

**Caroline Camila Rodrigues dos Santos**  
UNESA  
**Bruno Matos de Farias**  
UNESA

## RESUMO

Este artigo propõe-se a apresentar Viaduto Engenheiro Freyssinet localizado no Rio de Janeiro-RJ, construído em 1969. Para desenvolvimento do estudo de caso utilizou-se a metodologia proposta por Lichtenstein (1985), que consiste basicamente em três etapas: levantamento de subsídios, através de vistoria do local, identificando a natureza e origem das patologias; diagnóstico da situação, buscando o entendimento dos fenômenos em termos de interpretação das relações de causas e efeitos que caracterizaram as manifestações patológicas da estrutura de concreto armado. Optou-se por esse método por ser disponível e conhecido, além de contar com vários exemplos práticos para pesquisa. O viaduto em estudo tem como objetivo principal expor as principais causas do aparecimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto em viadutos e propor soluções para as manifestações detectadas no viaduto em questão. Notou-se no decorrer dessa pesquisa que as principais manifestações patológicas estão ligadas a projetos deficientes de detalhamento e incompatibilidade entre eles, falhas durante a execução e falta de vistoria dos profissionais, resultando em diversos problemas nas estruturas comprometendo o desempenho delas. Chegou-se ao entendimento que um programa eficiente de inspeção/manutenção constante traz possibilidades de assegurar a durabilidade das edificações, permitindo determinar prioridades para as ações necessárias ao cumprimento da vida útil prevista.

**Palavras-chave:** patologia; estrutura; concreto armado.

## INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização o homem vem utilizando materiais naturais como elementos constituintes da construção civil. Porém, com o passar dos anos, tem-se preocupado cada vez mais com a estabilidade e segurança das edificações e com o desenvolvimento de materiais, técnicas e métodos, consolidando cada vez mais a tecnologia das construções, abrangendo a análise, o cálculo e o detalhamento das estruturas bem como as respectivas técnicas construtivas. Esses processos de alterações e

aprimoramento proporcionaram, dentro de certos limites, a construção de estruturas adaptadas às necessidades dos usuários, sejam elas habitacionais, laborais ou de infraestrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

No Brasil, a falta de programas voltados à manutenção de pontes e viadutos é um dos maiores problemas enfrentados pelo sistema rodoviário. Um dos fatores que contribui para isso, é a ausência de políticas e estratégias voltadas para a conservação dessas obras, que, por sua vez, estão sendo sobrecarregadas pelo grande fluxo de veículos pesados e com sobrepeso (VITÓRIO, 2006 apud BASTOS; MIRANDA, 2017).

De acordo com a norma brasileira atual, NBR 6118:2014, se todas as suas prescrições, deveres e condições relativas à durabilidade, ao Estado Limite Último e ao Estado Limite de Serviço forem atendidas, se houver as manutenções preventivas como definidas em projeto e contando que não haja alterações das condições ambientais para as quais a estrutura de concreto foi projetada, essas estruturas terão sua durabilidade garantida, observadas também as manutenções essenciais definidas durante o projeto (ANGELO, 2004).

Para uma completa análise das patologias, Machado (2002, p. 5) afirma que é necessário verificar e interpretar “as manifestações patológicas; os agentes causadores dos problemas; as origens dos problemas; os erros de projeto”. Considerando a importância do tema, foi realizado um estudo das patologias encontradas nas estruturas de concreto do Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet localizado no Rio de Janeiro-RJ, procurando saber especificadamente essas manifestações para determinar quais os fatores influenciadores de patologias nessas estruturas de concreto.

Justifica-se a escolha do tema pela importância que o mesmo abrange em relação aos gastos para os cofres públicos, já que, a falta de manutenções nas obras públicas faz com que pequenos problemas – que a princípio teriam baixos custos de recuperações, evoluam para situações de desempenho insatisfatório com ambientes insalubres, de deficiente aspecto estético, de possível insegurança estrutural e de alto custo de recuperação (ANTONIAZZI, 2009).

No ano de 2016, um táxi foi atingido por um bloco de reboco na altura da Praça Condessa de Frontin, próximo à Rua do Bispo no Rio de Janeiro. Na ocasião, nenhuma pessoa ficou ferida, mas o vidro traseiro do veículo foi destruído.

Quase todos os anos surgem notícias de viadutos sem manutenções, desabando ou interditados devido a deslocamento de suas partes de concretos. A falta de pessoal especializado disponível para contratação, em razão do aquecimento do mercado de construção, a conivência do Estado e a carência de informação da população são elementos que corroboram essa situação (FERREIRA, 2015).

## **Hipóteses**

Segundo a ABNT NBR: 6118:2014 referente a Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, na parte 14 refere a Análise estrutural vai determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações dos estados-limites últimos e de serviço. No item secundário 14.3 referente as hipóteses básicas sobre as condições de equilíbrio, condições de compatibilidade e carregamento monotônico. São utilizadas nos dimensionamentos de vigas de concreto. Na parte 15 refere a Instabilidade e efeitos de 2ª ordem. No item secundário 15.2 referente ao campo de aplicação e conceitos fundamentais.

Se aplica principalmente a estruturas constituídas por barras submetidas à flexão composta, onde a contribuição da torção, nos efeitos de 2ª ordem, possa ser desprezada.

## **Condições de equilíbrio**

As condições de equilíbrio devem ser necessariamente respeitadas. As equações de equilíbrio podem ser estabelecidas com base na geometria indeformada da estrutura (teoria de 1ª ordem), exceto nos casos em que os deslocamentos alterem de maneira significativa os esforços internos (teoria de 2ª ordem).

## **Condições de compatibilidade**

Quando as condições de compatibilidade não forem verificadas no estado-limite considerado, devem ser adotadas medidas que garantam ductilidade adequada da estrutura no estado-limite último, resguardado um desempenho adequado nos estados-limites de serviço.

## **Carregamento Monotônico**

Admite-se carregamento monotônico até o estado-limite considerado, nas estruturas usuais, desde que a resposta a ciclos de carga e descarga, em serviço, não solicite o concreto a tensões de compressão acima de  $0,5 f_{ck}$ .

## **Campo de Aplicação e Conceitos Fundamentais**

Esta parte se aplica principalmente a estruturas constituídas por barras submetidas à flexão composta, onde a contribuição da torção, nos efeitos de 2ª ordem, possa ser desprezada.

Os princípios desta parte podem ser aplicados a outros tipos de elementos estruturais, como cascas, paredes e vigas-parede.

Nas estruturas de concreto armado, o estado-limite último de instabilidade é atingido sempre que, ao crescer a intensidade do

carregamento e, portanto, das deformações, há elementos submetidos a flexo-compressão em que o aumento da capacidade resistente passa a ser inferior ao aumento da sollicitação.

Existem nas estruturas três tipos de instabilidade:

- a) nas estruturas sem imperfeições geométricas iniciais, pode haver (para casos especiais de carregamento) perda de estabilidade por bifurcação do equilíbrio (flambagem);
- b) em situações particulares (estruturas abatidas), pode haver perda de estabilidade sem bifurcação do equilíbrio por passagem brusca de uma configuração para outra reversa da anterior (ponto - limite com reversão);
- c) em estruturas de material de comportamento não linear, com imperfeições geométricas iniciais, não há perda de estabilidade por bifurcação do equilíbrio, podendo, no entanto, haver perda de estabilidade quando, ao crescer a intensidade do carregamento, o aumento da capacidade resistente da estrutura passa a ser menor do que o aumento da sollicitação (ponto-limite sem reversão).

Fonte: ABNT NBR: 6118:2014.

Os casos a) e b) podem ocorrer para estruturas de material de comportamento linear ou não linear.

Efeitos de 2ª ordem são aqueles que se somam aos obtidos em uma análise de primeira ordem (em que o equilíbrio da estrutura é estudado na configuração geométrica inicial), quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada.

Os efeitos de 2ª ordem, em cuja determinação deve ser considerado o comportamento não linear dos materiais, podem ser desprezados sempre que não representarem acréscimo superior a 10 % nas reações e nas sollicitações relevantes na estrutura.

O presente trabalho tem como objetivo estudar as manifestações patológicas no Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet localizado no Rio de Janeiro-RJ.

Esse projeto de estudo tem por objetivo específico:

- Analisar quais são as origens das manifestações patológicas do concreto armado;
- Apontar as principais e mais comuns manifestações patológicas em estruturas de concreto armado encontradas, mostrando quais são as características de cada uma para que possam ser reconhecidas, reforçadas e recuperadas;
- A partir do diagnóstico e compreender as causas das patologias, apontar a recuperação estrutural.

## **PATOLOGIA NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Conforme relata Trindade (2015), após o advento do concreto e as vantagens que apresentava sobre as demais técnicas e materiais utilizados na época, registrou-se intensa aceleração no uso deste material. E, durante muitos anos, o concreto armado foi considerado um material perene, que não necessitava de cuidados e dispensava manutenção. Entretanto, começaram também a serem identificadas as manifestações patológicas que este pode provocar devido ao desleixo, a sua má utilização, à mão de obra desqualificada ou pela falta de conhecimento de como utilizá-lo apropriadamente.

