



12ª EDIÇÃO  
**CONCRETE SHOW**  
A FERRA DO CIMENTO E CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO

**14 A 16** SÃO PAULO EXPO  
**AGOSTO** SÃO PAULO - BRASIL  
**2 0 1 9** [concreteshow.com.br](http://concreteshow.com.br)



**SEMINÁRIO:**  
**INSPEÇÃO de PONTES**  
**de CONCRETO**

Promoção e Organização  
IBRACON

1



**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DURABILIDADE DAS PONTES DE CONCRETO**

**Paulo Helene**  
*Diretor Técnico IBRACON  
Conselheiro Permanente IBRACON  
Prof. Titular Universidade de São Paulo  
Gestor e ex-Presidente ALCONPAT Internacional  
Diretor da PhD Engenharia  
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design  
Conselheiro da CNTU e SEESP*

São Paulo, 14 de Agosto de 2019 → 14h às 18h




2

**ENTREVISTA**  
**Vitor Aly**  
Secretário Municipal de Infraestrutura  
Urbana e Obras (SMIU)

**LINHA DE FRENTE**  
**Adriano Pires**  
Diretor do Centro Brasileiro de  
Infraestrutura (CBI)

# ENGENHARIA

Nº 640/2019 - ANO 76 [www.brasilengenharia.com](http://www.brasilengenharia.com) R\$ 39,00



**AUSÊNCIA DE MANUTENÇÃO NO VIÁRIO URBANO**

## ALERTA NAS PONTES E VIADUTOS

Na visão de dez entre dez especialistas a manutenção periódica e preventiva é mais barata do que o reparo de danos depois que ocorrem os sinistros



3

▶ personalidade entrevistada

Vitor Levy

## Castex ALY



Engenheiro civil pela Escola de Engenharia da Universidade Mauá (1985), com mestrado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Vitor Aly é, desde abril de 2018, secretário da Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (SMIU). Anteriormente, ocupou a presidência da SP Obras (2017-2018), empresa da Prefeitura de São Paulo (PMSp) responsável pela execução de programas, projetos e obras do município.

Com ampla experiência no setor público, Vitor foi assessor especial da presidência da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU) e assessor especial do governador Mário Covas (1995-2001).

Foi também vice-presidente e diretor de obras da Empresa Municipal de Utilização de São Paulo (Emurta).

Ele ocupou também cargos estratégicos em empresas e consultorias especializadas em engenharia, como a Montgomery Watson Harza, a CH2M Hill e a Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (Cobrep), no período de 2005 a 2012, e foi sócio-diretor da Vitor Engenharia.

Vitor Aly é professor, desde 1997, da FUP-USP, onde ministra aulas na área de infraestrutura.

**IBRACON** – CONTEVEU RECONHECIMENTO NA CARREIRA PROFISSIONAL: AS NOVAS DEBORA NA ENGENHARIA CIVIL, TÍTULOS EMBAIXADA E MESTRADO PROFISSIONAL NA ÁREA, NA MISTURANÇA NA ÁREA ACADÊMICA E NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, DOMINANDO OS CARGOS E TÍTULOS ASSIM COMO NA ÁREA DE V.L.I.C.A. – Meu pai era engenheiro

civil formado na Escola Politécnica da USP, a Universidade de São Paulo, contemporâneo do governador Mário Covas. No final de empresa, ele me convidou para as obras tocadas por sua empresa, em Santos. Por isso, eu nunca pensei em que outra coisa na vida que não fosse engenheiro civil. Com tal decisão, eu consegui atender

ao desejo do meu pai e à minha vocação. Eu entrei em 1980 na Escola de Engenharia Mauá. No terceiro ano do curso, eu passei na prova de transferência para a Unicap – Universidade de Campinas, mas fui desclassificado por meu pai a ir, pois, naquela época, o mercado da



INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

### SISTEMAS DE GERENCIAMENTO, REFORÇO E REABILITAÇÃO, E USO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA A CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO



PERSONALIDADE ENTREVISTADA  
VITOR ALY, COMPROMISSO PÚBLICO COM A INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE OBRAS DE SÃO PAULO

QUALUM INSTRUMENTAL  
NOVO REGULAMENTO DO PROGRAMA MASTER PEC

ENCORAJAMENTO  
PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO DO IBRACON RETOMA ATIVIDADES

IBRACON

94

ABRIL 2019

ISSUE 1001

4

2

**CAPA ENGENHARIA** **INFRAESTRUTURA**

## AUSÊNCIA DE MANUTENÇÃO NO VIÁRIO URBANO

# PERIGOS RONDAMAS PONTES E VIADUTOS

**PERIGOS**

Nas vides de especialistas ouvidos pela revista, a manutenção periódica e preventiva é muito mais barata do que o reparo de danos depois que ocorrem os sinistros. Basta citar que o problema paulista já se viveu no último dia 16 de março: trânsito de carros e caminhões no viaduto do plato express da Marginal Piratininga, próximo ao Parque Villa Lobos, na Zona Oeste, após quatro meses de interrupção. O viaduto sofreu acidente realque, fazendo com que parte do seu tabuleiro cedesse dois metros. Segundo o prefeito Bruno Covas, o custo total estimado das obras, incluindo a requalificação, é de 76,5 milhões de reais. Mas de recente considero que o sistema, por falta de manutenção adequada, poderia custar 70 milhões de reais, caso fosse preciso demolir e construir uma nova obra no lugar. O viaduto havia caído na madrugada do dia 15 de novembro do ano passado. Parte das obras vão continuar, mas não são emergenciais. São obras de requalificação do viaduto e podem

ser feitas com ele sendo utilizado. As intervenções complementares serão feitas mediante licitação. Antes do reabertura do viaduto ao público, os testes de carga foram de duas tipos: o primeiro, em que uma carreta com 60 toneladas se deslocou pelo viaduto, e o segundo, em que 45 caminhões, cada um com 28 toneladas, ficaram parados sobre a estrutura em pontos determinados. Foram utilizados 40 sensores ao longo do plato e na pilares para medir o comportamento da estrutura e captar o movimento da ponte fora do padrão. Além disso, está em preparação o cronograma das obras de recuperação da ponte que levou à queda: a Prefeitura Municipal de Marília, interessada em janeiro passado. Conseqüentemente, as pontes e viadutos são obras de infraestrutura com ênfase em obras de arte especiais. Assim como as demais estruturas de construção civil, elas são projetadas com uma determinada vida útil e de modo a assegurar e prolongar sua vida, essas

grandes estruturas devem passar por processos contínuos de preservação. As empresas focam na execução e não dão a devida atenção ao pós-obra, aos processos de manutenção necessários. A falta de manutenção faz com que várias estruturas tenham prazos de desempenho, gerando grandes impactos e transtornos na dinâmica das cidades, além do alto custo de recuperação do ponto ou viaduto que tem a sua funcionalidade perdida em parte ou por completo. No Brasil, recentemente, houve alguns episódios aos quais a falta de inspeção, acompanhamento e manutenção levaram algumas estruturas ou partes delas ao colapso. Há dois anos mais recente, em novembro passado, em São Paulo, alguns meses antes, em Brasília, parte da estrutura de um viaduto, na área central do capital federal, foi ao colapso. A falta de manutenção ficou patente nestes casos. Para que se possibilite o prolongamento da vida útil das obras de arte, os engenheiros apontam que alguns

procedimentos devem ser realizados ao longo de sua operação: monitoramento, inspeções, diagnóstico e manutenções. Acidentes anteriores de grandes proporções, como o desmoronamento do Estádio Pinheiro do Menor de São Paulo e as das barragens de rejeitos em Minas Gerais, têm demonstrado a insuficiente capacidade dos quadros técnicos do serviço público, possivelmente desmotivados, despreparados ou insensibilizados. Figuras importantes da engenharia defendem que é preciso também melhorar o aprendizado dos engenheiros, introduzindo disciplinas de patologia, diagnósticos, inspeções, fiscalização, controle, reabilitação, assim como ética e responsabilidade profissional e social, nos cursos de graduação. Eles devem estar claros que é preciso colocar em concorrência a execução de uma obra com base no projeto técnico (o conceito de um projeto executivo), nem escolher apenas pelo preço mínimo (R\$ 8.666) sem distinguir entre competências.

