

1

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DECORRENTES DA FALTA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Conceitos

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

- ✓ Seguras
- ✓ Funcionais
- ✓ Suportar incêndio
- ✓ Duráveis
- ✓ Bonitas
- ✓ Sustentáveis

13º Simpósio Brasileiro
de Impermeabilização 2013

IBI INSTITUTO
BRASILEIRO DE
IMPERMEABILIZAÇÃO

2

Recentes Avanços

Combinar Durabilidade com Sustentabilidade:

Pedro Castro-Borges & Paulo Helene.

El enfoque filosófico y conceptual de vida de servicio de estructuras de concreto reforzado que se requiere para confrontar el cambio climático.

Paper de conferencia magistral: 12 p. Memorias del I Congreso Internacional Científico/Técnico de Ingeniería (CICTI 2007), Maracaibo, Venezuela, 4-9 de Noviembre de 2007.

3

Recentes Avanços

- ✓ **ISO 16204:2012. Durability: Service Life Design of Concrete Structures**
- ✓ ***fib* Model Code 2010. Concrete Structures**
- ✓ ***fib* Model Code for Service Life Design 2006.**

Helland, Steinar. Design for Service Life: Implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204. Structural Concrete 14 (2013), n.1. p. 10-18

4

Estruturas de Concreto

Conceitos

- ✓ **Envelhecimento natural** *previsto; não incomoda*
- ✓ **Envelhecimento precoce** *não previsto; caro*
- ✓ **Durabilidade** *vida útil*
- ✓ **Projeto de manutenção** *saber e realizar*

5

Mecanismos de Deterioração e Envelhecimento

Aço / Armadura

- ✓ corrosão por carbonatação
- ✓ corrosão por cloretos

Concreto

- ✓ lixiviação → água, chuva ácida e ácidos
- ✓ expansão → sulfatos e AAR
- ✓ sujeira ácida → fungos, fuligem, poeira

Estrutura

- ✓ ações mecânicas, movimentos térmicos, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, ... fator humano

6

Ingresso de gases e fluidos

mecanismos de transporte

- Permeabilidade
- Capilaridade
- Difusibilidade
- Migração
- Convecção

Recentes Avanços

ISO 16204:2012. Durability . Service life design of concrete structures
Estabelece 4 alternativas para verificar VU:

1. The full probabilistic method. *Método probabilista integral*
2. The partial factor method. *Método dos fatores parciais (característicos)*
3. The deemed-to-satisfy method. *Método prescritivo (a/c, cobrimentos, consumo, etc.)*
4. The avoidance-of-deterioration method. *Método baseado na proteção da estrutura*

Recentes Avanços

ISO 16204:2012 Durability -- Service life design of concrete structures
Estabelece 4 alternativas para verificar VU:

The avoidance-of-deterioration method. *Método baseado na proteção da estrutura, impedir contato com o meio agressivo*

IMPERMEABILIZAÇÃO

9

**qual o significado de
impermeabilização ?**

10

existe material impermeável à
água e aos gases?



*parede de 0,5mm, selado, vidro comum =
480anos para descer 10mm*

11

então um concreto de
16MPa que nem é
permitido por norma pode
ser “impermeável” ?

12



13

...e pode ser ser tão
“impermeável” quanto
uma chapa de aço ?

14



15

...então todos os produtos e
sistemas dito
“impermeáveis” são, na
verdade, permeáveis ?

16

...sim e muitos deles com permeabilidade inferior à de uma parede de concreto.

17

comparativo a água

Pintura acrílica →	8cm 20MPa e 2cm 50MPa
Poliuretano →	25cm 20MPa e 4cm 50MPa
Epóxi →	30cm 20MPa e 5cm 50MPa
Poliuréia →	35cm 20MPa e 7cm de 50MPa
Manta PVC →	28cm 20MPa e 4cm 50MPa
Manta betume →	10cm 20MPa e 2cm 50MPa

