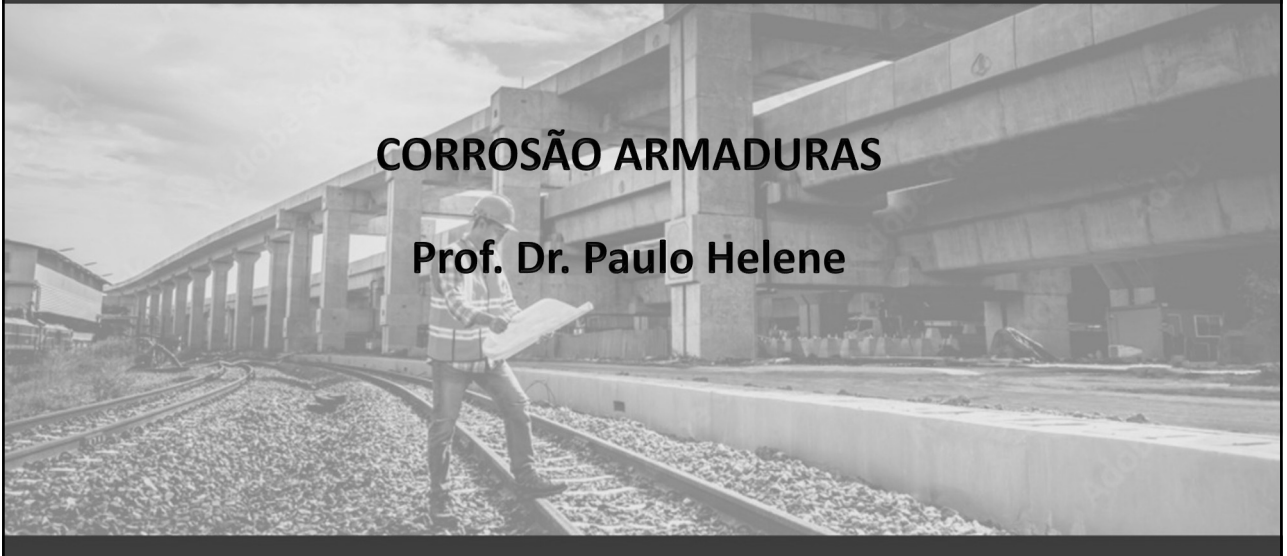




CURSO PREPARATÓRIO PARA  
INSPETOR I – INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO SEGUNDO A ABNT NBR 16230:2013



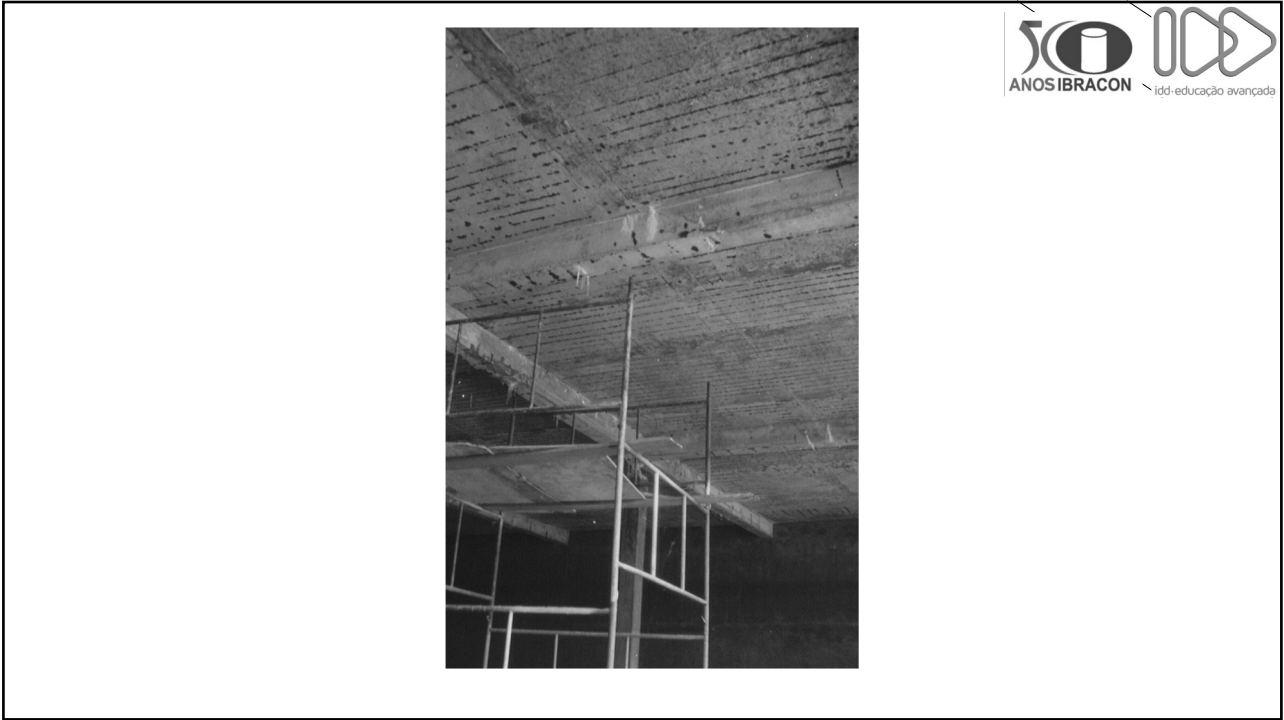
## CORROSÃO ARMADURAS

Prof. Dr. Paulo Helene

1



2



3



4



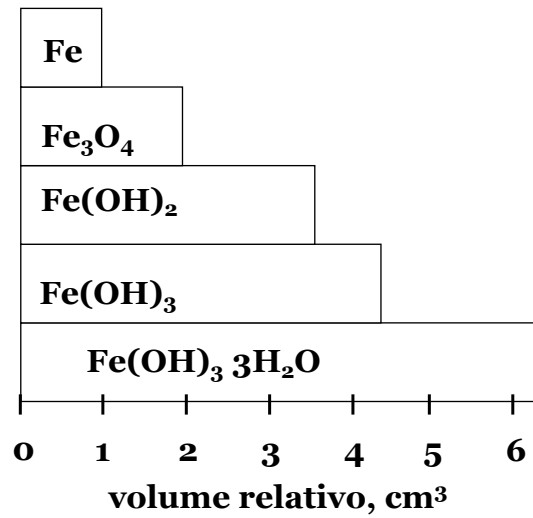
5

## Corrosão das armaduras nas estruturas de concreto

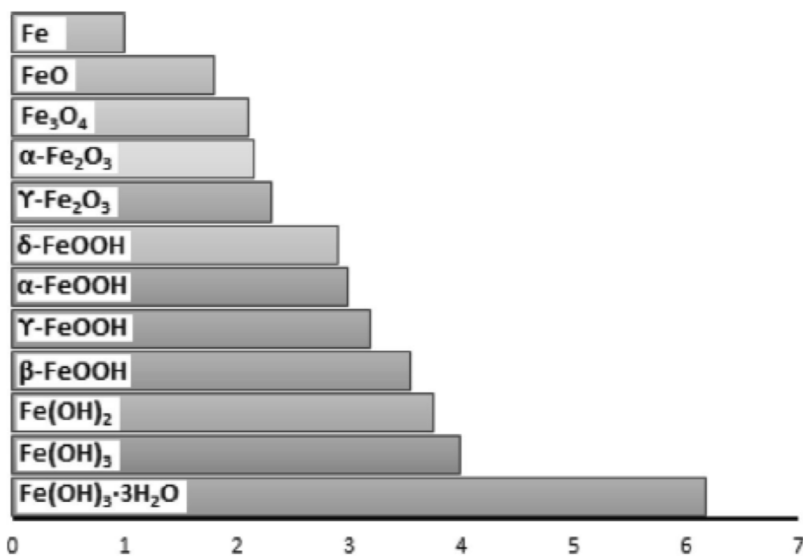
- Corrosão é o problema patológico mais importante
- NACE estima que os custos anuais derivados da corrosão alcançam nos USA,  
U\$400 Bilhões!!!
- NACE estima que 25% a 30% desse custo deve ser atribuído à corrosão de armaduras

