



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



aula 2:
**Introdução à Patologia e Terapia
das Estruturas de Concreto**



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene

*Diretor PhD Engenharia
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Diretor e Conselheiro Permanente IBRACON
Presidente Honorífico ALCONPAT Internacional
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life of
Concrete Structures
Conselheiro CNTU e SEESP*

Auditório da ABCP

31 de março de 2017

São Paulo SP

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



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

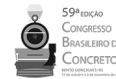


Patologia de estruturas

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

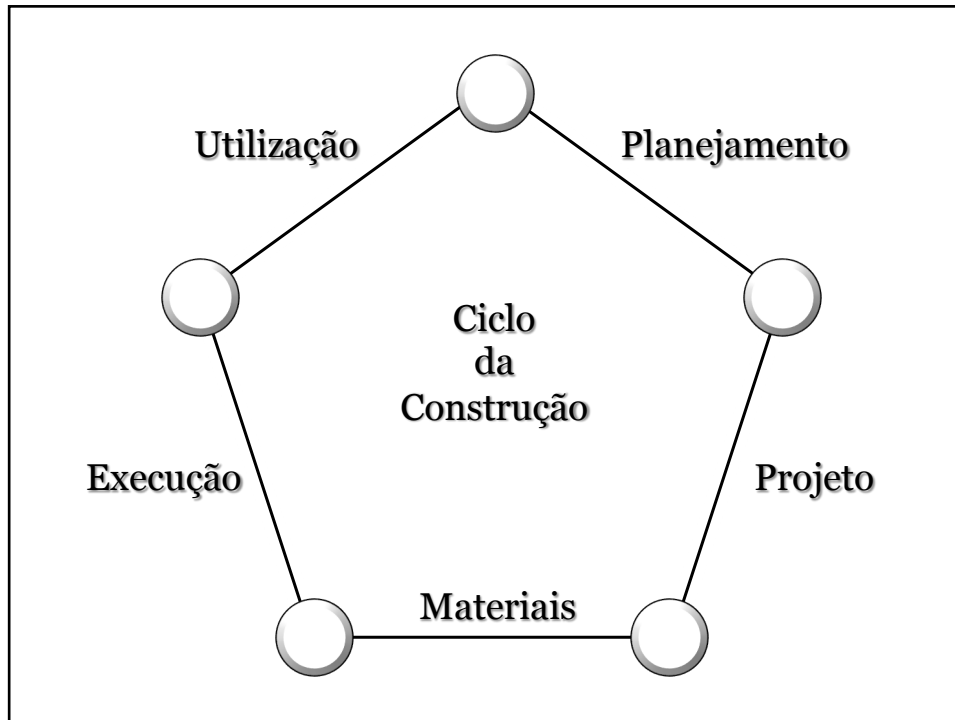


5

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

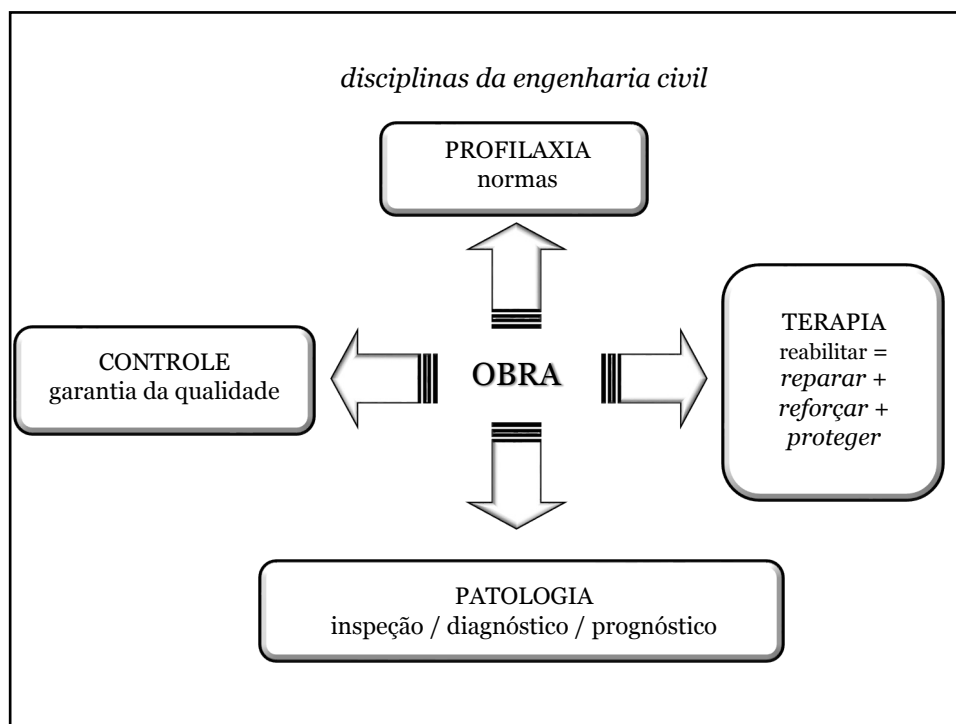
“disciplina” da engenharia encarregada do estudo sistemático de como evitar problemas patológicos nas construções, ou seja, como “bem projetar”, como “bem construir”, como “bem operar” e como “bem manter”

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 (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

21

MECANISMOS DE ENVELHECIMENTO E DETERIORAÇÃO

22

ABNT NBR 6118:2014

"mecanismos de envelhecimento e deterioração"

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

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.

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.

28



29



30

Ataque ácido

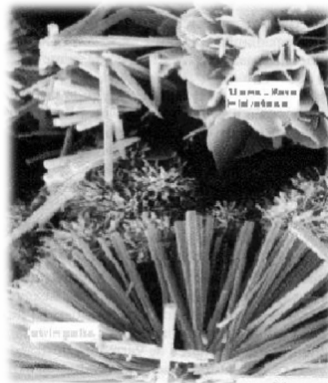


31

6.3.2 Concreto → *Expansão*

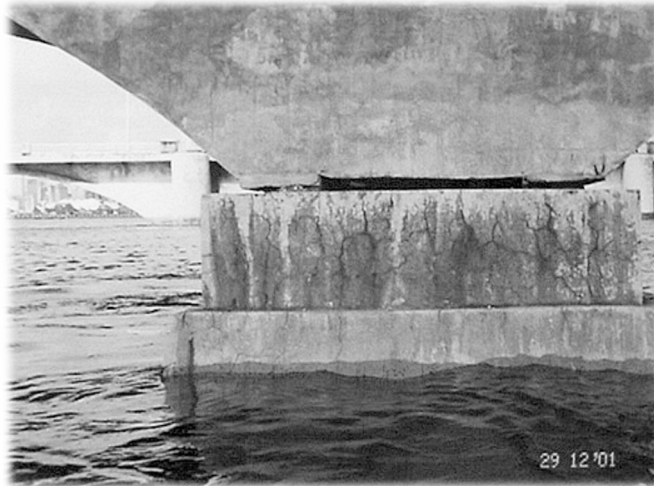
Reações expansivas

Sulfatos, SO_4^{-2}



32

6.3.2 Concreto → *Expansão*
Reação Álcali-Agregado AAR



33

PONTE PAULO GUERRA

concreto armado

corrosão armaduras

reação álcali-agregado

Inspeção impede colapso

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

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

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

→ ultrassom 1600 to 3800 m/s

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”