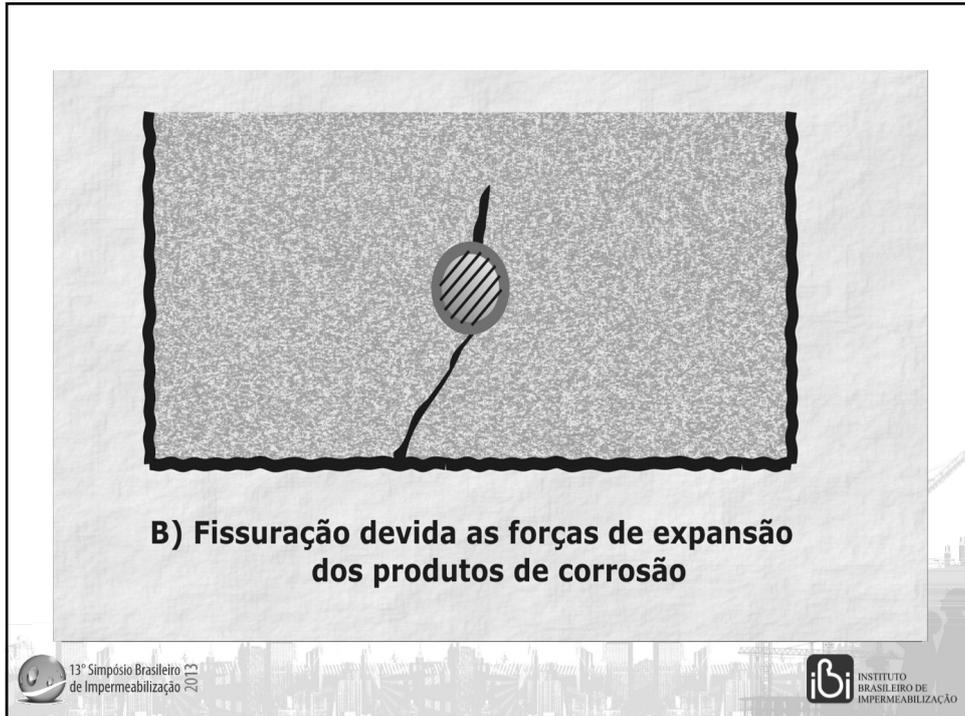
18

... então porque só com
concreto armado e
protendido em geral
nunca funciona ?

