

# ESTUDO DOS MÉTODOS DE PREVENÇÃO DA CORROSÃO DE ARMADURAS EM EDIFÍCIOS

LUANA APARECIDA VIDAL FERREIRA<sup>1</sup>, AMANDA GOMES DA SILVA<sup>1</sup>,  
BRUNA GOMES MACEDO TEIXEIRA<sup>1</sup>

## RESUMO

A corrosão de armaduras é uma manifestação patológica que compromete o desempenho e a durabilidade da edificação. O presente trabalho tem por objetivo identificar as possíveis causas da corrosão de armaduras e apresentar métodos de prevenção que podem ser adotados durante a fase construtiva. A metodologia foi baseada em revisão bibliográfica e o estudo de caso publicado por Taciane Roberta Franscscatto, sobre a Análise das Manifestações Patológicas de um Edifício Residencial em Campo Mourão - PR. Os resultados coletados apontaram falhas no desenvolvimento dos projetos estruturais e na execução da obra, que ocasionaram a corrosão de armaduras, ainda em fase de construção do edifício. Desta forma, o presente artigo pretende ressaltar a importância em realizar adequadamente as fases do processo construtivo, adotando medidas preventivas para minimizar esse problema, e assim, proporcionar estruturas com maior durabilidade e segurança.

**Palavras-chave:** concreto armado; corrosão; patologias; edificação.

## STUDY OF THE METHODS OF PREVENTION OF CORROSION OF ARMOR IN BUILDINGS

### ABSTRACT

Corrosion of reinforcements steel is a pathological manifestation that compromises the performance and durability of the building structure. This paper aims to identify the possible causes of the corrosion of reinforcements steel and to present prevention methods that can be adopted during the construction phase. The methodology was based on bibliographic review and on the case study published by Taciane Roberta Franscscatto about the Analysis of Pathological Manifestations of a Residential Building in Campo

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil - FMU

Mourão - PR. The collected results pointed out failures in the development of the structural projects and the execution of the building, which caused the corrosion of reinforcements steel, in the construction phase of the building. In this way, this article intends to emphasize the importance of adequately performing the phases of the construction process, adopting preventive measures to minimize this problem, and thus, to provide structures with greater durability and safety.

**Key words:** reinforced concrete; corrosion; pathologies; building.

## INTRODUÇÃO

Ao longo de muito tempo, o concreto foi considerado um material de alta durabilidade, quase perene. Entretanto, por volta do século XX, com a evolução do uso do concreto e conseqüentemente a construção de obras mais esbeltas, crescem a importância do estudo das manifestações patológicas em edifícios (ROCHA, 2015).

No Brasil, inúmeras obras da construção civil sofrem com problemas patológicos. Especialmente os edifícios, que irão apresentar algum tipo de patologia ao longo de sua vida útil (TOMAZELI; MARTINS, 2008). Conforme Pires (2013), as edificações começam seu processo de degradação após sua conclusão e evoluem com o passar do tempo em razão de diversos aspectos, sejam relacionadas as fases do processo construtivo ou ao processo natural de envelhecimento.

O termo Patologia, no ramo da engenharia civil, pode ser entendido como estudo dos sintomas, formas de manifestação, origens e causas das doenças ou defeitos que ocorrem nas edificações (CARMO, 2000). As manifestações patológicas podem ocorrer por diferentes causas, tais como: projetos ineficientes, falhas na execução da obra, emprego de materiais de má qualidade, mão-de-obra despreparada, ausência de manutenção preventiva, entre outras (GIONGO, 2015).

Segundo o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológica) <sup>1</sup>, uma das patologias que ocorrem com maior frequência nos edifícios é a corrosão das armaduras, principalmente quando expostas a ambientes agressivos. A

corrosão consiste na degradação de um material metálico por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, associada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 2003).

Para obras civis, a corrosão eletroquímica é a mais preocupante, já que ocorre quando há contato da estrutura com meio aquoso, como: água ou ambientes úmidos. Este tipo de corrosão pode causar danos expressivos à armadura (ANDRADE, 1988).

Normalmente, a corrosão está ligada à presença de teores críticos de íons de cloreto no concreto ou ao seu pH baixo em virtude das reações com compostos existentes no ar atmosférico, principalmente o dióxido de carbono (ARAÚJO, 2013).

Barbosa et al. (2012) e Pires (2013), expressam em seus trabalhos a importância de destacar que a corrosão de armaduras interfere diretamente na resistência das estruturas e reduz a vida útil da edificação, comprometendo o fator de segurança e estético.

Devido a sua grande incidência nas edificações e aos danos estruturais que a corrosão das armaduras pode causar, é importante buscar medidas preventivas para minimizar ou até erradicar este problema (VIEIRA, 2003).

A aplicação de boas técnicas na execução da obra aliada a realização de procedimentos preventivos e manutenção periódica nas edificações são de extrema relevância para encontrar soluções para impedir a evolução dos processos corrosivos nas armaduras e reduzir sua incidência. Vale ressaltar que a forma mais econômica está em adotar medidas preventivas durante a execução da obra, visto que os custos são elevados para recuperação estrutural (ROCHA, 2015; VIEIRA, 2003).

O presente trabalho tem por objetivo identificar métodos de prevenção das patologias de corrosão de armaduras mais comuns existentes nas edificações, contribuindo para a execução de estruturas mais seguras, funcionais e com maior durabilidade. Para isso, nosso estudo será baseado em revisões bibliográficas pertinentes ao tema, complementando com o estudo de caso.

## Causas da corrosão

O concreto representa uma proteção dupla para a armadura, tanto no aspecto físico, por impedir o contato direto com o meio externo, como no aspecto químico, em razão da sua forte alcalinidade ( $\text{pH} > 12,5$ ) que proporciona a formação de uma camada passivadora ao redor do aço (MEIRA, 2017).

Deste modo, para que ocorra à corrosão é preciso que seja destruída esta camada, denominada despassivação da armadura (SANTOS, 2015).

Conforme a NBR 6118/2014, os dois fenômenos mais importantes que colaboram para a despassivação das armaduras são:

- Carbonatação do concreto;
- Presença de íons de cloreto.