5

**INFRAESTRUTURA**

**projetadas (o comportamento futuro da estrutura.)**

— **Consta que após vistorias em 2017, em São Paulo, 73 pontes e viadutos tinham problemas estruturais. São locais no centro expandido que têm infiltrações, armaduras metálicas expostas e rachaduras. Como tem acompanhado esse panorama? —** perguntamos a Helene.

“Este relatório foi realizado por profissionais voluntários gerenciais pelo Sincenco que é um sindicato patronal nacional que representa algumas das empresas de engenharia consultiva e de arquitetura, com base numa vistoria despretensiosa, porém realizada por profissionais experientes e exigidos, preocupados com a situação de risco que esses importantes patrimônios constituem e fundamental para a elevação da cidade e segurança dos indivíduos. É um excelente ponto de partida e um alerta às autoridades responsáveis, mas não pode ser tomado automaticamente como um documento executivo. Tem suas deficiências. Por exemplo nem constata deusa falta de vistoria acidental, mas relata outros casos preocupantes que exigem inspeções especiais e detalhadas, a serem realizadas pela Prefeitura paulistana que é o órgão responsável e competente para tal gestão.”

— **Estudos internacionais estimam que o total é que fossem investidos pelo menos 2% do PIB de um país na manutenção do ambiente construído. De uma forma geral, quais as críticas que podem ser feitas à situação (investimentos) das administrações municipais brasileiras na manutenção de pontes, viadutos e túneis? —** solicitamos de Helene.

“Não posso segurar de que se deva investir 2% do PIB na manutenção de obras de arte especiais anualmente. Realmente a referência internacional que eu conheço e é praticada em muitos países é tratar como valor mínimo de custo de manutenção a quantia equivalente a 2% do custo de uma obra de arte especial nova equivalente. Em outros países os órgãos responsáveis deveriam ter um orçamento anual equivalente a 2% do valor do patrimônio construído em obras de arte especiais sob sua responsabilidade. Ou seja que esse valor mínimo pode ser diferente de uma obra a outra. Mas, na média, seria suficiente para pagar inspeções básicas e rotineiras e manutenções especiais a cada cinco a dez anos, reparos, reformas, substituição de juntas e apêndices de apoio, recapamentos, impermeabilizações, pinturas e proteções superficiais, limpeza, drenagem, calçadas etc. Acidentes não estariam cobertos por essa verba. Em 50 anos, por-ex-ile, a grosso modo, investido o equivalente ao custo de 100% de uma obra nova e, se essa manutenção preventiva e corretiva



Paulo Pinheiro, diretor da HCB Engenharia, professor titular da Universidade de São Paulo

for realizada, ao fim desses 50 anos teríamos uma ponte, viaduto ou túnel no estado de novos e em condições de durar e servir à comunidade por mais 50 anos.”

— **Para especialistas em engenharia civil seria preciso ter manutenção periódica. Os mesmos dizem que é preciso vontade política e também dizer à população que certo local está fechado para obras, para serviços definitivos. O senhor se associa a essas recomendações? —** argamos Helene.

“Sem dúvida, falta cultura de manutenção profilax e em especial de manutenção permanente de obras de arte especiais, sejam públicas ou privadas. As intervenções preventivas, como o próprio nome indica, devem ser realizadas com a obra em perfeitas condições aparentes. Fazendo um paralelo didático, diria que pessoas acham perfeitamente normal tocar o olho dos carros antes do maior funeral — ou melhor, para não falar o nome. Infelizmente, como se tratam de obras públicas, o gestor fica com receio da oposição crítica-lo por estar intervindo, correta e preventivamente, numa obra em perfeito estado aparente de funcionamento. É verdade, falta cultura e tal-vez esse ‘two cultures’ deve ser creditado à própria classe dos engenheiros civis, no qual me incluo, que não soube desenvolver este devido processo necessário de manutenção periódica. Essas inspeções e manutenções preventivas e corretivas devem ser realizadas, no mínimo, a cada dois anos, de modo profissional, com registro de ART, relação fotográfica, parecer conclusivo e, sempre que for o caso, com embois comprovadas. Porém, reitor que não basta realizar inspeções periódicas, pois isso gera ‘paper’ e relações, há que analisar os chamados novos. O importante e fundamental é realizar obras, serviços e melhorias ou substituições preventivas e corretivas nessas inspeções. A inspeção é necessária e fundamental para saber se que precisa ser feita. Porém, de nada adianta se o órgão responsável apenas ar-quiteta e não toma as medidas recomendadas e especificadas nos pareceres e relatórios conclusivos de inspeção.”

— **Conforme já foi divulgado, a determinação da Prefeitura foi de elaborar laudo estrutural de 183 pontes e viadutos do cidade, por entender que as vistorias visuais são insuficientes, antes de tomar medidas. Vê com o objetivo de de fato realmente ampliar o contrato para inspecionar todas as 183 estruturas? —** perguntamos com Helene.

“Não, porque as CCR, as normas brasileiras podem ser consideradas como ‘lei corporativa’ e, portanto, devem ser implementadas. Segundo a ABNT NBR 9453, a cidade, há necessidade de bem realizar as inspeções cadastrais e rotineiras assim como as inspeções especiais e eventualmente

6

## Envelhecimento e inspeção de pontes e viadutos

HELENE, Paulo R. L. Prof. Titular, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil PCC/USP

### INTRODUÇÃO

Este trabalho específico, dentro de um Seminário amplo sobre consecução da durabilidade na construção civil, justifica-se pela oportunidade criada por mais um acidente de grandes e graves repercussões à comunidade da cidade de São Paulo com a interrupção da Ponte dos Remédios, sobre o Rio Tietê, ocorrida no dia 03 de junho de 1997. Várias Entidades e Profissionais se manifestaram sobre o problema, tendo o Instituto de Engenharia de São Paulo organizado um seminário concluindo as Autoridades Municipais, Estaduais e Federais para a importância e urgência de medidas que assegurem projetos atualizados, inspeções adequadas e realização das conservações necessárias.

Não há dúvida que esta situação poderia ter sido evitada, com benefícios a todos, principalmente do ponto de vista da imagem do Poder Público e da imagem da Engenharia Nacional e também do ponto de vista da economia dos recursos públicos. Vários estudos internacionais<sup>1</sup> e nacionais<sup>2</sup> em São Paulo emersam em declarar que os custos de reparo, de restauração e de reforço e prevenção são sempre muito mais elevados que os de prevenção, sempre que estes sejam efetuados oportunamente.

Cabe lembrar que os processos degenerativos em estruturas de concreto são, na sua grande maioria, auto-acelerantes<sup>3</sup>, ou seja, uma fissura acarreta o ingresso de agentes agressivos que depositam a armadura que se corrói e gera produtos expansivos que deslocam o concreto de cobrimento que por sua vez expõem mais ainda a armadura que se corrói mais rapidamente causando mais e maiores fissuras e deslocamentos e rupturas, e assim progressivamente até o colapso total ou parcial.

Esse efeito sinérgico e perversivo está muito bem caracterizado na literatura especializada através do trabalho concluído por

"Lei de Sinter" apresentado no boletim técnico nº 152 do "Comité Euro Internacional do Beton-CEB" de 1984. Segundo seu autor, o pesquisador Sinter, os custos de intervenção nas estruturas de concreto variam segundo uma progressão geométrica do mal do concreto. Dividindo as etapas de construção em quatro períodos: projeto, construção, manutenção preventiva e manutenção corretiva, associa o custo a qualquer medida de prevenção ou proteção tomada na fase do projeto.

Assim tem-se os custos no mal de 1, 5, 15 e 125, ou seja, uma intervenção corretiva pode ser 125 vezes mais dispendiosa que a mesma medida tomada a nível de projeto, antes da construção. Portanto adiar uma intervenção significa aumentar os custos dentro em progressão geométrica de mal de 5 (cinco), o que permite afirmar que mesmo por razões econômicas é sempre conveniente proceder à intervenção o mais rápido possível.

