



Inspetor I – Introdução à Patologia e Terapia das Estruturas de Concreto



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

SINAENCO

26 de abril de 2018

Recife/PE

1



Inspetor I – Inspeção de Estruturas de Concreto segundo a NBR 16230:2013



Patologia

Manifestações patológicas

- Acidentes
- Danos
- Falhas
- Erros
- Lesões
- Má construção
- Materiais inadequados
- Manutenção inadequada
- Uso inadequado

www.ibracon.org.br



59ª edição
CONGRESSO
BRASILEIRO DO
CONCRETO

2

Robert Stephenson no discurso de posse na presidência do Instituto dos Engenheiros Civis da Grã-Bretanha em 1856:

“...tenho esperança 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.

O diagnóstico desses acidentes, o entendimento dos mecanismos de ocorrência, é mais valioso que a descrição dos trabalhos bem sucedidos.

Também os engenheiros experientes aprendem desses ensinamentos e lições dos acidentes que até podem ocorrer nas suas próprias obras.

Com esse objetivo nobre é que proponho a catalogação desses problemas nos arquivos desta reconhecida Instituição”...

3

Patologia de estruturas

- Parte da engenharia que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos defeitos, falhas, erros do projeto, da construção e do uso e manutenção;
- Estudo multidisciplinar das partes visando o diagnóstico correto do problema;
- Tem o objetivo de ajudar a definir a melhor intervenção (restringir uso, reforçar, proteger, demolir, etc.) e evitar repetição de problemas

4



Patologia de estruturas

Profissionais e entidades envolvidas na solução de problemas patológicos:

- Engenheiro civil;
- Engenheiro mecânico;
- Engenheiro químico;
- Geólogos;
- Físicos;
- Metalurgistas;
- Universidades;
- Institutos de Pesquisa;
- Laboratórios de controle tecnológico dos materiais;
- Órgãos Públicos, Prefeituras, Proprietário, arquitetos

www.ibracon.org.br

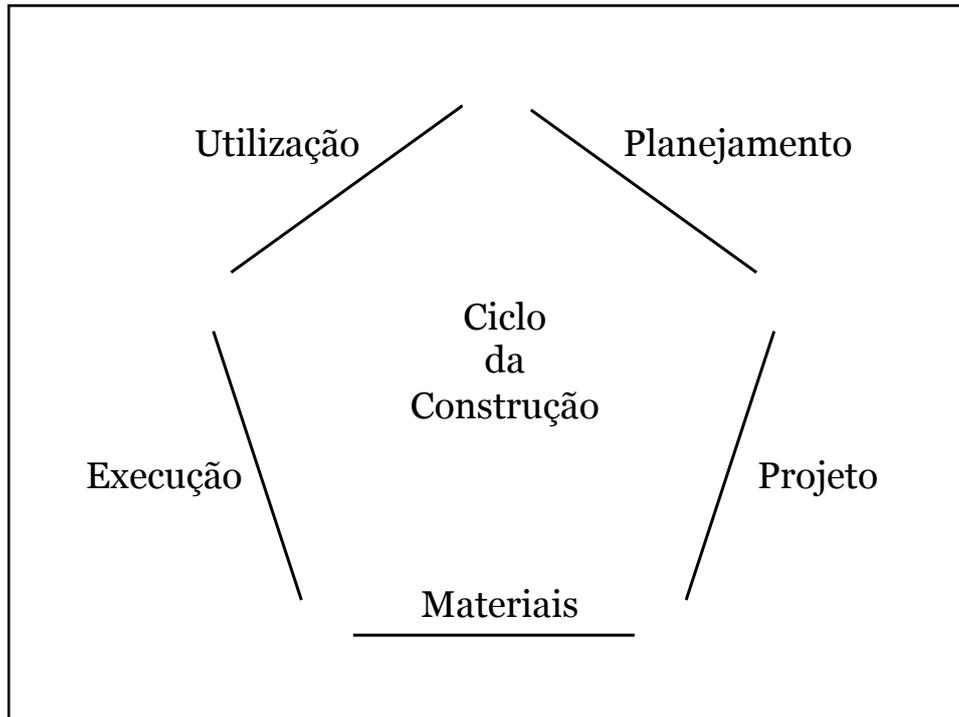


5

Manifestações patológicas

- Podem ter origem em qualquer etapa do processo construtivo;
- São normalmente provocadas por agentes agressivos, esforços internos e externos ou por procedimentos equivocados de projeto, execução ou utilização;
- Na apresentação das manifestações patológicas procura-se explicitar: origem do problema, agentes causadores, mecanismos, formas de prevenção e alternativas de correção.

6



7

Patologia

“disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático dos defeitos, falhas, danos, lesões das construções, bem como seus sintomas, causas, origem e mecanismos.

8

Patologia

pato → grego *páthos* = doença

logia → grego *lógos* = estudo, ciência

patologia → ramo da engenharia que se ocupa do estudo da natureza, origem, mecanismo e causa dos problemas e defeitos nas construções civis

9

Profilaxia

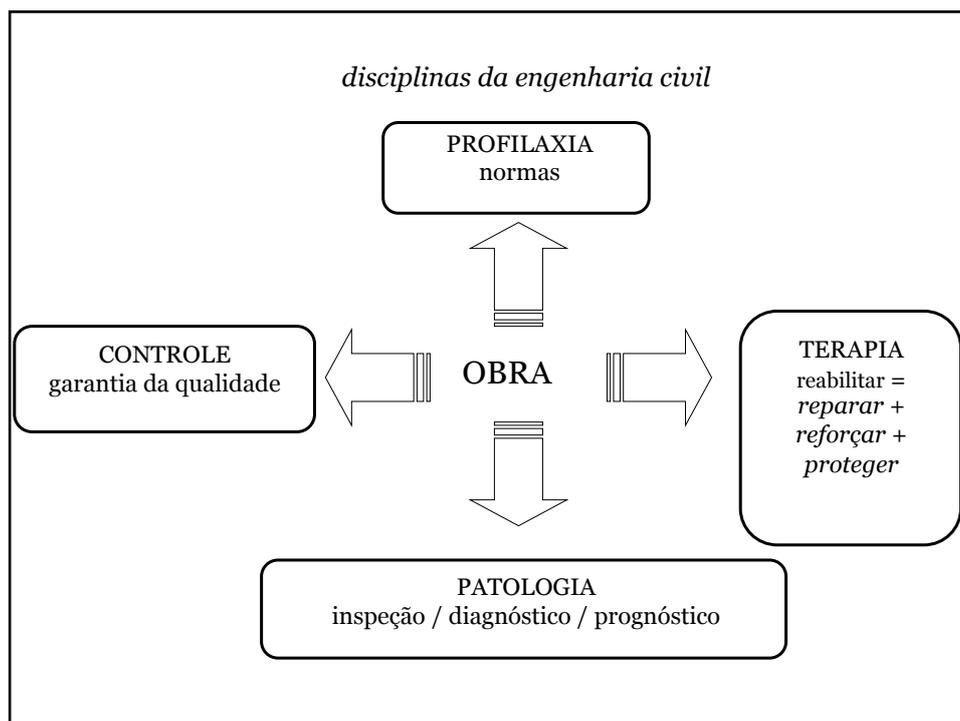
“disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático de como evitar problemas patológicos nas construções, ou seja, como “bem projetar”, como “bem construir”, como “bem operar” e como “bem manter”

10

Terapia

“disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático de como intervir em construções que apresentam problemas patológicos

11



12

Conceitos

- Inspeção, vistoria é o ato de observar visualmente e com instrumentos a estrutura com vistas a identificar e diagnosticar problemas patológicos ou de envelhecimento natural. Pode ser preliminar ou detalhada

13

Conceitos

- Diagnóstico é o parecer conclusivo sobre um problema patológico que pressupõe a resposta a qual o sintoma típico, qual a origem do problema, quais os agentes causadores e como foi o mecanismo de deterioração

14

Conceitos

- Prognóstico é uma previsão sobre o desenvolvimento e consequências futuras de um problema patológico frente a diferentes cenários, no mínimo frente a um cenário de não intervenção.

15

Conceitos

- Estudo de alternativas de intervenção
- Escolha da solução
- Projeto de intervenção
- Manual de manutenção

16

Terminologia

- Defeito, lesão, anomalia, dano, manifestação patológica, sintoma patológico – constatação de que uma ou mais partes da estrutura não cumprem, precocemente, o fim que lhes foi previsto.
- Envelhecimento natural – sintoma patológico que ocorre coincidentemente com o fim da vida útil prevista.
- Problema patológico – questão a ser resolvida.