A carbonatação do concreto reduz seu pH e consiste na reação do  $\text{CO}_2$  do ar que penetra através dos poros do concreto, com os compostos de cálcio, sobretudo o hidróxido de cálcio (CUNHA; MANOEL, 2014).

A penetração por íons de cloreto ocorre através do concreto, que ao atingir um teor crítico de cloretos provoca a ruptura da camada passivadora, dando início à corrosão das armaduras.

Portanto, pode-se afirmar que para que ocorra a corrosão é indispensável à presença simultânea de água e oxigênio (SHIESSEL; BAKKER, 1988).

As estruturas de concreto armado estão suscetíveis à corrosão de armaduras, que é um dos principais problemas que comprometem a durabilidade e o desempenho dos edifícios. A corrosão de armaduras pode ser provocada por fatores físicos, químicos e biológicos (GIONGO, 2015).

Segundo Andrade e Silva (2005), a corrosão das armaduras pode apresentar os seguintes sintomas:

- Deterioração e perda da seção do aço;
- Compromete a aderência aço-concreto;
- Expansão, fissuração e lascamento do concreto.

Assim, abordaremos alguns fatores que influenciam na corrosão das armaduras nas edificações, destacando algumas falhas nas etapas do processo construtivo.

### Fatores que influenciam na corrosão das armaduras

Para Figueiredo (2005), a velocidade e o avanço da carbonatação estão associados ao meio de exposição e as propriedades do concreto, como mostra a tabela 1:

**Tabela 1 – Principais fatores que condicionam a velocidade de penetração da frente de carbonatação. Fonte: Adaptado de Kazmierczak (1995) apud Figueiredo (2005).**

Fatores Condicionantes		Características Influenciadas
Fatores Ambientais ou Condições de Exposição	Concentração de CO <sub>2</sub>	Mecanismo físico-químico Velocidade de carbonatação
	Umidade relativa do ar	Grau de saturação dos poros Velocidade de carbonatação
Características do Concreto	Tipo e quantidade de cimento	Reserva alcalina
	Relação água/cimento	Porosidade e permeabilidade
	Condições de cura	Grau de hidratação, porosidade, permeabilidade e fissuração
	Fissuras	Facilita entrada de CO <sub>2</sub>

### Meios de exposição

Considerando a existência de agentes agressivos no meio ambiente, é importante conhecer os meios de exposição a que as estruturas estão sujeitas e em virtude disso definir os parâmetros mínimos para garantir sua durabilidade (MEIRA, 2017).

A título de ilustração, segue abaixo a tabela 2 sobre “Classe de Agressividade Ambiental”:

**Tabela 2 – Classe de agressividade ambiental (CAA). Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).  
Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimento.**

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana a, b	Pequeno
III	Forte	Marinha a	Grande
		Industrial a, b	
IV	Muito forte	Industrial a, c	Elevado
		Respingos de maré	

**a** Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

**b** Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

**c** Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

É importante destacar que toda estrutura de concreto, está sujeita à deterioração. Então, a classe de agressividade ambiental serve como uma forma de mensurar o grau do risco, a velocidade e a intensidade que esse processo pode ocorrer.

### Umidade

A umidade do ambiente influencia na presença de água nos poros do concreto e conseqüentemente contribui para o desenvolvimento da corrosão. Segundo Andrade (1988), quando a umidade relativa está entre 50% e 80% temos as condições ideais para o avanço da carbonatação.

Desse modo, podemos considerar que quando atingimos valores de umidade mais baixos ou mais altos, temos condições menos favoráveis para o início da corrosão (MEIRA, 2017).

### Contato com agentes agressivos

Na atmosfera urbana, geralmente encontramos diversas impurezas, sendo os principais agentes agressivos: o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e a fuligem (BEVILAQUA, 2013).

Segundo Battagin (2013), gerente dos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), os principais agentes nocivos à armadura são o oxigênio (O), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e os cloretos.

Assim, notamos que a presença dos agentes agressivos e sua concentração são fatores contribuintes para o desenvolvimento da corrosão.

### **Características do concreto**

Analisando as propriedades do concreto, consideramos algumas características relevantes quanto à iniciação da corrosão, como: a porosidade, a relação água/cimento, tipo e consumo de cimento, condições de cura e fissuras.

#### **Porosidade**

A porosidade pode ser definida como o índice de vazios de um material, ou seja, o porcentual do volume total ocupado pelos poros. O concreto é considerado um material poroso, devido à impossibilidade de preencher totalmente os vazios presentes em sua configuração (BERTOLINI, 2010; FREIRE, 2005).

Segundo Bertolini (2010), os vazios ou poros apresentam várias dimensões, interconectados e comunicantes com a superfície do material. No caso do concreto, estes vazios permitem o transporte de água, gases e substâncias agressivas para o interior do concreto.

O grau de porosidade está associado à granulometria, quantidade de cimento, fator água/cimento e quantidade de vazios (AZAÑEDO, HELARD e MUÑOZ, 2007).

Conforme a NBR 6118/2014, para impedir os agentes agressivos de penetrarem no concreto é recomendado um concreto com baixa porosidade, espessura do cobrimento adequada e controle das fissuras.

#### **Relação água/cimento**

Segundo Cascudo (1997), a relação água/cimento é um fator significativo para determinar a qualidade do concreto, definindo sua resistência e

porosidade. Quanto menor o fator água/cimento (a/c), menos permeável, mais resistente e durável será o concreto.

A tabela 3 indica os requisitos mínimos recomendados para o fator água/cimento e a categoria do concreto conforme o grau de agressividade que a edificação estará sujeita.

**Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.**

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014). Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimento.

Concreto a	Tipo b, c	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
<p><b>a</b> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.</p> <p><b>b</b> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.</p> <p><b>c</b> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.</p>					

Com base nisso, notamos que um maior grau de agressividade requer um menor fator água/cimento, e conseqüentemente, um concreto mais resistente.

### **Tipo e consumo de cimento**

O tipo de cimento usado influencia nas características do concreto, deste modo, é necessário escolher o tipo mais apropriado para a situação. Segundo Bertolini (2010), cimentos com adições pozolânicas ou de escória de alto-forno podem melhorar a resistência à penetração dos agentes agressivos.