41



42



43

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

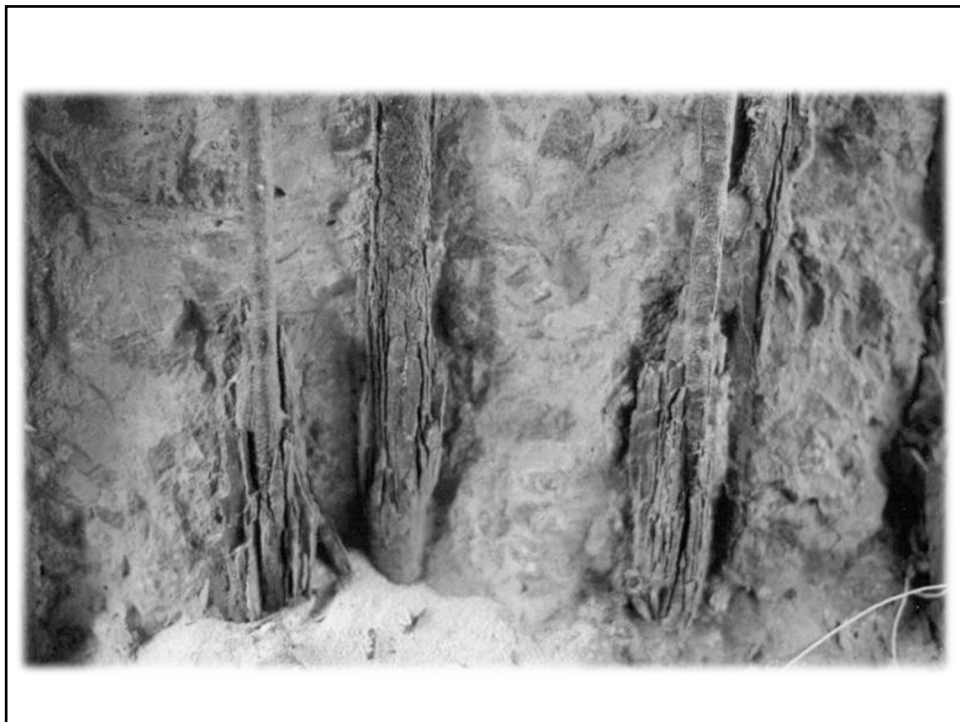
- Ca(OH)_2 --- $\text{pH} \geq 12$
(aço passivado)
- $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$