19



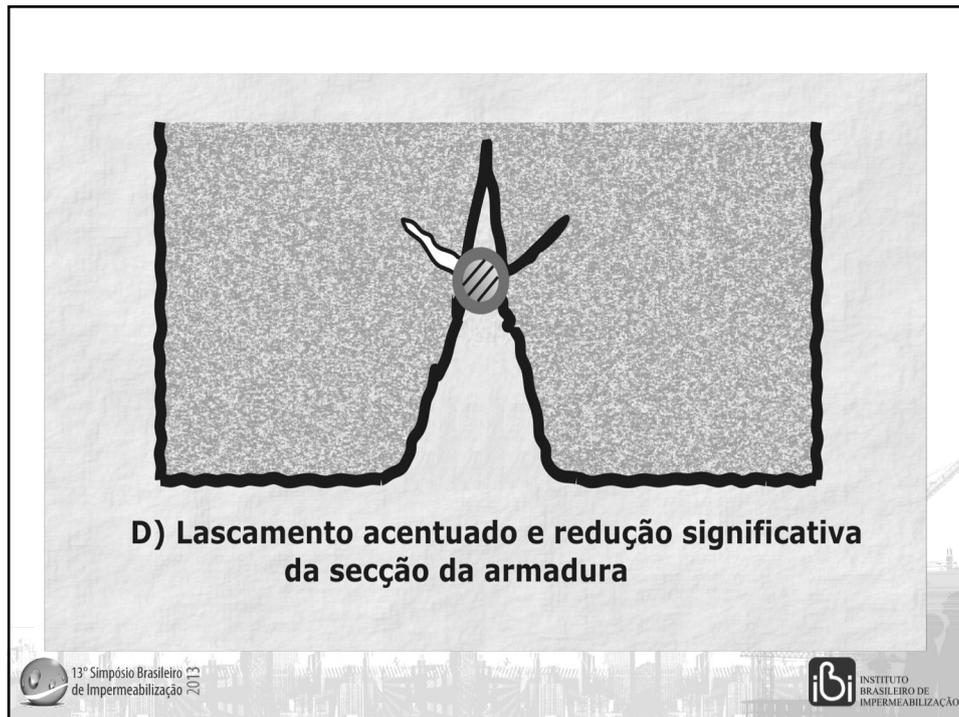
20



21



22



23



24

Aço → Corrosão por cloretos



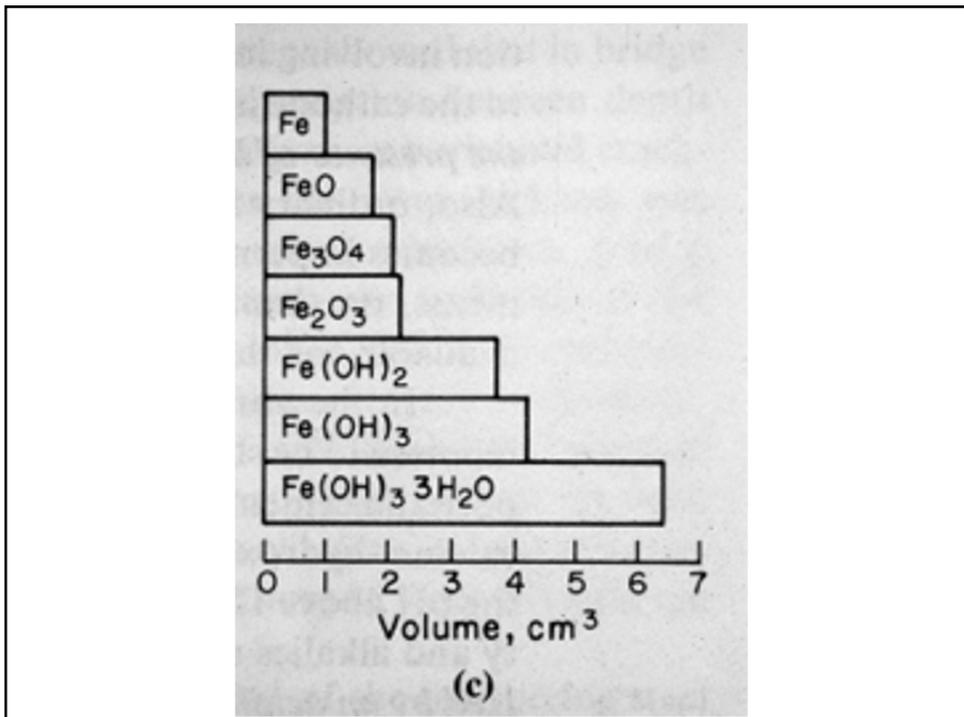
25



26



27



28

Concreto → *Lixiviação* (*água de chuva*)



**Cobertura do
Prédio da FAU-USP**



**Edifício da
Engenharia Civil