17

Terminologia (comum e judicial)

- **Vício** – erro de projeto ou executivo que compromete o bom desempenho da estrutura.
- **Vício oculto** – Vício que não pode ser identificado antes da manifestação de suas conseqüências e danos.
- **Vício de construção** – sintoma visível, relativo à execução

18

Tipos de intervenções nas estruturas

- **Reabilitação:** é a recomposição da capacidade estrutural originária de um elemento danificado.
- **Reparo:** é uma intervenção específica
- **Reforço:** é o incremento de capacidade estrutural de um elemento.
- **Proteção**

19

Inspeção e técnicas empregadas

- Tecnologia dos materiais
- Métodos de ensaios destrutivos ou não destrutivos
- Sistemas de medida da geometria das estruturas
- Sistemas de medida de deformações
- Análises químicas e físicas dos materiais
- Todos os recursos da resistência dos materiais e do dimensionamento e verificação de estruturas

20

Como Corrigir ?

Inspeção e Diagnóstico:

- Origem
- Mecanismo
- Agentes causadores
- Prognóstico

Intervenção Corretiva:

- Materiais
- Equipamentos
- Mão de obra
- Procedimentos

Manutenção

PhD Engenharia

21

MECANISMOS DE ENVELHECIMENTO E DETERIORAÇÃO

22

NBR 6118:2003

"mecanismos de deterioração e envelhecimento"

6.3.2 Concreto

- ✓ lixiviação;
- ✓ expansão → sulfatos
- ✓ expansão → AAR
- ✓ Intemperismo

6.3.3 Aço

- ✓ corrosão por carbonatação
- ✓ corrosão por cloretos

6.3.4 Estrutura

ações mecânicas, movimentações térmicas, impactos,
ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, fator humano

PECE-EPUSP

23

6.3.2 Concreto → *Lixiviação*



Cobertura do
Prédio da FAU-USP



Edifício da
Engenharia Civil
POLI.USP

24

6.3.2 Concreto → *Lixiviação*

Mecanismo

- carreamento de sais solúveis pela água, Ca(OH)_2

Manifestação, Sintoma, Vício

- Manchas esbranquiçadas na superfície CaCO_3
- Eflorescência, pode até formar estalactites
- Aumento da porosidade interna do concreto
 - Redução do pH com risco de corrosão

25

6.3.2 Concreto → *Lixiviação*

Como evitar, Prevenção, Profilaxia

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

PECE-EPUSP

26

6.3.2 Concreto → *Lixiviação*

Como corrigir:

- de onde vem a água?
- porque o concreto está poroso e permeável?
- porque fissurou?
- é fissura “viva” ou “morta”?
- é aparente, respeitar estética?
- é estrutural, precisa monolitismo?

Inspeção, Diagnóstico e Projeto de Intervenção Corretiva

Procedimento de Manutenção

27

Ataque ácido

- Remoção da pasta e exposição dos agregados;
- Aumento da porosidade do concreto;
- Diminuição da resistência;
- Despassivação e posterior corrosão das armaduras.

PhD Engenharia

28



29



30

Ataque ácido

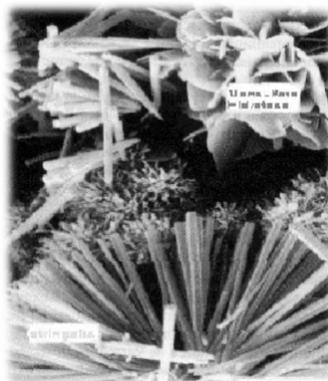


31

6.3.2 Concreto → *Expansão*

Reações expansivas

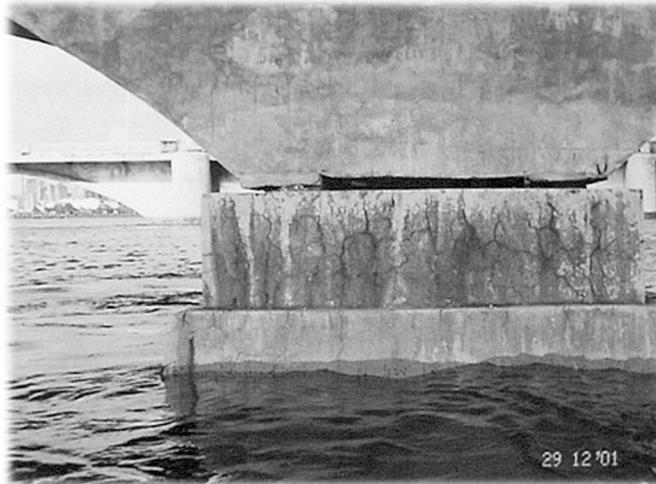
Sulfatos, SO_4^{-2}



PECE-EPUSP

32

6.3.2 Concreto → *Expansão*
Reação Álcali-Agregado AAR



33

PONTE PAULO GUERRA

concreto armado

corrosão armaduras

reação álcali-agregado

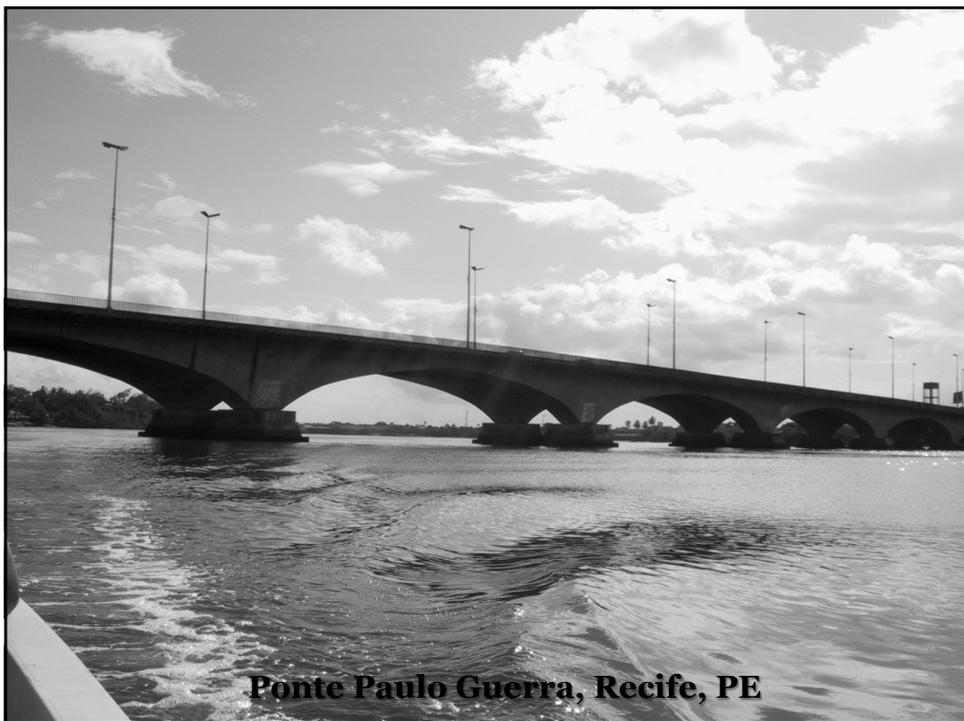
Inspeção impede colapso

PECE-EPUSP

34



35



36



37

Ponte Paulo Guerra

Recife PE → 2002

inaugurada 1980 22 anos
blocos de fundação $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$

Tabuleiro de concreto armado

$f_{ck} = 22 \text{ MPa}$

sobre rio, junto ao mar, fora de respingos

PECE-EPUSP

38

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

análise da água

pH = 7,5 Cl⁻ = 14.000 mg/L

Mg⁺⁺ = 900 mg/L SO₄⁺⁺ = 1.900 mg/L

SO₄⁺⁺ no concreto = 0,35% a 0,62%

SO₄⁺⁺ max concreto = 0,59% p/ 3% gesso

PECE-EPUSP

39

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

→Cobrimento m 16mm s 2,5mm

→carbonatação < 12mm

→E_{corr} 10 to - 450 mV

→i_{corr} 0,07 to 0,31
mA/cm²

→ ultra som 1600 to 3800 m/s

PECE-EPUSP

40

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

→testemunhos $m = 28 \text{ MPa}$

→módulo de elasticidade 5 to 30 GPa

→análise petrográfica

“evidência de reação alcali-agregado;
nenhuma evidência de etringita
secundária”