### **CONCEITO PATOLOGIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Entende-se por Patologias de Estruturas de Concreto Armado a ciência que estuda as causas, mecanismos de ocorrência, manifestações e consequências dos erros nas construções civis ou nas situações em que a edificação não apresenta um desempenho mínimo preestabelecido pelo usuário.

O crescimento muito acelerado da construção civil provocou a necessidade de inovações, trazendo também a aceitação de certos riscos, que demandam um maior conhecimento sobre estruturas e materiais. Esse aprendizado provém das análises dos erros acontecidos, que têm resultado em deterioração precoce ou acidentes. Apesar disto tudo, tem sido constatado que algumas estruturas acabam por ter desempenho insatisfatório, confrontando-as com os objetivos as quais se propunham (SOUZA e RIPPER, 1998).

No caso das estruturas, vários problemas patológicos podem surgir em virtude do que já foi comentado. Uma fiscalização deficiente relacionada a uma baixa capacitação dos profissionais envolvidos pode levar a graves erros em determinadas atividades, como a implantação da obra, escoramento, formas, posicionamento, qualidade das armaduras e concretagem, desde a sua fabricação até a cura. Botelho (1996) afirma que:

[...] a ocorrência de problemas patológicos cuja origem está na etapa de execução é devida, basicamente, ao processo de produção que é em muito prejudicado por refletir de imediato os problemas socioeconômicos, que provocam baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados, como os serventes e os meio-oficiais, e mesmo do pessoal com alguma qualificação profissional (BOTELHO 1996, p.43).

De acordo com Clímaco (2016), as construções existem, desde a Antiguidade, para se adequarem ao estilo de vida do homem, tanto para abrigo como para trabalho ou expansão territorial. Os materiais estruturais foram evoluindo junto com a civilização, começando pela pedra e a madeira,

que datam de, pelo menos, três mil anos, até chegar nas ligas metálicas, há alguns séculos.

## **SEGURANÇA**

Conforme ABNT NBR 15575:2013, parte 1, as exigências do usuário relativas à segurança são expressas pelos seguintes fatores:

- Segurança estrutural;
- Segurança contra o fogo;
- Segurança no uso e na operação.

### Segurança Estrutural

Em relação à estabilidade estrutural deve-se atender as prescrições da ABNT NBR 6118:2007, em relação aos estados limites de serviço e estados limites últimos.

### Segurança Contra o Fogo

Em relação à segurança contra o fogo, deve-se atender as prescrições da ABNT NBR 15200:2012 (Esta Norma estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio e a forma de demonstrar o seu atendimento, conforme requisitos de resistência ao fogo estabelecidos na ABNT NBR 14432:2001).

## **VIDA ÚTIL**

Segundo declara Ângelo (2004), definir a vida útil da estrutura de concreto não é tarefa simples, pois este estudo abrange conhecimentos multidisciplinares como as engenharias de estruturas, de materiais, de construção, de manutenção, de química, economia e estatística. A vida útil de uma estrutura está intimamente ligada ao processo de deterioração dos materiais utilizados na obra, dos esforços a que os elementos estão sujeitos, bem como das condições ambientais e dos agentes agressores. Mas, por meio de modelos estatísticos, podem-se encontrar valores aproximados da duração da vida útil de uma ponte ou viaduto.

A autora afirma que utilizar métodos estatísticos e matemáticos é adequado para aferir a vida útil da estrutura de concreto, porém, os resultados não são precisos devido ao grande número de variáveis e de imprevistos. Não se calcula a vida útil e durabilidade de uma estrutura, mas, ao definir um cobrimento de concreto e uma relação água-cimento, pode-se, com razoável confiabilidade, fixar a vida útil da estrutura em, por exemplo, 40 anos. Desse modo, é possível seguir certo número de condições para se alcançar uma estrutura com boa durabilidade, sem determinar o número de anos.

Para Rohan et al (2016), algumas medidas são valiosas à preservação das funções para as quais a construção foi planejada e o prolongamento da vida útil da estrutura de pontes e viadutos que estão sob os efeitos de mecanismos de deterioração. Para isso, os autores defendem que a manutenção eficiente inclua os procedimentos indispensáveis ao bom estado da ponte e a recuperação emergencial, com o objetivo de evitar o desgaste da estrutura.

No entanto, Almeida e Sales (2018) entendem que a vida útil de uma estrutura de concreto armado está vinculada à sua durabilidade, enquanto esta é a capacidade de os elementos estruturais suportarem as agressões ambientais no qual está inserida. Assim, é fundamental conhecer e avaliar as influências e os efeitos que os diversos tipos de ambientes causam às estruturas de concreto. Segundo Mendes et al (2012), este conhecimento é essencial, pois sabe-se que, ao longo da vida útil das estruturas ocorrem mudanças de capacidade de carga, geometria dos veículos da frota, bem como alterações dos trens-tipo. Sob estas condições, muitas apresentam sinais de deterioração do concreto e da armadura.

## **DURABILIDADE**

Entende-se como durabilidade a medida em anos da vida útil de uma estrutura ou sistema.

A durabilidade das estruturas de concreto, conforme a NBR 6118:2007, item 5.1.2 é — A capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Para a NBR 6118:2007 da ABNT, item 5.1.2.3, durabilidade “consiste na capacidade da estrutura resistir as influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. No item 6.1 prescreve que “as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil”.

De acordo com Medeiros et Andrade an Helene (2011, p. 786) para evitar envelhecimento precoce e satisfazer às exigências de durabilidade devem ser observados os seguintes critérios de projeto:

- Prever drenagem eficiente;
- Evitar formas arquitetônicas estruturais inadequadas;
- Garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- Garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
- Detalhar adequadamente as armaduras.

O termo vida útil e durabilidade segundo Silva (2011) são tão próximos que, por vezes, são utilizados de maneira errada. A durabilidade é uma qualidade da estrutura e a vida útil é a quantificação desta qualidade.

Nos últimos anos, vários trabalhos têm confirmado a importância econômica da consideração da durabilidade, a partir de pesquisas que demonstram os expressivos gastos com manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos da Europa, conforme apresentado no Quadro 1.

**Quadro 1 - Gastos em países desenvolvidos com manutenção.**

país	gastos com construções novas	gastos com manutenção e reparo	gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanhã	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de libras (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

*Nota: todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de 2002.*

Fonte: Silva, 2011.

Verifica-se, pelo quadro acima, que dentre os países da Europa relacionados o que mais está investindo em novas construções é a Alemanha (99,7 Bilhões de Euros) e também em gastos com manutenção e reparo (99,0 Bilhões de Euros). Assim, por conta dos crescentes problemas de degradação precoce verificados nas estruturas,

[...] no setor da construção civil, observa-se, nas últimas duas décadas, uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e à extensão da vida útil das estruturas de concreto armado e protendido. (MEDEIROS et. ANDRADE an HELENE, 2011, p 773).

Neville e Brooks (2013) define durabilidade do concreto como sendo a capacidade do concreto de suportar as condições para as quais foi projetado durante a vida da estrutura.

### Considerações Iniciais Referentes aos Projetos

Em relação ao desenvolvimento dos projetos, a ABNT NBR 15575:2013, parte 1, estabelece que: — do ponto de vista da segurança e estabilidade ao longo da vida útil da estrutura, devem ser previstas nos projetos considerações sobre as condições de agressividade do solo, do ar e da água na época do projeto, prevendo-se as proteções aos sistemas estruturais e suas partes.

Além disso, prescreve que:

*“Salvo convenção escrita, é da incumbência do incorporador, de seus prepostos e/ou dos projetistas envolvidos, dentro de suas respectivas competências, e*



*não da empresa construtora, a identificação dos riscos previsíveis na época do projeto, devendo o incorporador, neste caso, providenciar os estudos técnicos requeridos e alimentar os diferentes projetistas com as informações necessárias. Como riscos previsíveis, exemplifica-se: presença de aterro sanitário na área de implantação do empreendimento, contaminação do lençol freático, presença de agentes agressivos no solo e outros riscos ambientais”.*

Fonte: ABNT NBR 15575:2013.

A ABNT NBR 15575:2013, estabelece que devem ser tomadas precauções com relação à implantação e descreve o seguinte:

*“Para edifícios ou conjuntos habitacionais com local de implantação definido, os projetos de arquitetura, da estrutura, das fundações, contenções e outras eventuais obras geotécnicas devem ser desenvolvidos com base nas características do local da obra (topográficas, geológicas etc.), avaliando-se convenientemente os riscos de deslizamentos, enchentes, erosões, vibrações transmitidas por vias férreas, vibrações transmitidas por trabalhos de terraplenagem e compactação do solo, ocorrência de subsidência do solo, presença de crateras em camadas profundas, presença de solos expansíveis ou colapsíveis, presença de camadas profundas deformáveis e outros”.*

Fonte: ABNT NBR 15575:2013.