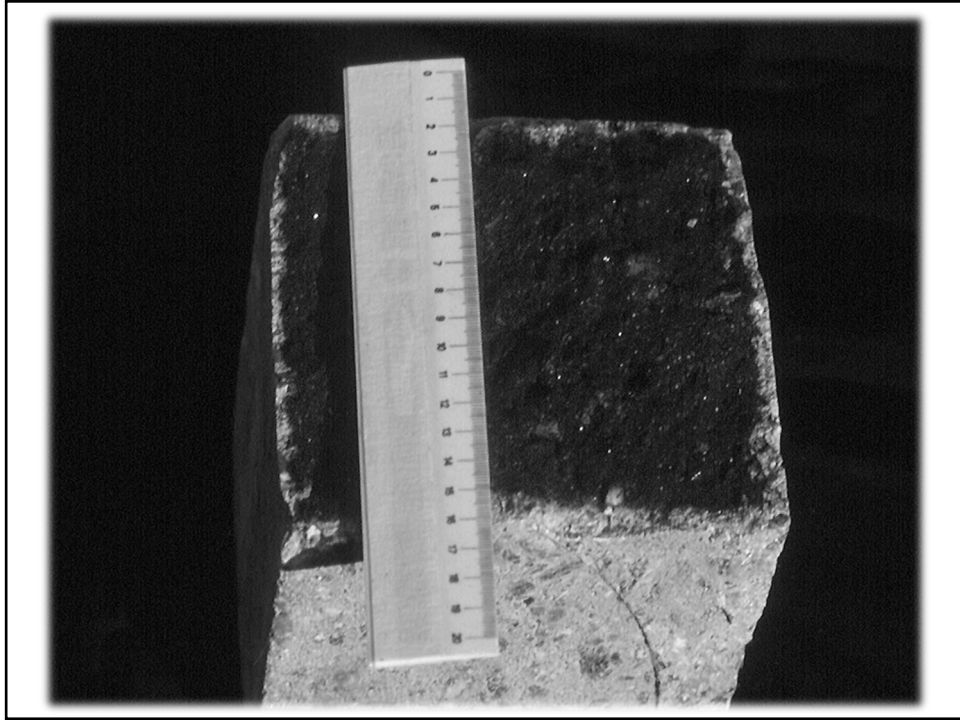
44



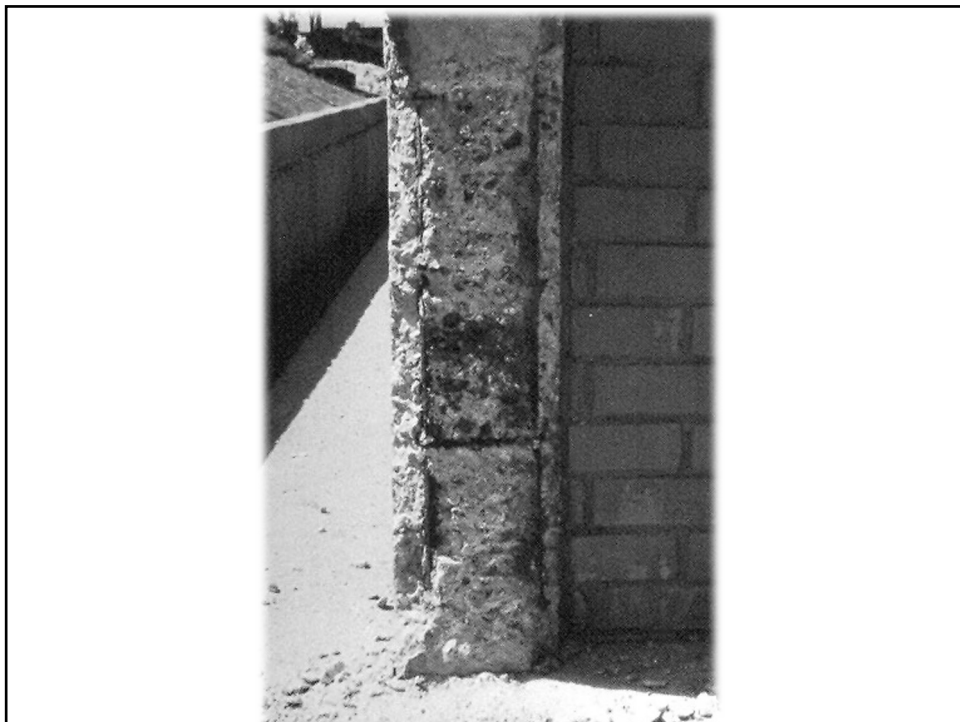
45



46



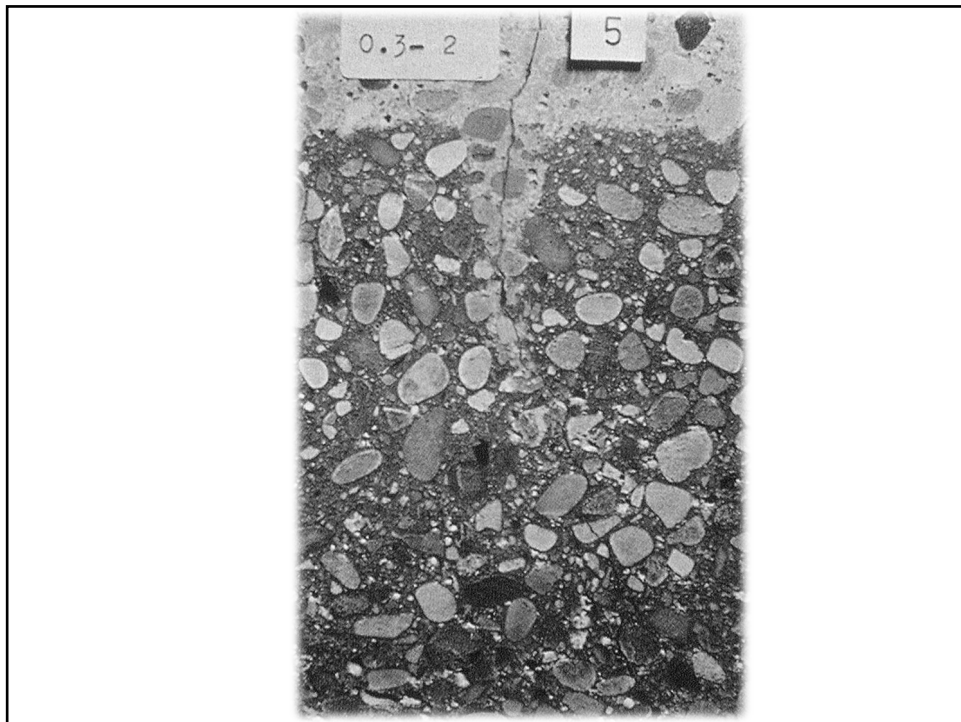
47



48

Fissuras e Carbonatação

49



50



51



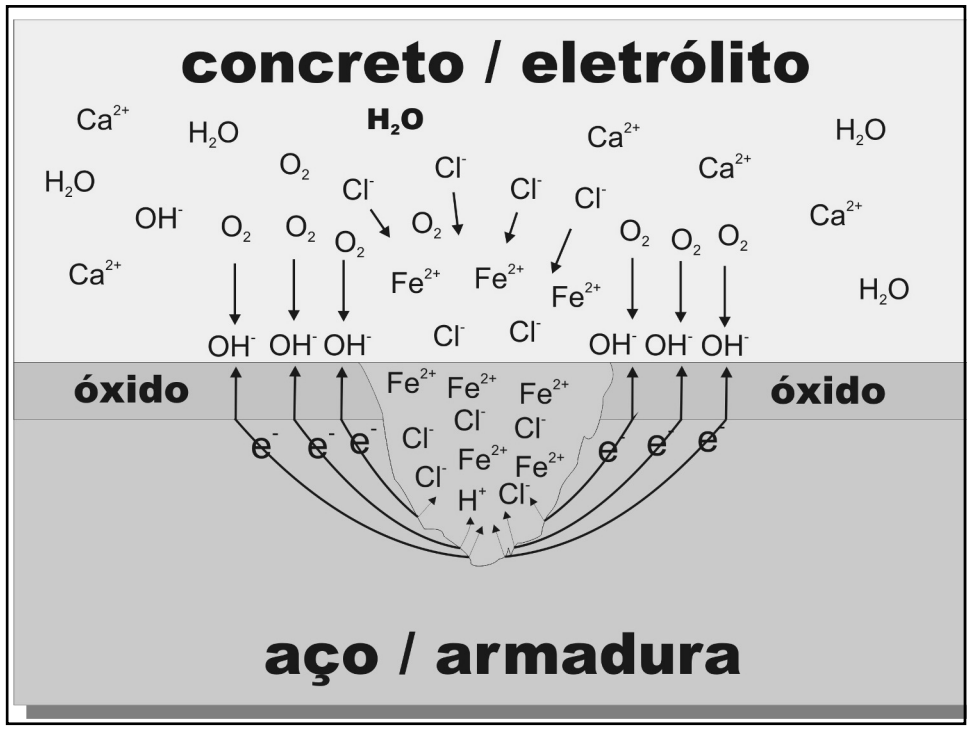
52



53



54



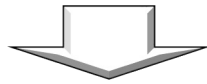
55



56

Corrosão de armaduras

Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo e porquê não há corrosão?



Passivação

57

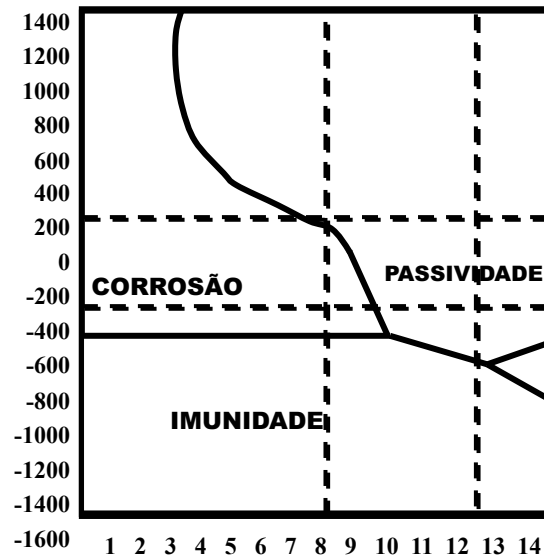
Passivação

- 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)

58

Diagrama de Pourbaix

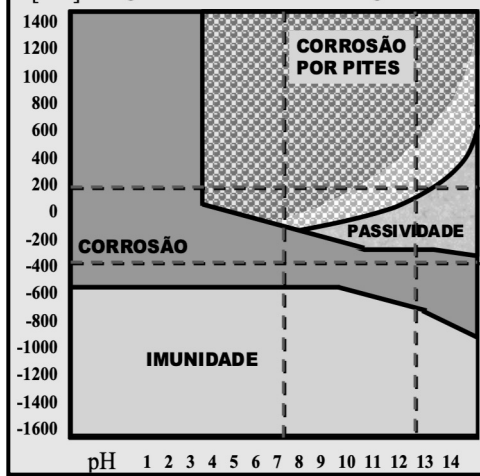
E [mV] Diagrama de Pourbaix Fe-água



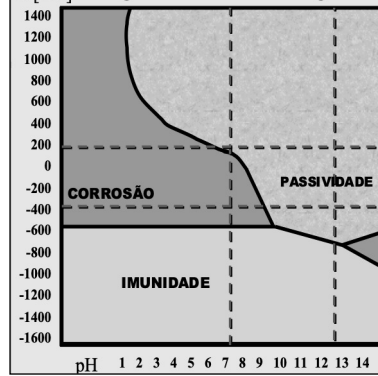
59

Cloretos

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



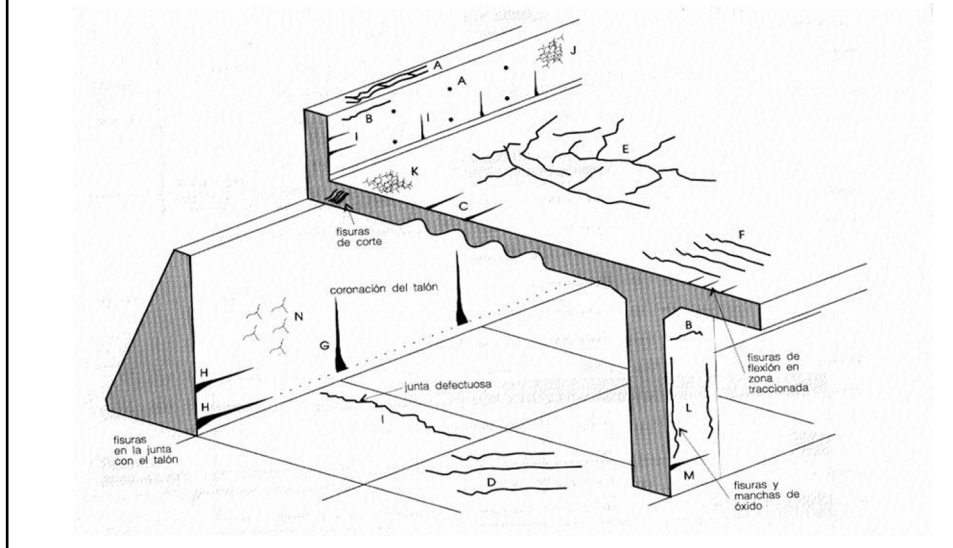
E [mV] Diagrama de Pourbaix Fe-água



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

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;