PECE-EPUSP

41



42



43

6.3.3 Aço → **Corrosão de Armaduras** Despassivação por carbonatação

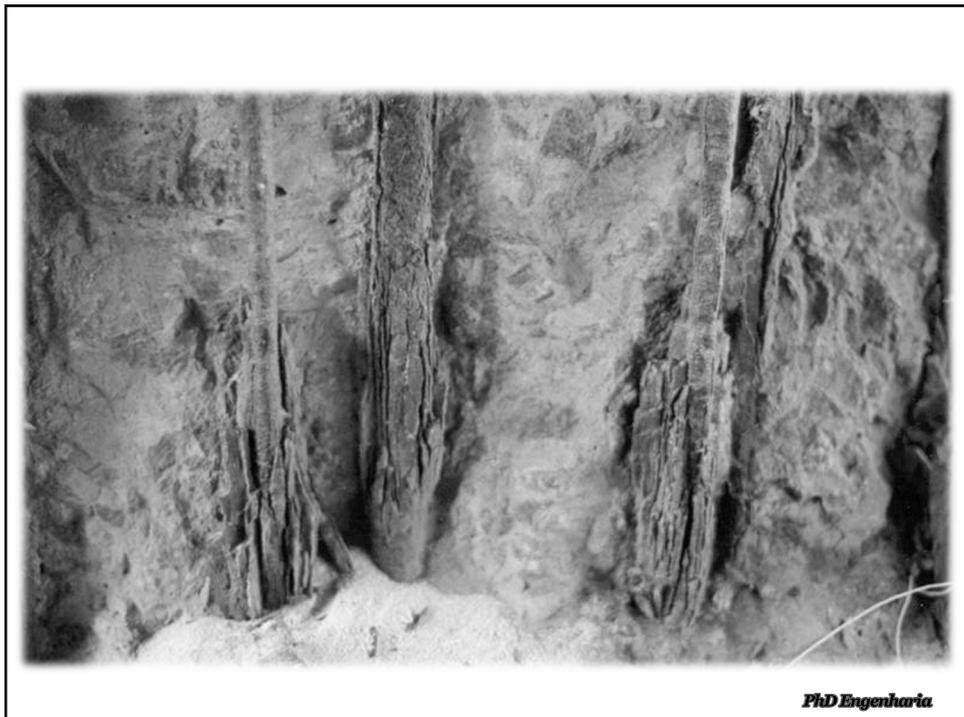
- Ca(OH)_2 --- $\text{pH} \geq 12$
(aço passivado)
- $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$