6

## Produtos da Corrosão



7



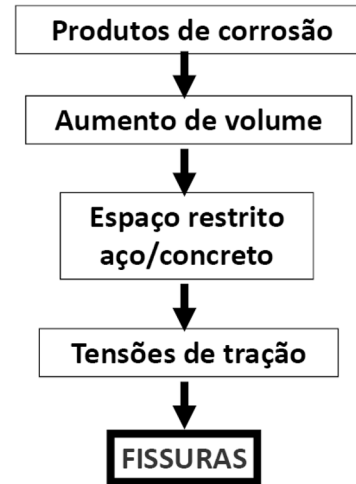
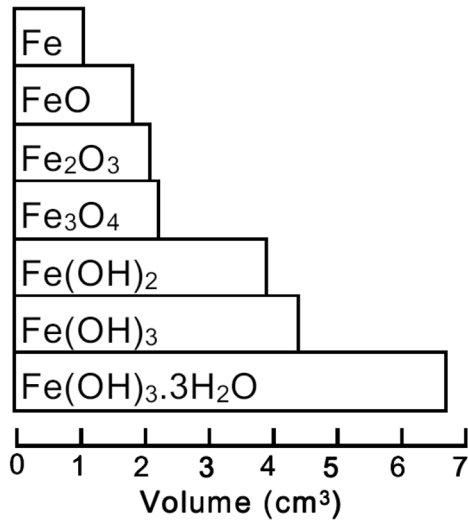
Volumes relativos do ferro e seu produto de reação.

ACI 222

8

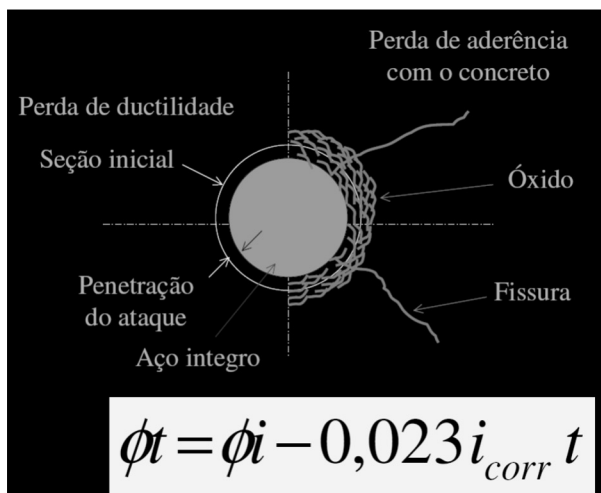


## Corrosão da armadura



9

## Consequências da corrosão de armaduras no comportamento estrutural



$$\phi_t = \phi_i - 0,023 i_{corr} t$$

10

## Corrosão de armaduras



- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão

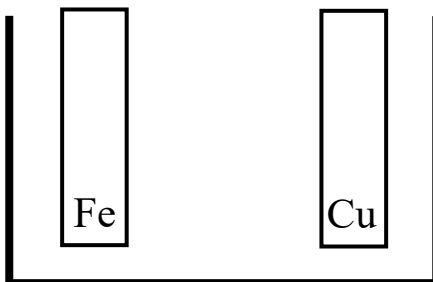


11

## Corrosão de armaduras



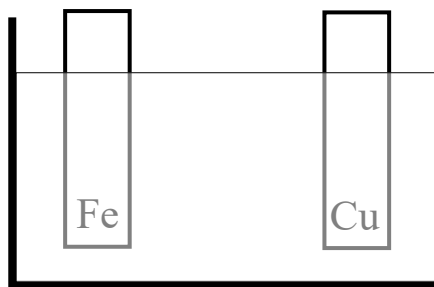
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais diferentes (ddp)



12

## Corrosão de armaduras

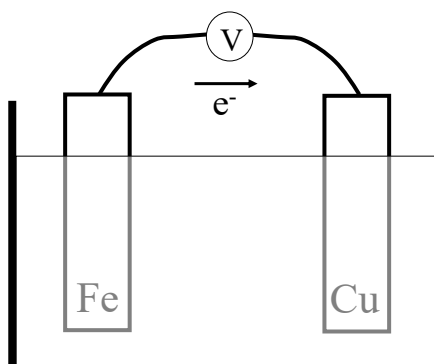
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais diferentes (ddp)
- Eletrólito



13

## Corrosão de armaduras

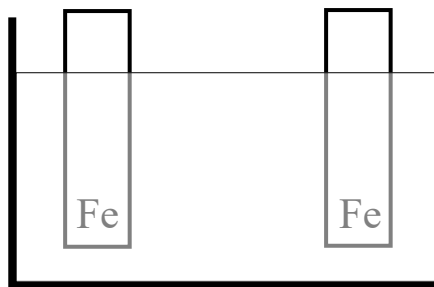
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais diferentes (ddp)
- Eletrólito
- Contato elétrico



14

## Corrosão de armaduras

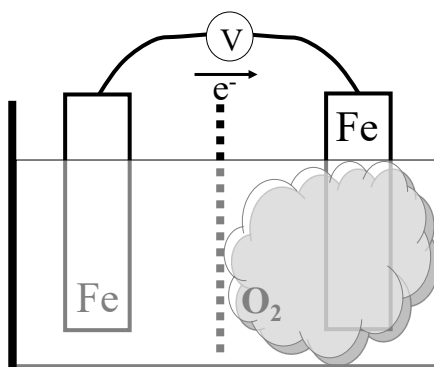
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico



15

## Corrosão de armaduras

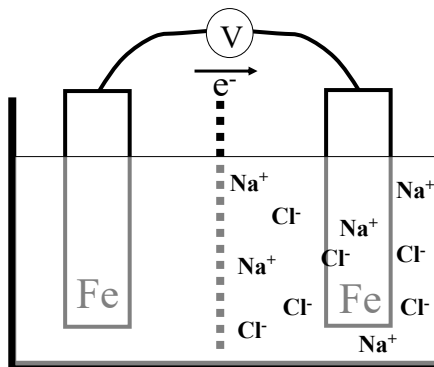
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico
- Aeração diferencial



16

## Corrosão de armaduras

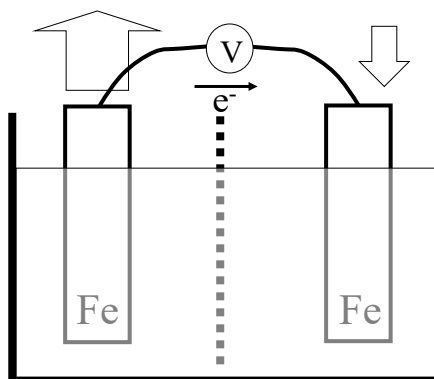
- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico
- Concentração salina diferencial



17

## Corrosão de armaduras

- Pilha eletroquímica – Condições para que haja corrosão
- Metais “iguais” + eletrólito + contato elétrico
- Tensão (energia) diferencial



18

## Corrosão de armaduras



- Condições para ocorrência no concreto
- Eletrólito
  - U.R.=40%     $\implies$     70 litros de água/m<sup>3</sup>
  - U.R.=70%     $\implies$     95 litros de água/m<sup>3</sup>
  - U.R.=95%     $\implies$     140 litros de água/m<sup>3</sup>