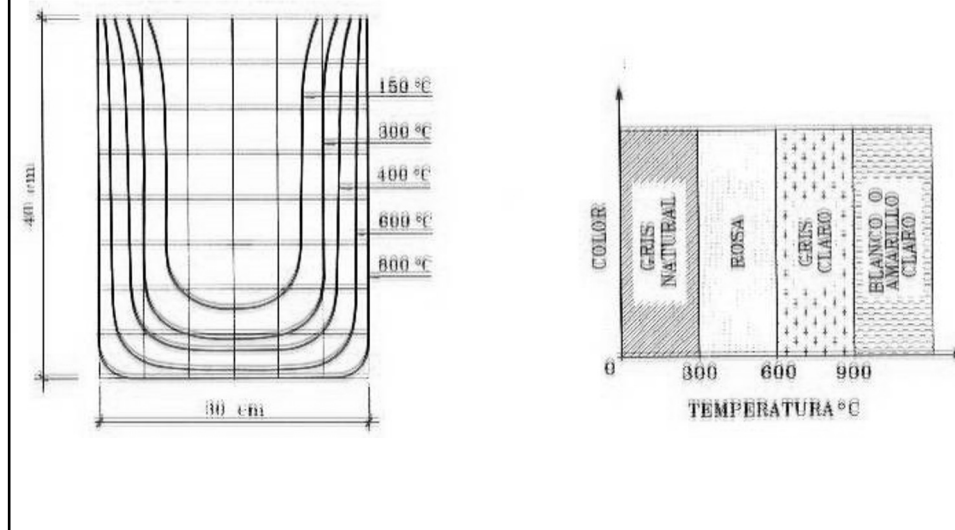
65

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.

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



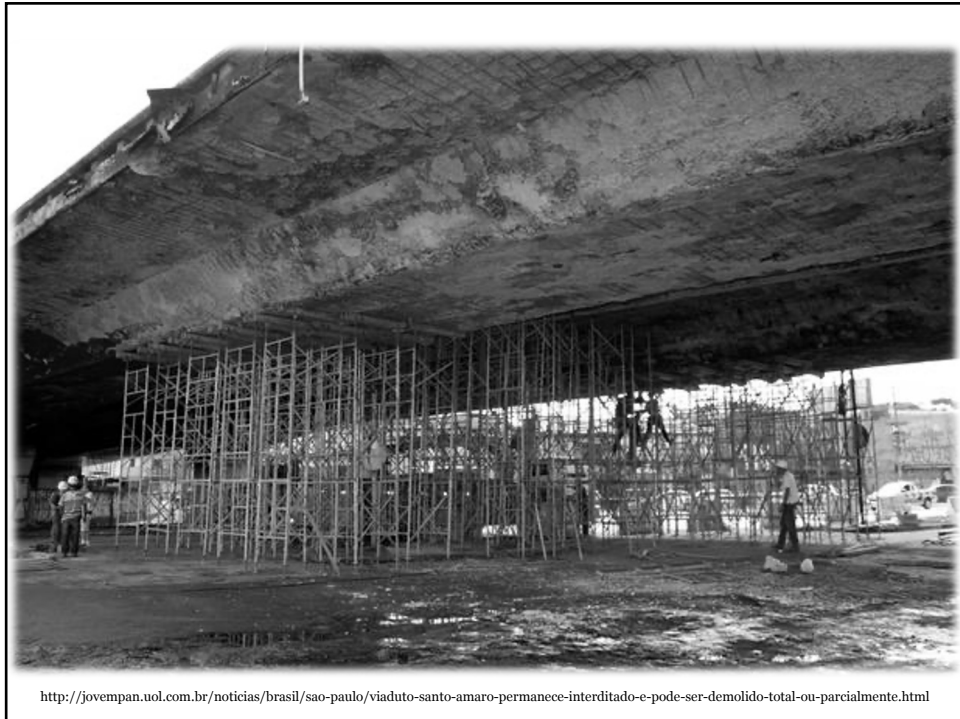
Um acidente envolvendo um caminhão bi trem e um caminhão-tanque carregado com gasolina na Avenida dos Bandeirantes, Zona Sul de São Paulo, causou explosão na madrugada deste sábado (13). A colisão traseira ocorreu embaixo do Viaduto Santo Amaro, sentido Imigrantes, e a estrutura pode ter sido abalada, 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

CONCRETO & Construção

REVISTA DE EDUCAÇÃO DE ESPECIALISTAS

SOLUÇÕES PARA RECUPERAÇÃO DE PONTES, VIADUTOS, EDIFICAÇÕES E FACHADAS

82

DEZ 2016

REVISTA DE EDUCAÇÃO DE ESPECIALISTAS

ANTONIO CARLOS DA SILVA
LUCAS DA SILVA
REABILITAÇÃO DE OBRAS

RECONSTRUÇÃO
UNIDADE DE INSPEÇÃO, MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

REABILITAÇÃO
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 (3,5%), com menor resultado igual a 442 MPa

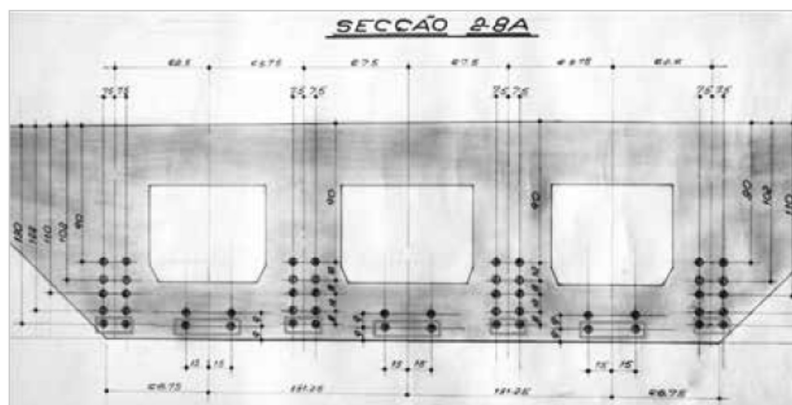


► **Figura 8**
 Detalhes da região do viaduto mais afetada pelo incêndio, onde é possível ver as bainhas de protensão

para $f_{sk} = 500$ MPa

75

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



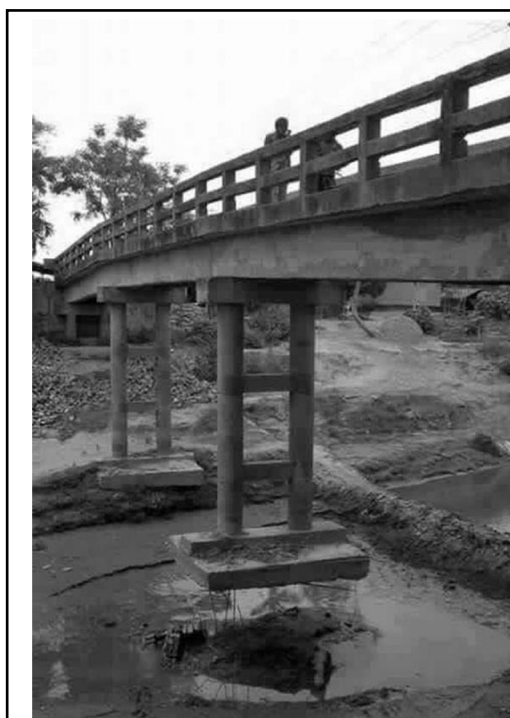
► **Figura 10**
 Seção mostrando a localização das protensões

76

Robustez & Redundância

Pontes Integrais

77



Prof. Laranjeiras:

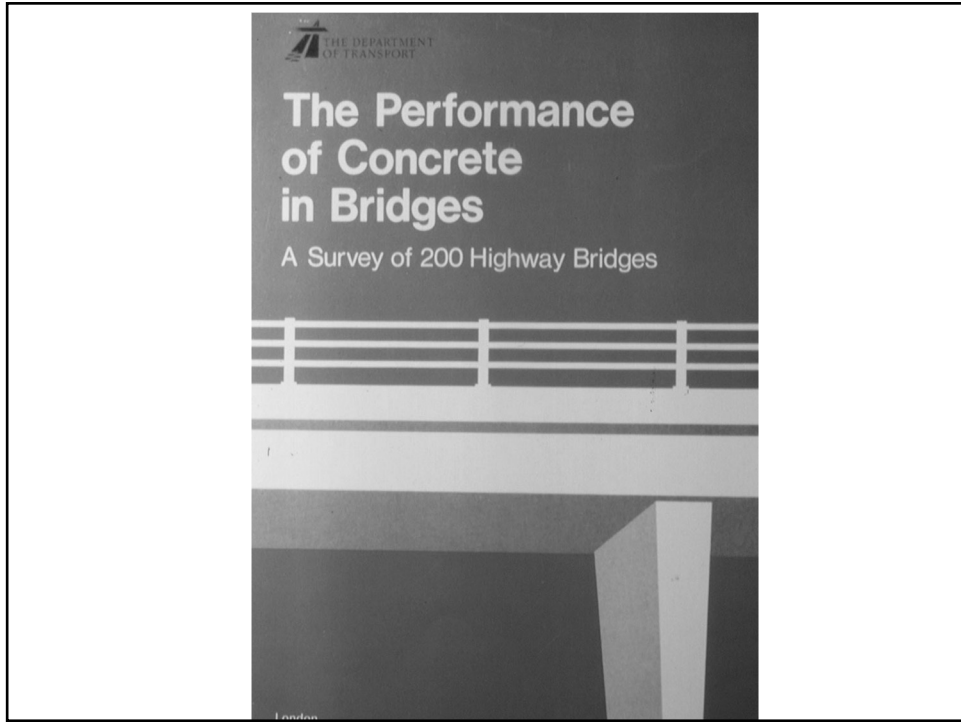
Vantagem é ter estruturas de pontes contínuas e hiperestáticas.

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.

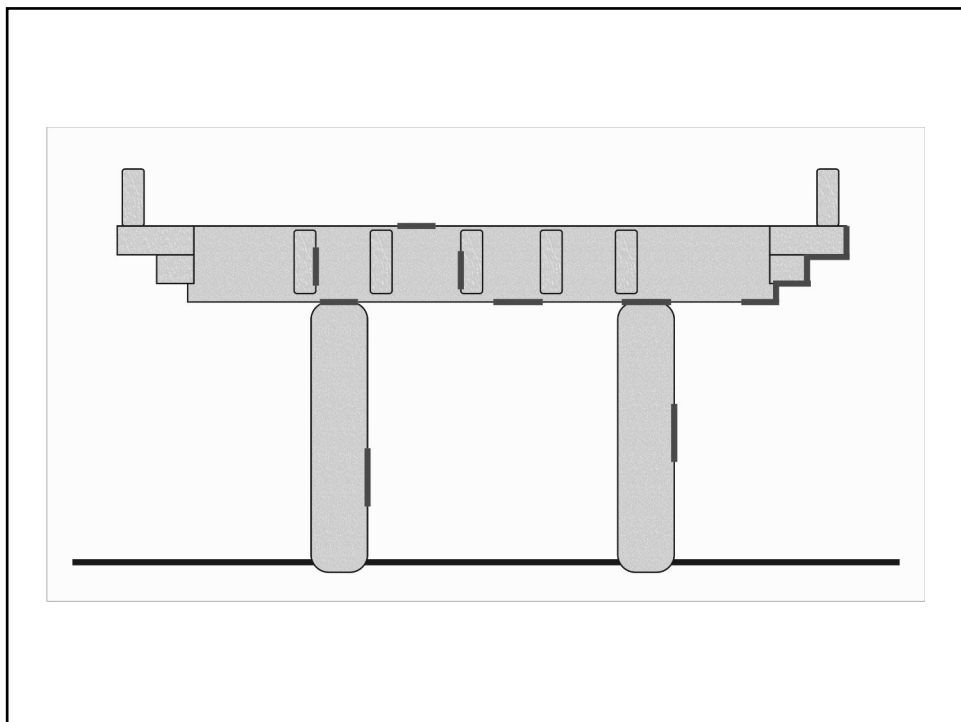
Caso essa estrutura fosse constituída de vãos isostáticos com vigas pré-moldadas, já teria havido, certamente, um colapso progressivo com ruína dos vãos adjacentes ao pilar sem fundações, e, possivelmente, dos demais vãos.

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

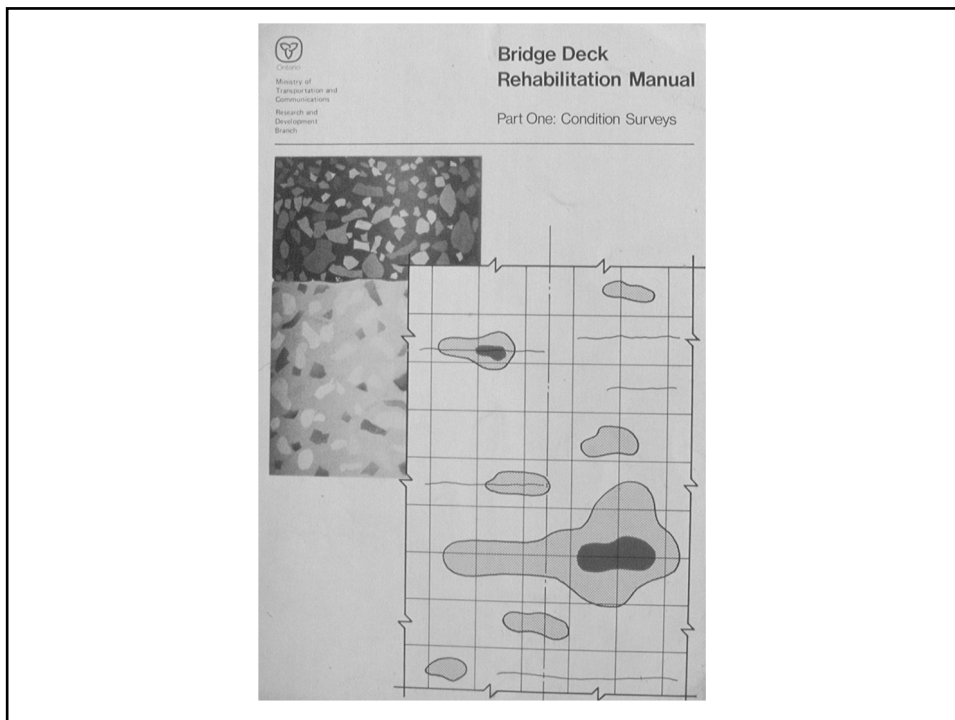
82

CUSTOS DE VISTORIA

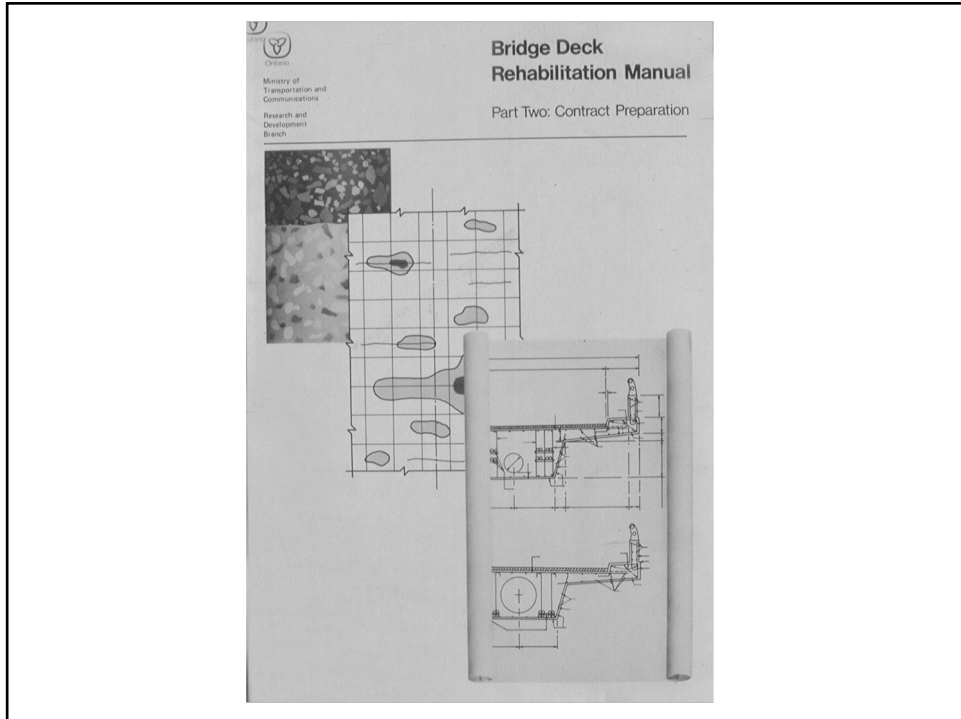
(Somente durabilidade, sem cadastro)