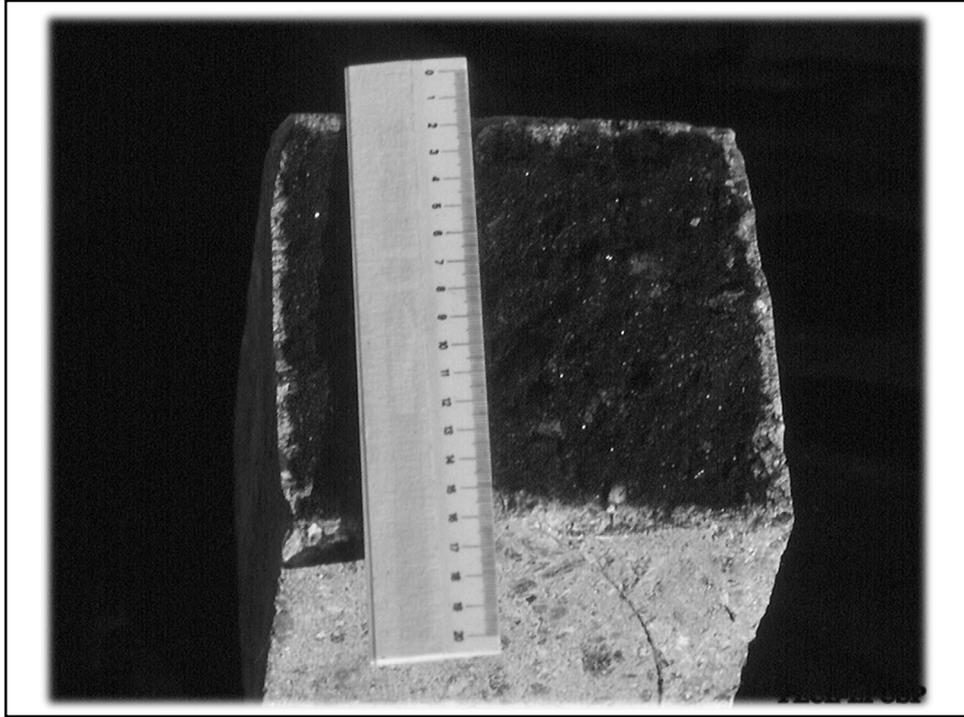
44



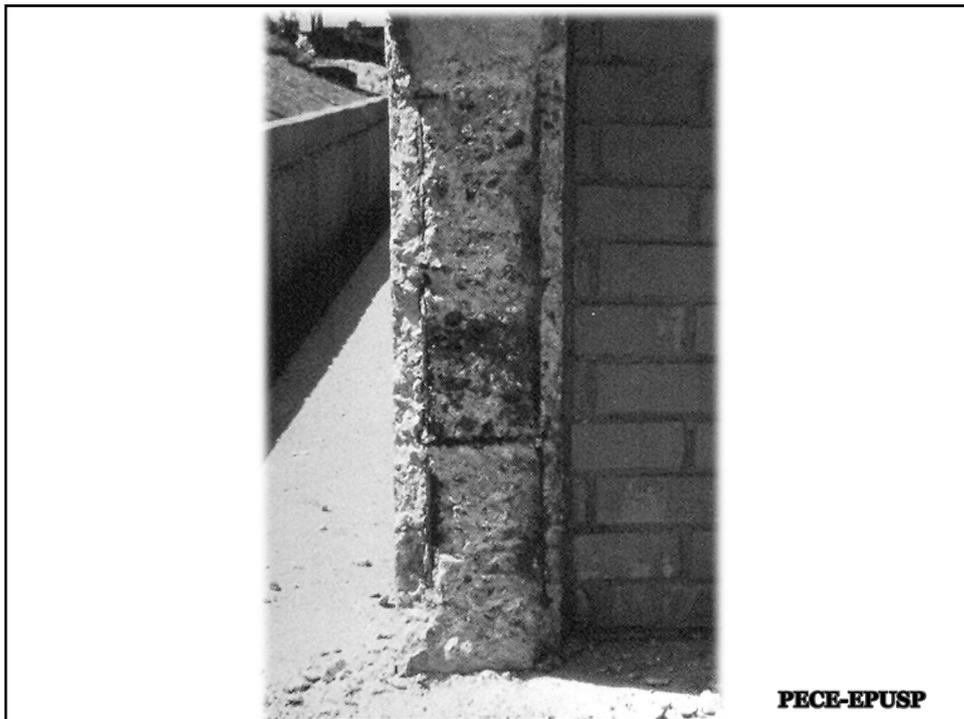
45



46



47

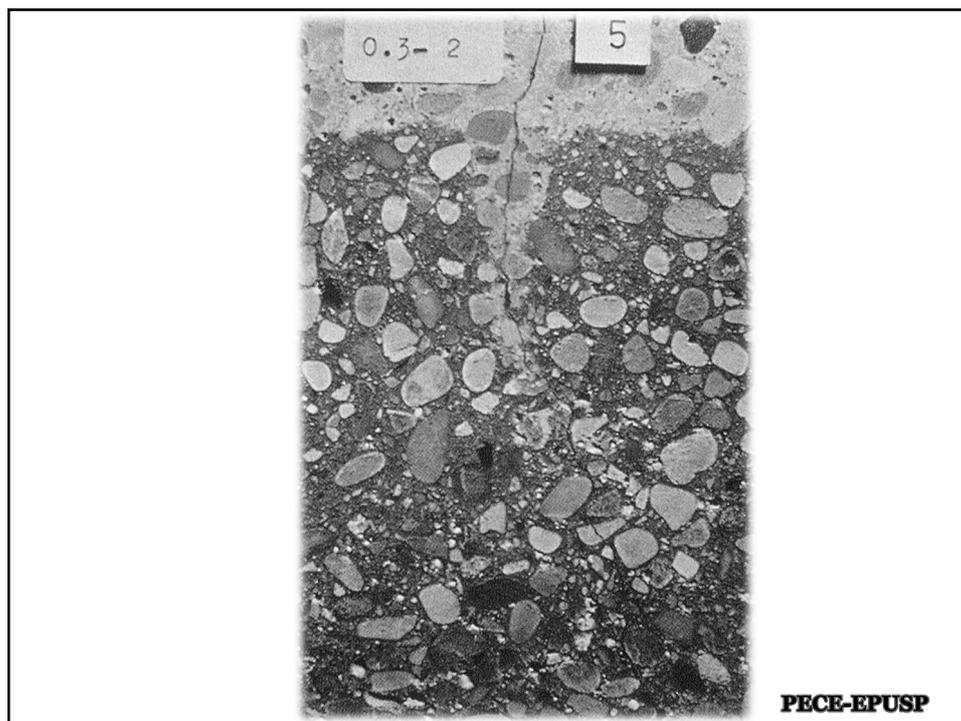


48

Fissuras e Carbonatação

PECE-EPUSP

49



PECE-EPUSP

50



51



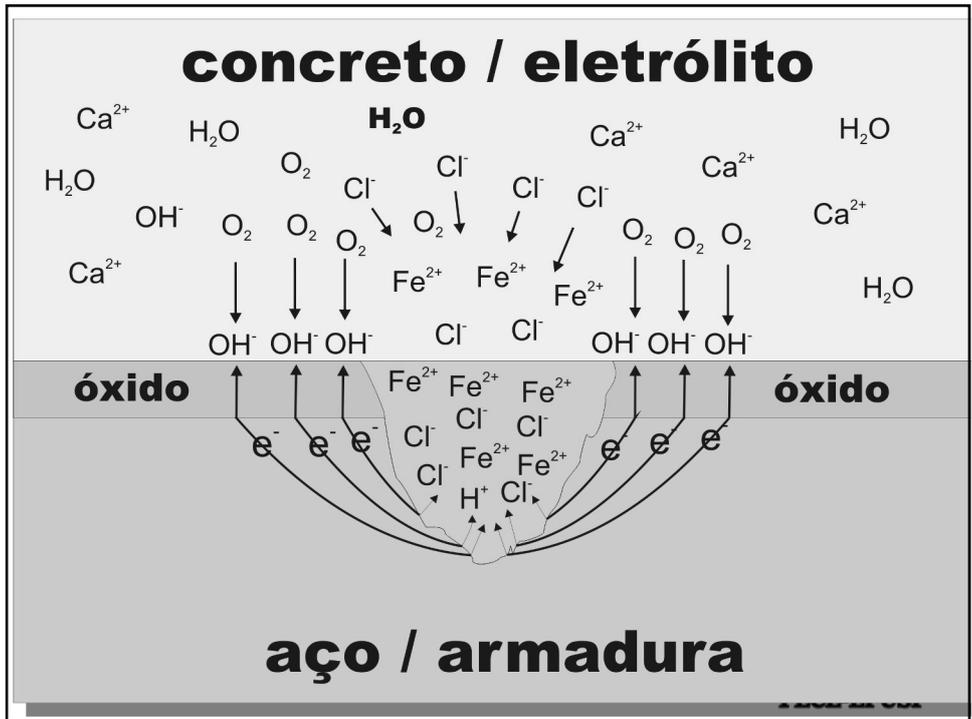
52



53



54



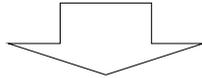
55



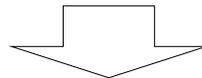
56

Corrosão de armaduras

Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo



Não há corrosão



Passivação

PECE-EPUSP

57

Passivação

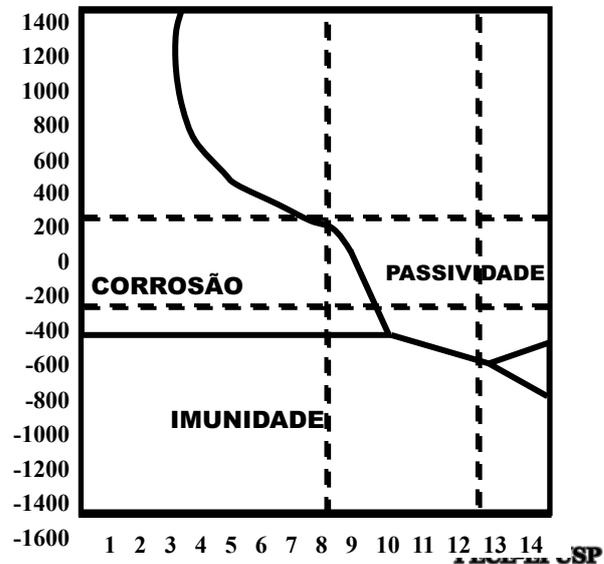
- Película fina de um filme de óxido estável e aderente formado na superfície do concreto
- Estado em que o aço se encontra no interior do concreto por ser um meio bastante alcalino (pH=12,6)

PECE-EPUSP

58

Diagrama de Pourbaix

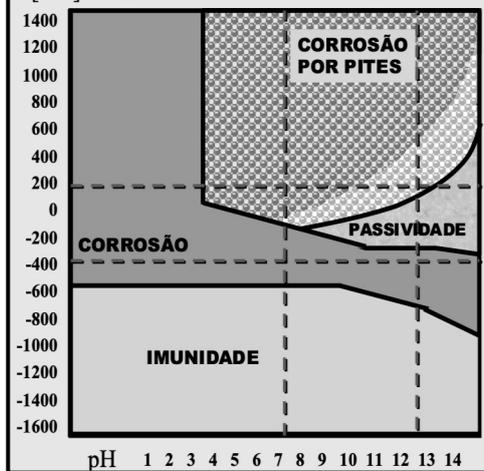
E [mV] Diagrama de Pourbaix Fe-água



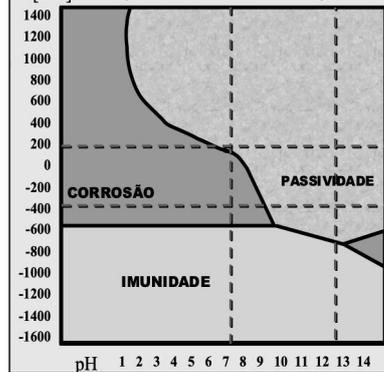
59

Cloretos

E [mV] Diagrama de Pourbaix Fe-água com Cl



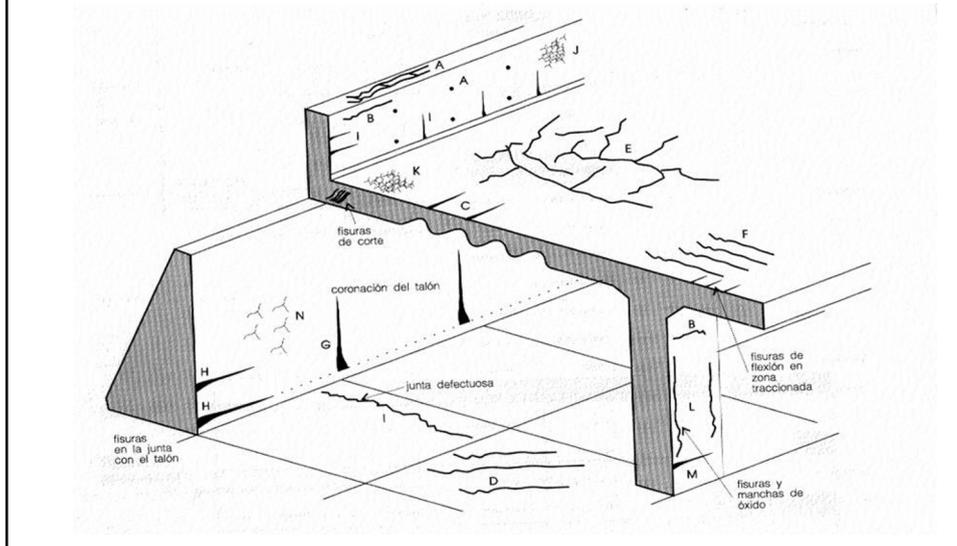
E [mV] Diagrama de Pourbaix Fe-água



60

6.3.4 Estrutura

fissuras: térmicas, retração, ações, construtivas



61

Deformações excessivas

- Ocorre quando a estrutura em serviço é mais deformável do que o previsto no projeto estrutural
- Erro de projeto
- Módulo de elasticidade do concreto inferior ao especificado

PECE-EPUSP

62

Sobrecarga



63

Ação do fogo



64

Ação do fogo

- Escurecimento da superfície do concreto;
- Deposição de fuligem (material carbonizado);
- Deterioração de revestimentos e destacamento;
- Calcinação do concreto de cobrimento;
- Aparecimento de fissuras (400°C);
- Perda de resistência mecânica;
- Desagregação e posterior destacamento do concreto de cobrimento (600°C);
- Exposição e rápida perda de resistência do aço;

PhD Engenharia

65

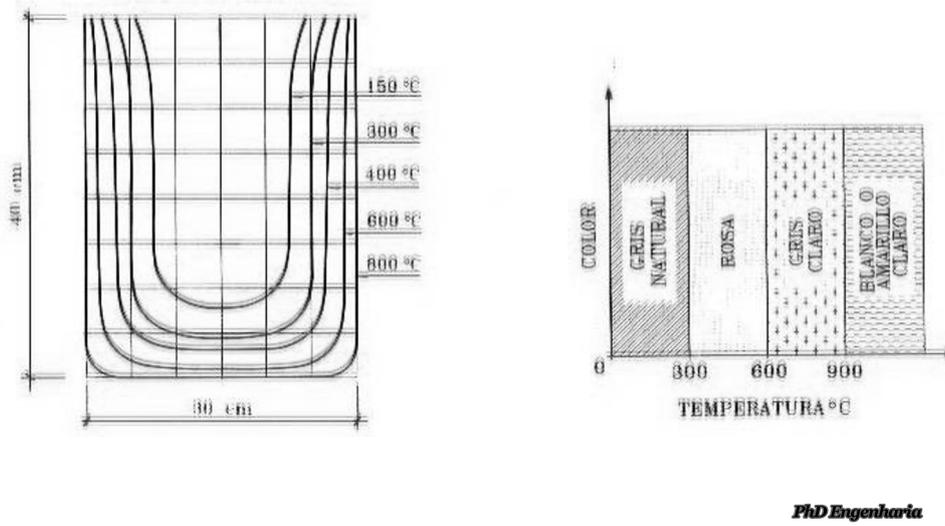
Ação do fogo

- Perda de aderência entre aço e concreto (descaracteriza comportamento estrutural previsto no projeto);
- Aumento de flechas e deformações;
- Ruptura parcial ou total.