Já no século passado, no discurso de posse do Eng<sup>o</sup> Robert Stephenson na presidência do Instituto dos Engenheiros Civis da Grã-Bretanha em 1856, ele declarou: "Tendo experiência de que todos os acidentes e problemas que tem ocorrido nos últimos anos sejam registrados e divulgados. Nada é tão instrutivo para jovens engenheiros como o estudo dos acidentes e da sua correção. A descrição exata desses acidentes, com o entendimento correto dos mecanismos de ocorrência, é realmente mais valioso que a descrição dos trabalhos bem sucedidos. Também os engenheiros experientes refletem os mais úteis ensinamentos da observação desses acidentes, que podem ocorrer nas suas próprias obras. Com esse objetivo reber é que proponho a catalogação desses problemas nos arquivos desta instituição". Parece natural observar que a todo acontecimento negativo envolvendo a Engenharia deve-se buscar tirar a melhor e mais positiva lição.

<sup>1</sup> INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO, Marília, 1997. "Especificações para Construção de Pontes de Engenharia Civil em Materiais de Aço, São Paulo, RJ, Estado de Engenharia, etc.

<sup>2</sup> MOTA, P. Kumar. Durability of Concrete - Fifty Years of Progress (I) - Colapso Intermittente sobre Avanço por Transporte de Produtos e Produtos de Corrosão em Ponte Agrietas, São Paulo, ago 1997. Avon: São Paulo, Universidade de São Paulo PCC/USP, 1997.

<sup>3</sup> CRAIG, J. R.; O'CONNOR, D. S.; AHLSSKOG, J. J. Economic of Bridge Deck Protection Methods. Materials Performance, p. 32-4, nov. 1982.

COMMITTEE on CONCRETE DURABILITY: NEEDS and OPPORTUNITIES. Concrete

Durability A Multinational Guide Opportunity Washington, MMAL, CETS, NRC, National Academy Press, 1987. (Report MMAL-87)

GRUPO ESPAÑOL de NORMAS. Encuesta sobre Prácticas de Estudios de Huelgas, Boletín, GPC, No. 192, (1986, 19)

SOEHLI, H. A. Maintenance and Repair. Concrete International, v. 12, n. 3, p.71-3, Sept. 1990.

BARRELL, M. Maintenance and Repair of Concrete Structures. Paris, C.R.C., 1988.

Dal MOUL, Denis C. Fissuras em Estruturas de Concreto Armado - Análise das Manifestações Típicas e Lacunamento de Causas Ocultas no Estado do Rio-Grande

MAIO, 1986

CRAIG, J. R.; O'CONNOR, D. S.; AHLSSKOG, J. J. Economic of Bridge Deck Protection Methods. Materials Performance, p. 32-4, nov. 1982

COMMITTEE on CONCRETE DURABILITY: NEEDS and OPPORTUNITIES. Concrete

Engenharia Estrutural - Nº1 - 1º trimestre, 1998

## Ponte do Socorro

São Paulo/SP  
Colapso: 20/06/1988  
noite de segunda-feira  
ponte em arco

Adutora SABESP

**O ESTADO DE S. PAULO** 22 DE JORNO DE 1988

**Adutoras caem, Zona Sul fica sem água**

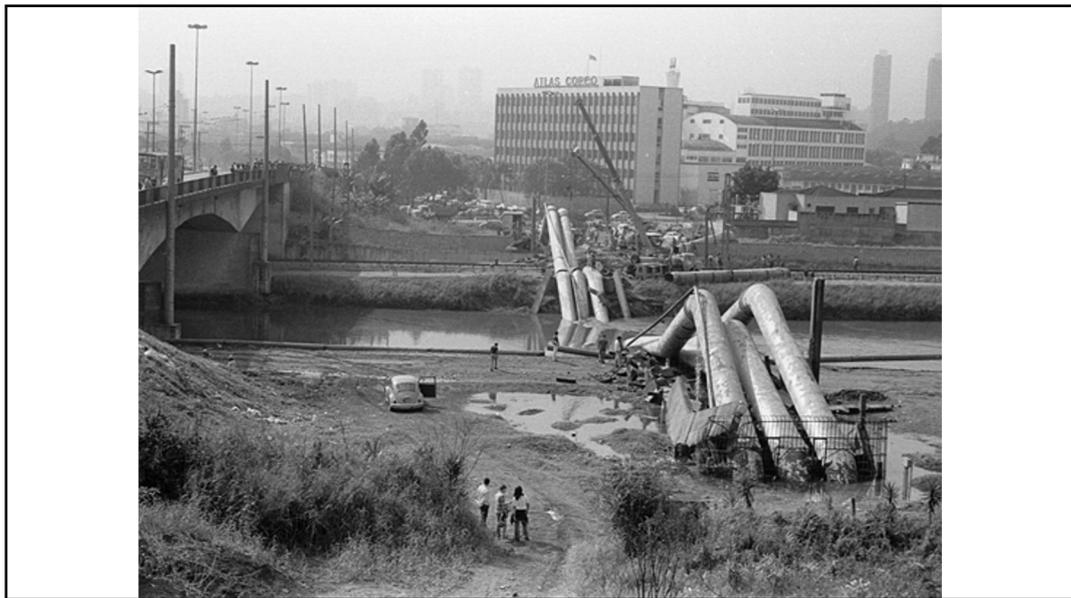
<http://acervo.estadiao.com.br/pagina/#/19880622-34761-nac-0001-999-1-no1/tele/fu11arven>

**Trem de passageiros volta a circular amanhã**

**População muda os hábitos**

**Suspensas obras e largagens**

9



10

# Ponte Pedra Branca

## Pedra Branca/SE

### Colapso: 09/05/2015 tarde de sábado ponte em arco adutora da Deso

11

≡ MENU **G1**
SERGIPE

09/05/2015 13h59 - Atualizado em 09/05/2015 19h37

### Ponte desaba e rompe tubulação de água em Pedra Branca, SE

Ponte fazia a parte da BR-101, mas estava interditada para veículos. Fornecimento de água pode ficar interrompido até a próxima semana.

De 01 SE

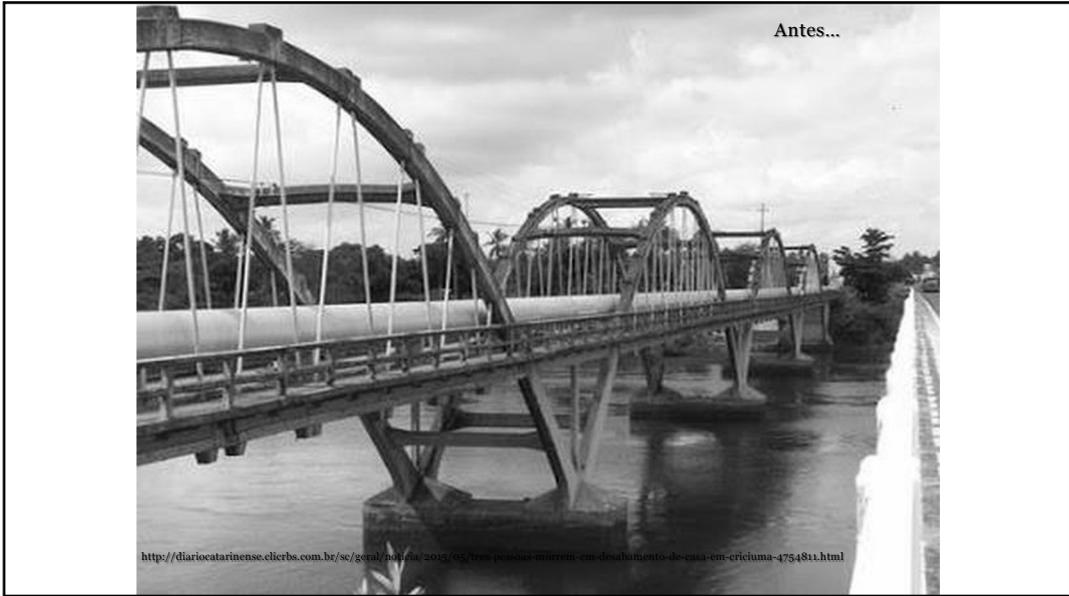
FACEBOOK



Ponte era bastante antiga e pode não ter suportado peso (Foto: Divulgação/André Amorim)

<https://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/2015/05/rodizio-de-agua-serre-feito-nos-municípios-afetados-na-grande-aracaju.html>

12



13



14

# Ponte Metálica Jaguari

Jaguari/RS

Acidente: 31/05/2015  
tarde de domingo  
ponte rodoviária  
colapso após a travessia de um  
caminhão bitrem

15

≡ MENU
G1
RIO GRANDE DO SUL 

31/05/2015 17h44 - Atualizado em 31/05/2015 19h22

## Ponte desaba e derruba carro e parte de caminhão em rio de Jaguari

Ponte liga as duas partes da cidade, que é separada pelo Rio Jaguari. Após queda, parte de caminhão e automóvel caíram na água.