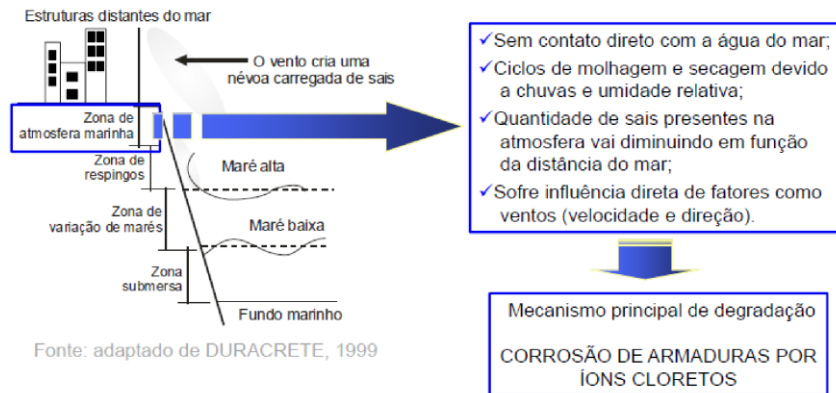
Há ainda que considerar as condições do entorno durante a realização dos projetos, conforme determina ABNT NBR 15575:2013, parte 1. —Os projetos devem ainda prever as interações entre construções próximas, considerando-se convenientemente as eventuais sobreposições de bulbos de pressão, efeitos de grupo de estacas, rebaixamento do lençol freático e desconfinamento do solo em função do corte do terreno.

A durabilidade das estruturas de concreto, conforme a NBR 6118:2007, item 5.1.2 é —A capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Lima (2011) apresenta, de forma bastante didática, a caracterização dos diferentes ambientes em contato com as estruturas, de tal forma que é possível identificar, de forma apropriada, as interações entre o meio ambiente e as estruturas.

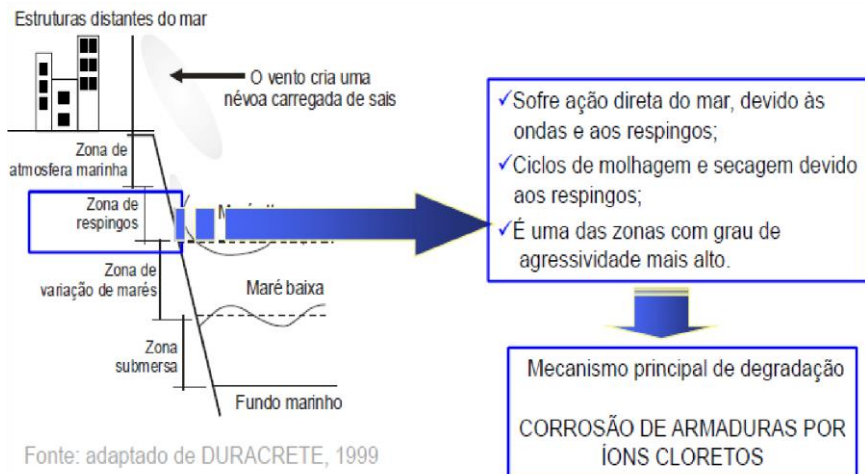
A Figura 1 apresenta as interações entre o ambiente marinho e as estruturas de concreto distante do mar, com os efeitos produzidos.

Figura 1 – Interação entre zona de atmosfera marinha e estruturas de concreto armado distantes do mar.



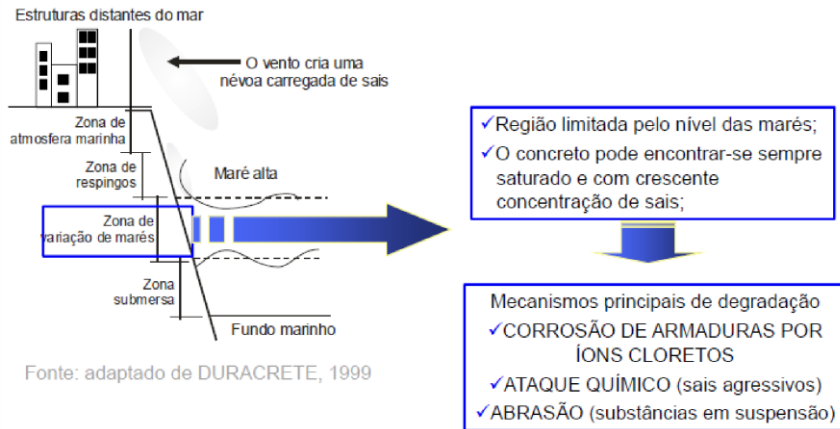
A Figura 2 apresenta a vinculação entre zona de respingos e os mecanismos de degradação da estrutura de concreto armado.

Figura 2 – Vinculação entre zona de respingos e os mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado.



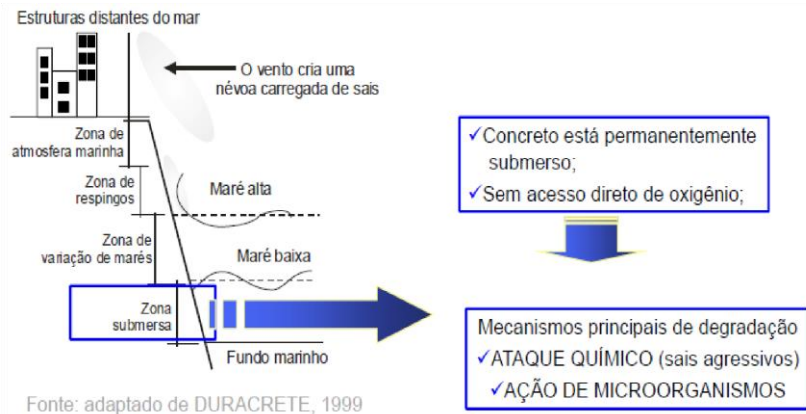
A Figura 3 apresenta a íntima relação entre variação das zonas das marés e os mecanismos de degradação do concreto.

Figura 3 – Relação entre zona de variação de marés e os mecanismos principais de degradação do concreto.



A Figura 4 apresenta-se a relação de causa e efeito em que a estrutura encontra - se submersa e os mecanismos de deterioração do concreto.

Figura 4 – Estruturas submersas e principais mecanismos de degradação do concreto.



Faz-se necessário considerar, ainda na etapa de projeto, climas e ambientes específicos, que conforme Lima (2011) podem ser apresentados esquematicamente, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Relação entre climas e ambientes específicos e mecanismos de degradação do concreto.

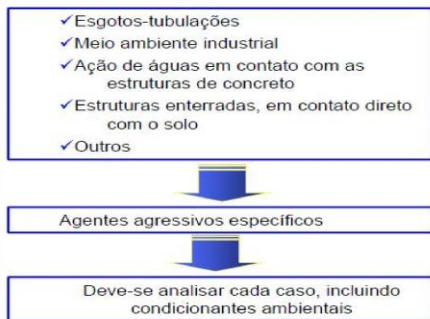
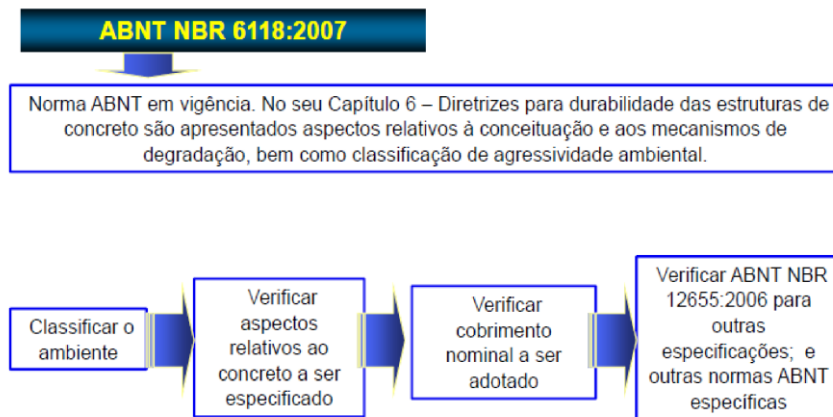


Figura 26 – Degradação apresentada em pilar de estrutura em contato com produtos químicos para fabricação de fertilizantes  
Foto: Maryangela Geimba de Lima, 1991

A seguir, apresenta-se na figura 6 fluxogramas proposto por Lima (2011), o qual auxilia no entendimento dos procedimentos propostos pela ABNT NBR 6118:2007 para a definição da classe de concreto, cobrimento de armadura e tipo de cimento, cujo objetivo é garantir a vida útil de projeto.

Figura 6 – Fluxograma de procedimentos a serem adotados quando da escolha classe de concreto, relação água/cimento, cobrimento nominal de armadura e tipo de cimento.



Fonte: ABNT NBR 6118:2007.

O Quadro 2 estabelece a relação entre a classe de agressividade ambiental, o tipo de ambiente, a agressividade e o risco de deterioração. Com base nessa tabela é possível definir em projeto a classe de resistência, a relação água/cimento mais apropriada, o adequado cobrimento de armadura e o mais apropriado tipo de cimento.