PhD Engenharia

66

Ação do fogo



67

Incêndio Viaduto Santo Amaro São Paulo/SP

Acidente: 13/02/2016,
madrugada de sábado

Em uso

68

MENU G1 SÃO PAULO

13/02/2016 07h30 - Atualizado em 13/02/2016 17h09

Acidente entre caminhões causa fogo e fecha Avenida Bandeirantes, em SP

Uma das carretas estava carregada de gasolina e houve uma explosão. Motorista disse que tentou desviar de carro e passou por semáforo fechado.

Do G1 São Paulo

FACEBOOK TWITTER G+ PINTEREST



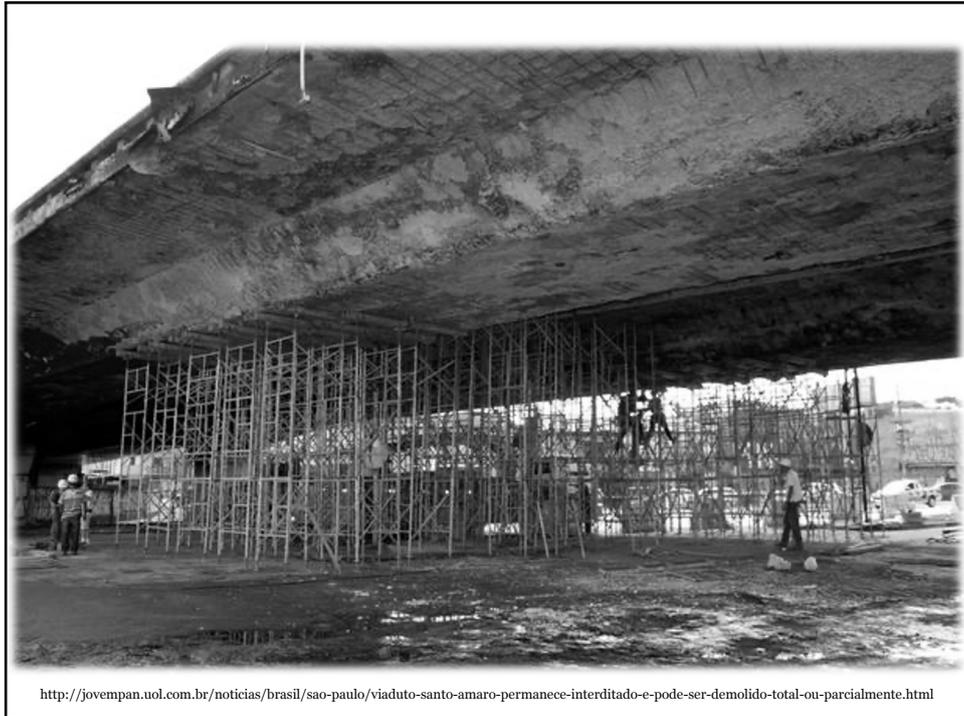
Um acidente envolvendo um caminhão bi trem e um caminhão-tanque carregado com gasolina na Avenida dos Bandeirantes, Zona Sul de São Paulo, causou explosão na madrugada deste sábado (13). A colisão traseira ocorreu embaixo do Viaduto Santo Amaro, sentido Imigrantes, e a estrutura pode ter sido abalada, segundo o Corpo de Bombeiros. O incêndio foi controlado por volta das 6h20.

<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2016/02/acidente-entre-caminhoes-causa-fogo-e-fecha-avenida-bandeirantes-em-sp.html>

69



70



<http://jovempan.uol.com.br/noticias/brasil/sao-paulo/viaduto-santo-amaro-permanece-interditado-e-pode-ser-demolido-total-ou-parcialmente.html>

71

► inspeção e manutenção

Recuperação e reabilitação estrutural do Viaduto Santo Amaro

MAURO LEMOS DE FARIA – GERENTE DE PROJETOS
 CATÃO F. RIBEIRO – DIRETOR TÉCNICO E COMERCIAL
 ENESCIL ENGENHARIA DE PROJETOS

REVISTA DE EDIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS
SOLUÇÕES PARA RECUPERAÇÃO DE PONTES, VIADUTOS, EDIFICAÇÕES E FACHADAS
 Nº 82
 JULHO 2016

RECONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS
 ANTONIO CARVALHO FILHO
 LUCAS DA SILVA PEREIRA
 REABILITAÇÃO DE OBRAS

RECONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS
 UNIDADE PARA INSPEÇÃO, MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

RECONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS
 RECUPERAÇÃO DO VIADUTO SANTO AMARO

72



► **Figura 1**
Vista inferior do vão central do Viaduto Santo Amaro, após ser atingido por incêndio

73

- **Ensaaios em testemunhos de concreto extraídos da estrutura mostraram que o concreto remanescente ainda possui resistência à compressão satisfatória, inclusive em diversos casos acima da resistência característica especificada em projeto**

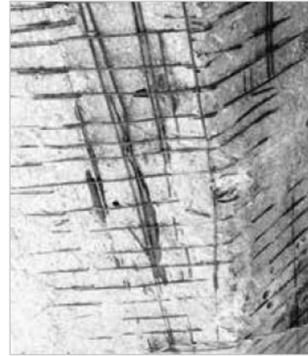
até 70,2 MPa,
para
 $f_{ck} = 30\text{MPa}$



► **Figura 9**
Imagem de uma das regiões do viaduto onde foram retirados os corpos de prova

74

- Amostras de armaduras CA-50 na região atingida pelo fogo também foram ensaiadas com resultados satisfatórios.
- Em média, o limite de escoamento ficou em 484 MPa (-3,2%), com menor resultado igual a 442 MPa

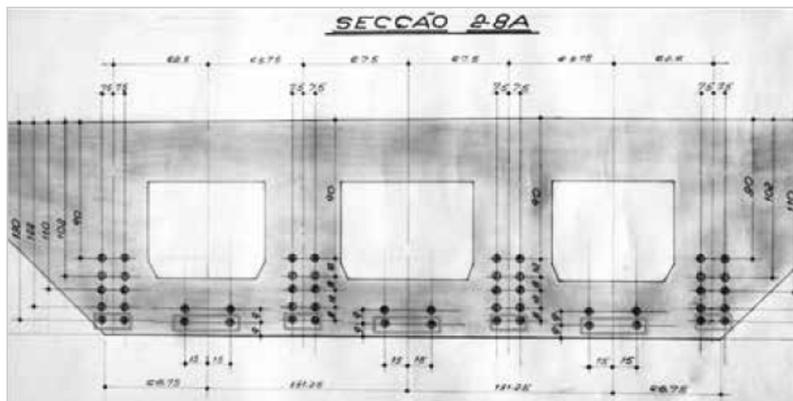


► **Figura 8**
 Detalhes da região do viaduto mais afetada pelo incêndio, onde é possível ver as bainhas de protensão

para $f_{sk} = 500$ MPa

75

- Não foram realizados ensaios nas armaduras ativas devido à impossibilidade de acesso aos cabos.



► **Figura 10**
 Seção mostrando a localização das protensões

76

Robustez & Redundância

Pontes Integrais

77



Prof. Laranjeiras:

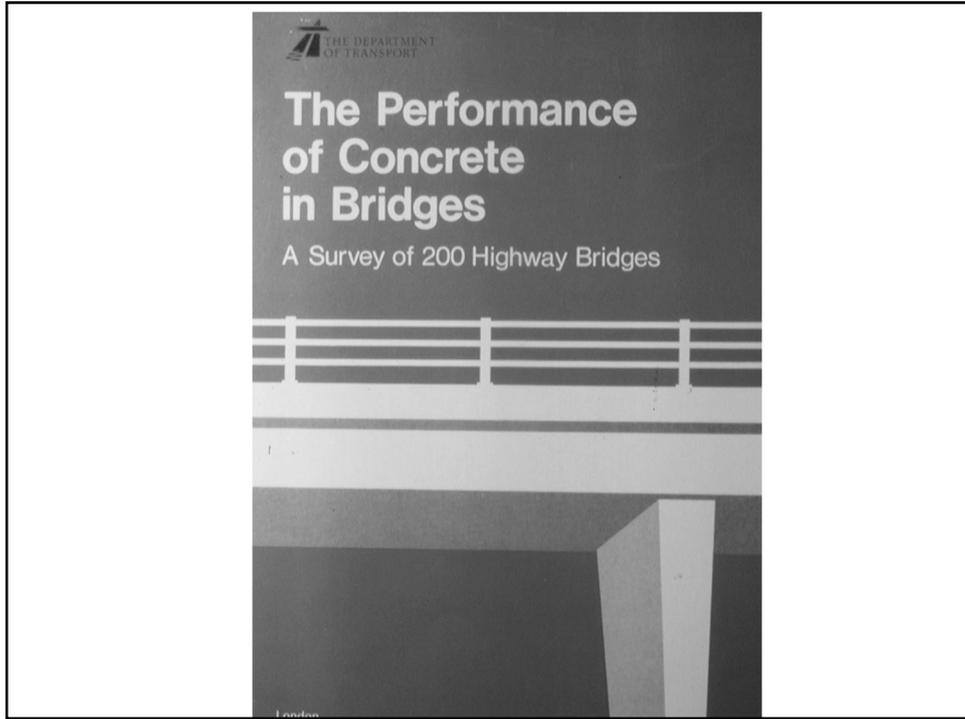
Vantagem é ter estruturas de pontes contínuas e hiperestáticas.