19

## Corrosão de armaduras



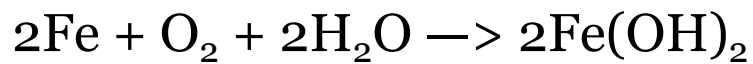
- Condições para ocorrência no concreto
- Diferença de potencial (ddp)
  - Imperfeições na superfície da barra.
  - Diferenças de:
    - Aeração
    - Umidade
    - Concentração salina
    - Tensão no aço

20

## Corrosão de armaduras



- Condições para ocorrência no concreto
- Oxigênio + “água” → “ferrugem”

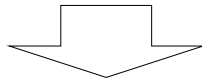


21

## Corrosão de armaduras



Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo

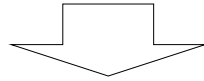


**Mas não há corrosão !**

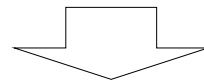
22

## **Corrosão de armaduras**

Há condições para o desenvolvimento do processo corrosivo



**Mas não há corrosão !**



**Passivação**

23

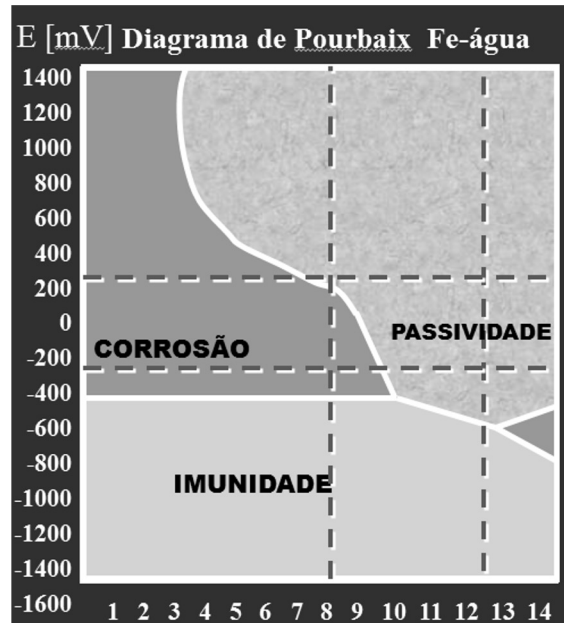
## **Passivação**

- Película fina de um filme de óxido invisível, 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 ( $\text{pH} > 12,1$ )

24



## Diagrama de Pourbaix



25

## Perda de passivação

- Carbonatação do concreto
- Presença de íons cloreto
- Fungos, bolores
- Fissuras

26

**Aço →**  
**Corrosão por**  
**carbonatação**  
**Grelha da Civil**  
**demolida**



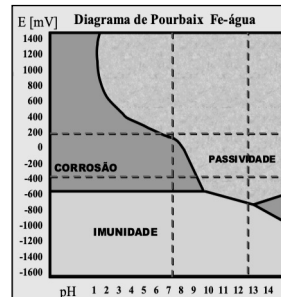
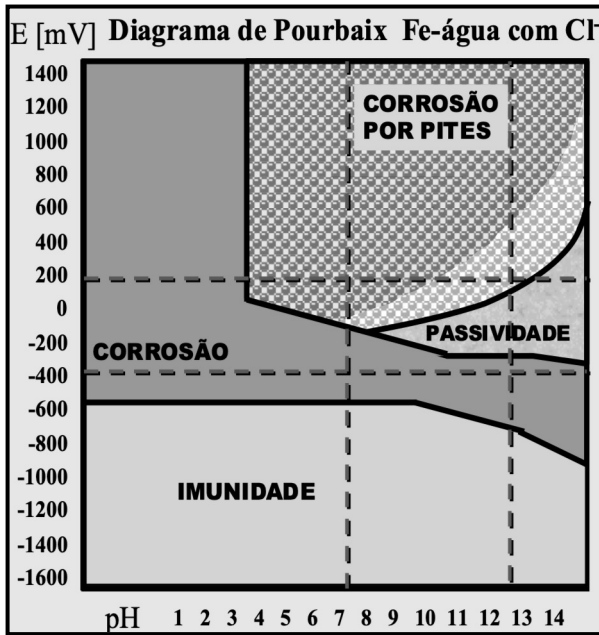
27

**Cloretos**

- Promove a despassivação precoce do aço, mesmo em ambientes muito alcalinos
- O teor crítico = 0,4% massa de cimento
- Origem dos cloretos no concreto:
  - Difusão de íons a partir do exterior (atmosfera marinha)
  - Aditivos aceleradores de pega ( $\text{CaCl}_2$ )
  - Uso de areia ou água contaminada
  - Tratamentos de limpeza (ácido muriático)

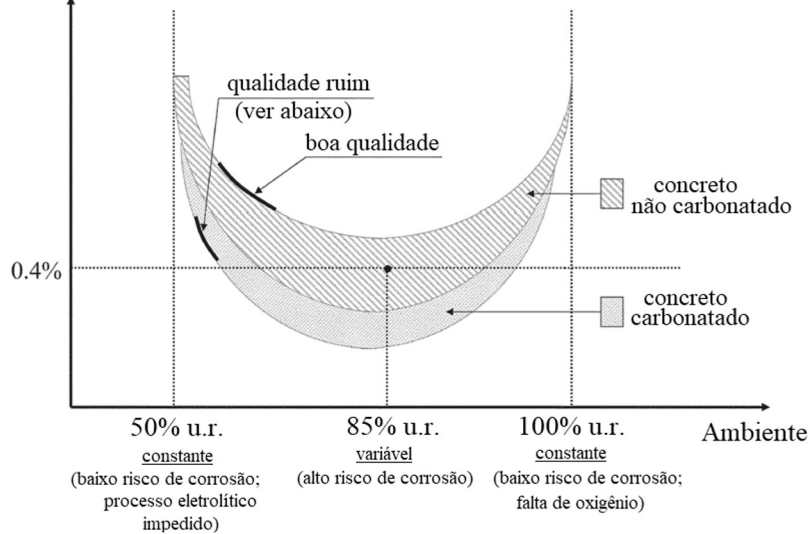
28

# Cloretos



29

Relação crítica  
Cloreto/Cimento



Teor crítico de cloreto de acordo com as recomendações do CEB-FIB (1992)

30



**Ponte em Recife**

31

**Fungos & bolores → colonias ácidas**



32

## Fissuração

*fib*

Model Code for Service Life Design  
Bulletin 34, 2006

item 3.3 → Cracks

$$C \geq 50\text{mm}$$

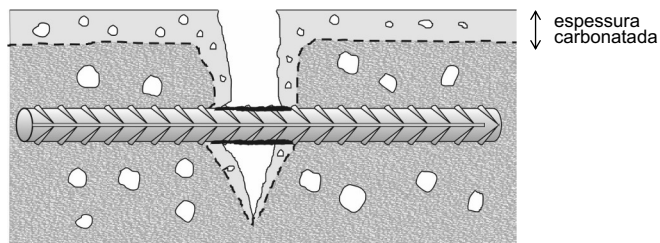
$$a/c \leq 0,50$$

$$w_k \leq 0,3\text{mm}$$

→ vida útil  $\geq 50$  anos!

33

## Fissuração



NBR 6118  
 $\leq 0,4$  a  $0,2$  mm

34

## “Tabuleiros de Pontes”



Nos locais sem fissura a penetração de cloretos a 5cm de profundidade leva, em média, 8anos para alcançar concentrações de  $0,6\text{kg}/\text{m}^3$ , e aos 20 anos de idade chega a  $2,4\text{kg}/\text{m}^3$ .

Pesquisa realizada em 57 pontes nos USA com idades de 2anos a 20anos.  
Densidade de fissuras de  $0,16\text{m}/\text{m}^2$  a  $0,8\text{m}/\text{m}^2$ . Aberturas de fissuras  $< 0,3\text{mm}$ .