**Quadro 2 – Classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2007).**

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 <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> 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).

<sup>b</sup> 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.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118:2007.

O Quadro 3 apresenta a relação entre classe de agressividade ambiental, relação água/cimento e classe de resistência do concreto.

**Quadro 3 – Relação entre classe de agressividade ambiental, relação água/cimento e classe de resistência, conforme ABNT NBR 6118:2007.**

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	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

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118:2007.

O Quadro 4 apresenta a relação entre classe de agressividade ambiental e cobrimento de armadura.

**Quadro 4 – Relação entre classe de agressividade ambiental e cobrimento de armadura.**

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

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

<sup>b</sup> 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.

<sup>c</sup> 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.

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

Fonte: ABNT NBR 6118:2007.

## MANUTENÇÃO

Os pontos vulneráveis de uma estrutura precisam ser identificados na etapa de projeto, e também na etapa de construção, a fim de que seja preparado um sistema de manutenção. Para Souza e Ripper (1998), é a soma das ações para reduzir os gastos e manter o desempenho. É preciso definir as metodologias de operação, controle e execução da obra e a análise custo-benefício da mesma. Com a evolução modernista da construção civil, no campo das responsabilidades, surgiu a figura do usuário que participa da etapa da utilização, colaborando para o bom desempenho e para a durabilidade da obra, seguindo os princípios definidos no projeto. Na corresponsabilização, proprietário, investidor e usuário devem estar de acordo e preparados para arcar com o custo do sistema de manutenção idealizado pelos projetistas. O sistema funcionará com inspeções rotineiras tendo o usuário como ator essencial, iniciando na fase de concepção, seguindo os critérios de projeto de estruturas duráveis, com um programa sistemático de inspeções técnicas aos elementos estruturais.

Conforme Souza e Ripper (1998), a manutenção estratégica, ou cadastral, é projetada prevendo as intervenções corretivas e emergenciais.

São os casos em que são estabelecidos o ritmo e a forma dos procedimentos; as inspeções técnicas informativas e os sistemas que acompanharão o comportamento das partes vulneráveis identificadas na fase do projeto e da construção. A manutenção preventiva é realizada observando os dados obtidos nas inspeções regulares, atendendo aos critérios preestabelecidos para minimizar as probabilidades de ruína ou degradação da estrutura. A manutenção esporádica é fruto da necessidade de correção ou de reforço e não tem plano de ação predeterminado. O custo com um ou outro sistema varia segundo a localização geográfica e no entorno da estrutura.

Estas informações são importantes, contudo, Mascarenhas et al, (2019) acrescentam que a manutenção pode ser definida como todos os métodos que assegurem o desempenho satisfatório da estrutura, condutas que visam oferecer à estrutura maior tempo de vida útil.

## **INSPEÇÕES**

Segundo a ABNT NBR 9452:2019 refere - se a Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento. Na seção 4 determina os 4 tipos de inspeções. Os tipos de inspeções considerados nesta Norma são:

- a) cadastral;
- b) rotineira;
- c) especial;
- d) extraordinária.

### **Inspeção cadastral**

É a primeira inspeção realizada na obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão, instalação ou assim que se integra a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário.

Deve também ser realizada quando houver alterações na configuração da obra, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço, mudança no sistema estrutural.

A inspeção cadastral deve conter:

- a) as informações do roteiro básico;
- b) registro fotográfico;
- c) desenhos esquemáticos da planta do tabuleiro, e das seções típicas transversal e longitudinal, com suas respectivas medidas principais;
- d) a classificação da OAE;
- e) demais informações consideradas importantes para a inspeção.

O registro fotográfico de caracterização da estrutura deve ser constituído pelo menos por uma vista geral, pelas vistas superior, lateral e inferior do tabuleiro, dos elementos da mesoestrutura e da infraestrutura,

quando aparentes, e os detalhes julgados necessários. As fotos devem permitir a visualização da situação, aspecto geral e esquema estrutural. Deve conter também o registro das anomalias detectadas que comprometam as condições estruturais, funcionais e de durabilidade da obra. As fotos da obra devem ser datadas. O registro fotográfico deve ser apresentado juntamente com os dados coletados em conformidade com o roteiro.

### **Inspeção rotineira**

Inspeção de acompanhamento periódico, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizado em prazo não superior a um ano. Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas no período.

A inspeção rotineira deve conter:

- a) introdução contendo informações básicas, como rodovia e trecho inspecionado no caso de um lote de OAEs;
- b) a classificação da OAE;
- c) comentários quanto a eventuais alterações do estado geral da OAE detectadas em relação à inspeção anterior;
- d) Ficha de inspeção rotineira contendo registro de anomalias;
- e) registro fotográfico;
- f) demais informações consideradas importantes para a inspeção.

### **Inspeção especial**

A inspeção especial deve ter uma periodicidade de cinco anos, podendo ser postergada para até oito anos, desde que se enquadre concomitantemente aos seguintes casos:

- a) obras com classificação de intervenção de longo prazo (notas de classificação 4 e 5, conforme Tabela 1);
- b) obras com total acesso a seus elementos constituintes na inspeção rotineira.

A inspeção especial deve ser pormenorizada e contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE, com o intuito de formular o diagnóstico e prognóstico da estrutura. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura, lateralmente e sob a obra e, se for o caso, internamente, no caso de estruturas celulares.

Para elementos submersos, a inspeção subaquática deve ser realizada conforme.

A inspeção especial deve ser feita antecipada quando:



a) a inspeção anterior indicar uma classificação de intervenção em curto prazo (notas de classificação 1 e 2, conforme Tabela 1) nos seus parâmetros de desempenho estrutural e de durabilidade;

b) forem previstas adequações de grande porte, como alargamentos, prolongamentos, reforços e elevação de classe portante.

O procedimento para a inspeção especial deve seguir o roteiro apresentado.

### **Inspeção extraordinária**

A inspeção extraordinária é gerada por uma das demandas não programadas a seguir, associadas ou não:

a) necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte da OAE, podendo ou não ser gerada por inspeção anterior;

b) ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra;

c) ocorrência de eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros.

A inspeção extraordinária deve ser apresentada em relatório específico, com descrição da obra e identificação das anomalias, incluindo mapeamento, documentação fotográfica e terapia recomendada. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso ao elemento ou parte da estrutura.

Para elementos submersos, a inspeção subaquática deve ser realizada.

O fluxograma de inspeção orienta os passos decisórios para as inspeções a serem realizadas.

### **Parâmetros de avaliação das OAE**

Conforme a Parte 5 Critério de classificação das OAE, no item 5.1 Parâmetros de avaliação das OAE, nos subitens 5.1.1 e 5.1.3 descreve sobre os Parâmetros estruturais e Parâmetros de durabilidade das inspeções. De acordo com ABNT NBR 6118:2014.

### **Parâmetros estruturais**

Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à segurança estrutural da OAE, ou seja, referentes à sua estabilidade e capacidade portante, sob o critério de seus estados limites último e de utilização, conforme ABNT NBR 6118:2014.

Sob o ponto de vista de prioridades de ações de recuperação, é frequente estes parâmetros serem objeto de maior atenção, notadamente quando a obra apresenta sintomatologia já visualmente detectável de desempenho estruturalmente anômalo.

## Parâmetros de durabilidade

Designam-se por parâmetros de durabilidade aquelas características das OAE diretamente associadas à sua vida útil, ou seja, com o tempo estimado em que a estrutura deve cumprir suas funções em serviço. Conforme ABNT NBR 6118:2014.

Deste modo, estes parâmetros vinculam-se à resistência da estrutura contra-ataques de agentes ambientais agressivos. Exemplificam-se como anomalias associadas à durabilidade, ausência de cobrimento de armadura, corrosão, fissuração que permite infiltrações, erosões nos taludes de encontros, entre outras.

A relevância dos problemas de durabilidade deve ser avaliada em conjunto com a agressividade do meio em que se situam, com o objetivo de inferir a velocidade de deterioração a eles associados.

### Notas de Classificação

A classificação da OAE consiste na atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Essas notas de avaliação devem variar de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A classificação deve seguir o estabelecido na Tabela 1, que correlaciona essas notas com a condição da OAF e caracteriza os problemas detectados, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

**Tabela 1 – Classificação da condição de obra de arte segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.**

<b>Nota de Classificação</b>	<b>Condição</b>	<b>Caracterização o estrutural</b>	<b>Caracterização o funcional</b>	<b>Caracterização o de durabilidade</b>
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.

4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.

**Tabela 1 (continuação)**

2	Ruim	<p>Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.</p>	<p>OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.</p>	<p>A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.</p>
1	Crítica	<p>Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e</p>	<p>A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.</p>	<p>A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.</p>

		associada instrumentação, ou não.		
--	--	--	--	--

Fonte: ABNT NBR 9452:2019.

No caso das inspeções especiais, que são mais detalhadas, cada elemento da obra é inspecionado e suas anomalias são registradas. A classificação deve seguir os referenciais de classificação apresentados no subitem 2.7.1.