Do G1 RS

 FACEBOOK

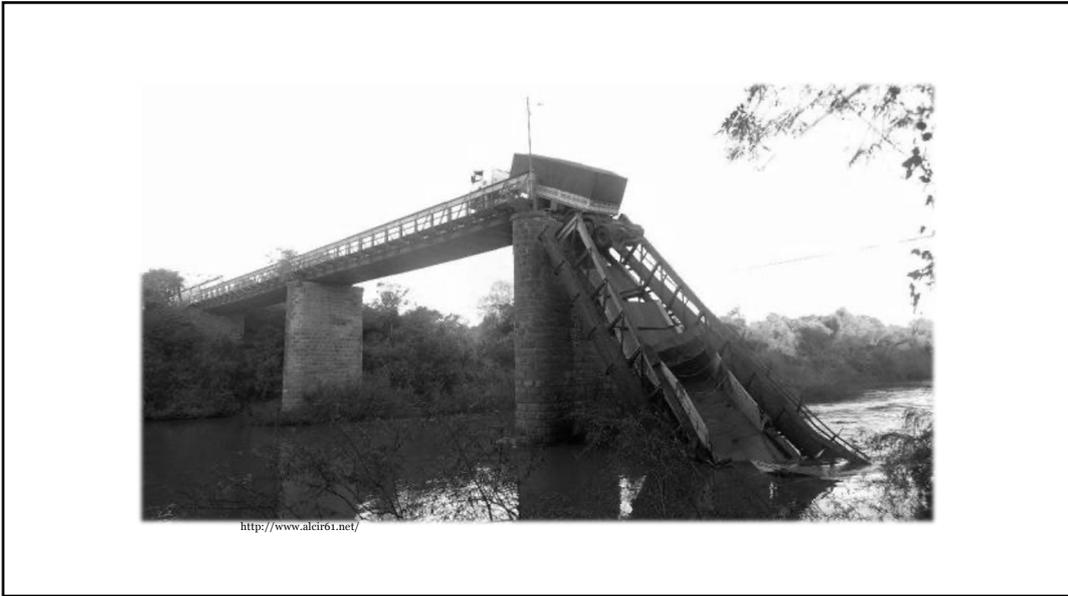




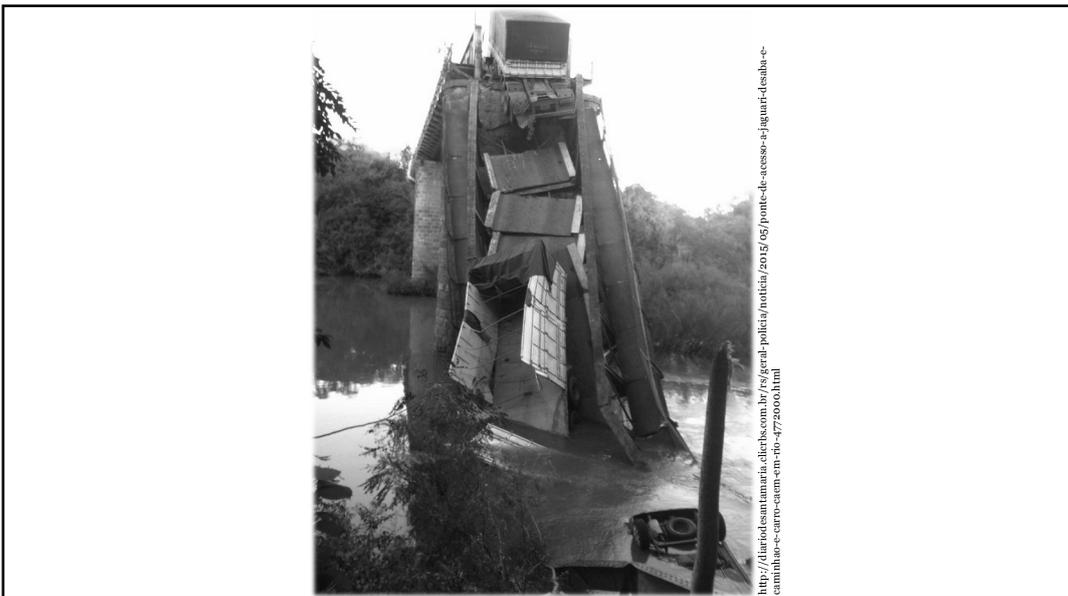

Ponte antiga desabou no Centro de Jaguari, RS (Foto: Fábio Pinho/Arquivo pessoal)

<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2015/05/ponte-cai-em-jaguari-na-regiao-central-do-rio-grande-do-sul.html>

16



17



18

**Prof. Laranjeiras:**

As estruturas devem ser robustas,  
redundantes e dúteis....



19

MARCOS PEDROSA MITRE

[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)



**METODOLOGIA PARA INSPEÇÃO  
E DIAGNÓSTICO DE PONTES E  
VIADUTOS DE CONCRETO**

Disertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção de  
Título de Mestre em Engenharia.

Área de concentração:  
Engenharia de Construção Civil

Orientador:  
Professor Titular Paulo Helene

São Paulo  
2005

20

## Conceito

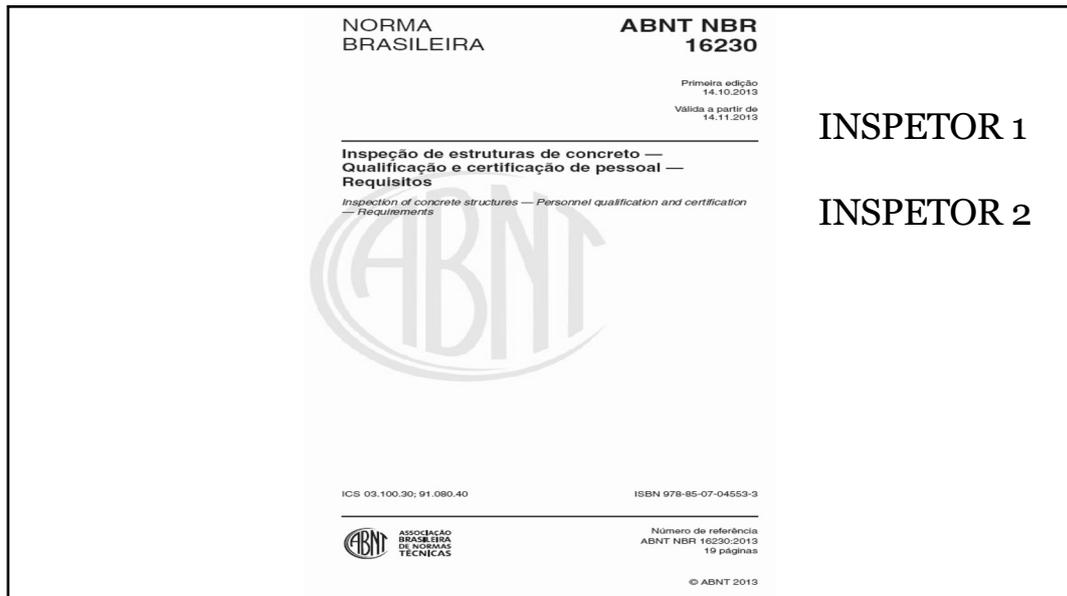
As estruturas devem ser adequadas para sua correta utilização durante a vida útil de projeto:

- ✓ Seguras
- ✓ Funcionais
- ✓ **Duráveis**
- ✓ Bonitas
- ✓ Sustentáveis

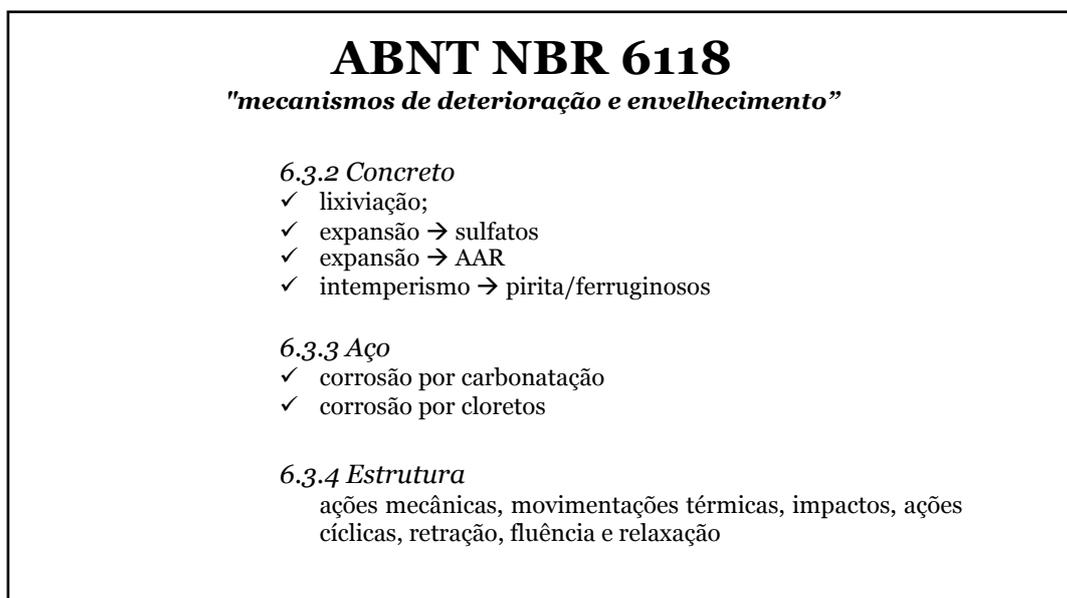
21

<p><b>Norma ABNT NBR 9452:2016</b>  <b>Inspeção de pontes, viadutos e</b>  <b>passarelas de concreto –</b>  <b>Procedimento</b></p>	<p>NORMA BRASILEIRA</p>	<p><b>ABNT NBR</b> <b>9452</b></p>
	<p>Terceira edição 08.04.2016</p>	
<p><b>Inspeção de pontes, viadutos e passarelas</b>  <b>de concreto – Procedimento</b>  <i>Inspection of concrete bridges and footbridges — Procedures</i></p>		
<p>ICS 93.040</p>		
<p>ISBN 978-85-07-06156-4</p>		
<p>ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS</p>		<p>Número de referência ABNT NBR 9452:2016 48 páginas</p>
<p>© ABNT 2016</p>		

22



23



24

## Concreto → *Lixiviação*



Cobertura do  
Prédio da FAU-USP



Edifício da  
Engenharia Civil  
POLI.USP

25

## Concreto → *Lixiviação*

### ***Mecanismo***

- Carreamento de sais solúveis pela água,  $\text{Ca(OH)}_2$

### ***Manifestação, Sintoma, Vício***

- Manchas esbranquiçadas na superfície  $\text{CaCO}_3$
- Eflorescência, pode até formar estalactites
- Aumento da porosidade interna do concreto
- Redução do pH com risco de corrosão

### ***Como evitar, Prevenção, Profilaxia***

- Reduzir relação a/c, usar adições
- Melhorar condições de cura;
- Impermeabilizar evitando água.

26

## Lixiviação

Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico

Projeto de Intervenção Corretiva

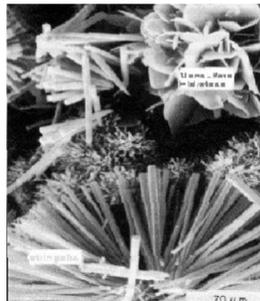
Plano de Manutenção

27

Concreto → *Expansão*

Reações expansivas

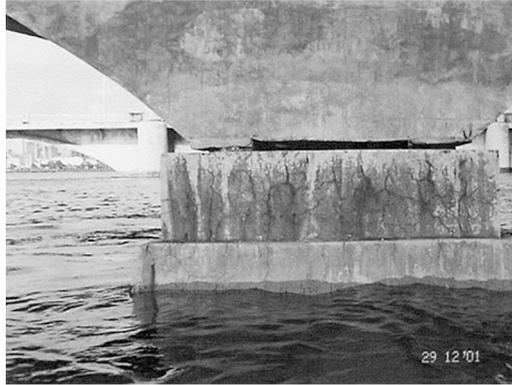
Sulfatos,  $\text{SO}_4^{-2}$



28

Concreto → ***Expansão***

Reação Álcali-Agregado AAR



29

Aço/armadura → ***Corrosão Eletroquímica***

Despassivação  
por  
carbonatação



30

Aço/armadura → *Corrosão Eletroquímica*

Despassivação  
por cloretos



31

**Ponte em Recife**



32



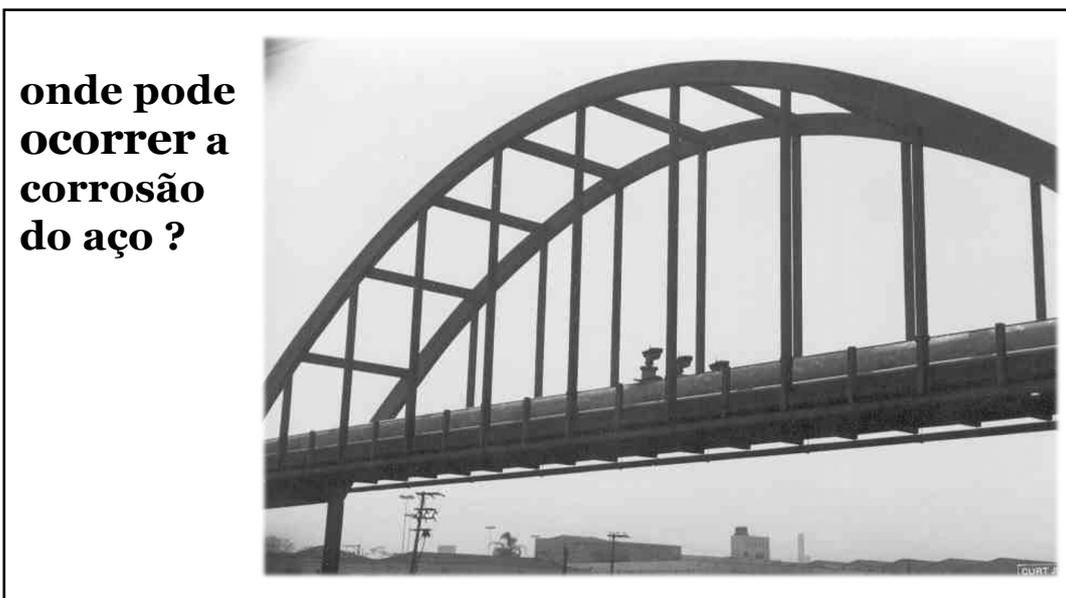
33



34



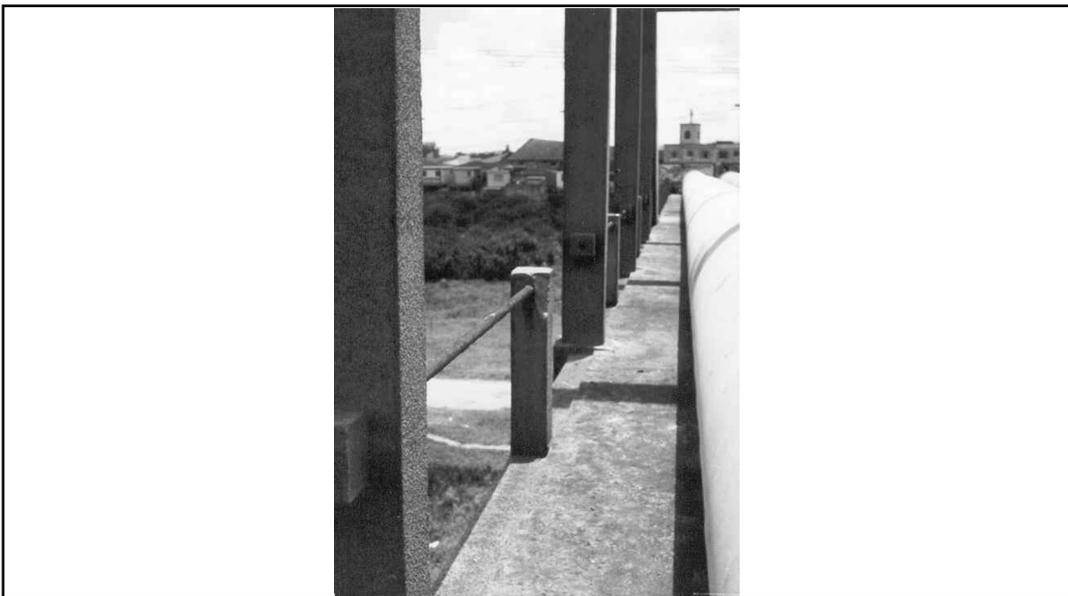
35



36



37



38



39

### ***Juntas do tabuleiro***

- **Vedação danificada ou inexistente, cantos quebrados:**
  - Infiltração de água, lixiviação do concreto, corrosão das armaduras.