(LINDQUIST, W.D. et ally. Effect of Cracking on Chloride Content in Concrete Bridge Decks. ACI Materials Journal, Dec. 2006. p. 467-73)

35

## “Tabuleiros de Pontes”



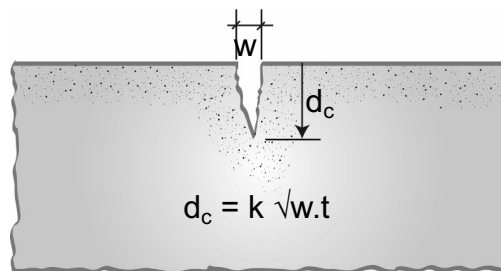
Nos locais com fissura a penetração de cloretos a 5cm de profundidade leva, em média, 6meses para alcançar concentrações de  $0,6\text{kg}/\text{m}^3$ , e aos 20 anos de idade chega a  $5,4\text{kg}/\text{m}^3$ .


Pesquisa realizada em 57 pontes nos USA com idades de 2anos a 20anos.  
Densidade de fissuras de  $0,16\text{m}/\text{m}^2$  a  $0,8\text{m}/\text{m}^2$ . Aberturas de fissuras  $< 0,3\text{mm}$ .


(LINDQUIST, W.D. et ally. Effect of Cracking on Chloride Content in Concrete Bridge Decks. ACI Materials Journal, Dec. 2006. p. 467-73)

36

## Carbonatação na fissura



Para dobrar  $d_c$    $w \times 4$   
 $t \times 4$

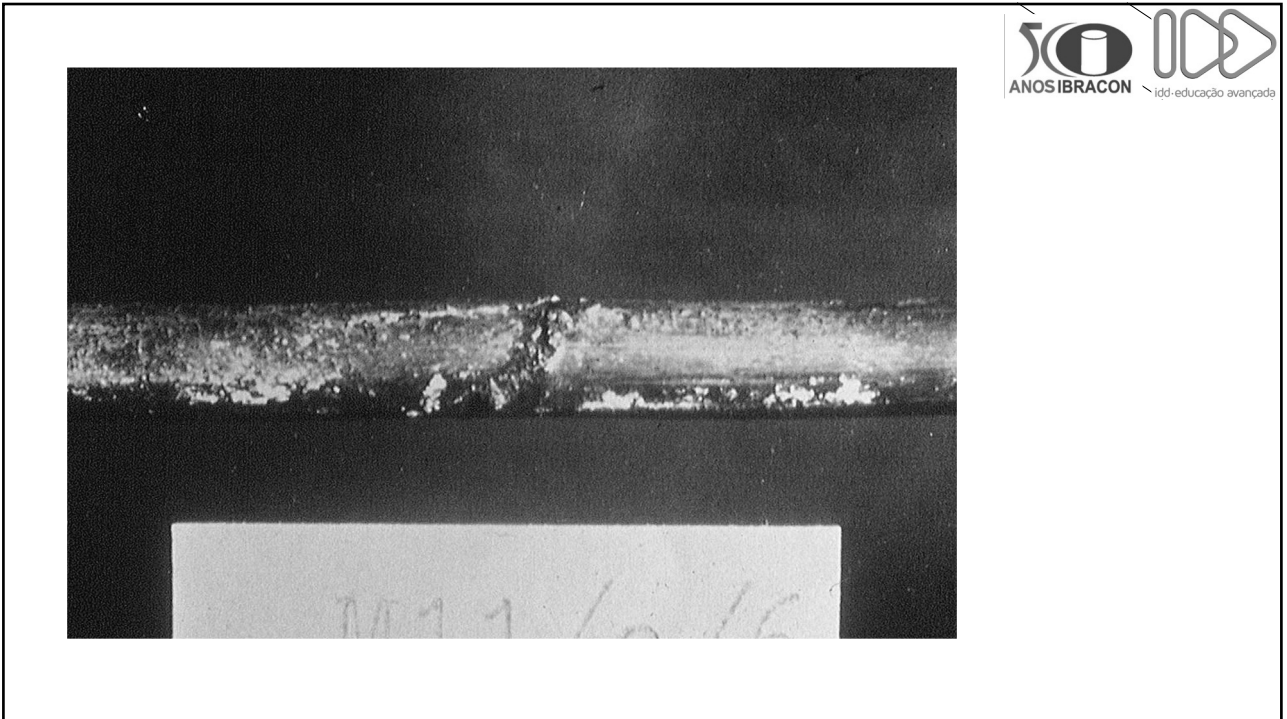
Para dobrar  $t$    $w : 2$   
 $d_c \times \sqrt{2}$