Com relação ao aumento do consumo de cimento, é possível perceber melhorias no concreto, como: elevada resistência à compressão, redução da porosidade e do transporte de agentes agressivos para o interior do concreto (MEIRA, 2017).

### **Condições de cura**

Segundo Souza e Ripper (1998), para definir o tempo de cura é necessário considerarmos a agressividade ambiental, as particularidades do concreto e o clima durante a cura.

As condições de cura influem de forma significativa na qualidade do concreto. Quanto maior o tempo de cura e melhor executado esse processo, menor será sua porosidade e permeabilidade, e conseqüentemente, teremos um concreto com características mais satisfatórias contra a carbonatação (BAZAN, 2014; FIGUEIREDO, 2005).

### Fissuras

O surgimento de fissuras no concreto traz uma preocupação com relação à corrosão das armaduras, visto que isso pode facilitar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto chegando até a armadura (MONTEIRO, 2002).

### Espessura de cobrimento

A espessura de cobrimento do concreto é considerada uma proteção do aço, que tem por objetivo garantir uma alcalinidade elevada para impedir a corrosão das armaduras (HELENE, 1986).

A NBR 6118/2014 recomenda espessuras mínimas de cobrimento conforme a classe de agressividade, como mostra a tabela 4:

**Tabela 4 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para  $\Delta c = 10\text{mm}$ . Fonte: ABNT NBR 6118 (2014). Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimento.**

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV c
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo d	30		40	50
Concreto protendido a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

**b** Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

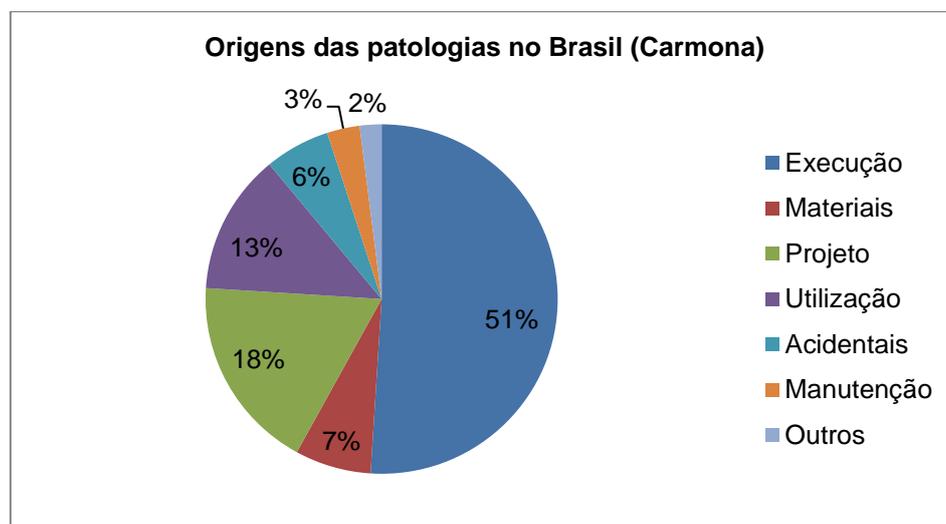
**c** Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

**d** No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

A partir disso, é possível perceber que quanto maior nível de agressividade, maior é a espessura de cobrimento necessária para garantir a proteção das armaduras (GIONGO, 2015).

### Falhas no processo construtivo

A origem dos problemas patológicos nas edificações pode estar relacionada a possíveis erros em alguma fase do processo construtivo, como se pode observar na figura 1.



**Figura 1 – Gráfico com as origens das patologias no Brasil. Fonte: Silva e Jonov (2011).**

Segundo Santos (2012), a origem das patologias em concreto armado pode ser associada às falhas humanas abrangendo 4 etapas do processo construtivo:

- Concepção e projeto;
- Seleção dos materiais;

- Execução;
- Uso e manutenção.

Com relação à corrosão de armaduras, destacaremos alguns aspectos importantes e possíveis falhas.

### **Concepção e projeto**

Segundo Bauer (2008), Souza e Ripper (1998) e Andrade e Silva (2005), projetos ineficientes ou equivocados podem causar problemas, como:

- Detalhamento errado ou insuficiente das armaduras;
- Especificação inadequada dos materiais, espessura de cobrimento insuficiente e características do concreto incoerentes com meio de agressividade que a edificação estará suscetível.

### **Seleção dos materiais**

Segundo Souza (2010), a fase de seleção dos materiais e das técnicas de construção deve estar de acordo com o projeto, e desta forma, atender as necessidades dos usuários e garantir a durabilidade da edificação.

Portanto, para uma correta escolha dos materiais é importante considerar a relação custo/benefício, visto que o menor preço pode representar um material de baixa qualidade.

### **Execução**

Conforme Souza e Ripper (1998), a falta de capacitação da mão-de-obra na fase de execução podem gerar algumas falhas, como:

- Dosagem inadequada do concreto;
- Erro de interpretação dos projetos;
- Falhas de concretagem (Cura inadequada, erro de lançamento e adensamento);
- Cobrimento insuficiente das armaduras;
- Erro de posicionamento e quantidades de armaduras

### **Uso e Manutenção**

Ainda que, desde a etapa de concepção do projeto até a de execução tenham sido realizadas adequadamente, a edificação pode apresentar problemas patológicos devido ao uso inadequado ou falta de manutenção (SOUZA; RIPPER, 1998).

Sendo assim, para manter o desempenho e durabilidade da edificação, é essencial que os usuários atendam as recomendações de utilização previstas em projeto e realizem as manutenções periódicas conforme a NBR5674/2012.

### **Patologias de corrosão mais comuns nas edificações**

Segundo a morfologia, a corrosão pode aparecer de forma localizada ou generalizada. Portanto, quando analisadas mais profundamente, podem ser classificadas como: corrosão generalizada uniforme ou irregular, corrosão localizada, corrosão com formação de pites ou de fissuras (FELIÚ, 1984).