A nota final deve ser a menor nota atribuída ao parâmetro analisado, conforme Tabela 2.

A classificação final deve ser apresentada conforme o modelo apresentado na Tabela 2, por componente estrutural e com uma classificação para cada um dos parâmetros considerados estrutural, funcional e de durabilidade, com base nas notas da Tabela 1.

**Tabela 2 – Modelo de ficha de classificação.**

Parâmetro	Elemento						Nota Final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutural							
Funcional		NA	NA				
Durabilidade							

Fonte: ABNT NBR 9452:2019.

## DEFINIÇÃO DA PATOLOGIA NO CONCRETO ARMADO

Segundo Helene (2002), as patologias normalmente apresentam características externas a partir das quais se pode conhecer sua origem, natureza e os mecanismos dos acontecimentos envolvidos. Certos problemas têm maior incidência, devido a necessidade de cuidados que geralmente são ignorados, seja no projeto, na execução ou até mesmo na utilização. Pode-se dizer que os problemas de maior importância nas estruturas em concreto armado, que requer atenção pelo seu evidente risco à integridade da estrutura, são a corrosão da armadura do concreto, as flechas excessivas das peças estruturais e as fissuras patológicas nestas.

Ainda de acordo com o mesmo autor, é importante salientar que uma análise correta dos problemas, é aquela que nos permite definir claramente a origem, causas, consequências, a intervenção mais adequada e o método de intervir. Mais adiante, alguns problemas serão apresentados e tratados individualmente.

## Causas das Patologias

Para identificar as causas das patologias do concreto é preciso observar suas manifestações que ocorrem normalmente nas partes externas das estruturas. No entanto, existem partes externas que não são normalmente visualizadas, como os totais ou parcialmente enterradas (fundações, arrimos, piscinas); as faces internas das juntas de dilatação; e as do interior de galerias e reservatórios. “Nesses locais, os chamados danos ocultos só são detectados se forem programadas e executadas inspeções específicas”, afirma PIANCASTELLI (2014).

As manifestações a seguir podem indicar a existência de patologias do concreto.

- Fissuras e Trincas
- Desagregação
- Erosão e Desgaste
- Disgregação (Desplacamento ou Esfoliação)
- Segregação
- Manchas
- Corrosão
- Eflorescência
- Calcinação
- Flechas Exageradas
- Perda de Aderência Entre Concretos (nas juntas de concretagem)
- Porosidade
- Permeabilidade

*“Vale ressaltar que algumas enfermidades são erroneamente consideradas sintomas, como o caso clássico da corrosão das armaduras, que caracteriza a enfermidade ‘falta de homogeneidade’, e cujos sintomas são fissuras e desagregação do concreto”, diz PIANCASTELLI (2014).*

## Origem das Patologias

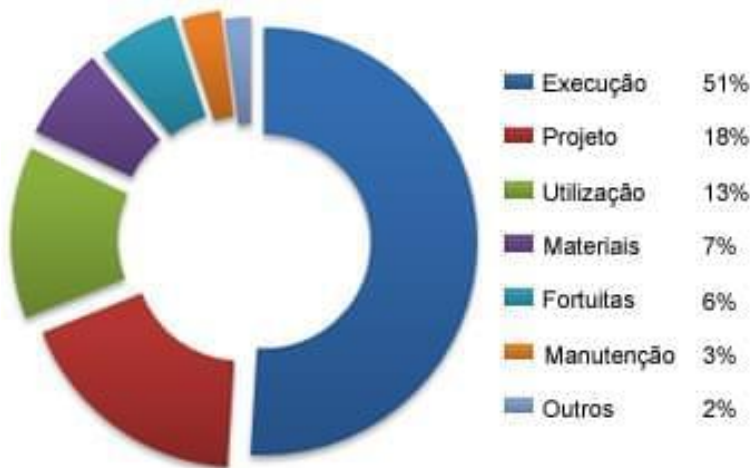
A origem de uma patologia está relacionada com a etapa da vida da estrutura em que foi criada a predisposição para que agentes desencadeassem seu processo de formação. Conheça as origens das enfermidades do concreto:

- Defeitos de projeto
- Defeitos de execução
- Erosão e Desgaste
- Má qualidade dos materiais ou uso inadequado
- Sinistros ou causas fortuitas (incêndios, inundações, acidentes etc.)
- Uso inadequado da estrutura

- Manutenção imprópria
- Outras, incluindo origens desconhecidas

No Brasil, as principais causas das patologias estão relacionadas à execução. A segunda maior causa são os projetos que pecam por má avaliação de cargas; erros no modelo estrutural; erros na definição da rigidez dos elementos estruturais; falta de drenagem; ausência de impermeabilização; e deficiências no detalhamento das armaduras. A Figura 7 apresenta resultados relacionados com incidências e origens de manifestações patológicas, segundo estudo de PIANCASTELLI (2014).

Figura 7 – Incidências e origens de manifestações patológicas.

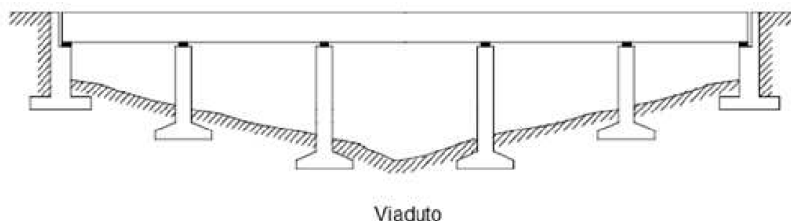


Fonte: Piancastelli, 2014.

## VIADUTO

Segundo a ABNT NBR 9452:2019. No item 3.3, viaduto: estrutura destinada à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo é constituído por rodovia, ferrovia, vale, grota, contorno de encosta. Esta estrutura destina-se também à substituição de aterros. No item 3.8 estabelece viaduto como obra de arte especial (OAE): estrutura classificada como ponte, pontilhão, viaduto ou passarela. E no item secundário 3.17 esclarece sobre as patologias: estudo técnico e especializado do fator (ou conjunto de fatores) que gera determinada anomalia, bem como das alterações por esta trazida ao elemento em análise e à OAE.

Figura 8 – Esquema de Viaduto.



Fonte: DEBS e TAKEYA, 2009.

## Histórico

No Brasil, o DNIT (2004) afirma que as primeiras normas para a construção de pontes e viadutos são datadas da década de 40, período em que a malha rodoviária federal foi implantada. Como as estruturas construídas naquela época eram elaboradas em normativas que se modificaram ao longo dos anos, algumas obras sofreram processos de restauração e/ou reforço em sua estrutura. Essas modificações foram necessárias para acompanhar o desenvolvimento da sociedade e possibilitar a construção de novas estruturas mais seguras e com melhor desempenho mecânico.

## **METODOLOGIA**

O presente capítulo pretende apresentar os procedimentos, ferramentas e estratégias para o desenvolvimento do trabalho. Serão descritos o método de estudo, os instrumentos de coleta e de análise de dados qualitativa com referência bibliográfica. Fachim (2005), afirma que toda pesquisa científica tem início com o método observacional. Este método baseia-se em processos de natureza sensorial, como produto do processo em que se empenha o pesquisador no mundo dos fenômenos empíricos.

## **O MÉTODO DE ESTUDO DE CASO**

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizado o método de estudo de um caso no Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet na cidade do Rio de Janeiro – RJ.

Segundo Lichtenstein (1985), o levantamento de subsídios e a etapa onde as informações essenciais e suficientes para o entendimento completo das manifestações patológicas são organizadas. Estas informações são obtidas através de três formas: vistoria do local, levantamento histórico do viaduto e do problema e o resultado das análises.

A vistoria do local foi contemplada com a coleta de dados através do levantamento fotográfico das patologias de um viaduto na cidade do Rio de Janeiro através de um smartphone “*Samsung Galaxy S8*”.



## CRITÉRIOS PARA DELIMITAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

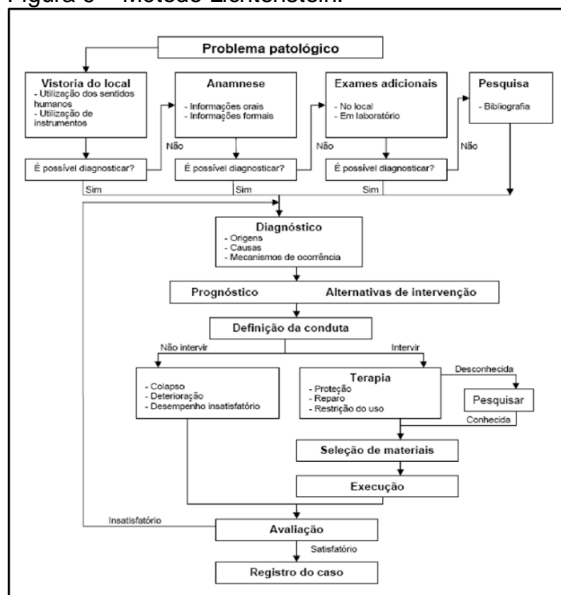
O trabalho foi realizado no Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet na cidade do Rio de Janeiro – RJ. Optou-se por esse Viaduto devido aos diversos e grandes números de patologias encontradas, se comparado a outros viadutos com mesma ou diferença de idade. Além disso, por ele estar localizado na cidade do Rio de Janeiro – RJ, tornou-se de fácil o acesso para realização de vistorias, fotografias e observações patológicas.