Ponte	Custo US\$
Conservada	5.000
Normal	30.000
Deteriorada	40.000

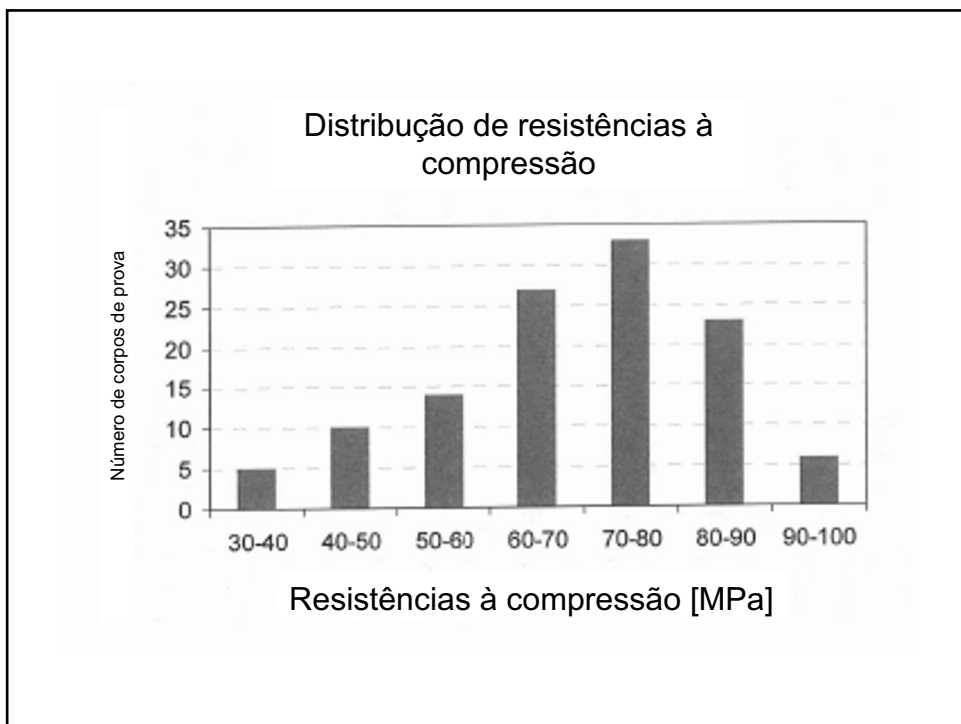
83



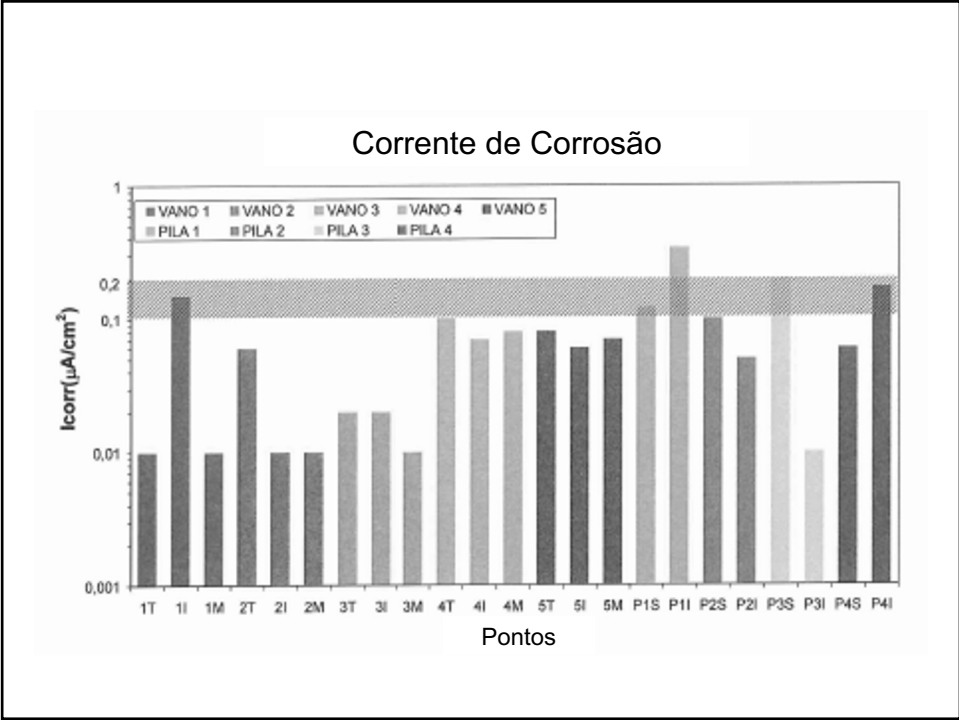
84



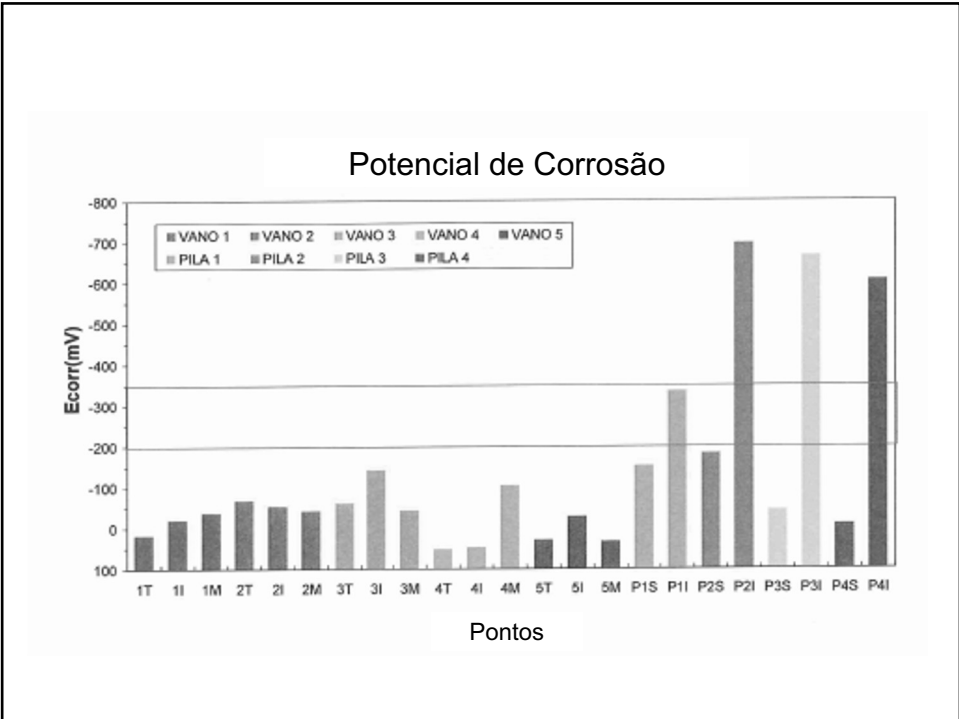
85



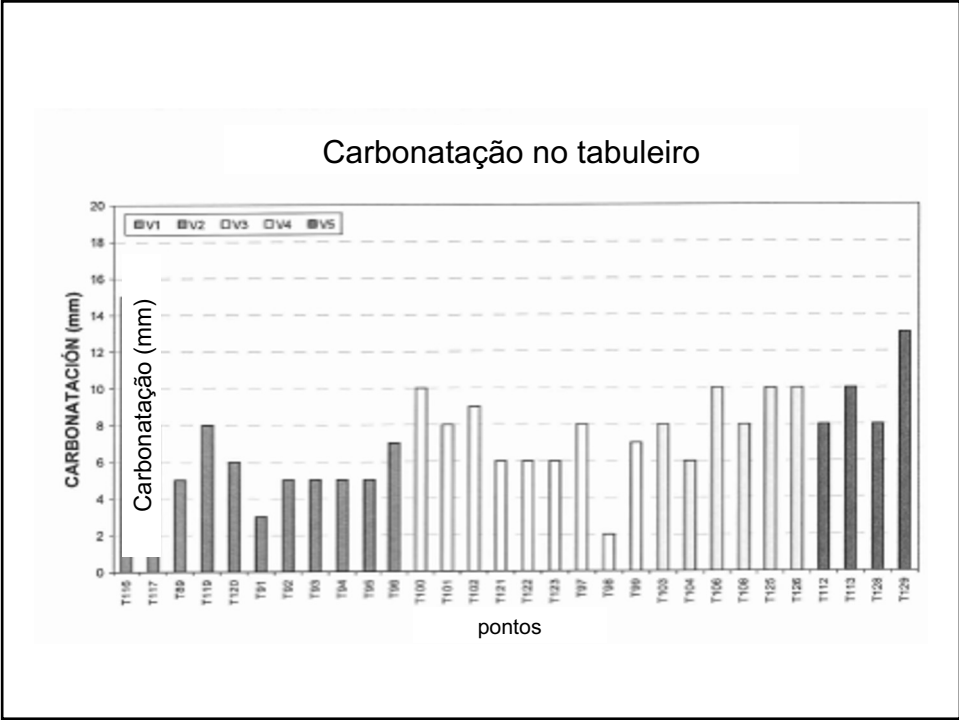
86