Conforme Meira (2017), as formas mais comuns apresentadas nas estruturas de concreto armado são: a corrosão generalizada irregular (Figura 2a) e a corrosão por pites (Figura 2b).



**Figura 2 – Corrosão generalizada irregular (a) e corrosão por pites (b). Fonte: (MEIRA, 2017)**

Segundo (GENTIL, 2003) a corrosão generalizada ocorre em toda sua extensão, resultando em sua perda de seção. Já a corrosão por pites se dá pontualmente, causando cavidades com o fundo em formas angulosas e profundidades geralmente maiores do que o seu diâmetro.

Segundo Adriana Araújo, pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) a corrosão em edifícios é mais comum que comece na base dos pilares, que é a área mais exposta a agentes químicos e água durante as lavagens do piso das garagens. Em outro local que comumente ocorre o problema é nas juntas de dilatação, devido às infiltrações.

### **Métodos de prevenção**

Certamente a maneira mais acessível e eficiente para preservar as armaduras, seria a programação e execução da dosagem do concreto, a qual deve ser suficiente para cobrir toda armadura conforme o ambiente onde será exposto. Procedimentos aparentes têm como propósito atrapalhar a penetração de agentes agressivos na estrutura, possibilitando a saída do vapor de água.

Segundo Meira (2017), são utilizados os seguintes métodos:

- **Formadores de películas:** mais conhecidos como as tintas e os vernizes. As tintas são compostas por: resinas, solventes, pigmentos e aditivos. Já os vernizes por resina, solvente e aditivos. Não apresentam coloração e sua longevidade é menor comparando com as tintas.
- **Hidrofugantes de superfície:** impossibilita a infiltração da água. Empregam-se os silanos, siloxanos oligoméricos e a união desses. Não permitindo a penetração de agentes agressivos presentes na água.
- **Bloqueadores de poros:** material composto por silicatos, o qual permite que a superfície fique menos esburacadas, assim dificultando a penetração da água.

**Tabela 5 - ilustração da ação dos tratamentos de superfície para o concreto. Fonte: (Meira, 2017).**

<b>Formadores de película</b>	<b>Bloqueadores de poros</b>	<b>Hidrofugantes de superfície</b>
-------------------------------	------------------------------	------------------------------------

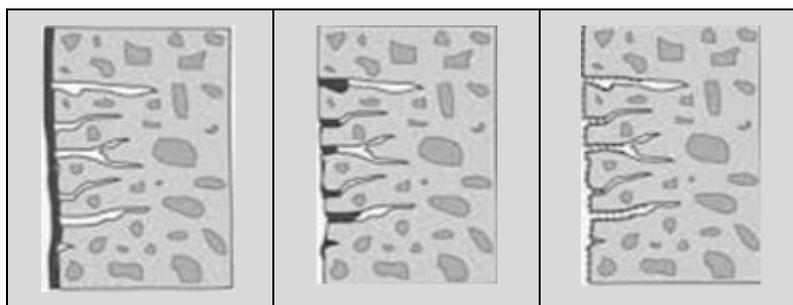


Tabela 6 - Tipos de tratamento superficial e suas características. Fonte: (Meira, 2017).

Tipo de tratamento	Material	Apresentação comercial
Pinturas e selantes	Acrílico Epóxi Poliéster Polietileno Poliuretano Vinil	Tinta Resina Emulsão Selante
Hidrofugantes	Silicone Siloxano Silano	Solução Dispersão
Bloqueadores de poros	Silicato Fluoreto de Silício Dispersão do cimento	Solução Dispersão

Para a prevenção da corrosão são utilizadas algumas técnicas:

- **Cura do concreto:** para Helene e Levy (2013) tem como meta a prorrogação da perda de água de hidratação do concreto, reduzindo assim a temperatura do concreto pelo tempo necessário até que chegue a sua resistência. Para esse são realizados alguns métodos tais como: imersão, aspersão ou spray d'água, mantas.
- **Galvanização das armaduras:** ocorre à aplicação de partículas de metal liquido na superfície limpa e rugosa do aço, o qual após seu endurecimento apresenta uma superfície pouco porosa com a finalidade de aumentar a resistência aos agentes corrosivos. Nesse tipo de revestimento não apresenta emendas, diminuindo assim a possibilidade

de trincas e fissuras, em sua maioria são impenetráveis a infiltrações, é de fácil e rápida aplicação, propicia reparos localizados um bom custo/benefício (FRAUCHES - SANTOS, et al, 2014).

Também conhecida por zincagem feita através do mergulho do aço em uma solução de zinco em fusão, atuando como uma barreira física química ao meio agressivo, aumentando assim a sua resistência a corrosão.

Segundo Goes (2013) a galvanização do aço é constatada como um processo preventivo e não como um meio de recuperação da corrosão.

- **Inibidores químicos de corrosão:** para Gentil (1996), quando aplicadas em quantidades adequadas tendem a minimizar a corrosão. Para um resultado satisfatório deve-se identificar a causa patológica que deu início ao processo corrosivo; analisar os custos da operação; conhecer as características do inibidor, garantindo o tratamento de todos os metais presentes; respeitar as condições de adição e controle dos inibidores.

Gentil (1996) classifica os inibidores em:

- a) **Inibidores anódicos:** bloqueiam as ações anódicas agindo no produto corrosivo recém-formado, aglutinando ao aço uma película insolúvel resultando na polarização anódica. Para Helene (1986) esses são os Nitritos de sódio, Cromatos de potássio, Benzoato de sódio e Fosfato.
- b) **Inibidores catódicos:** formam o abastecimento de íons metálicos para enfrentar a alcalinidade catódica, dificultando a multiplicação do oxigênio, diminuindo os impactos da corrosão na armadura. Para Helene (1986), os Sulfitos são acrescentados ao concreto para diminuir a ação dos cloretos.
- c) **Inibidores de absorção:** atuam como cutícula protetora, podendo atuar tanto nos anódicos quanto nos catódicos. Essas películas correlacionam-se com a velocidade do fluido, volume e concentração do inibidor usado, temperatura do ambiente, período de contato entre o inibidor e a superfície metálica, mostrando eficaz mesmo em pequenas porções (Gentil, 1996).