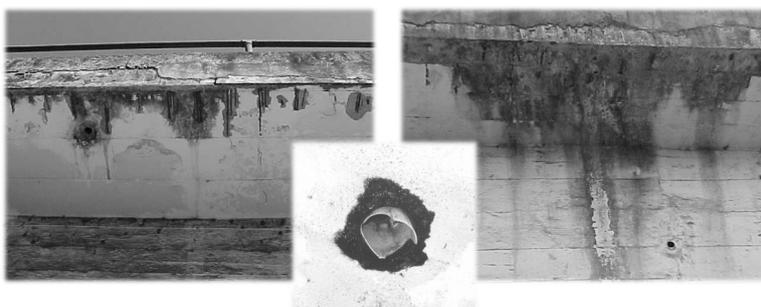
40



41

***Drenagem de pista ineficiente, ausência de pingadeiras e buzinetes***

- Manchas de escurimento, infiltrações e lixiviação do concreto



42

### ***Aparelhos de apoio***

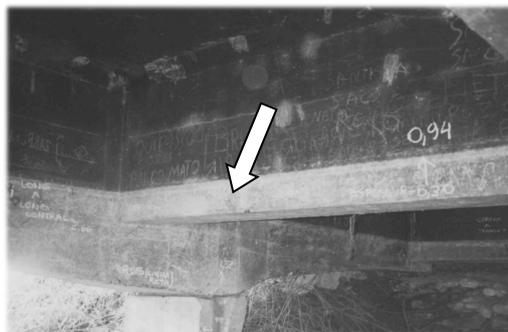
- Deterioração, esmagamento ou obstrução
  - restrição à deformação da estrutura, esforços adicionais, fissuração, esmagamento do concreto



43

### ***Gabarito vertical***

- “Afogamento” durante enchentes.
- “Impacto” de veículos



44

## ***Acidentes***

### **■ INCÊNDIO**

45

## **Ação do fogo**



46

### ***Acidentes***

- Choque de veículos ou embarcações
  - instabilidade do tabuleiro e destruição parcial da meso ou superestrutura

47

Choque balsa Rio Mojú, Pará  
06 de abril de 2019



48

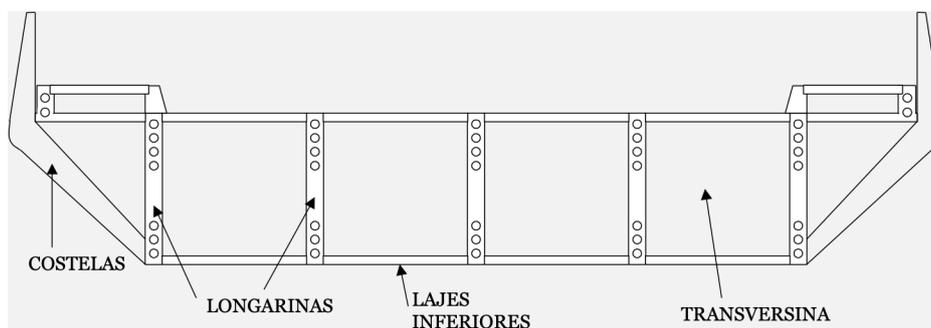


49



50

## ***MÁ EXECUÇÃO***



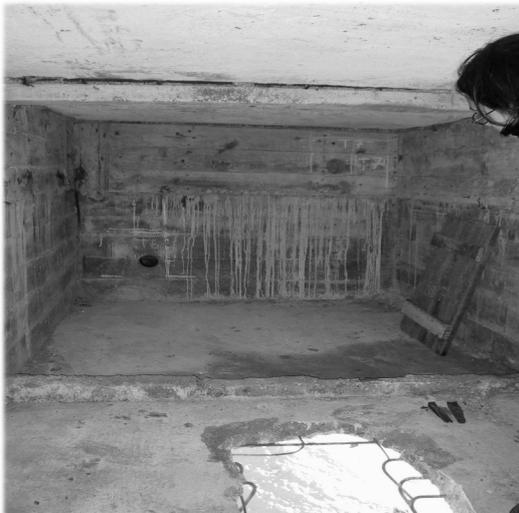
51

## ***Inspeção*** ***observação visual e registro fotográfico***



52

***Inspeção: observação visual e registro fotográfico***



53

**Madeira das fôrmas**



54

## **Ninho de concretagem**



55

## ***FISSURAS FALHAS DE EXECUÇÃO***

**São Paulo, 1997**

**Laudo 6 meses antes**

**36 anos**

**$f_{ck} = 21$  MPa**

**Custo = 3 vezes uma ponte nova**

56



57



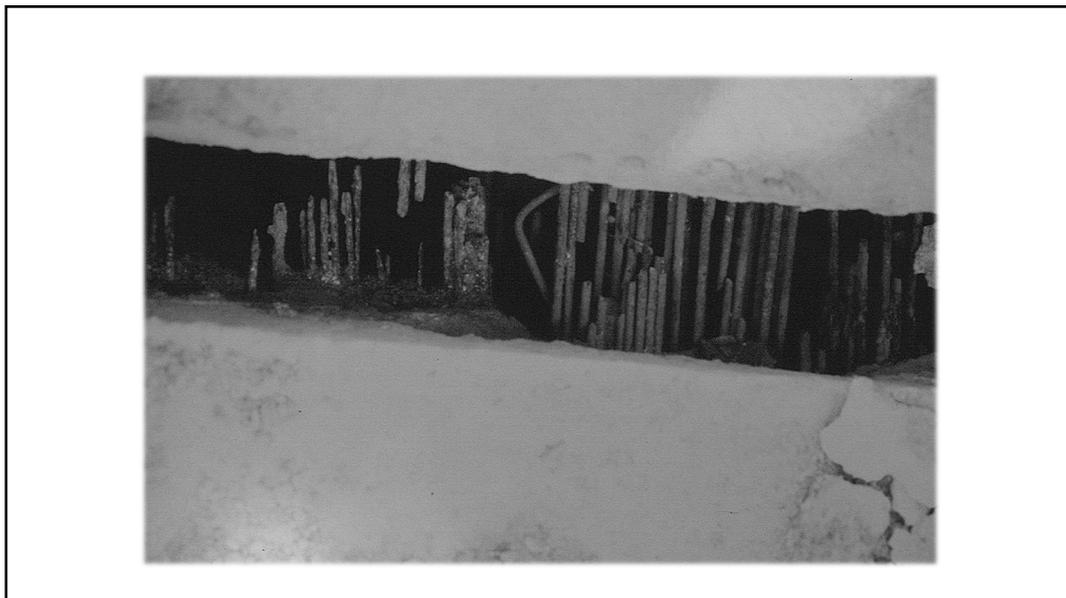
58



59



60



61

**POBREZA FORÇA TRILHO CONCRETO LOGO ANTES O BOM DA CONSTRUÇÃO DA PONTE**  
PROBLEMA NA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUA DA OBRA

## Ponte teve erro de construção

PROBLEMAS NA REDE DE DRENAGEM NA ESTRUTURA DE CONCRETO QUE FORÇA TRILHO CONCRETO A SE ENFURTAR

U...  
 A obra de construção da ponte teve um erro de construção que força o trilho de concreto a se enfurtar. O problema está na rede de drenagem da estrutura de concreto que não foi feita corretamente, o que causa a infiltração de água e a formação de fissuras no concreto.