37

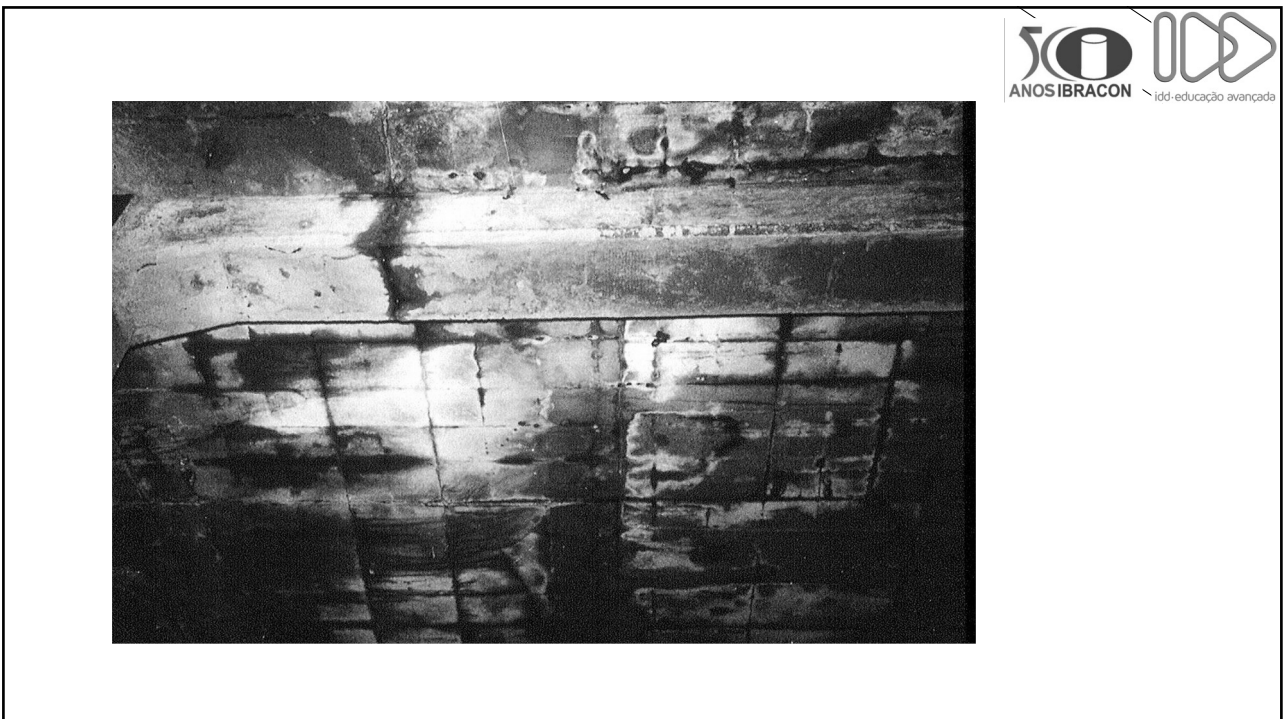
## Consequências

- cloretos
- carbonatação

38



39

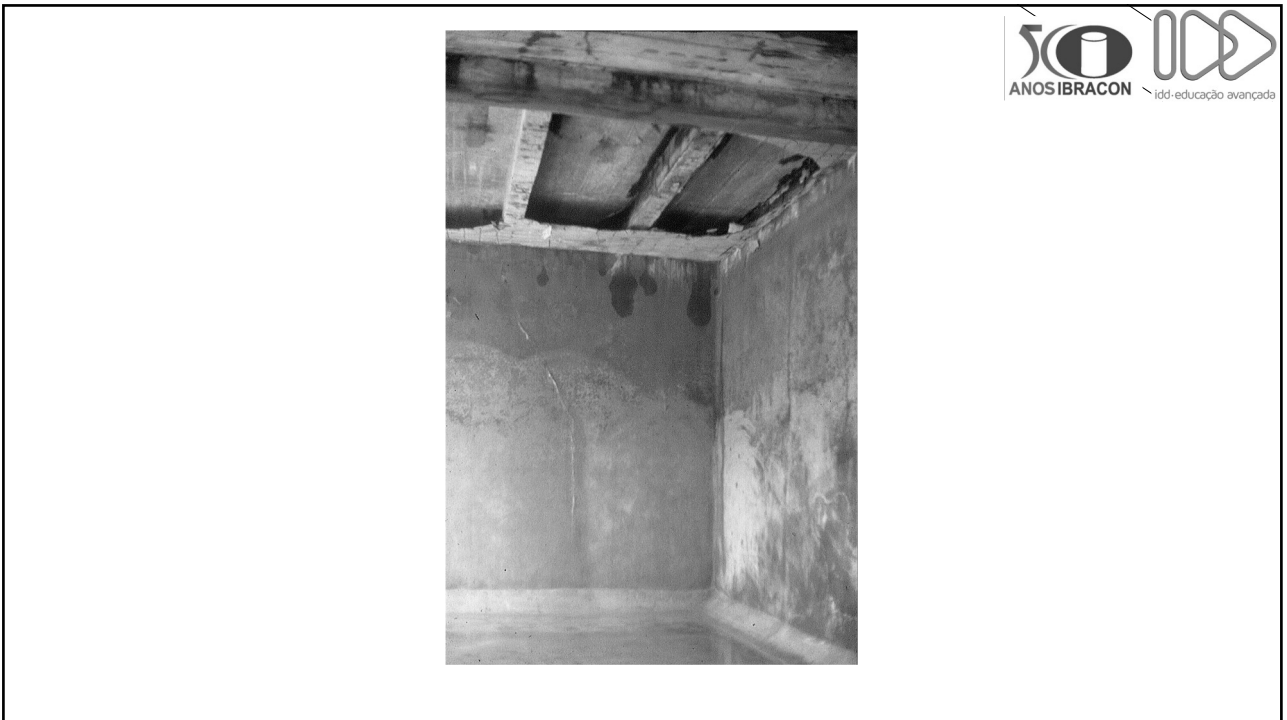


40

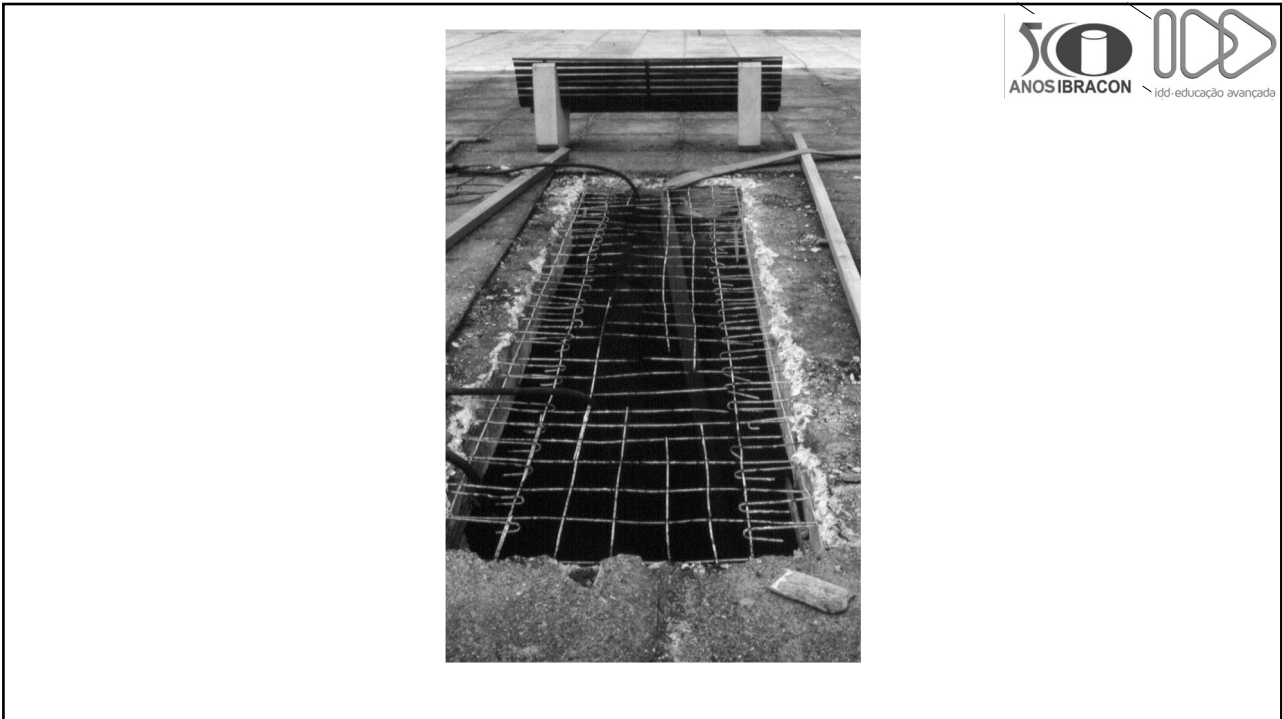




41



42



43



44

# Cloretos

# Carbonatação

45

# Cloretos

46



## Limites admissíveis de cloreto para obra nova *ACI 222*



Categoria	Limite de cloreto para obra nova (% em massa de material cimentício*)	
	Método de ensaio	
	Solúvel em ácido	Solúvel em água
	ASTM C1152/ C1152M	ASTM C1218/ C1218M
Concreto protendido	0,08	0,06
Concreto armado em condições úmidas	0,20	0,15
Concreto armado em condições secas†	0,30	0,25

\*Apenas sistemas baseados em cimento Portland. O material cimentício total inclui cimento Portland e os materiais cimentícios suplementares (MCS); No entanto, para determinar o nível admissível de cloreto, o teor de MCS não pode exceder o teor de cimento Portland.