## Normatização (Brasil X Estrangeira)

Segundo a NBR 15575-1:2013 - Desempenho das edificações habitacionais, a vida útil de projeto (VUP) da estrutura deve atender o nível mínimo de 50 anos e pode atingir o nível superior de 75 anos.

Para a gestão da manutenção das edificações, temos as normas NBR 14037:2011 – Manual de uso, operação e manutenção e NBR 5674:2012 – Gestão da manutenção, que apresentam requisitos, procedimentos e programas de manutenção preventiva dos elementos estruturais e suas partes integrantes (ARAUJO, 2017).

Devido à falta de normatização específica para inspeção predial, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) disponibiliza a NBR 9452:2016 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – procedimento, que aborda os tipos de inspeção (cadastral, rotineira, especial e extraordinária) e atribui notas de classificação de 1 a 5 (crítica a excelente) avaliando os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade das Obras de Arte Especiais (ARAUJO, 2017).

No projeto de estruturas de concreto armado é necessário considerar os efeitos do meio de exposição ao longo do tempo, a fim de evitar danos relevantes durante sua vida útil (BERTOLINI, 2010).

Para um melhor entendimento, segue abaixo a tabela 7 com a comparação entre as normas brasileiras e estrangeiras sobre os requisitos mínimos de resistência e o fator  $a/c$  conforme a classe de agressividade que a edificação estará sujeita.

**Tabela 7 – Comparativo entre as recomendações pelas normas brasileiras, europeia e americana. Fonte: Adaptado de Zequim (2017).**

Brasil		NF EN 206-1 (Eurocode 2)		ACI 318M-11	
Classe I	Classe X0 (nenhum risco de corrosão ou ataque)	C	S	Classe C	Classe P
		C0	S0		P0

<b>R (Mpa)</b>	20	12,6							17,9	17,9	17,9
<b>a/c</b>	≤ 0,65 CA	-							-	-	-
<b>Classe II</b>		<b>Classe XC (corrosão por carbonatação)</b>				<b>Classe XD (corrosão por cloretos)</b>			<b>Classe C</b>	<b>Classe S</b>	-
		<b>XC1</b>	<b>XC2</b>	<b>XC3</b>	<b>XC4</b>	<b>XD1</b>	<b>XD2</b>	<b>XD3</b>	<b>C1</b>	<b>S1</b>	
<b>R (Mpa)</b>	25	21	21	31,6	31,6	31,6	31,6	36,8	17,9	29,5	-
<b>a/c</b>	≤ 0,60 CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,55	≤ 0,55	≤ 0,45	-	0,50	-
<b>Classe III</b>		<b>Classe XS (corrosão por cloretos de água do mar)</b>							<b>Classe P</b>	<b>Classe S</b>	-
		<b>XS1</b>		<b>XS2</b>		<b>XS3</b>		<b>P1</b>	<b>S2</b>		
<b>R (Mpa)</b>	30	31,6		36,8		36,8		29,5	32,6	-	
<b>a/c</b>	≤ 0,55 CA	≤ 0,50		≤ 0,45		≤ 0,45		0,50	0,45	-	
<b>Classe IV</b>		<b>Classe XA (ambientes químicos agressivos)</b>						<b>Classe C</b>	<b>Classe S</b>	-	
		<b>XA1</b>		<b>XA2</b>		<b>XA3</b>		<b>C2</b>	<b>S3</b>		
<b>R (Mpa)</b>	40	31,6		31,6		36,8		36,8	32,6	-	
<b>a/c</b>	≤ 0,45 CA	≤ 0,55		≤ 0,50		≤ 0,45		0,40	0,45	-	
<b>Observações:</b>											
R: resistência à compressão mínima (Mpa); a/c: relação água/cimento do concreto.											
*As normas brasileiras <b>ABNT NBR 6118:2014</b> e <b>ABNT NBR 12655:2015</b> apresentam as classes de agressividade da seguinte forma: <b>Classe I</b> (fraca) → ambiente rural e submerso / <b>Classe II</b> (moderada) → ambiente urbano / <b>Classe III</b> (forte) → ambiente marinho e industrial / <b>Classe IV</b> (muito forte) → ambiente industrial e com respingos de maré.											
*A norma europeia <b>NF EN 206-1</b> apresenta a seguinte classificação: <b>Classe X0</b> → ambiente muito seco / <b>Classe XC</b> → sendo <b>XC1</b> (ambiente seco ou permanentemente molhado), <b>XC2</b> (ambiente molhado), <b>XC3</b> (ambiente com umidade moderada) e <b>XC4</b> (ambiente com ciclo de molhagem e secagem). <b>Classe XD</b> → sendo <b>XD1</b> (ambiente com umidade moderada), <b>XD2</b> (ambiente molhado) e <b>XD3</b> (ambiente com ciclo de molhagem e secagem). <b>Classe XS</b> → sendo <b>XS1</b> (ambiente exposto à maresia - sem contato direto), <b>XS2</b> (ambiente submerso) e <b>XS3</b> (ambiente sujeito à marés e respingos). <b>Classe XA</b> → sendo <b>XA1</b> (ambiente ligeiramente agressivo), <b>XA2</b> (ambiente moderadamente agressivo) e <b>XA3</b> (ambiente altamente agressivo).											
*A norma americana <b>AC 318M-11</b> apresenta a seguinte classificação: <b>Classe S</b> (ambiente exposto a sulfato) → sendo <b>S0</b> (ambiente com presença baixa de sulfato), <b>S1</b> (ambiente com presença moderada de sulfato), <b>S2</b> (ambiente com presença alta de sulfato) e <b>S3</b> (ambiente com presença muito alta de sulfato). <b>Classe P</b> (ambiente que exige baixa permeabilidade do concreto) → sendo <b>P0</b> (ambiente em contato com a água onde não é necessária baixa permeabilidade) e <b>P1</b> (ambiente em contato com a água onde é necessária baixa permeabilidade). <b>Classe C</b> (ambiente com risco de corrosão) → sendo <b>C0</b> (ambiente seco - sem risco), <b>C1</b> (ambiente exposto à umidade, mas sem presença de cloretos - agressividade moderada) e <b>C2</b> (ambiente exposto à umidade, cloretos, produtos químicos, sal e respingos de maré - agressividade grave).											