**ESTRUTURAS DE CONCRETO ATRASAM OBRAS**  
 Liberando o trilho

**Q que está sendo feito na Ponte dos Remédios**

**MÁ CONSERVAÇÃO E ALTURA AMEAÇAM PONTE NO PACAEMBU**  
 Manutenção é essencial para a Viação General George de Oliveira

**AMBULÂNCIAS**  
 Nossas com a interdição

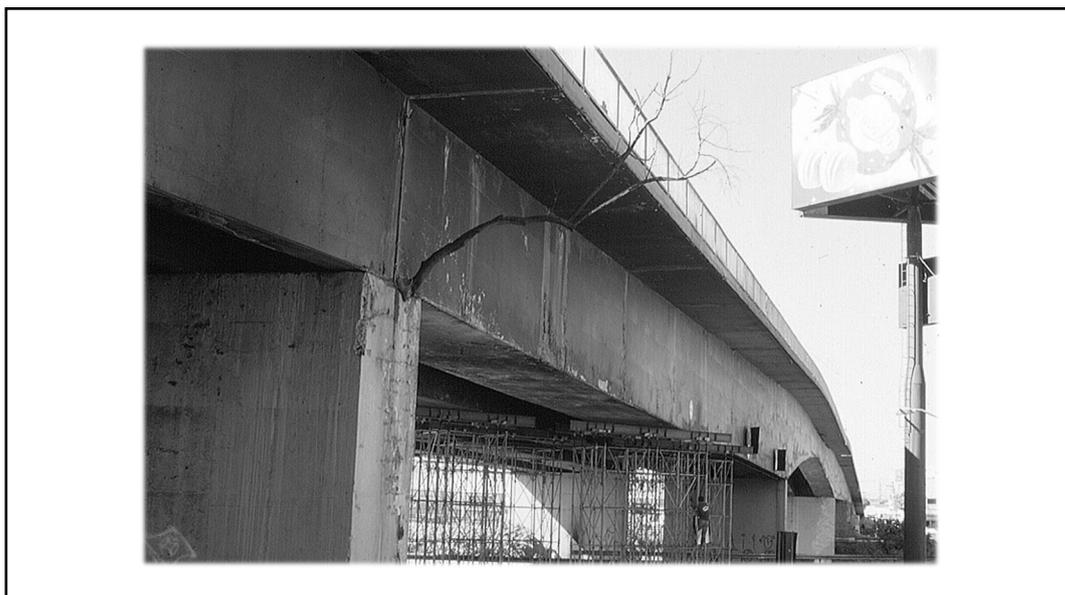
**FALCIMENTOS**

**JUSTIÇA REVELA**  
 Infração de trânsito

**IMPERADOR**

**AMAZÔNIA**

62



63

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

*adaptado BS 7543 2015*

Vida Útil	Tipos	Exemplos
< 10 anos	Temporárias	obras temporárias, divisórias, tapumes etc.
10 anos	Pequena Vida útil	construções usadas para processos industriais de curta duração
30 anos	Média Vida útil	a maiorias das construções industriais
60 anos	Vida útil normal	obras públicas, escolas, hospitais, casas, edifícios
120 anos	Vida útil superior	obras de grande responsabilidade como barragens, pontes, metros, ...

*Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components*

64

## Vida útil de Projeto ABNT NBR 15575

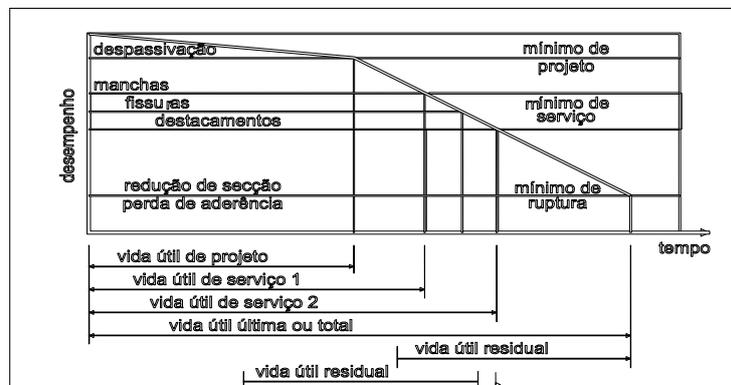
Vida útil de projeto mínima e superior (VUP)<sup>a</sup>

Sistema	VUP (anos)		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30

(a) Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

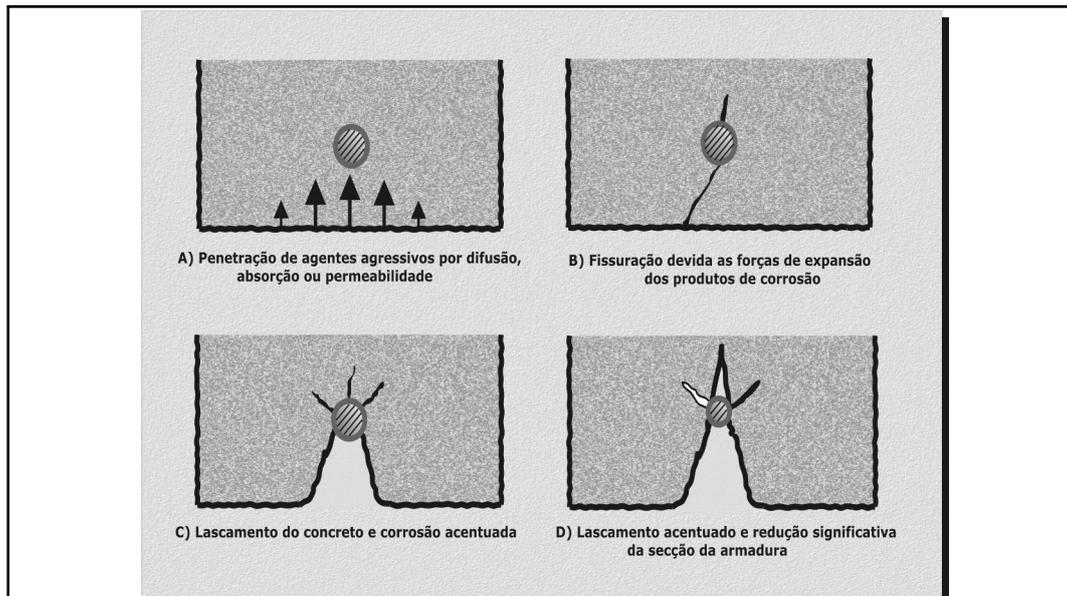
65

## Vida Útil das Estruturas de Concreto



Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência o fenômeno de corrosão das armaduras

66



67

## Vida Útil de Projeto VUP

Preciso de um modelo matemático, um ábaco, uma tabela de previsão da deterioração com o tempo !

Procedimentos de calcular VUP

68

## **Ingresso de gases e fluidos** *mecanismos de transporte*

- Permeabilidade
- Capilaridade
- Difusibilidade
- Migração
- Convecção

69

## **Permeabilidade do concreto à água** *fib(CEB-FIP) Model Code 90*

$$k_w = 10^{-(10+0.07*f_{ck})}$$

$k_w$  = coeficiente de permeabilidade à água,  
conforme lei de Darcy, em m/s

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto à  
compressão aos 28 dias, em MPa

70

## Permeabilidade do concreto ao O<sub>2</sub>

*fib*(CEB-FIP) Model Code 90

$$k_g = 10^{-(14+0.05*f_{ck})}$$

$k_g$  = coeficiente de permeabilidade ao gás oxigênio, em m<sup>2</sup> (UR < 65%)

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, em MPa

71

## Difusibilidade da água no concreto

*fib*(CEB-FIP) Model Code 90

$$D_w = \frac{10^{-8}}{f_{ck}}$$

$D_w$  = coeficiente de difusão à água, em m<sup>2</sup>/s

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, em MPa

72

## Espessura de Carbonatação

*fib*(CEB-FIP) Model Code 90

$$e_{CO_2,t} = 4 * \sqrt{10^{-(12,5+0,05*f_{ck})}} * \sqrt{t}$$

$e_{CO_2,t}$  = profundidade carbonatada em m

$t$  = tempo de exposição ao CO<sub>2</sub> com UR = 65% =  
idade do concreto em s (ou dias \*294)

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto à  
compressão aos 28 dias, em MPa