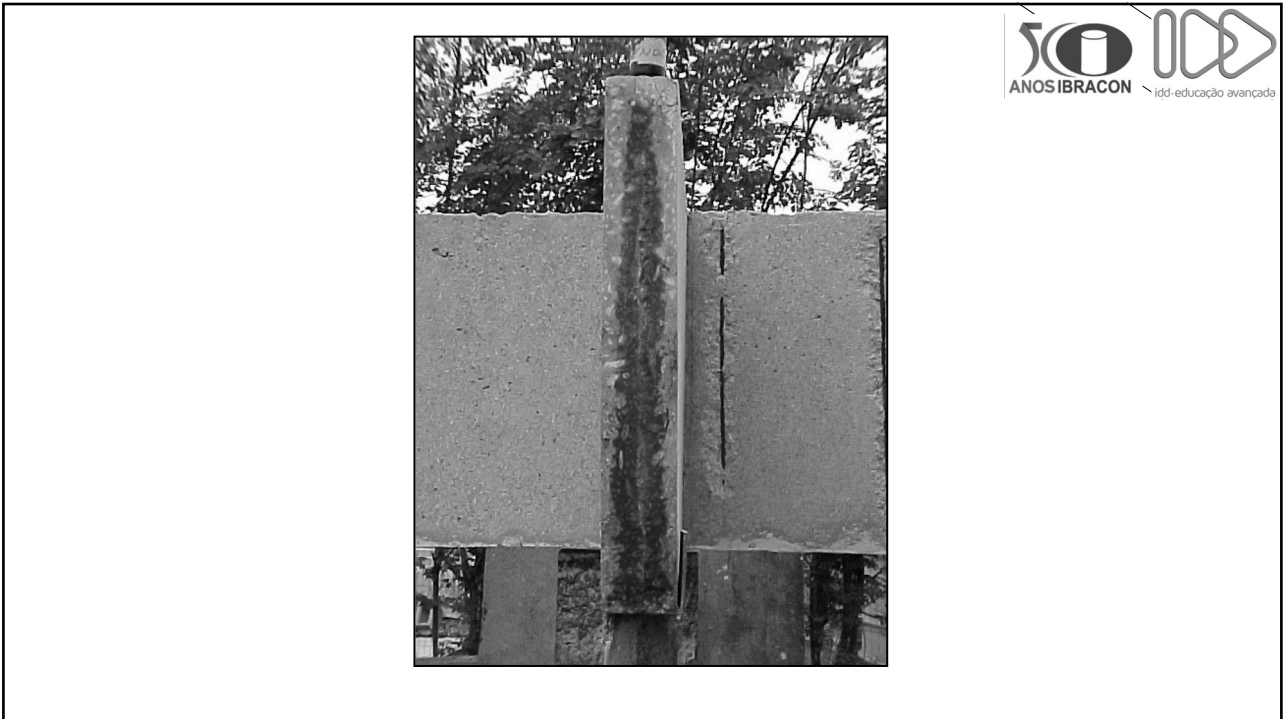
†Interior do concreto tipicamente protegido de umidade, alta umidade, ou ambos.

49

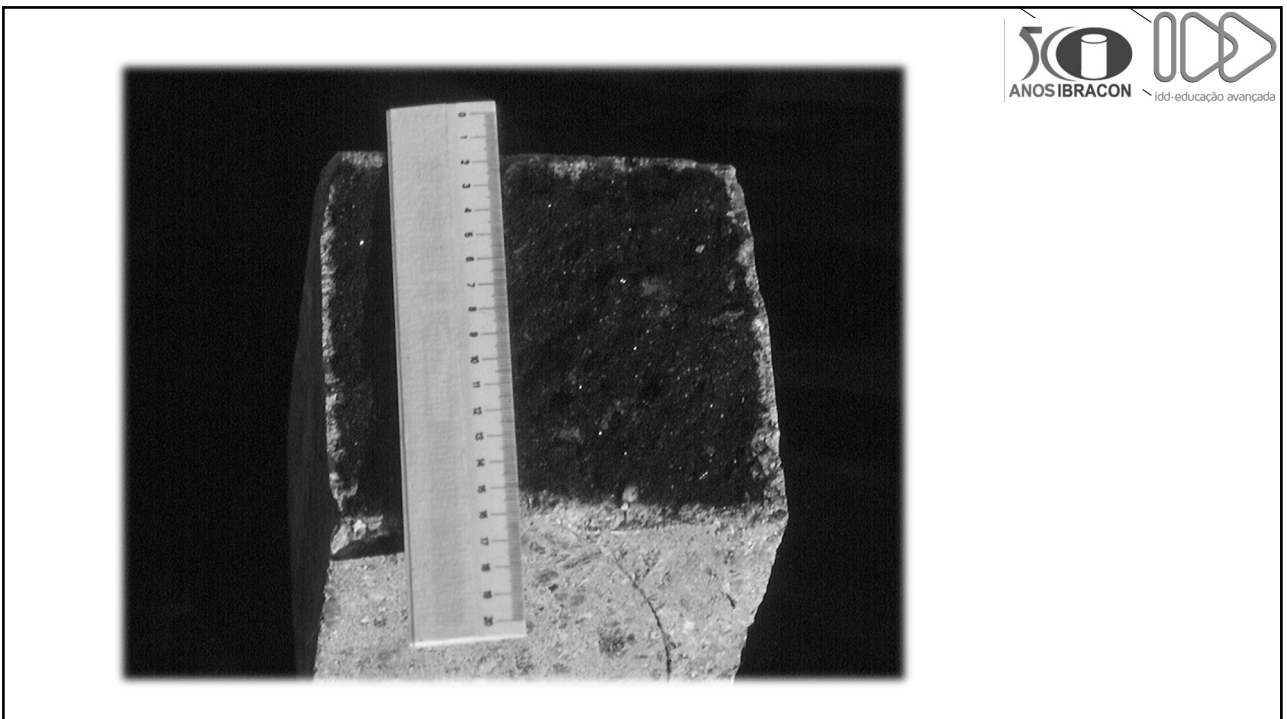


# Carbonatação

50



51



52



53

## Ponte do Socorro

**São Paulo, 28 junho 1988**

- laudo 5 meses antes
- 27 anos,  $f_{ck} = 16$  MPa
- Inspeções 81, 83, 84, 87,
- Janeiro 88
- Vão de “52 m.”
  