Com base neste comparativo, é possível notar que as normas brasileiras adotam valores maiores de fator a/c do que as normas internacionais,

proporcionando um concreto mais poroso, menos durável e resistente ao ingresso de agentes agressivos (ZEUIM, 2017).

Com isso, vale ressaltar a simplicidade da classificação de agressividade ambiental utilizada pela normatização brasileira se compararmos com as estrangeiras, que determinam suas classes de forma bem detalhada. Deste modo, cada classe subdivide-se em subgrupos que especificam as diversas condições de exposição conforme cada tipo de ataque (BERTOLINI, 2010; ZEUIM, 2017).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa realizada para a elaboração deste trabalho é de natureza qualitativa, e a análise dos dados foi feita através de uma revisão bibliográfica, utilizando artigos científicos, monografias e literaturas pertinentes ao tema.

Além disso, nosso estudo de caso foi baseado no artigo de Taciane Roberta Francescato, sobre *Análise das Manifestações Patológicas de um Edifício Residencial em Campo Mourão*, apresentado no 3º Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto Armado em 2018.

Segundo Francescato (2018), a edificação tem área total de 4.240,46 m<sup>2</sup>, está situada em meio urbano na cidade de Campo Mourão – Paraná e dispõe de 7 pavimentos, sendo:

- Térreo (garagem e lojas);
- 1º andar (garagens);
- Demais andares (apartamentos).

A obra começou a ser executada em Maio de 2013 com término previsto para 2018. Em Abril de 2016 foram realizadas inspeções, onde foram constatados problemas patológicos, decorrentes de falhas de execução e no detalhamento do projeto estrutural (Francescato, 2018).

Os projetos executivos dessa edificação foram elaborados por 3 construtoras. Deste modo, será apresentado na tabela 8 a divisão das fases dos projetos e algumas incompatibilidades de projetos entre as construtoras envolvidas.

Tabela 8 – Divisão das fases dos projetos e incompatibilidades. Fonte: Autoria própria.

Projetos Estruturais	Construtora 1	Construtora 2		Construtora 3
	Fundação	Vigas	Pilares	Lajes
<b>Tipo de Concreto</b>	Concreto usinado (fck 25 Mpa)	Concreto usinado (fck 25 Mpa)	Concreto preparado na obra	Concreto usinado (fck 25 Mpa)
<b>Controle Tecnológico</b>	Realizado	Realizado	Não Realizado	Realizado

Em função da NBR 6118:2014 foi adotado o cobrimento de 30 mm para viga e pilares, visto que se trata de uma classe de agressividade moderada (Francescato, 2018).

Sendo assim, analisaremos as fotos e informações coletadas pela inspeção da edificação para identificar as possíveis causas da corrosão de armaduras, e as medidas preventivas que podem ser adotadas na fase de construção.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base na inspeção realizada e nas fotos tiradas no local foram identificadas algumas manifestações patológicas, tais como: desagregação do concreto, exposição e corrosão das armaduras (Francescato, 2018).

Conforme Francescato (2018), no primeiro andar, destinado para garagens foram constatadas a maior parte das patologias da edificação especialmente nas vigas de transição, que serve de sustentação para apartamentos tipo. Segue abaixo a figura 3 que representa a planta da locação das vigas destacando as com anomalias.

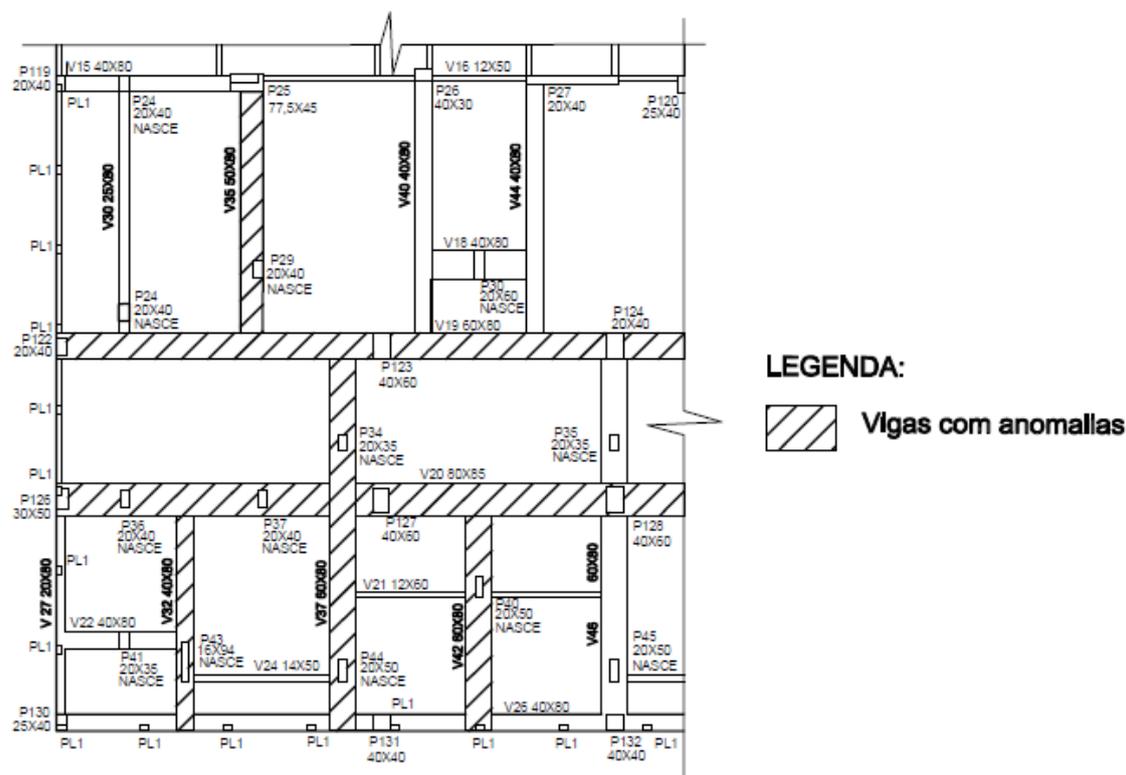
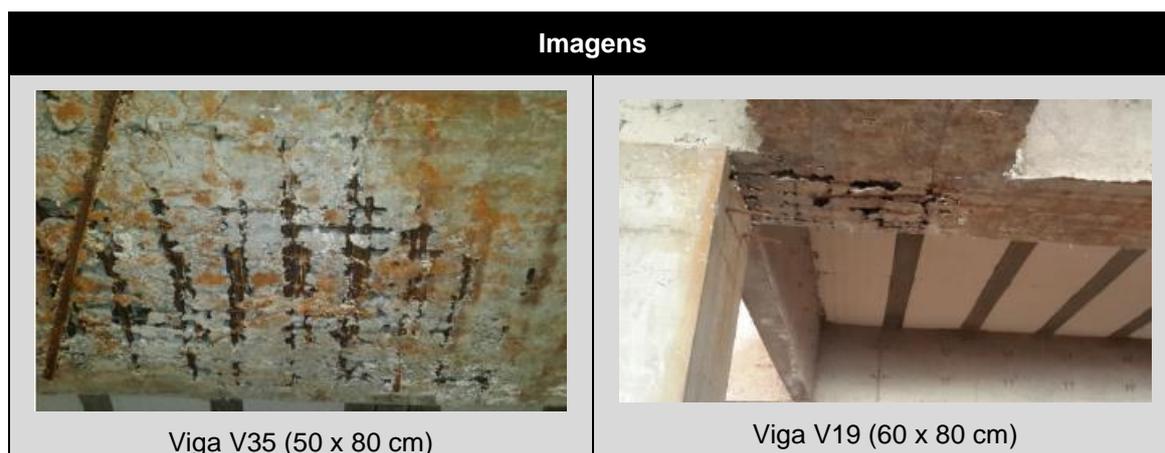