O fato da superestrutura ser contínua, a faz redundante e dúctil, tornando-a capaz de redistribuir as cargas não muito elevadas (pedestres, carros pequenos) sobre os apoios, após a perda de um deles, como se vê na foto.

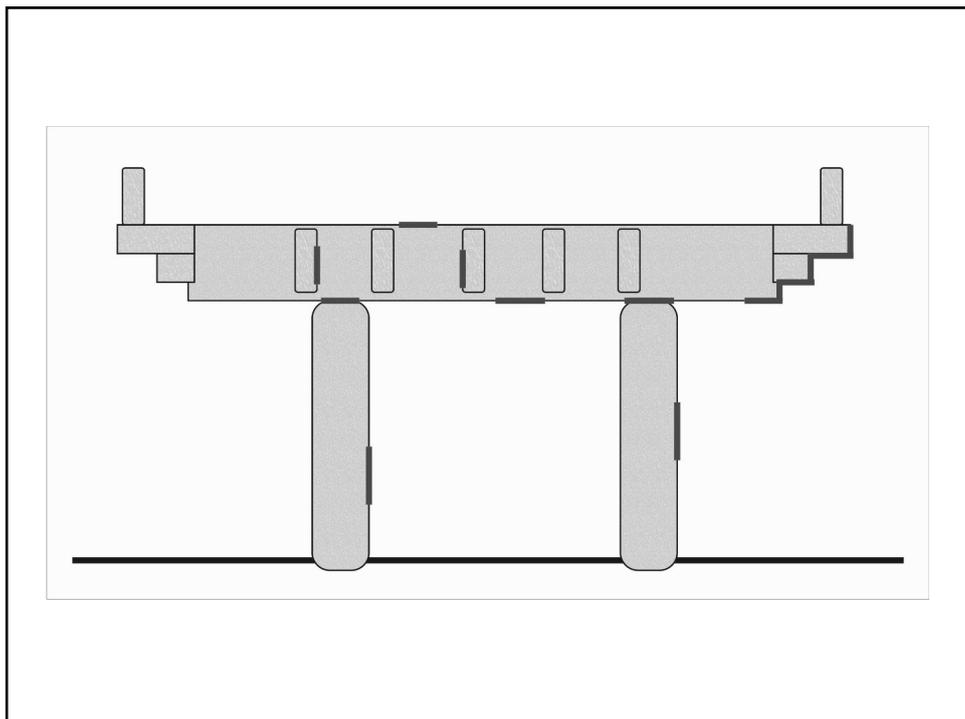
Caso essa estrutura fosse constituída de vãos isostáticos com vigas pré-moldadas, já teria havido, certamente, um colapso progressivo com ruína dos vãos adjacentes ao pilar sem fundações, e, possivelmente, dos demais vãos.

É tendo como justificativa casos como esse que hoje se busca direcionar o paradigma de projetos de pontes para estruturas integrais.

78



79



80

Partes a serem observadas

- Fundações
- Pilares
- Encontros
- Tabuleiro
- Aparelhos de apoio
- Juntas de dilatação
- Drenagem
- Complementos
- Pavimento
- Guarda corpo

81

*Vistoria de 200 pontes
Rodoviárias*

The Department
of Transport UK

2m x 1m áreas de ensaio	2.848 m ²	7 áreas
Potencial de corrosão	2.575 m ²	12 áreas
Espessura de cobrimento	2.258 m ²	11 m ²
carbonatação	2.506	18
Teor de cloretos	5.838	29
Teor de sulfatos	320	1 a 2
Consumo de cimentos	454	2 a 3
Análise petrográfica	94	0 a 1

82

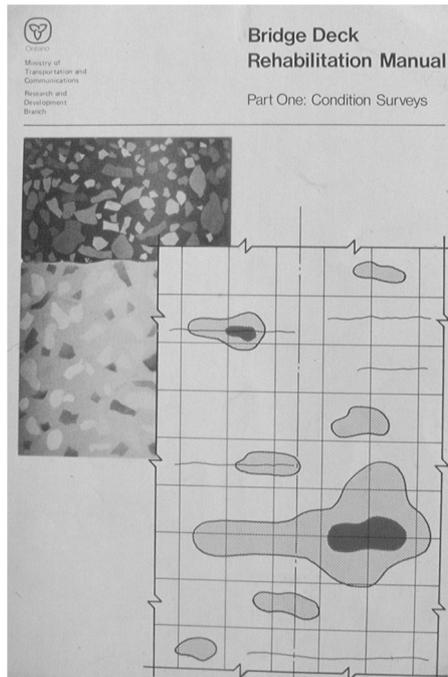


CUSTOS DE VISTORIA

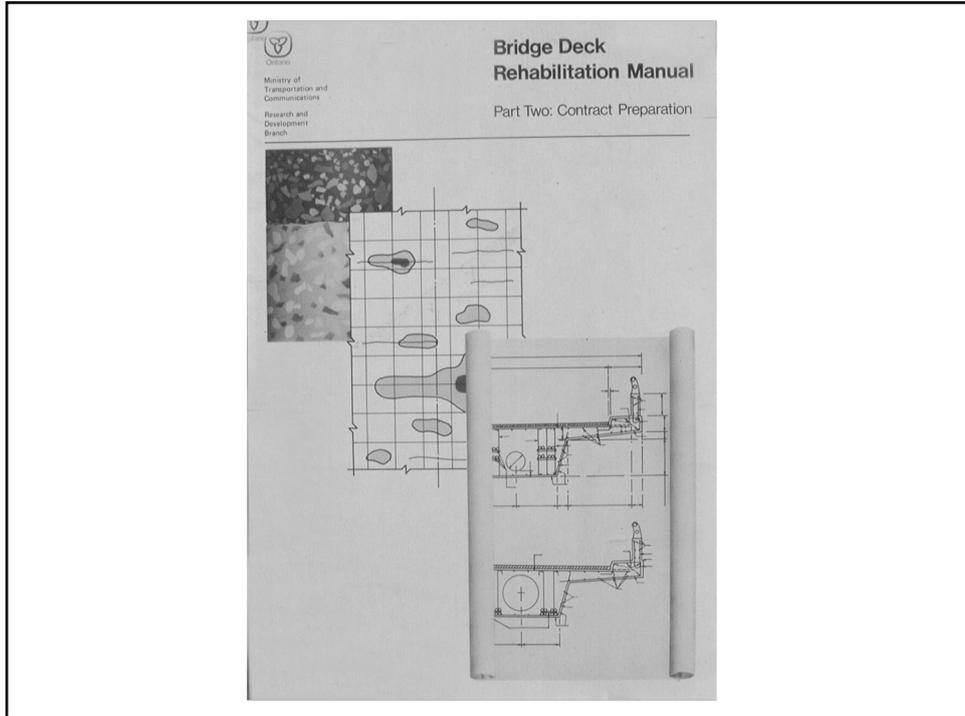
(Somente durabilidade, sem cadastro)