73

## Difusibilidade de íons Cloreto

*fib*(CEB-FIP) Model Code 90

$$D_{Cl} = 10^{-10} \text{ para } \cdot CPI \ \& \ CPII, f_{ck} = 20MPa$$

$$D_{Cl} = 3 * 10^{-11} \text{ para } \cdot CPIII \ \& \ CPIV, f_{ck} = 20MPa$$

$$D_{Cl} = 10^{-11} \text{ para } \cdot CPI \ \& \ CPII, f_{ck} = 50MPa$$

$$D_{Cl} = 3 * 10^{-12} \text{ para } \cdot CPIII \ \& \ CPIV, f_{ck} = 50MPa$$

$D_{Cl}$  = coeficiente de difusão de íons cloreto em m<sup>2</sup>/s

74

## Capilaridade à Água

*fib*(CEB-FIP) Model Code 90

$$w = 10^{-(4+0.02*f_{ck})} * \sqrt{t}$$

$w_t$  = água absorvida em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

$t$  = tempo de absorção de água em s

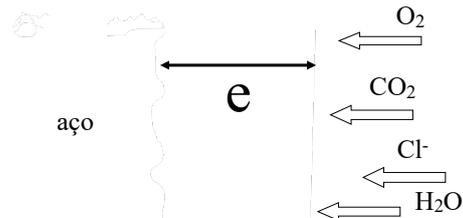
75

## Modelos de Previsão de Vida Útil

Mecanismos de Transporte  
(determinísticos)

Generalização

$$e = k \cdot \sqrt{t}$$



76

## Carbonatação

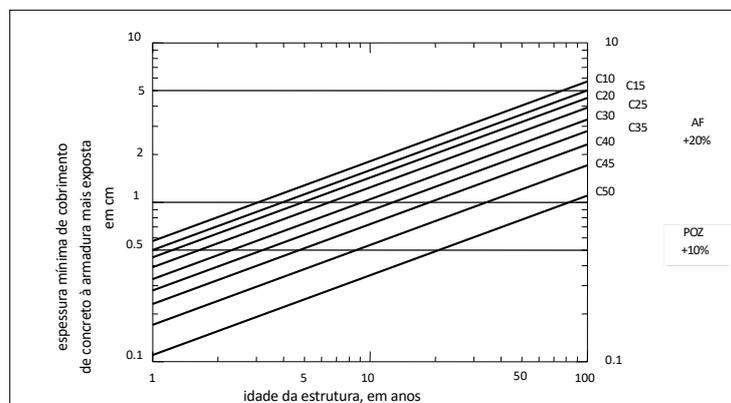
$$t = \frac{e_{CO_2}^2}{k_{CO_2}^2} \quad (\text{anos})$$

- $e_{CO_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$
- $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

77

## Carbonatação

em faces dos componentes estruturais de concreto  
expostos à intempérie externas



78

## Armadura → **Corrosão**

- ◆ **Existem vários modelos matemáticos e probabilistas baseados na Lei de Fick**
- ◆ **Ainda não existe um critério único para o estado limite de durabilidade**
- ◆ **Existe prescrições profiláticas (espessura e qualidade do cobrimento)**

79

## Concreto → Lixiviação & Expansão

Sulfatos,  $\text{SO}_4^{-2}$   
Reação álcali-agregado

- ◆ **Existem alguns modelos matemáticos**
- ◆ **Ainda não existe um critério único para o estado limite de durabilidade**
- ◆ **Existe prescrições profiláticas (cimentos, adições)**

80

## **Modelos de previsão de vida útil Difusão de cloretos**

- Com base em enfoque determinista (LIFE-365);
- Com base em enfoque probabilista (DURACON).

81

## **Life-365**



O software Life-365 é uma ferramenta de auxílio para calcular a vida útil considerando a difusão for cloreto segundo o ACI 365.

É possível fazer o download pelo site:  
[www.life-365.org/download.html](http://www.life-365.org/download.html)

82

## DURACON

O software Duracon é uma ferramenta desenvolvida na Dinamarca para calcular a vida útil considerando a difusão por cloreto.

Foi o software utilizado por Odd E. Gjorv em seu livro “Projeto da durabilidade de estruturas de concreto em ambiente de severa agressividade”.

É possível fazer o download pelo site:  
[www.pianc.no/duracon.php](http://www.pianc.no/duracon.php)

83

## Exemplo



Uma ponte de concreto deverá ser projetada na região de Recife/PE, com cobrimentos de 40mm e 75mm, atendendo a vida útil de 50 anos, considerando o ataque por cloretos na região de respingos de maré.

**DURACON**  
**ACI 365**

84

CPIII Escória de alto forno (60% escória) + 8% Sílica Ativa							
c (mm)	C <sub>cr</sub> (% wt. conc)	C <sub>s</sub> (% wt. conc)	a/c	D <sub>28</sub> <sup>s</sup> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)	Vida útil (anos)		Life/Duracon
					Life 365	Duracon	
40	0,05	1	0,55	4,8611	9	5	1,8
			0,5	3,6575	11,6	8	1,5
			0,45	2,7973	15,3	13	1,2
			0,35	1,6096	<b>29,2</b>	<b>34</b>	<b>0,9</b>
75	0,05	1	0,55	4,8611	70,4	51	1,4
			0,5	3,6575	94,6	86	1,1
			0,45	2,7973	<b>126,4</b>	<b>141</b>	<b>0,9</b>
			0,35	1,6096	<b>224,2</b>	<b>379</b>	<b>0,6</b>

85

## Exemplo



Uma viaduto de concreto deverá ser projetada na região de Recife/PE, com cobrimentos de 40mm e 75mm, atendendo a vida útil de 50 anos, considerando o ataque por cloretos, a 800m da praia.

**DURACON**  
**ACI 365**

86

CPIII Escória de alto forno (60% escória) + 8% Sílica Ativa							
c (mm)	C <sub>cr</sub> (% wt. conc)	C <sub>s</sub> (% wt. conc)	a/c	D <sup>as</sup> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)	Vida útil (anos)		Life/Duracon
					Life 365	Duracon	
40	0,05	0,6	0,55	4,8611	15,3	6	2,6
			0,5	3,6575	19,6	11	1,8
			0,45	2,7973	25,8	17	1,5
			0,35	1,6096	45,4	44	1,0
75	0,05	0,6	0,55	4,8611	93,4	86	1,1
			0,5	3,6575	123,2	114	1,1
			0,45	2,7973	<b>162,6</b>	<b>185</b>	<b>0,9</b>
			0,35	1,6096	<b>283,7</b>	<b>516</b>	<b>0,5</b>

87

### LIFE-365: Concreto sem e com inibidor de corrosão

CPI ou CPV Alta resistência inicial						
c (mm)	C <sub>cr</sub> (% wt. conc)	C <sub>s</sub> (% wt. conc)	a/c	Inibidor de Corrosão (L/m <sup>3</sup> )	D <sup>as</sup> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)	Vida útil (anos)
						Life 365
50	0,05	0,8	0,4	0	2,12	26,8
	0,15			10		43,4

88

## Vida Útil → Prescritiva → Limitações

Estrutura em São Paulo, ou seja, risco dos componentes estruturais externos apresentarem corrosão de armadura por carbonatação.

O que ocorre ao utilizar adições de sílica e de metacaulim?

O que ocorre ao utilizar cimento de alto forno, ou resistente a sulfatos, ou de alta resistência inicial?

O que ocorre ao utilizar aditivos inibidores de corrosão?

O que ocorre se o concreto tem  $175 \text{ l/m}^3$  ou  $210 \text{ l/m}^3$  de água de amassamento?

89

## Projetar para Durabilidade

**Necessidade de sempre utilizar o bom senso na tomada de decisões e considerar o problema com uma visão holística que vise abarcar todas as variáveis, sem se prender a um número, que pode ter significado relativo e não absoluto**

90

## **Estruturas de Concreto**

- **É possível não ter problemas**
- **É durável, tem vida útil longa**
- **Necessita gerenciar a qualidade**
  - **Necessita ter visão sistêmica**
    - **É um trabalho de equipe**
- **Precisa conhecer e bem usar normas e documentos existentes**

91



**CONCRETESHOW**  
A FEIRA DO CIMENTO E CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO

**Obrigado!**



*"do Laboratório de Pesquisa ao Centro de Obras"*

[www.concretophd.com.br](http://www.concretophd.com.br)  
[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)

11.2501.4822 / 23  
11.9.5045.4940



92