Figura 3 – Planta de localização das vigas. Fonte: Adaptado de Francescatto (2018).

A seguir, na tabela 9, são analisados os problemas patológicos através de fotografias.

Tabela 9 – Vigas de transição com anomalias. Fonte: Adaptado de Francescatto (2018).

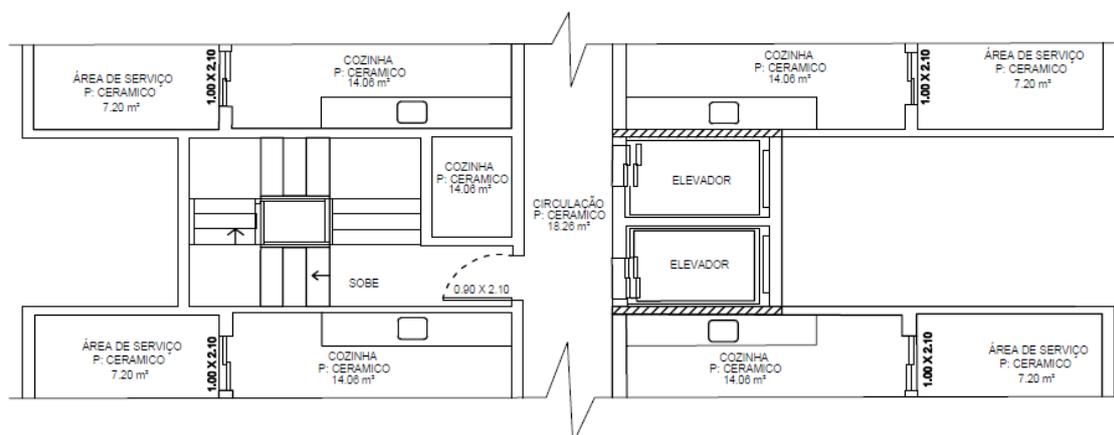


	
Viga V37 (60 x 80 cm)	Viga V20 (80 x 85 cm)
	
Viga V32 (40 x 80 cm)	Viga V42 (60 x 80 cm)
<b>Estado de Degradação</b>	
Exposição e Corrosão das Armaduras	
Desagregação do Concreto Usinado	
<b>Possíveis Causas</b>	
Falhas de Concretagem (lançamento e adensamento inadequado)	} Execução
Cobrimento insuficiente das armaduras	
Erro de posicionamento das armaduras	
Detalhamento incorreto das armaduras → Projeto	

Nos pavimentos superiores destinados aos apartamentos, também foram identificados anomalias nos pilares parede, normalmente localizados em escadas de edifícios e elevadores (Francescato, 2018).

De acordo com a NBR 6118:2014, o pilar-parede pode ser definido como elemento composto por uma ou mais superfícies integrantes, sujeitos principalmente à compressão. É importante destacar que a sua menor seção transversal deve corresponder a 1/5 da maior (Francescato, 2018).

A título de ilustração, segue a figura 4 representando os pilares-paredes na planta baixa do pavimento.

**LEGENDA:**

 **Pilar-parede com anomalia**

**Figura 4 – Planta baixa do apartamento tipo. Fonte: Adaptado de Francescatto (2018).**

Na tabela 10, são analisadas as imagens dos cortes realizados nos pilares-paredes para passagem das tubulações elétricas e hidráulicas.

**Tabela 10 – Cortes nos pilares-paredes. Fonte: Adaptado de Francescatto (2018).**

Imagens	
	
<b>Redução da seção do pilar-parede</b>	
<b>Armadura próxima à tubulação</b>	
Características do pilar-parede	
Dimensão: 20 x 217cm / altura: 270 cm	
Esforço à compressão: 184,0 toneladas	
Estado de Degradação	
Exposição das Armaduras (potencial para corrosão das armaduras)	

<b>Possíveis Causas</b>	
Cortes na seção do pilar-parede para passagem das tubulações	→ Execução
Mão-de-obra terceirizada realizada por várias empresas	→ Execução
Falta de compatibilização dos projetos	→ Projeto

Com base no que foi exposto, é possível verificar que a perda da dimensão do pilar-parede, submeteu o elemento a uma tensão elevada que gerou um aumento do momento fletor e redução da inércia (Francescato, 2018).