O critério de escolha de ambientes para estudo foi dado as diversas presenças evidentes as manifestações patológicas e por meio de relatos jornalísticos ligados aos ambientes. Foram vistoriados cada um dos ambientes, em todos neles foram detectadas as patologias. A partir daí, os ambientes que mais apresentaram as patologias com mais significativas, fazem parte do presente estudo.

## MÉTODO PARA LEVANTAMENTO E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Para diagnosticar os problemas patológicos no presente estudo de caso foi utilizado em partes o método de *Lichtenstein*. Foi escolhido esse método porque é disponível e conhecido, além de possuir vários exemplos práticos para pesquisa. Ele tem seu desenvolvimento explicado na Figura 9.

Figura 9 – Método Lichtenstein.



Fonte: Lichtenstein, 1985.

A identificação das patologias e a vinculação de suas causas tem o objetivo de aplicar o método em estudo e possivelmente contribuir para uma correção na trajetória de busca de durabilidade nas construções.

*Lichtenstein* no ano de 1985 propôs uma estrutura para a análise de problemas patológicos que consiste em uma sequência de três etapas:

Primeira fase: consiste no levantamento de subsídios, fazendo parte desta, a vistoria do local, o levantamento da história do problema e do edifício (*anamnese do caso*), ensaios complementares e pesquisa. Entendido o caso, parte-se então para a segunda fase.

Segunda fase: que é a elaboração do diagnóstico da situação, que compreende entender — os porquês e os cosmos a partir de dados conhecidos.

Terceira fase: caracteriza-se por ser a definição de conduta. Na presente pesquisa não será realizado estudo das alternativas de intervenção.

### Levantamento de Subsídios

Para examinar o objetivo, realizou-se o levantamento através de vistoria no Viaduto Elevado Engenheiro Freyssinet do Rio de Janeiro, no dia 27 de setembro de 2020, buscando observar minuciosamente cada uma das manifestações patológicas, para levantamento do maior número de dados possível. Também foram efetuados registros fotográficos das patologias detectadas, pesquisa bibliográfica relacionada a cada um dos problemas encontrados.

### Diagnóstico da Situação

O diagnóstico da situação, segundo *Lichtenstein* (1985), é a compreensão dos fenômenos, buscando identificar as relações de causa e efeito que normalmente caracterizam uma patologia. Cada subsídio, segundo este autor, obtido na vistoria do local, na anamnese ou nos exames complementares deve ser interpretado no sentido de compor um quadro de entendimento de como trabalha o edifício, como reage à ação dos agentes agressivos, porque surgiu e como se desenvolveu o problema patológico.

## **DESENVOLVIMENTO**

Neste capítulo será demonstrado o local de estudo das patologias, com as informações sobre o histórico do viaduto, os casos analisados dentro da estrutura proposta, com descrição e análise de três casos conforme a metodologia de *Lichtenstein* (1985), detalhada para cada tipo de ocorrência.

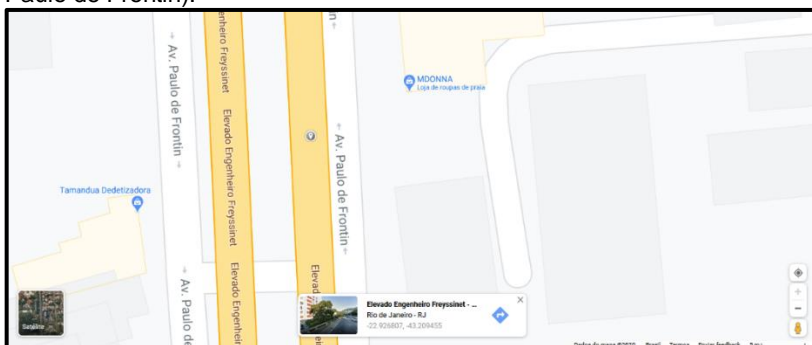
## VIADUTO ENGENHEIRO FREYSSINET (ELEVADO PAULO DE FRONTIN) – HISTÓRICO DO VIADUTO

No ano de 1962, foi idealizado o projeto como a primeira parte da Linha Vermelha, em 1969 deu início a construção do viaduto pelo engenheiro civil de estruturas Eugène Freyssinet, mais conhecido como Viaduto Elevado Paulo de Frontin.

O Viaduto é conhecido como Paulo de Frontin porque embaixo dele passa uma avenida com esse nome.

O elevado liga o Túnel Rebouças à Linha Vermelha, com saídas em direção à Ponte Rio-Niterói e à Avenida Brasil. Em um grande trecho, ele acompanha todo o traçado da Avenida Paulo de Frontin, no bairro do Rio Comprido.

Figura 10 – Localização do Viaduto Elevado Eugène Freyssinet (Viaduto Elevado Paulo de Frontin).



Fonte: Google Maps, 2020.

Este Viaduto Elevado Eugène Freyssinet, recebeu esse nome em homenagem ao francês e engenheiro civil de estruturas Eugène Freyssinet.

Figura 11 – Eugène Freyssinet.



Fonte: Diário do Rio, 2020.

Em 20 de novembro de 1971, numa manhã de um sábado, um trecho de 50 metros do Elevado Engenheiro Freyssinet mais conhecido como viaduto Paulo de Frontin desabou sobre o cruzamento da Rua Haddock Lobo com a Avenida Paulo de Frontin, na Tijuca, matando 29 pessoas e ferindo outras 18.

O desabamento ocorreu quando um caminhão betoneira de 2,5 toneladas carregando 8 toneladas de concreto e pedras tentou atravessar o vão da Haddock Lobo. O peso fez a construção quebrar, com as vigas e o concreto desabando sobre os carros que aguardavam no sinal. Depois do desastre, num trecho de 122 metros do elevado, sobraram apenas as colunas, era possível ver que a estrutura do elevado se partira formando um “V”.

Figura 12 – Desabamento, no início dos anos 1970.



Fonte: Diário do Rio, 1971.

Figura 13 – Desastre. O desastre aconteceu quando um caminhão betoneira de 2,5 toneladas, carregando oito toneladas de cimento, tentou atravessar o vão da Haddock Lobo. O peso fez a construção ceder, com as vigas e o concreto desabando sobre os carros que aguardavam no sinal. Depois do desastre, num trecho de 122 metros do elevado, sobraram apenas as colunas.



Fonte: AGÊNCIA O GLOBO, 1971.

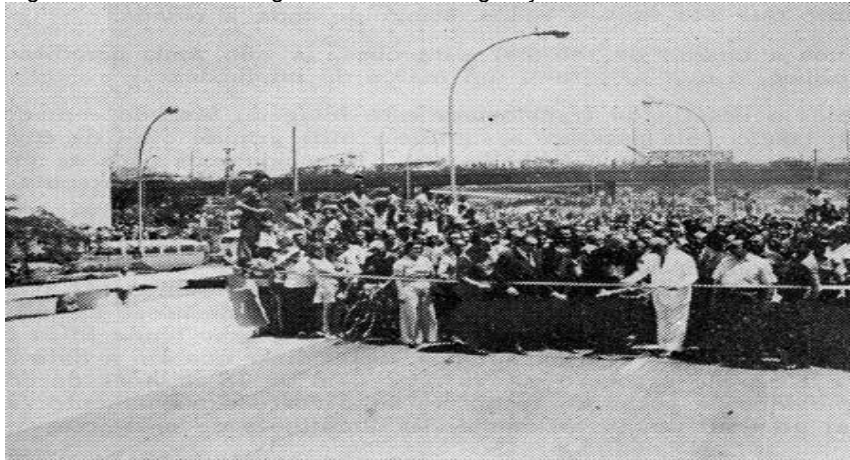
Posteriormente, ao episódio trágico, o governador Chagas Freitas ordenou a revisão completa do projeto do viaduto com teste de cargas feito com caminhões cheios de concretos, o viaduto só retornou a funcionar normalmente em 1974.

Figura 14 – Teste de carga feito antes de inauguração em 1974.



Fonte: Rio Comprido, 1974.

Figura 15 – Multidão e o governador na inauguração do Elevado Paulo de Frontin.



Fonte: Rio Comprido, 1974.

Hoje em dia, o Viaduto segue operando normalmente, apesar de alguns engarrafamentos e das placas de concreto que caem.

## **AS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS NO VIADUTO ENGENHEIRO FREYSSINET (ELEVADO PAULO DE FRONTIN)**

### Patologia de Fissuras

- Problema Patológico:

O aparecimento de fissuras em estruturas de concreto armado e em alvenarias é uma patologia de incidência relativamente frequente que pode implicar em uma série de danos às edificações. Comprometimentos estéticos que transmitem ao usuário a sensação de insegurança, infiltrações que põem em risco a salubridade dos ambientes, e a redução da durabilidade da estrutura, são algumas consequências desse problema.