POLI.USP**

29

Concreto → *Lixiviação* (*chuva ácida*)



30



31



32



33



34



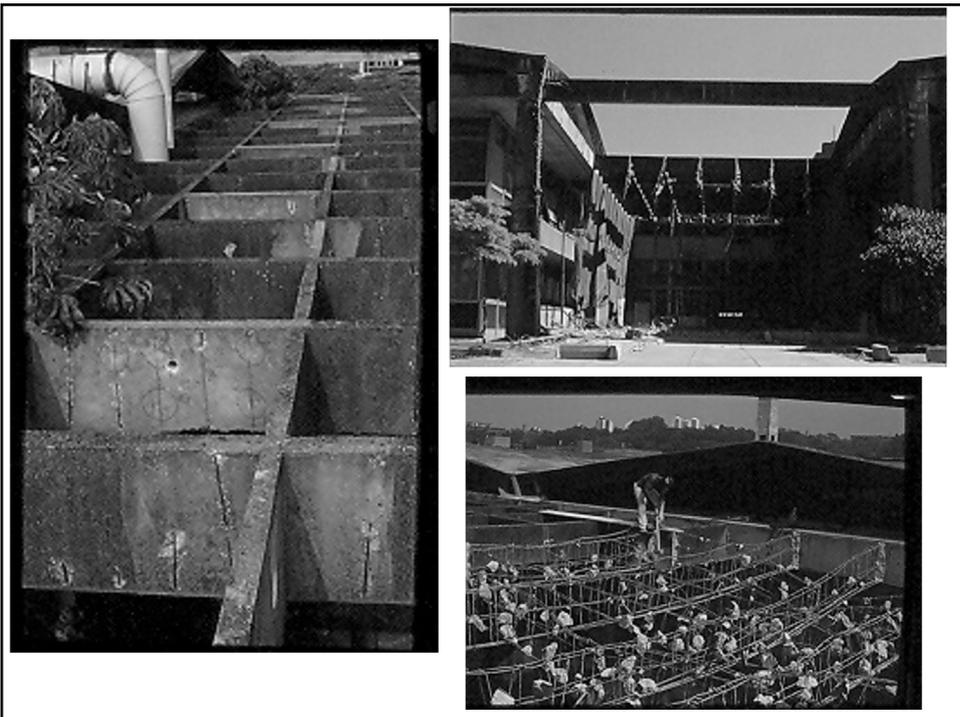
35



36



37

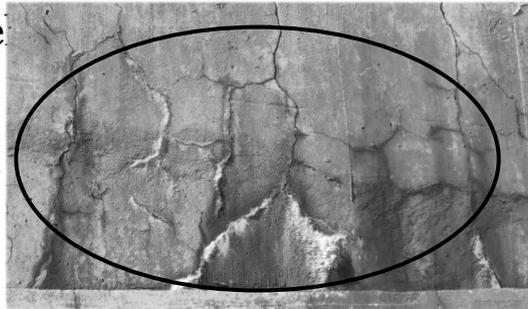


38

Concreto → *Expansión*
Reacción Álcali-Árido AAR

Manifestación:

- Fisuras al azar;
- Presencia de ge



39



40



41



42



43



44

Reservatórios de água

Piscinas

Coberturas

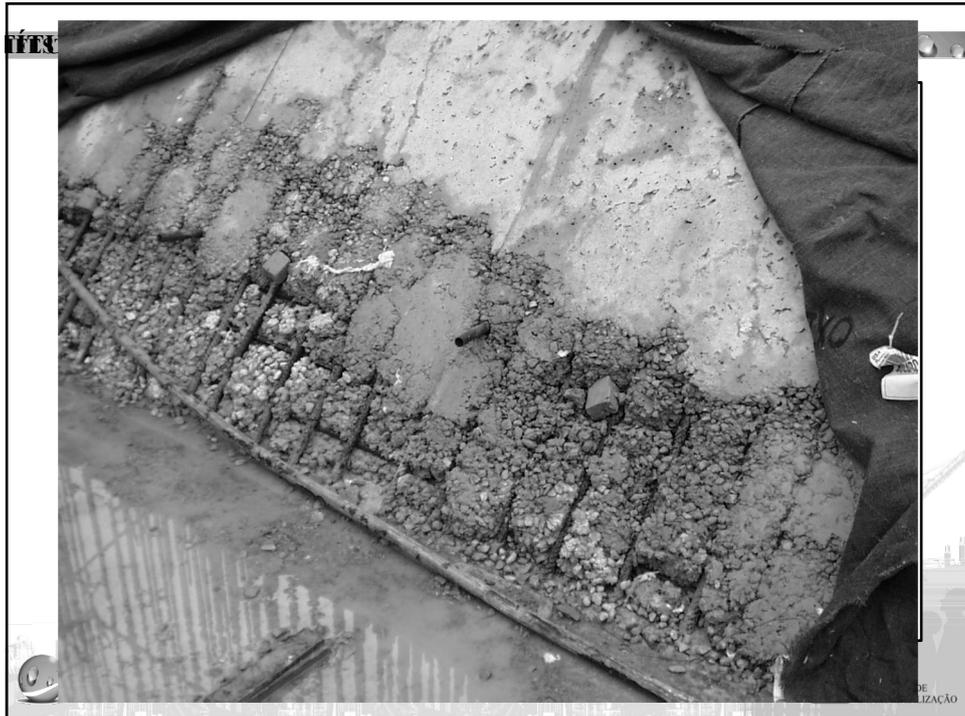
Pontes

Túneis

45



46



47



48



49



50

Reservatórios de água

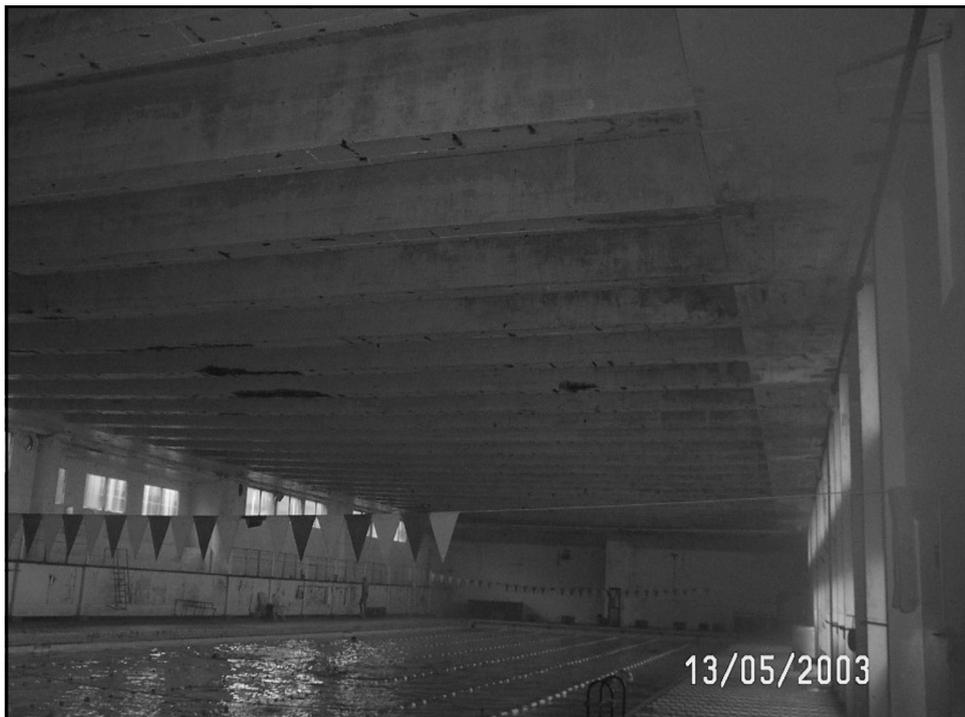
Piscinas

Coberturas

Pontes

Túneis

51



52



53



54

Reservatórios de água

Piscinas

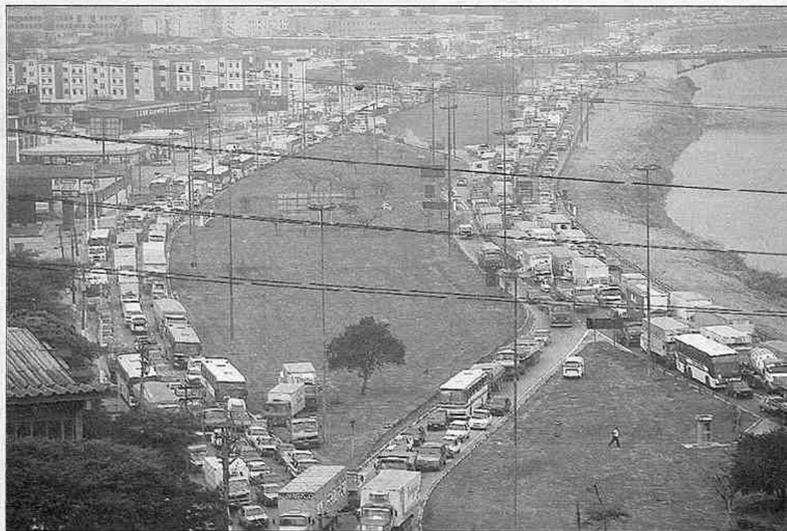
Coberturas

Pontes

Túneis

55

ÍTU



O descaso estrangula São Paulo

Há mais de um ano a prefeitura soube que a Ponte dos Remédios estava com problemas em sua estrutura. Não a consertou, mas avisou o DER, que também não fez nada. Quando a ponte deu sinais de que poderia ruir, na semana passada, a Marginal Tietê foi interditada e instalou-se o caos na cidade inteira.

