neto e Cunha (2020), uma patologia atávica, resultante de má concepção de projeto e erros de cálculo.

Deformações excessivas são causadas por sobrecargas não previstas, defeitos térmicos não previstos e problemas na prática de enrijecimento da estrutura, acarretando defeitos ao estado limite de serviço daquela construção ou área. Flechas excessivas causam desconfortos visuais que acabam prejudicando o valor e qualidade da obra.

O vento é uma das forças variáveis que mais causam danos fatais em estruturas metálicas, principalmente galpões que são concebidos sem levar em consideração dos efeitos de vento. Erros típicos como a falta de

contraventamentos, falta de aberturas para minimizar o empuxo do vento e a inexistência de estudos de ventos ou a falta de precaução por conta do responsável técnico. Na figura 10 é possível ver os efeitos de vento em estruturas que não o levam em consideração, trazendo a atenção para efeitos de tempo nas estruturas, não somente efeitos de corrosão, mas efeitos de sobrecarga de ventos e chuvas por exemplo.

Figura 10 – Estrutura desabada por conta de força do vento.



Fonte: [http://www.jornaldelavras.com.br/in-](http://www.jornaldelavras.com.br/index.php?p=10&tc=4&c=2972&catn=1)

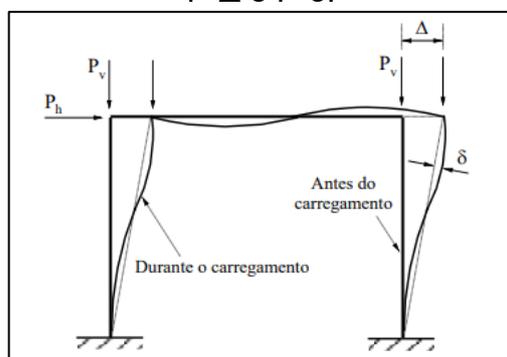
[dex.php?p=10&tc=4&c=2972&catn=1](http://www.jornaldelavras.com.br/index.php?p=10&tc=4&c=2972&catn=1)

(2011)

A partir da análise dessas deformações pode-se chegar também nas possíveis flambagens locais (efeito $P-\delta$) ou globais (efeito $P-\Delta$) ilustradas na Figura 11. Tais flambagens são caracterizadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação de estabilidade, ou deficiências no enrijecimento local de chapas, ou efeitos de imperfeições

geométricas não consideradas no projeto e no cálculo.

Figura 11 - Efeitos de segunda ordem: P- Δ e P- δ .



Fonte: Silva (2009).

Para evitar tais patologias é necessário a escolha de um perfil e material de qualidade, o correto dimensionamento e cálculo da estrutura levando em consideração que ELU, o correto carregamento da estrutura, prevendo efeitos de sobrecarga e com as devidas ponderações são necessárias para evitar erros nessa área e o uso de boa proteção desse material.

Como relatado na ABNT NBR 8800:2008, quando a segurança é verificada isoladamente em relação a cada um dos esforços atuantes, as condições de segurança tomam a forma simplificada $R_d \geq S_d$, que consiste nos valores de cálculo dos esforços atuantes e nos valores de cálculo dos correspondentes esforços resistentes respectivamente.

Dentro de deformações é possível associar as fraturas existentes na construção, muitas vezes essas são providas das excessivas flechas de uma peça ou perfil. Estas falhas são iniciadas por concentrações de tensões, devido a detalhe de projeto inadequado, defeitos de solda ou variações de tensão não prevista em projetos. Principalmente ligada a locais de ligação das estruturas metálicas. Os valores máximos para os deslocamentos verticais e horizontais são contemplados na ABNT NBR 8800:2008 e esses devem seguir a norma para que tais flechas não tragam incômodos visuais ou até problemas estruturais.

As ligações são locais de maior grau de flexibilidade e são de maneira usual feitas na montagem final das estruturas (*in loco*), seja ligação parafusada ou soldada devesse atentar para o uso correto de materiais e execução de acordo com projeto e o meio que se localiza.

As ligações soldadas estão muito ligadas a patologias de corrosão como comentado anteriormente, as ligações parafusadas apresentam entre suas falhas usuais o colapso da ligação que muitas vezes é advindo de problemas de detalhamento e cálculo. Tais

patologias veem de uma sucessão de erros que acabam por culminar em cisalhamento da ligação ou rompimento de uma ligação, sendo necessário se atentar para tais áreas que apresentam tamanha importância estrutural.