Ponte	Custo US\$
Conservada	5.000
Normal	30.000
Deteriorada	40.000

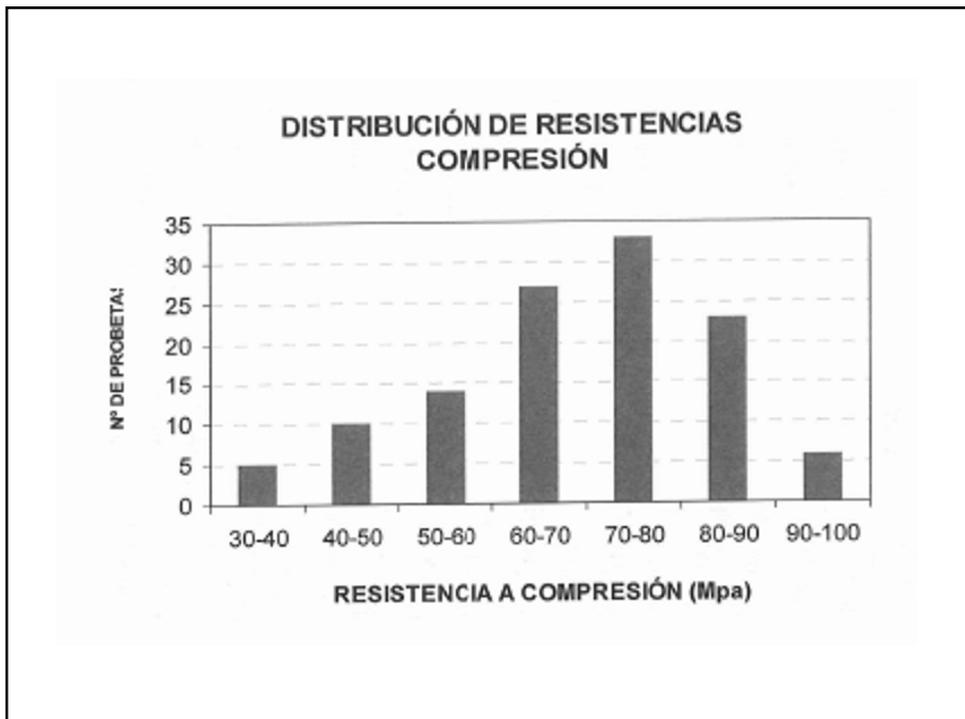
83



84



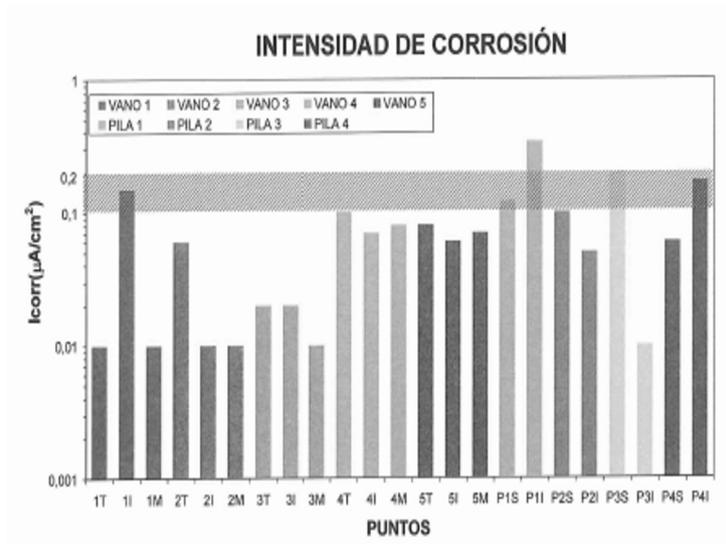
85



86

3

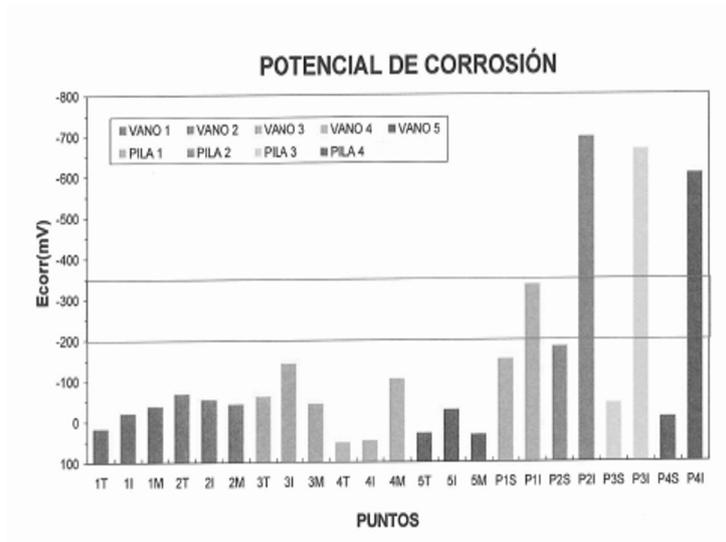
Corrente de Corrosão



87

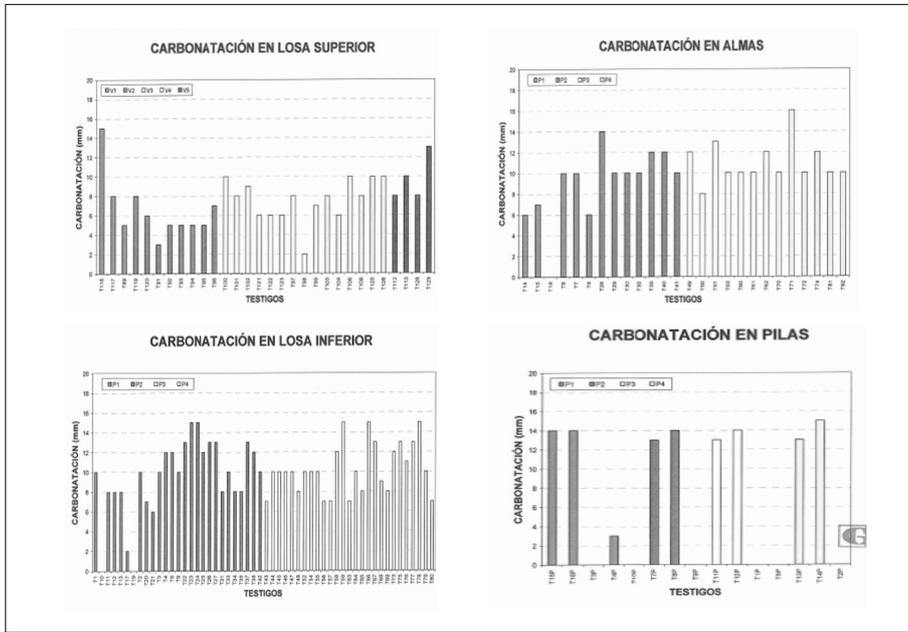
3

POTENCIAL DE CORROSIÓN



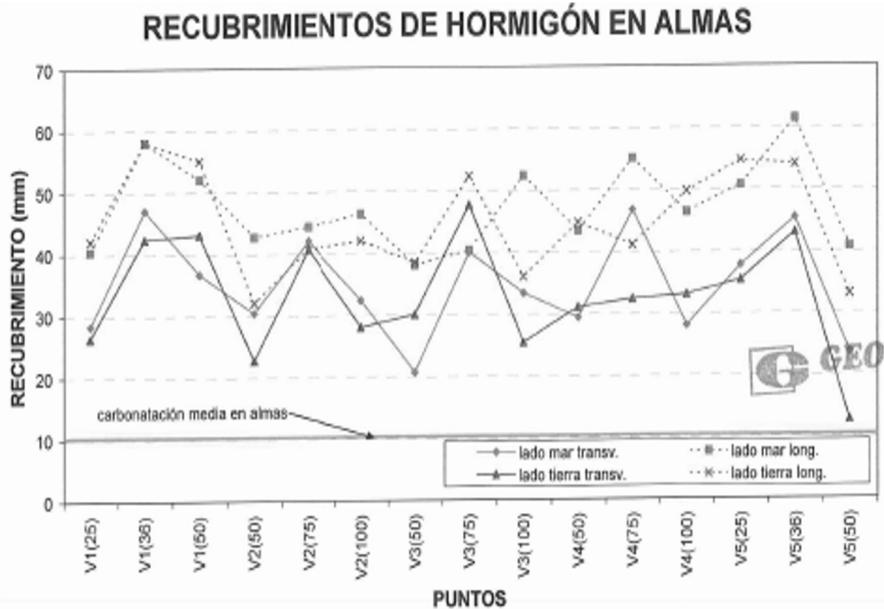
88

3

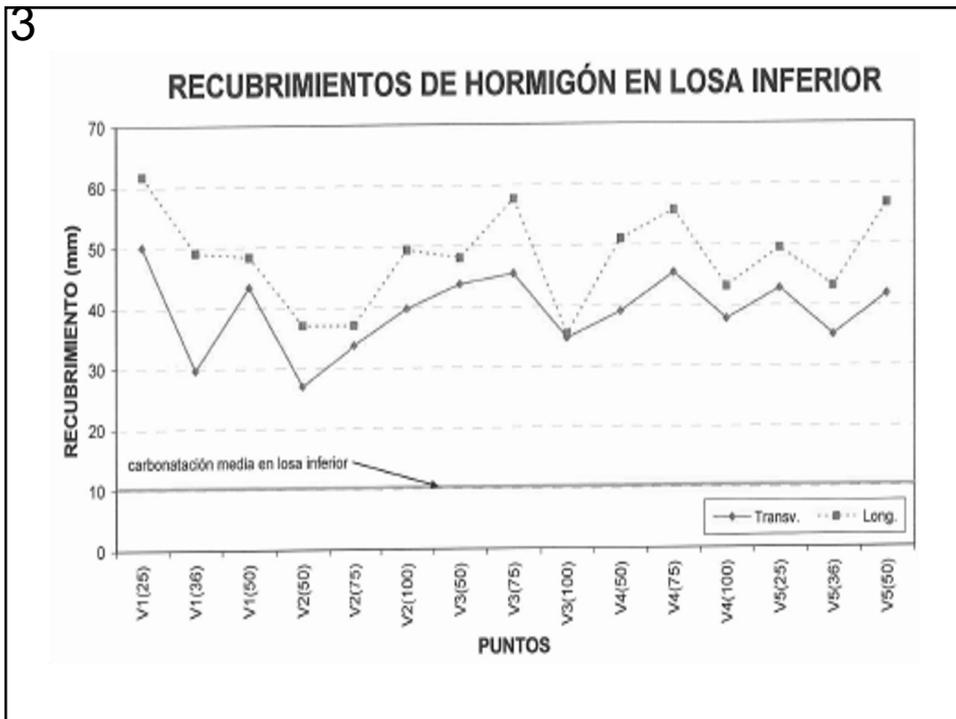


89

3



90



91

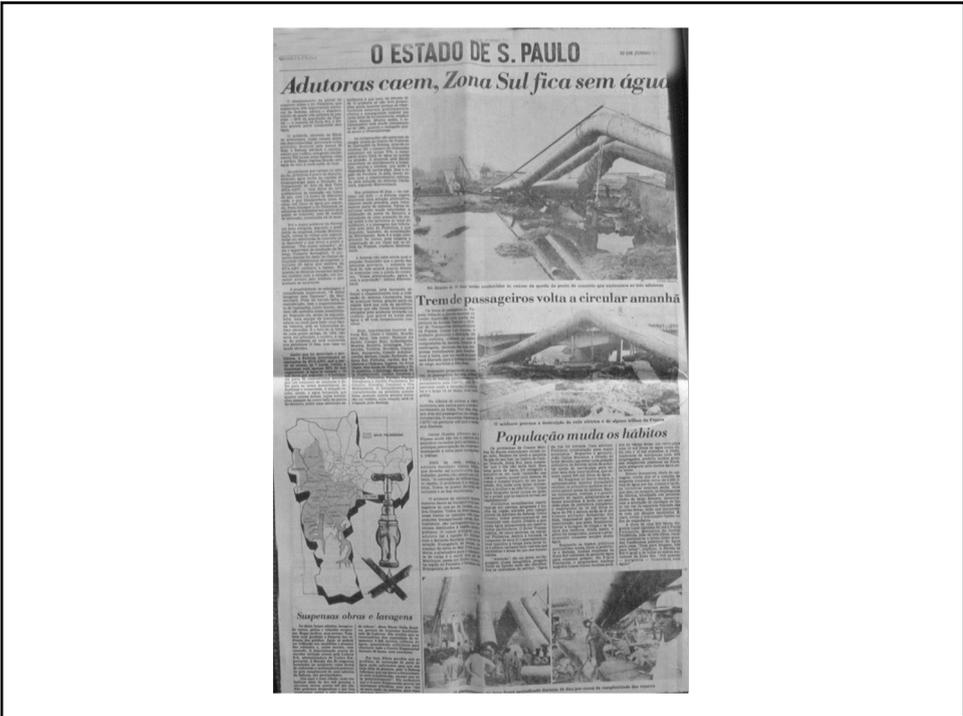
CUSTO DA INTERVENÇÃO (200 pontes)