Além do próprio risco que trazem para a segurança da edificação, as fissuras podem tornar a estrutura mais suscetível outra patologia, a corrosão das armaduras. “Por isso, ainda que algumas fissuras sejam toleradas pelas normas técnicas, toda e qualquer abertura deve ser tratada de forma a não permitir a entrada do agente agressivo que irá tirar a proteção passiva da armadura”, alerta o engenheiro José Ricardo Pinto, do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (Ibape-SP).

- Tratativa da Patologia:

Para tratar as fissuras há diversas soluções disponíveis, como injeção de resinas estruturais de base epóxi e poliuretano, resinas flexíveis,

sistemas cimentícios e selantes à base de poliuretano e à base de polímero. A estratégia de intervenção deve ser adequada ao problema específico e depende de um diagnóstico preciso feito por especialista.

Em alguns casos, a correção da fissura deverá ser precedida por uma ação para evitar que ela apareça novamente, como o reforço estrutural e de fundações. “A recuperação não pode ser apenas corretiva. É importante diagnosticar-se a origem das patologias”, diz Martins.

Figura 16 – Fissuras encontradas no guarda-corpo.



Fonte: O autor, (2020).

### Patologia de Trincas

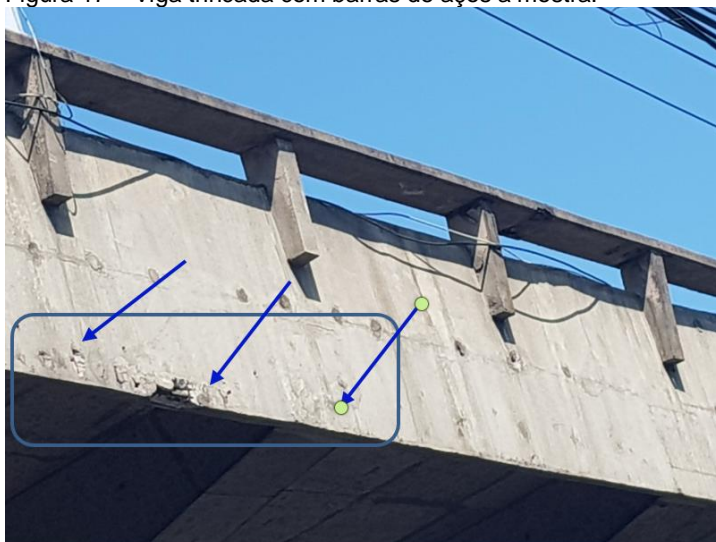
- Problema Patológico:

As trincas podem ocorrer devido à vários fatores, dentre eles: mal dimensionamento da viga (erro na bitola ou no número de barras de aço), aplicação de sobrecarga no decorrer da obra que não foi prevista em projeto, carregamento precoce da estrutura e finalmente por erros de concepção estrutural.

- **Tratativa da Patologia:**

O procedimento para a recuperação de elementos estruturais não se dá de maneira tão trivial. Após feita a verificação das trincas e fissuras na viga, uma verificação de cálculo estrutural deverá ser feita por um projetista estrutural para avaliar o tipo de reforço e tratamento que o elemento deverá ser submetido.

Figura 17 – Viga trincada com barras de aço a mostra.



Fonte: O autor, (2020).

### Patologia de Biodeterioração

- **Problema Patológico:**

Segundo Marcelli (2007), algumas estruturas apresentam trincas sem qualquer indício de falha da parte estrutural tanto na execução como projeto. Isso pode ocorrer devido a um fator externo que pode ser as raízes de uma árvore plantada próxima à edificação de modo que, passado algum tempo, penetram o solo até atingirem as fundações, podendo levantar a construção quando for leve ou causar recalques diferenciais que geram trincas como mostrado nas Figuras 17 e 18.

- **Tratativa da Patologia:**

A biodeterioração do concreto pode ser reduzida com a execução e a manutenção das superfícies de concretos o mais lisa possível, e os elementos de concreto devem ser projetados visando o mínimo contato com



água e/ou providas de inclinação adequada, bem como árvores próximas devem ser cortadas e o solo drenado (SILVA; PINHEIRO, 2005).

Figura 18 – Árvore crescendo entre a fenda.



Fonte: O autor, (2020).

Figura 19 – Árvore crescendo entre a fenda.



Fonte: O autor, (2020).

### Patologia de Corrosão da Armadura

- Problema Patológico:

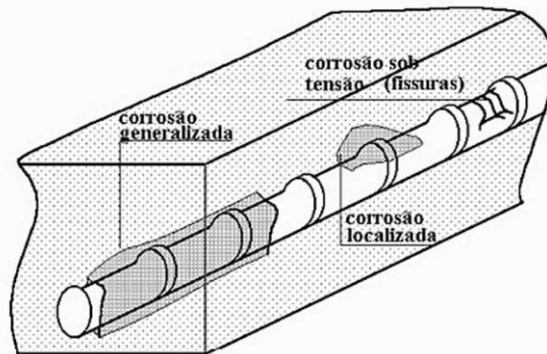
Souza e Ripper (2009) configurado, assim, o ambiente para a convivência salutar entre as barras de aço e o meio concreto, resta indicar seus mecanismos de desativação, ou seja, de geração de corrosão, por destruição da camada óxido de revestimento protetor das barras:

- Corrosão por tensão fraturante: é o caso dos aços que são submetidos a grandes esforços mecânicos (protensão) e que, em presença de meio agressivo, podem sofrer fratura frágil, resultando na perda de condição para a sua utilização; corrosão pela presença de hidrogênio atômico, que fragiliza e fratura os aços;
- Corrosão por pite, que pode revelar-se segundo duas formas: localizada, caracterizada pela ação de íons agressivos

(cloretos, em especial), sempre que haja umidade e presença de oxigênio;

- Corrosão generalizada, função da redução do pH do concreto para valores inferiores a 9, pela ação dissolvente do  $\text{CO}_2$  existente no ar atmosférico - transportado através dos poros e fissuras do concreto sobre o cimento hidratado. É a chamada carbonatação.

Figura 20 – Os três tipos de corrosão acima relacionados estão esquematicamente representados na Figura 1.43.



Fonte: Souza, V.; Ripper, T. (2009).

- **Tratativa da Patologia:**

Uma vez iniciado o processo corrosivo das armaduras não se pode mais detê-lo, a menos que se utilize uma proteção catódica, que apresenta um custo elevado. A maioria dos métodos de recuperação baseia-se na substituição do concreto deteriorado e limpeza das armaduras, com substituição, se necessário.

a) **Eliminação do concreto deteriorado.** Deve-se retirar o concreto de forma manual ou mecânica até uma profundidade de 2cm por trás das armaduras, sem deixar partículas soltas. É importante ter acesso a toda circunferência da armadura, pois caso uma parte da armadura fique em contato com o concreto velho estaremos criando uma pilha de corrosão eletroquímica, pois parte da armadura continuará contendo produtos da corrosão, e esta parte atuará como ânodo e a parte recuperada como cátodo, fazendo com que o processo corrosivo se torne mais acelerado.

b) **Limpeza das armaduras** Todo o produto da corrosão que esteja aderido à armadura deve ser removido através de lixamento ou escovação. Sempre que houver uma redução de seção transversal da armadura superior a 15% deve-se executar um reforço estrutural, colocando-se novas barras de aço para repor a área de armadura necessária. Após a limpeza das

armaduras pode-se fazer uma pintura de proteção. Existem estudos deste procedimento, no entanto sem resultados definitivos sobre sua eficiência e compatibilidade com o concreto.

c) Reconstituição do concreto. Para realizar a reconstituição da seção transversal da peça deve-se aplicar uma ponte de aderência entre o concreto velho e o novo e fazer a reconstituição da seção utilizando-se um concreto adequado, graute ou argamassa à base de epóxi ou polimérica. O material utilizado para reparo deve restaurar o meio alcalino que proporciona a passivação das armaduras e fazer uma proteção física ao aço, assim sendo, não pode sofrer retração.

Figura 21 – Pilares com deslocamento do concreto, exposição das barras de aços e corrosões nas armaduras.



Fonte: O autor, (2020).

Figura 22 – Pilar esquerdo com deslocamento do concreto, exposição das barras de aços e corrosão na armadura.



Fonte: O autor, (2020).

### Patologia de Infiltração

- Problema Patológico:

Conforme esclarece Miotto (2010), a infiltração acontece quando a quantidade de água é maior e ela pode pingar ou fluir. De acordo com Oliveira (2018), esta manifestação patológica ocorre na presença de umidade e da penetração de água nas áreas edificadas. Esta penetração de água é promovida pelas frestas, abertura de vãos, fissuras, falta de estanqueidade e

também falta de impermeabilização adequada, além de avarias em instalações hidráulicas e pluviais. Na construção civil, as patologias mais comuns resultam da penetração de água ou por causa da formação de manchas por umidade. Estes problemas podem gerar graves implicações para edifícios e outros tipos de obras como pontes e viadutos.