- custo = incomensurável

54

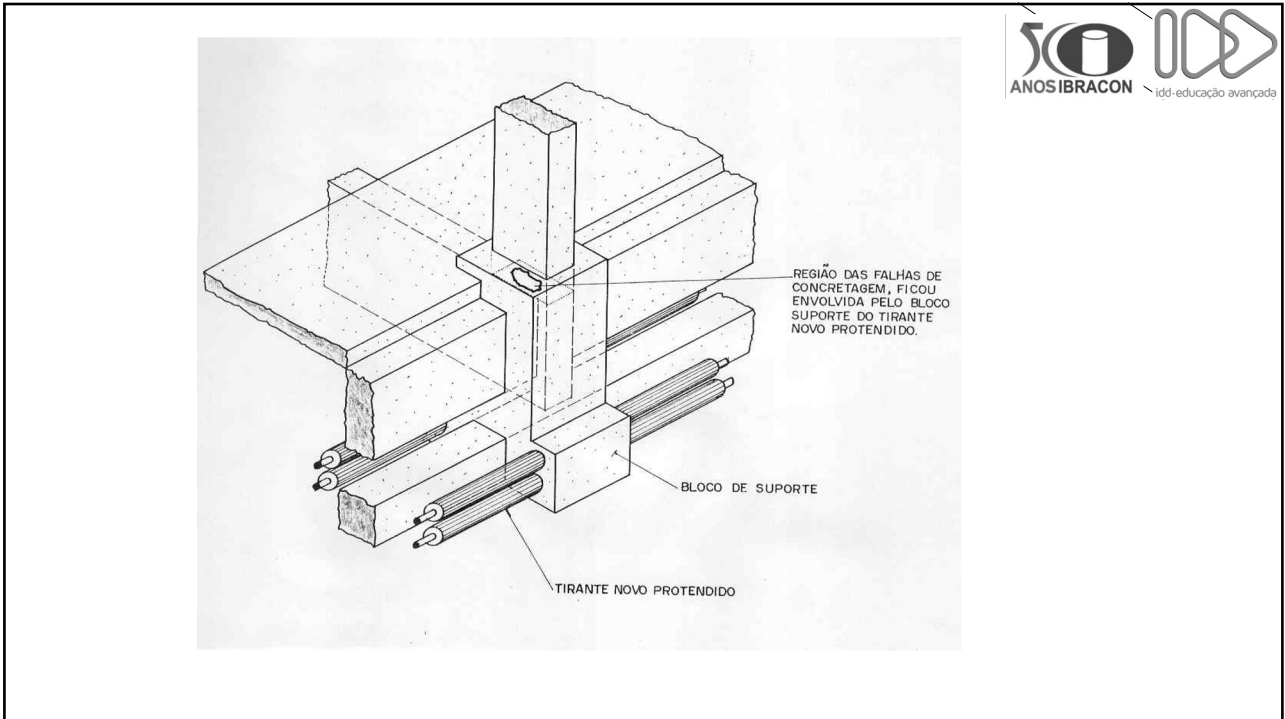


55

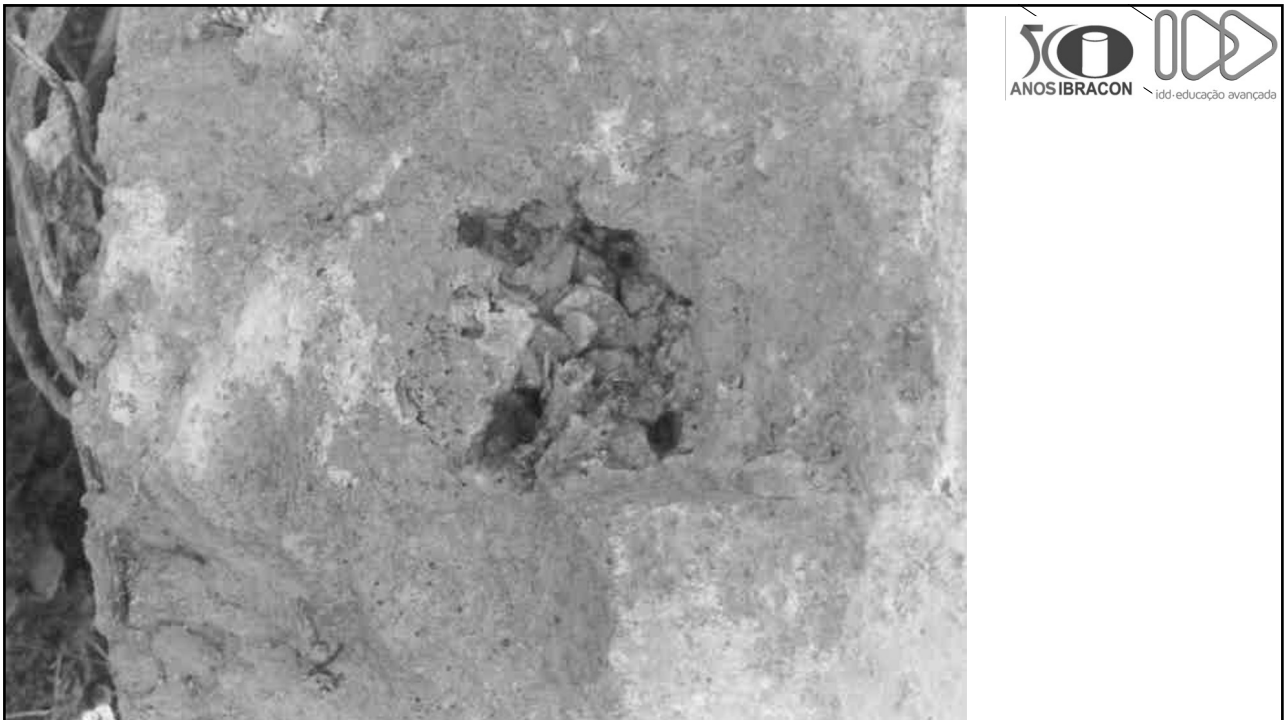


56

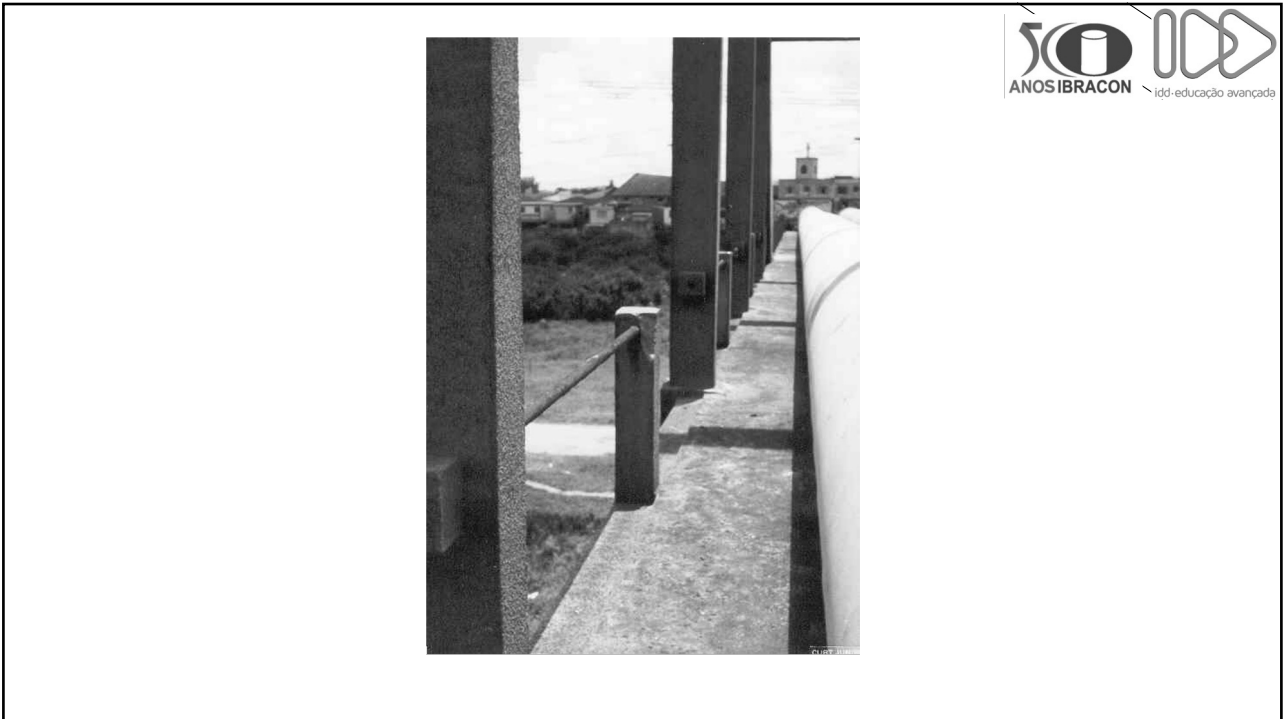




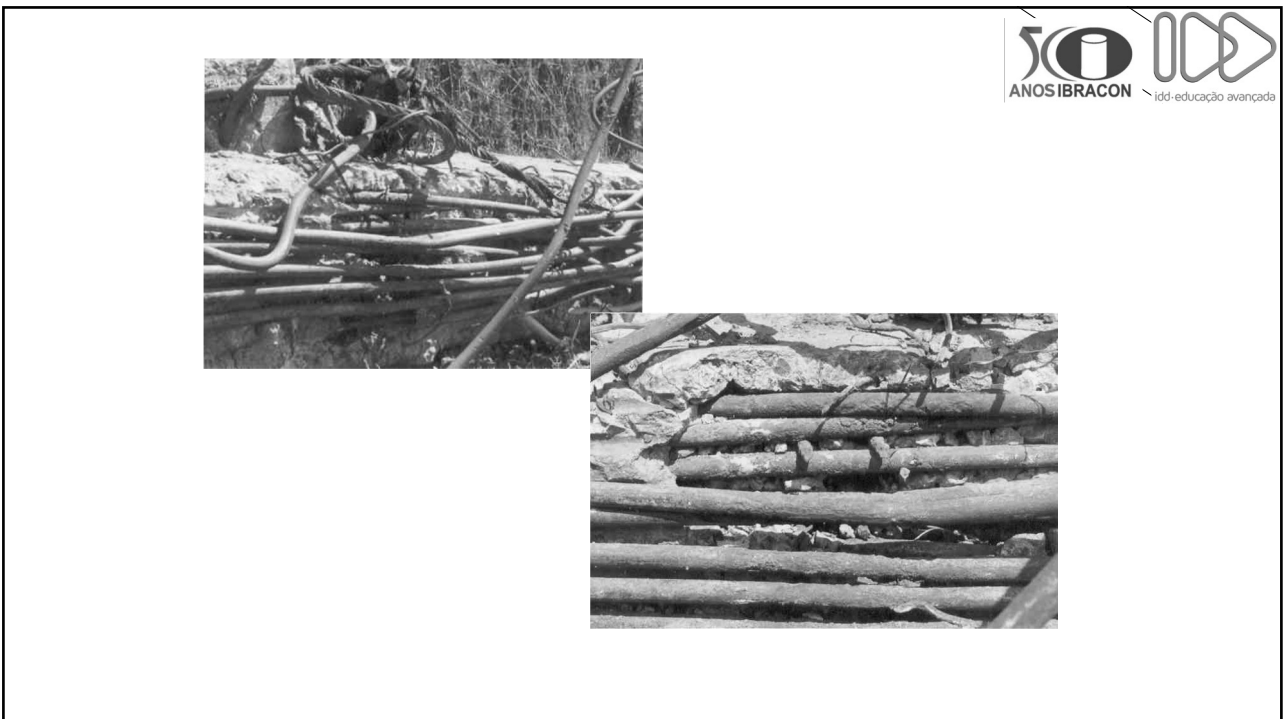
57



58



59



60

# Ponte dos Remédios

São Paulo, 1997

Lauda 6 meses antes

36 anos

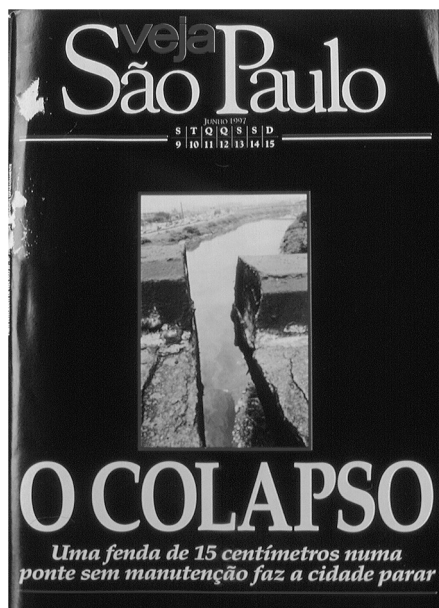
$f_{ck} = 21 \text{ MPa}$

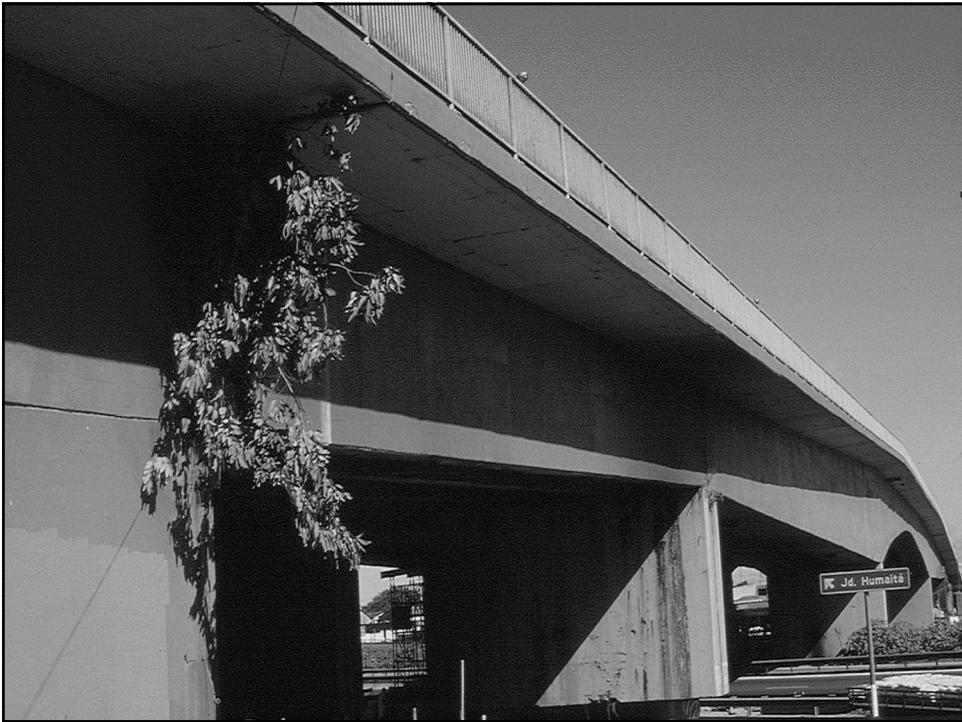
Custo = 3 vezes uma ponte nova