Pág. 12

56

A Ponte dos Remédios, com seus 360 metros, foi construída, em 1970, com tecnologia inovadora, a do concreto protendido. Na semana passada, depois de quase três décadas sem a manutenção do governo estadual ou da prefeitura e recebendo a carga pesada de caminhões rumo à Ceagesp, ela começou a rachar como um biscoito. A Marginal do Tietê foi interditada para que o movimento dos carros não aumentasse as fissuras. Uma das vigas de sustentação teve dez dos 44 cabos rompidos em três pontos distintos. Estavam oxidados pela infiltração de água das chuvas em microfissuras da parede. Na maior parte das fendas havia espaço suficiente para deixar passar as pernas de um garoto de 12 anos

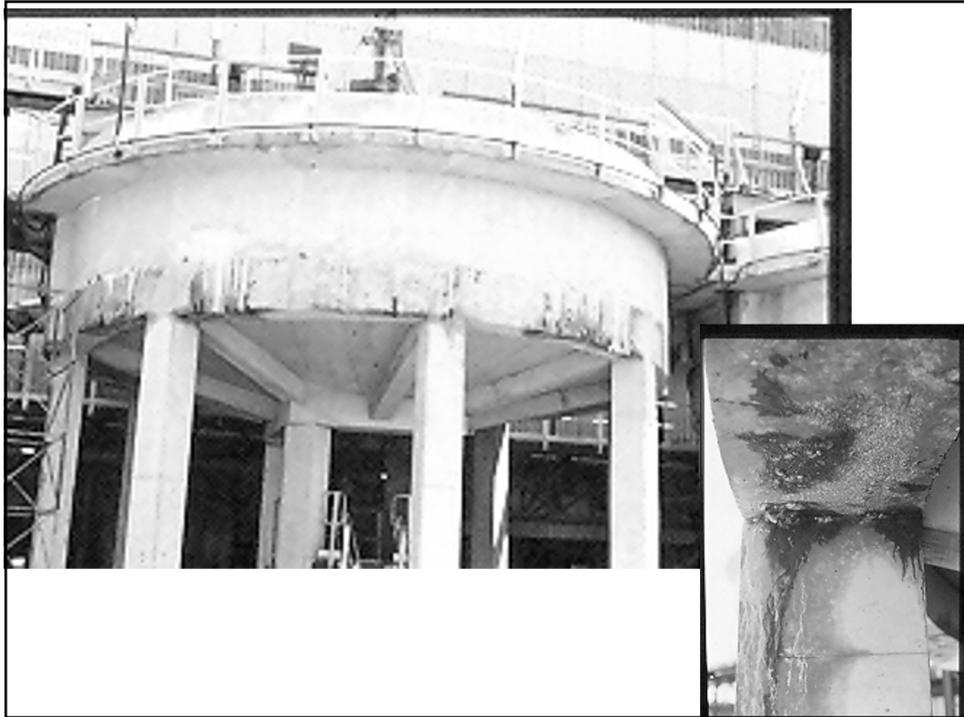
FOTOS: IMACYPY, LOPES - JUNIOR/FOHIA IMAGEM