Segundo Francescato (2018), vale ressaltar que os cortes feitos para a passagem das tubulações hidráulicas tornaram as armaduras expostas, e conseqüentemente, na fase de utilização do edifício pode agravar o processo corrosivo devido a possíveis vazamentos.

### **Métodos preventivos**

Os resultados da pesquisa realizada apontaram as falhas na execução da obra e na elaboração dos projetos, como os principais desencadeadores do processo corrosivo na edificação estudada. Neste caso, a mão-de-obra terceirizada por várias empresas e a incompatibilidade dos projetos entre as construtoras envolvidas provocaram a degradação precoce do edifício.

Sendo assim, é importante destacar que os projetos estruturais devem ser coerentes, bem detalhados e de fácil interpretação conforme as normas técnicas (NBR). Outro cuidado que poderia ser tomado refere-se ao pré-estudo de dimensionamento das tubulações e a locação das pias, que poderiam evitar os cortes indevidos no pilar-parede, e conseqüentemente, a exposição das armaduras.

Com relação à execução da obra, a fiscalização e a capacitação técnica da equipe, garantiriam o respeito ao cobrimento mínimo das armaduras previsto em projeto e o correto lançamento e adensamento durante a concretagem.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente artigo teve como objetivo identificar as possíveis causas da corrosão de armaduras em edifícios, buscando medidas preventivas para reduzir a incidência desta patologia. Para isso, foi utilizada como metodologia uma revisão bibliográfica e um estudo de caso.

A prevenção da deterioração da edificação inicia-se no desenvolvimento do projeto, segue durante a execução da obra e pode proceder ao longo da sua vida útil, realizando vistorias e manutenção.

Baseado no estudo de caso realizado verificou-se que o detalhamento incorreto das armaduras no projeto ocasionou uma alta densidade das armaduras, dificultando o lançamento e o adensamento do concreto, e assim, resultando na segregação do concreto, também conhecida como bicheiras.

No que tange a fase da execução, o não atendimento do cobrimento mínimo exigido em projeto e as falhas de concretagem foram as principais causas da corrosão das armaduras.

Para a prevenção da corrosão das armaduras verificou-se que a fase mais importante é a da execução da obra, onde se deve ter uma equipe tecnicamente capacitada e uma fiscalização eficiente para garantir a qualidade na construção da edificação. Assim, é possível assegurar a qualidade do concreto e da espessura do cobrimento das armaduras.

Em situações em que o meio de exposição é considerado muito agressivo, recomenda-se empregar proteções adicionais como: galvanização das armaduras, inibidores de corrosão, entre outros.

Desta forma, o estudo pode contribuir para a execução de edificações mais seguras, mantendo seu desempenho funcional e estrutural, e conseqüentemente, prolongando sua vida útil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Erika Bressan Botelho de. **Principais Manifestações Patológicas Encontradas em Edificação**: Manifestação patológica, Principais patologias nas edificações e as Medidas de profilaxia para se evitar futuras patologias.

ANTONIAZZI, Juliana Pippi. **Patologia da Construção: Abordagem e Diagnóstico**. 2009. 7 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Catarina, 2009.

ARAUJO, Ciro José Ribeiro Villela. Principais aspectos abordados na ABNT NBR 9452:2016, a importância das atividades de manutenção em pontes e viadutos e as dificuldades das condições de acesso às inspeções. **IPT**, São Paulo, v. 1, n. 5, p.17-40, ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238 p.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção**: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 415 p. Tradução de Leda Maria Marques Dias Beck.

CORSINI, Rodnei (Ed.). **Ambientes agressivos**: Projetos de estruturas de concreto expostas a ambientes quimicamente agressivos exigem atenção especial para assegurar desempenho e vida útil à edificação. 2013.

FRANSCESCATTO, Taciane Roberta. **Análise das Manifestações Patológicas de um Edifício Residencial em Campo Mourão**. 2018. 14 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos – Ufscar, São Carlos, 2018.

FREIRE, Karla Regina Rattmann. **Avaliação do Desempenho de Inibidores de Corrosão em Armaduras de Concreto**. 2005. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GIONGO, Leonardo Casales. **Análise de Processos Corrosivos de Armaduras em Edificações de Concreto Armado**. 2015. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Catarina, 2015.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Corrosão em construção civil**. Brasil. Disponível em: <<http://www.ipt.br/solucoes/272-corrosao-em-construcao-civil.htm>>. Acesso em: 06 out. 2018.

MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão de Armaduras em Concreto Armado: Fundamentos, diagnóstico e prevenção.** João Pessoa: Ifpb, 2017. 125 p.

ROCHA, Ivan. Corrosão em estruturas de concreto armado. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, v. 1, n. 10, p.1-26, dez. 2015.

SANTOS, Aleilson Vilas-bôas dos. Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, v. 1, n. 10, p.1-21, dez. 2015.

SANTOS, Maurício Ruas Gouthier dos. **Deterioração das Estruturas de Concreto Armado – Estudo de Caso.** 2012. 109 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão e Tecnologia na Construção Civil, Engenharia de Materiais e Construção, Escola de Engenharia da Ufmg, Belo Horizonte, 2012.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo: Pini, 1998.

TOMAZELI, Alexandre; MARTINS, Flávio de Camargo (Ed.). Condomínio Central Park Ibirapuera: a importância de um laudo técnico para a obtenção da excelência na recuperação das fachadas em edifícios. **Concreto & Construções (IBRACON):** Recuperação Estrutural: diagnósticos e terapias para prolongar a vida útil das obras, São Paulo, v. 49, p.13-20, mar. 2008.

ZEQUIM, Tamiris Mello. **Estudo dos Métodos de Previsão de Vida Útil de Estruturas em Concreto Armado de Edificações em Normas Brasileiras e Estrangeiras.** 2017. 4 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

<sup>1</sup> Disponível em: < [http://www.ipt.br/solucoes/272-corrosao\\_em\\_construcao\\_civil.htm](http://www.ipt.br/solucoes/272-corrosao_em_construcao_civil.htm) >