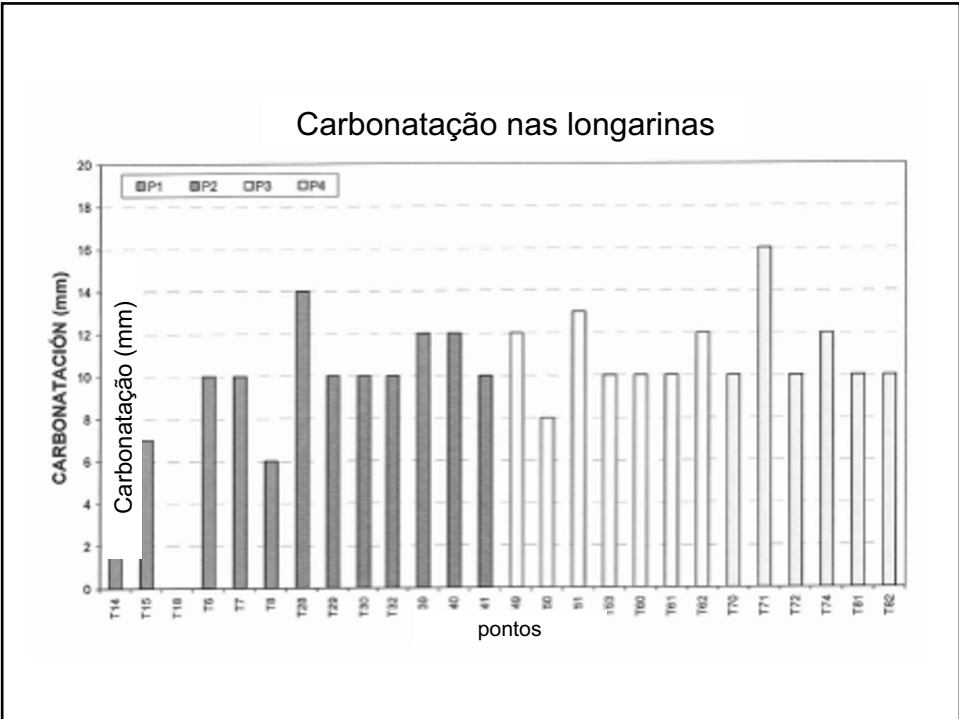
87



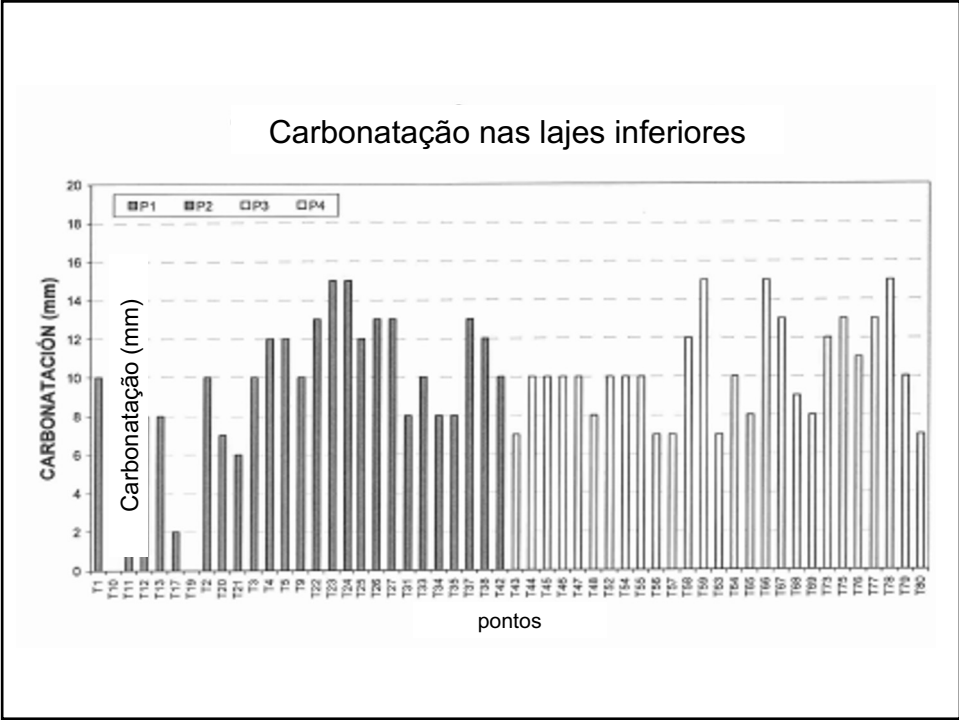
88



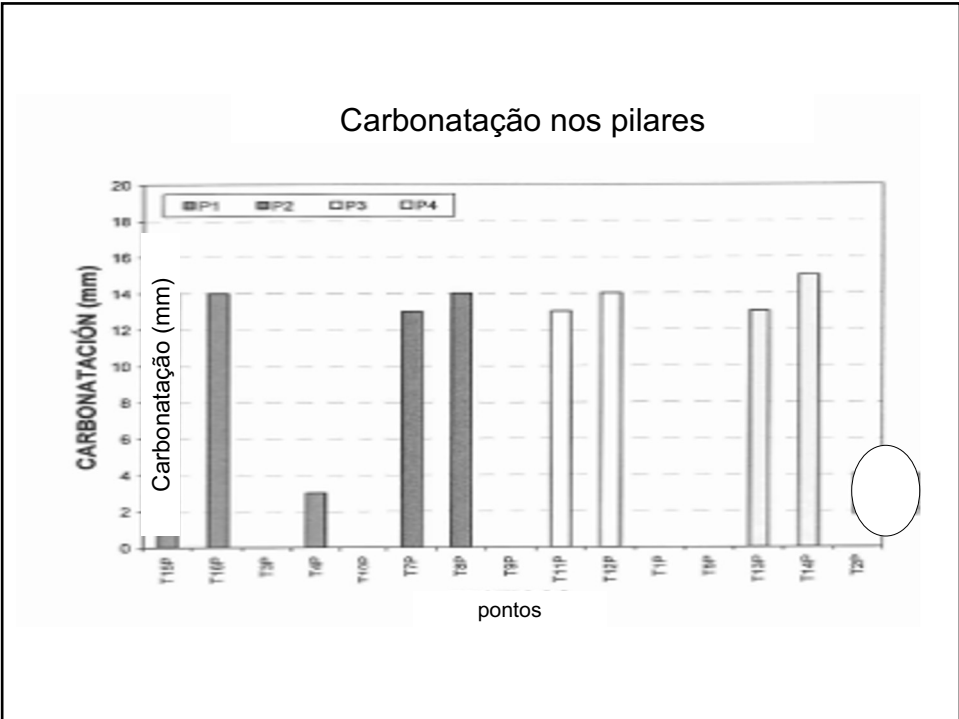
89



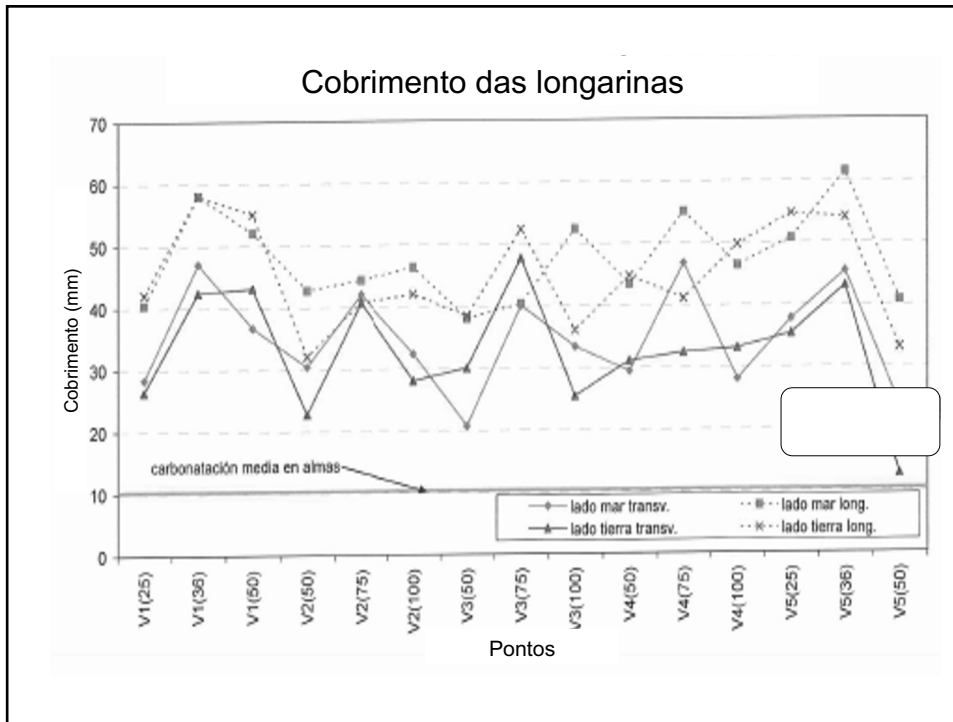
90



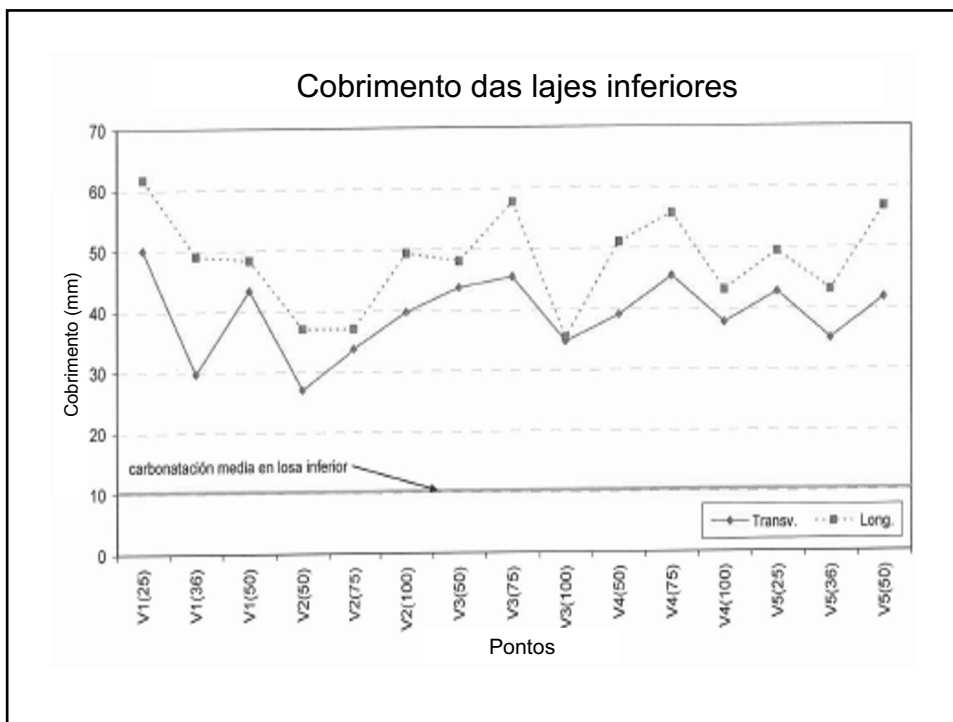
91



92



93