57

**Aço →
Corrosão por
cloretos**

**Tanque da
salmoura
a 40°C**

58



59



60

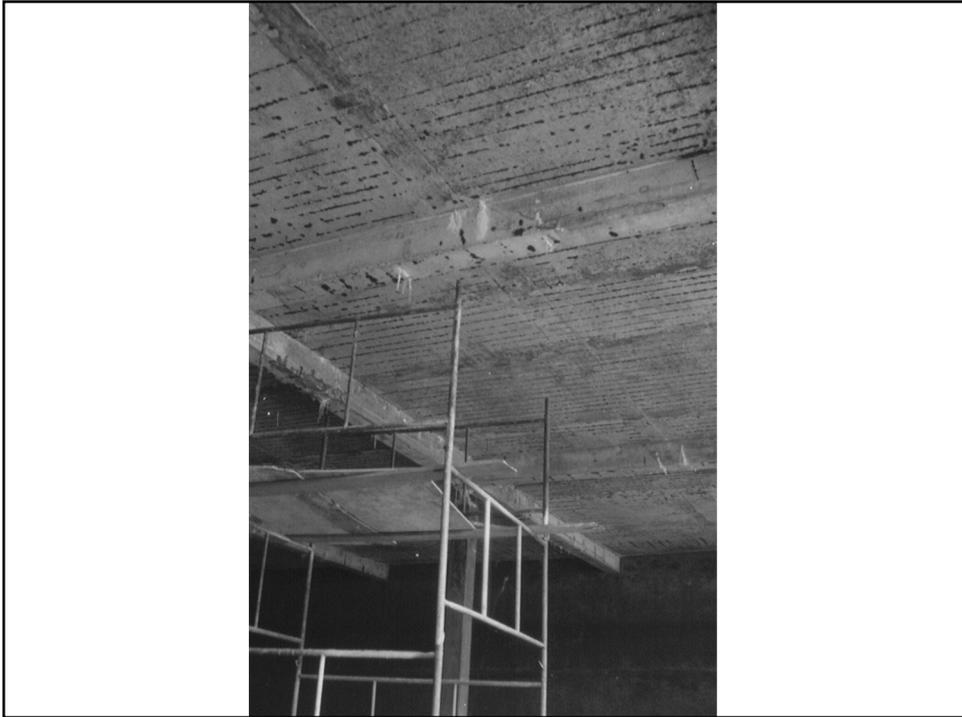


Concreto → *Lixiviação (água)*

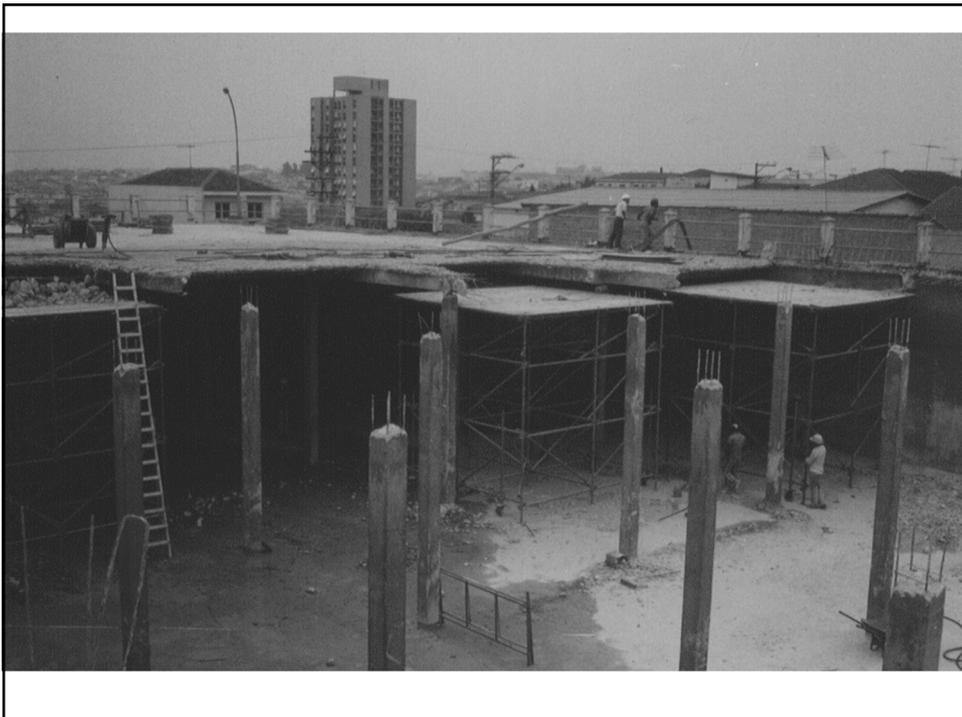
61



62



63



64

**impermeabilidade do concreto
versus
estanqueidade da estrutura**



65

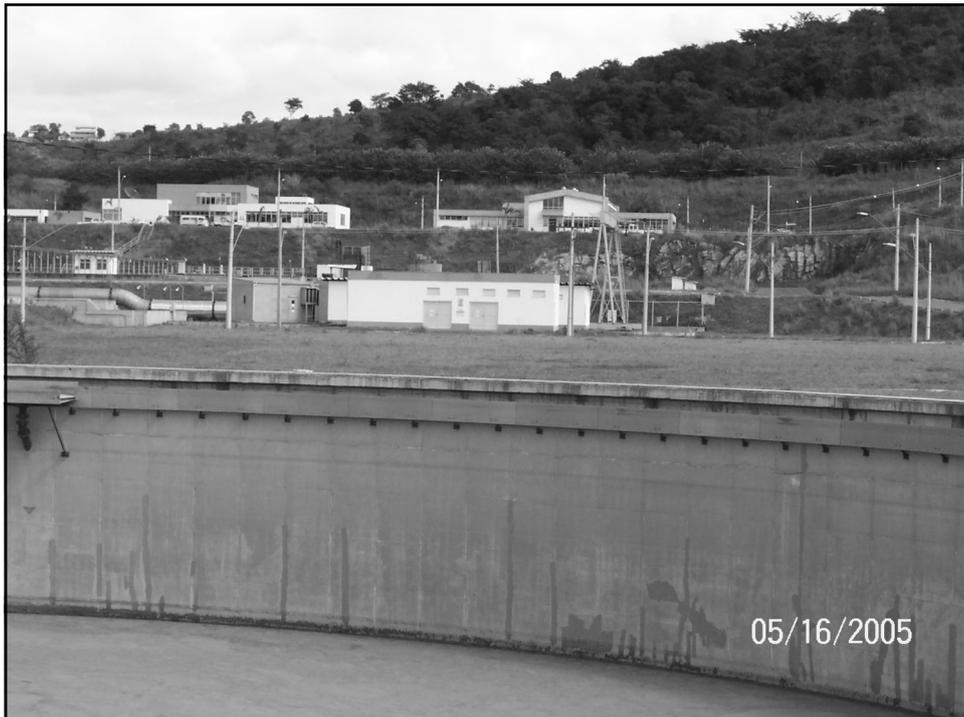
PROBLEMÃO
quase insolúvel

ESTANQUEIDADE!