US\$ x 100	conservada (59)	normal (100)	deteriorada (41)
vistoria	214	2.340	2.360
proteção superficial	1.432	4.316	1.064
reparo de juntas	262	4.148	1.500
reparos	-	-	7.856
proteção catódica	-	-	2.388
substituição	-	-	8.188
adaptações	-	-	244
monitoramento	-	3.026	2.226
média/ponte (2008)	52	4.980	17.680

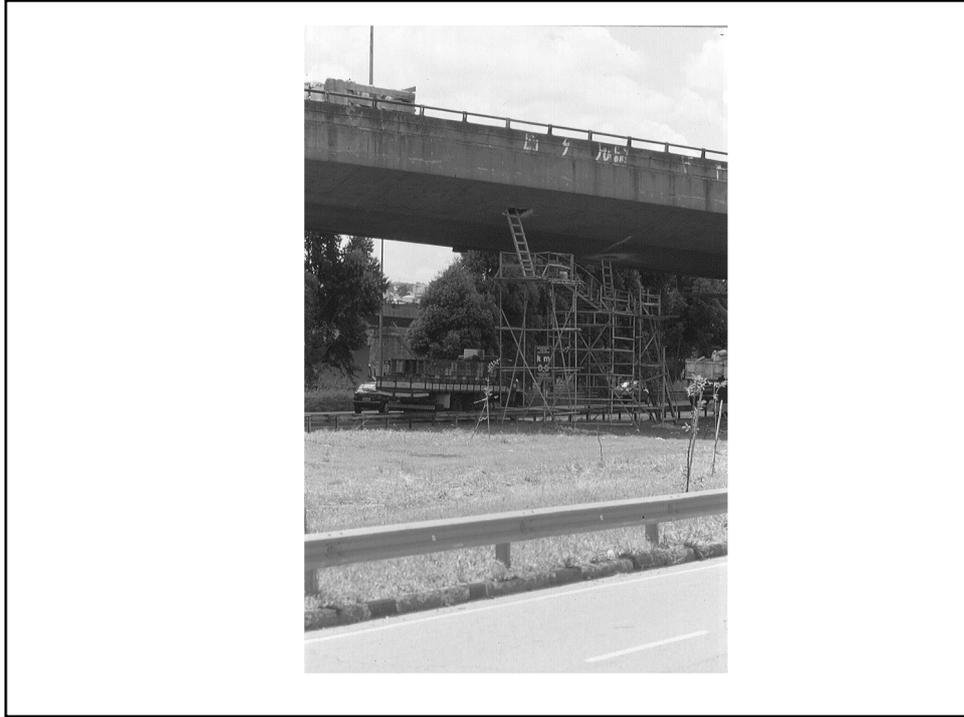
92



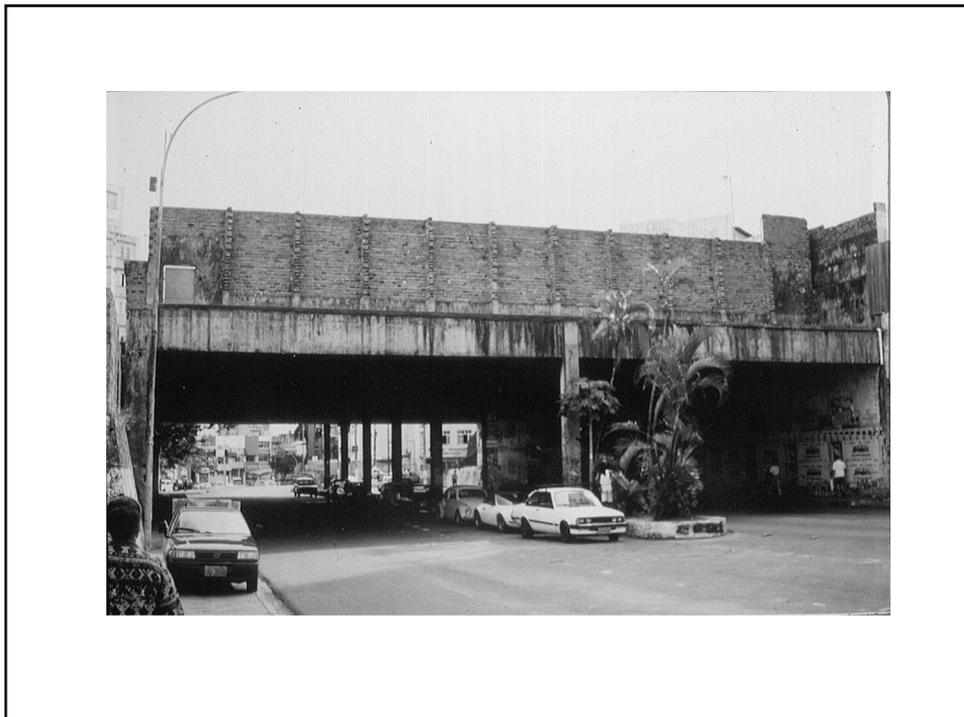
93



94

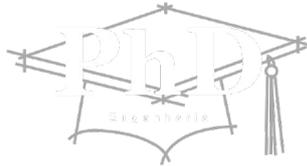


95



96

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11-2501-4822
11-2501-4823