61



62





65

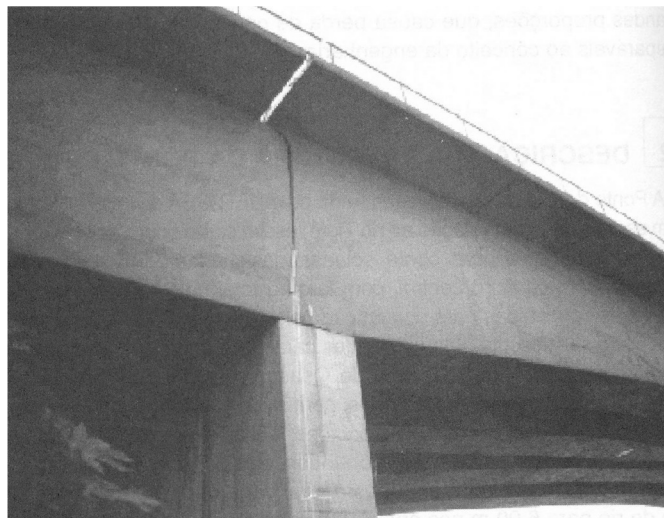


66



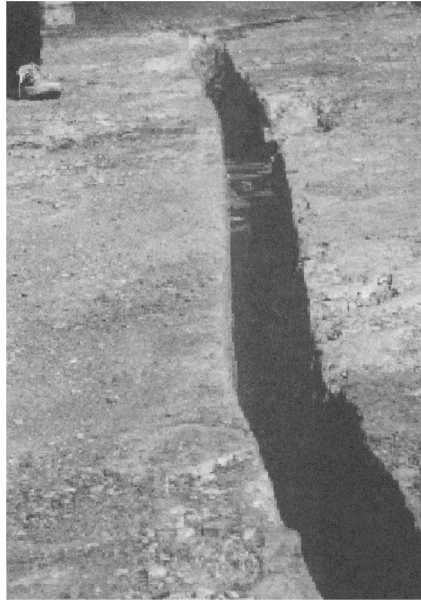
67

## Ponte dos Remédios



Vista lateral da rachadura

68

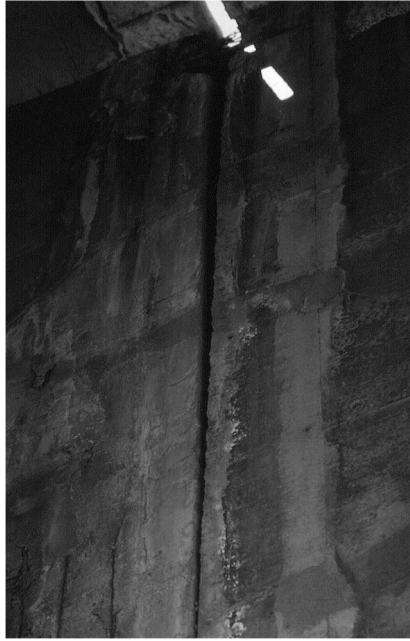


Vista superior da rachadura

69



70



71



72





73

# OBRIGADO!



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

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

**11-2501-4822 / 23**

74