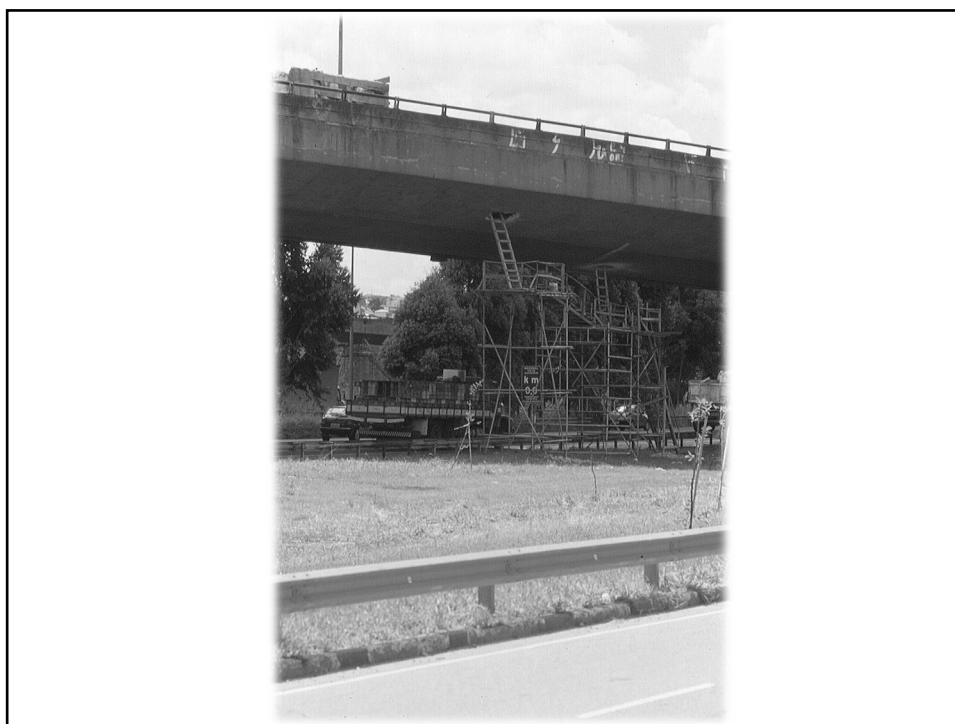


94

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 (208)	32	138	768

95

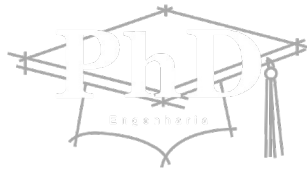


96



97

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

11-2501-4822
11-2501-4823

98