3 Considerações finais

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi ressaltado o valor de se prever patologias e manutenções em estruturas metálicas. A economia de um bom projeto vem de um bom e rico detalhamento das peças, atentando-se sempre às áreas de ligações e os materiais utilizados na fabricação.

Dentre os diversos métodos de eliminar ou evitar ao máximo as patologias as ações de pré-fabricação são as que trazem mais frutos, pois essas abrangem desde a inspeção das ligações até a previsão da incidência de intempéries na construção.

Na condição em que a patologia já se encontra instaurada na estrutura, um

profissional que aponte os possíveis causadores e instrua às devidas correções para manter a estrutura saudável, acarreta um investimento de expansão da vida útil da estrutura.

Estruturas metálicas apresentam diversas vantagens construtivas diferentes do usual concreto armado, no entanto também apresentam diversas patologias não usuais, por isso a necessidade de uma atenção maior para esta tipologia construtiva. Manutenções rotineiras trazem um prolongamento da vida útil dessas estruturas e um menor gasto com ações corretivas futuras. Com o devido cuidado e qualidade de projeto, abrangendo manutenções e materiais de qualidade, a obra apresentará qualidade estrutural por diversos anos, enquanto uma obra que não tenha tais características de acuidade, pode apresentar a necessidade de ações corretivas e/ou de reforço recorrentemente, ou até o colapso da estrutura, nos casos em que não são dadas as devidas atenções às patologias.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.800: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2ª Ed. Rio de Janeiro.

CAPELLO, A. et al. Patologia das fundações. Faculdade Anhanguera de Jundiaí. Jundiaí, 2010.

GENTIL, V. Corrosão, Rio de Janeiro: LTC, 2012. JONES, Denny. Principles and Prevention of Corrosion, New York: Macmillan Publishing Company, 1992.

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 para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil (3º ciclo de estudos) – Covilhã - Portugal, Abril de 2016.

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

HELENE, P. R. L. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. Editora Reabilitar. São Paulo, 2003.

HELENE, P. Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo, SP: Pini, 1986.

LICHTENSTEIN, Norberto B. procedimento para formulação do diagnósticos de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações. São Paulo, 1985. 191p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MESEGUER, A.G., Controle e garantia da qualidade na construção. São Paulo: SINDUSCON/SP 1991. Apud PRAVIA, Z.M.C., BETINELLI, E. A., Falhas em estruturas metálicas: conceitos e estudo de casos.

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

NETO, JARY DE XEREZ.; CUNHA, ALEX SANDER DE. Estruturas metálicas: Manual prático para projetos, dimensionamento e laudos técnicos. Editora Oficina de Textos, 2020.

NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O. Pintura industrial na proteção anticorrosiva. 5 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

PANNONI, F. D., A prevenção da corrosão em estruturas metálicas.

PINHO, F.O. Uma nova era para o aço. Extraído da revista Técnica 36 – set/out – 1999. p.18-23.

SACCHI, CAIO CÉSAR. Avaliação de Desempenho Estrutural e Manifestações Patológicas em Estruturas Metálicas. Universidade Federal de São Carlos – SP, 2016. 138 p.

SACCHI, CAIO CÉSAR.: SOUZA, ALEX S. C. Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol 13 - nº 1, 2016.

SILVA, A. R. D. Sistema computacional para a análise avançada estática e dinâmica de estruturas metálicas. 2009, 322 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Deciv/EM/UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil, 2009.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.

Agradecimentos

Durante minha vida acadêmica e pessoal, pude contar com a colaboração e apoio de pessoas que me deram força e apoio para me tornar quem sou, das quais não poderia deixar de agradecer:

- A minha família que foi a base que me sustentou e me formou como pessoa, em especial a minha mãe, Ioni de Sousa Tome Leal, e meu pai, Jerry Amorim Leal.
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres, agradeço por acreditar e me ajudar nesse projeto.
- A minha namorada, Andressa Garcia da Paixão, pela paciência e o apoio nos momentos mais difíceis.
- Aos professores e funcionários da UFU que proporcionaram o melhor ambiente para aprendizagem e consolidando a faculdade como minha segunda casa durante 5 anos.
- Aos meus colegas de faculdade que me apoiaram e não saíram do meu lado em momentos difíceis, em especial Heitor Novato e Adriano Borges.
- Aos colegas e colaboradores da empresa M. Sales e Forte Estruturas pelos ensinamentos e enriquecimento profissional.