Igualmente Alves (2012, p. 66), afirma que as infiltrações ocorrem devido à falta de capacidade da estrutura de vedar a passagem da água. A infiltração, gerada do solo acima, atravessa pelos poros, fissuras ou aberturas da superfície do concreto armado, “em vazão tal que promova a sua saída em forma de veios escorrendo pela superfície. Com isso a estrutura fica susceptível aos malefícios da umidade”. A durabilidade das estruturas de concreto armado é afetada e influenciada pela água, uma vez que esta é a gente deteriorante e veículo de transporte de substâncias agressivas. A falta de pingadeiras e os drenos de águas pluviais muito curtos são corresponsáveis por provocarem a maioria das manifestações patológicas nas lajes em balanço das Obras de Arte Especiais (OAE), por causa da facilidade de infiltração e percolação d’água pela face inferior da estrutura.

- Tratativa da Patologia:

As fissuras devem de origem térmica nas vigas de coberturas aparentes devem ser recuperadas com tratamento superficial de pintura flexível em conjunto com tela de náilon ou de polipropileno (THOMAZ, 1989).

Figura 23 – Danos causados pelas infiltrações no tabuleiro devido a umidade.



Fonte: O autor, (2020).

Figura 24 – Danos causados pelas infiltrações na laje devido a umidade.



Fonte: O autor, (2020).

### Patologia de Lixiviação

- Problema Patológico:

Para Neville e Brooks (2013) a lixiviação excessiva do hidróxido de cálcio aumenta a porosidade do concreto tornando-o mais fraco e propenso a ataques químicos.

- Tratativa da Patologia:

Para Silva (1995), as manchas provenientes de fungos ou bolor, deverão ser eliminadas com a aplicação de uma solução composta por 30g de detergente caseiro para roupa, 90g de fosfato trisódico, 0,25g de lixívia e 0,75g de água. Para tal procedimento utiliza-se de trincha para aplicar a solução e segue com posterior lavagem.

Figura 25 – Laje com lixiviação.



Fonte: O autor, (2020).

Figura 26 – Laje com lixiviação.



Fonte: O autor, (2020).

## CONCLUSÃO

O Viaduto Engenheiro Freyssinet (Elevado Paulo de Frontin) localizado no Rio de Janeiro – RJ, que possui 49 anos de existência. Apresentando diversos tipos de patologias nas estruturas, entre elas são: fissuras, trincas, infiltração, vegetação, corrosão na armadura e lixiviação.

Desde a sua inauguração no ano de 1971 até os dias de hoje, o viaduto apresenta diversos tipos de desabamentos de partes das suas estruturas. Ele faz parte da lista de 28 viadutos do estados e municípios do Rio de Janeiro, que estão sem as devidas manutenções desde a sua construção. Fazendo parte também da lista de obras de artes, consideradas em péssimo estado, correndo risco de desabar novamente e definitivamente. Além do risco de desabamento, a obra ainda representa ameaças à integridade de pedestres e motoristas.

Em suma importância destaca-se a norma NBR 9452:2019 em relação a Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto. Ela diz a respeito da inspeção que fica na seção 4 determina a existência de 4 tipos de inpeções. Sendo os tipos de inspeções considerados nesta Norma são: a) cadastral; b) rotineira; c) especial e d) extraordinária.

A inspeção ideal para o viaduto é a rotineira, pois, na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou

recuperações efetuadas no período. E ela contém introdução contendo informações básicas, como rodovia e trecho inspecionado no caso de um lote de OAEs; a classificação da OAE; comentários quanto a eventuais alterações do estado geral da OAE detectadas em relação à inspeção anterior; ficha de inspeção rotineira contendo registro de anomalias; registro fotográfico e demais informações consideradas importantes para a inspeção.

No item 5 refere-se sobre parâmetros de avaliação das OAE e as notas de classificações da OAE. As classificações da OAE consiste na atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Essas notas de avaliação varia de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A nota de classificação para esse viaduto é 1, essa nota refere-se a condição crítica que ele se encontra. Nele há danos que geram grave insuficiência estrutural. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A obra de arte necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição parcial ou total ao tráfego e escoramento provisório, associada a monitoramento por instrumentalização, ou não. A obra de arte encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional. Com a sua durabilidade acima dos 40 anos, faltando exatamente 1 ano para completar 50 anos.

Portanto, a Lei Federal nº 8429/92 artigo 5º, descreve que o não cumprimento da obrigação de conservação e manutenção dos bens públicos pode representar ato de Improbidade Administrativa pela prática de atos lesivos ao patrimônio público.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Fernando do Couto R; SALES, Almir. **Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto: efeitos e considerações para projeto.** In: RIBEIRO, Daniel Vêras (coord.). Corrosão e degradação em estruturas de concreto. Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018, p. 97-123.

ANGELO, Ana Margarida Vieira. **Análise das patologias das estruturas em concreto armado do estádio Magalhães Pinto – Mineirão.** (Dissertação). Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Engenharia de Estruturas. Belo Horizonte, 2004, 439 f. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/286M.PDF>> Acesso em 09 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 14432:2001. **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6118:2007. **Projetos de estrutura de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 15200:2012. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 15575:2013. **Desempenho de edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6118:2014. **Projetos de estrutura de concreto – Procedimento** (atualizada). Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 9452:2019. **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento** (atualizada). Rio de Janeiro, 2019.

ANTONIAZZI, J. P. **Patologia da construção: abordagem e diagnóstico**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <  
[http://www.ufsm.br/engcivil/TCC/PROJETO\\_TCC\\_JULIANA.pdf](http://www.ufsm.br/engcivil/TCC/PROJETO_TCC_JULIANA.pdf) >. Acesso em 13 out. 2020.

BASTOS, Érick C. do N., MIRANDA Mateus Z. **Principais patologias em estruturas de concreto de pontes e viadutos: manuseio e manutenção das obras de arte especiais**. *Revista CONSTUINDO*, Belo Horizonte, v. 9, Ed. Esp. de Patologia, p. 93 – 101, Jul – dez., 2017.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Edgar Blucher, 2004.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado, fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier; Brasília, DF: Ed. UnB, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

**Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.

FACHIM, O. **Fundamentos de Metodologia**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

FERREIRA, G. J.; **Recomendações para licenciamento e Legalização de pequenas obras**, Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.



LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**: São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 1985.

LIMA, Maryangela Geimba de. **Ações do meio ambiente sobre as estruturas se concreto**. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. v.1. São Paulo: Ibracon, 2011.

MACHADO, A. de P. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Pini, 2002.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007.

MASCARENHAS et al. **Patologias e inspeção de pontes em concreto armado: estudo de caso da ponte Governador Magalhães Pinto**. **Revista Engevista**. v. 21, n. 2, p. 288-302, mai., 2019. Disponível em: <file:///D:/Usuario/Downloads/27125-98638-1-PB.pdf>. Acesso em 25 out. 2020.

MEDEIROS, Marcelo. **Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos/6412>.

Acesso em 01 set. de 2020.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. In. ISAIAS, Geraldo (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2011.

MENDES, Luiz Carlos et al. **Pontes de concreto armado: efeitos da corrosão e da variação do módulo de elasticidade do concreto**. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 5, n. 3, jun. 2012, p. 388-419.

MIOTTO, Daniela. **Estudo de caso de patologias observadas em edificação escolar estadual no município de Pato Branco-PR**. (Monografia). Especialista. Construção de Obras Públicas. Universidade Federal do Paraná, 2010, 63 f. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/34353/MIOTTO%20%DANIELA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Acesso em 01 set. 2020.

NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

PEREIRA, Caio. **O que é Concreto Armado? Escola Engenharia**, 2015. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-armado/>.

Acesso em: 30 set. 2020.

PIANCASTELLI, Elvio M. - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado** - Ed. Departamento de Estruturas da EEUFMG - 1997 - 160p.

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

ROHAN et al. **Agressividade ambiental em estruturas de pontes e os impactos negativos ao meio ambiente dessas construções: análise PER-Modelo Pressão-Estado-Resposta**. Inorvase. XII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. 29-30 set. 2016, 27 p.

SILVA, Moema Ribas; PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. **Biodeterioração do concreto**. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

SILVA, Paulo Fernando Araújo. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em Atmosfera Urbana**. São Paulo: Editora Pini, 1995.

SILVA, Turibio J. Da. **Mecanismos de transporte de massa de concreto**. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2011.

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

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2009.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo. Pini, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1989.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em estruturas de concreto armado**. Monografia. Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM-RS. Santa Mari-RS, (Monografia). Engenheiro Civil. 2015, 88 f.

VITÓRIO, J. A. P. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, 2006.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia**. Disponível em:

<[http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos\\_Patologia\\_Estruturas\\_Pericias\\_Engenharia.pdf](http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos_Patologia_Estruturas_Pericias_Engenharia.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2020.