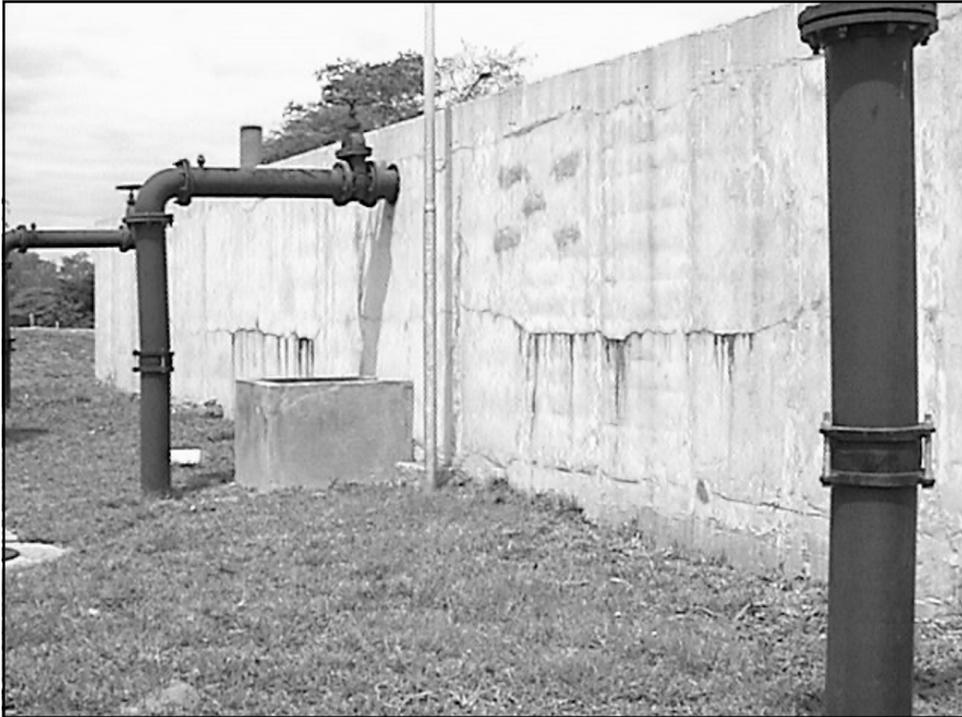
66



67



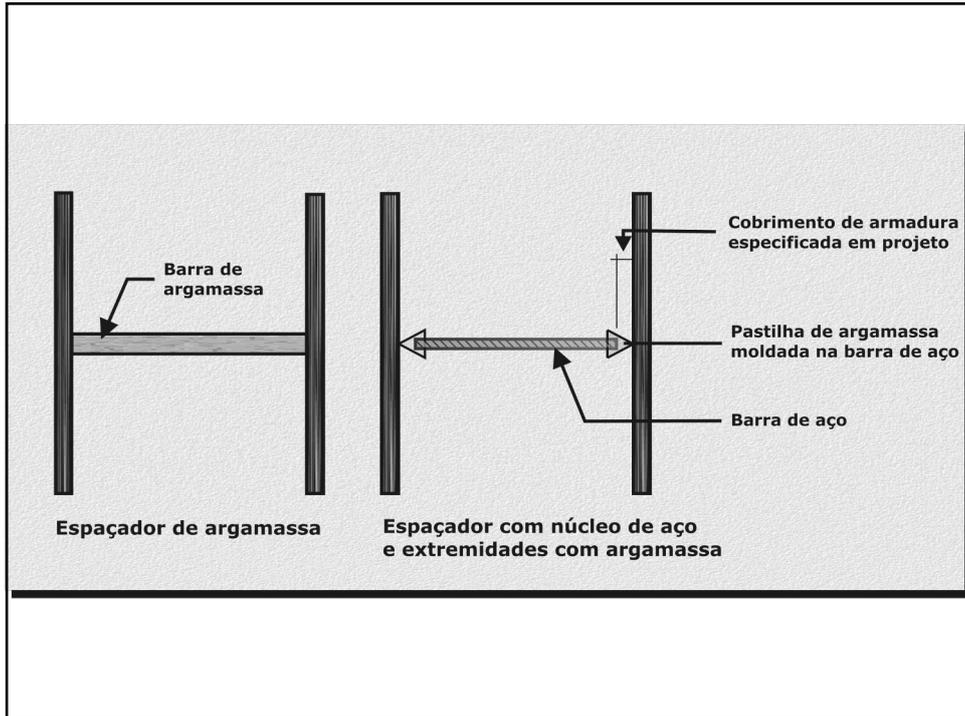
68



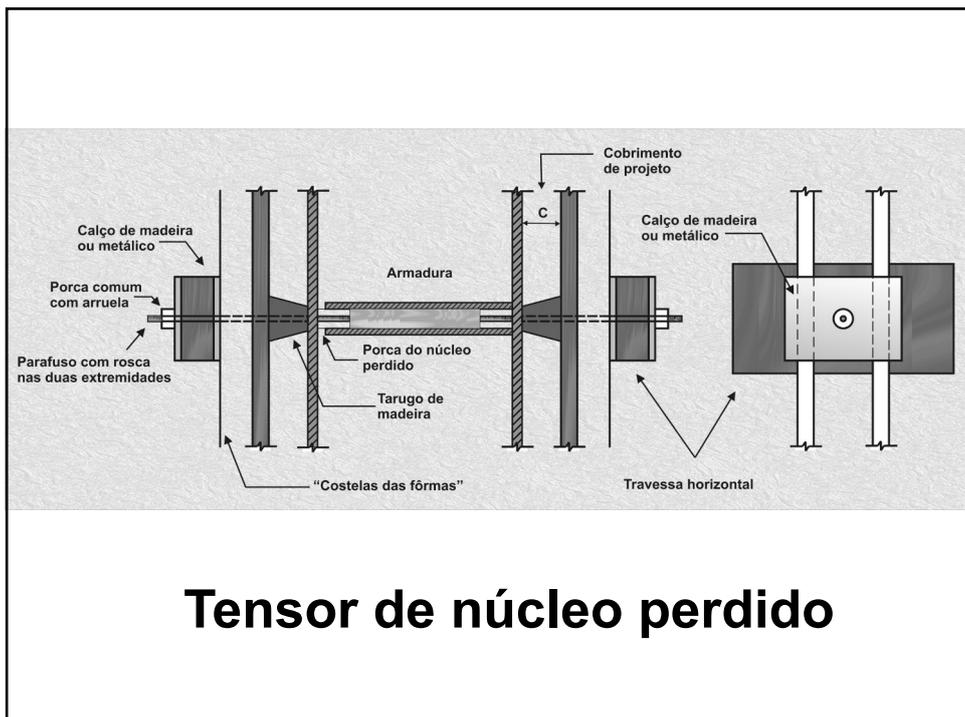
69



70

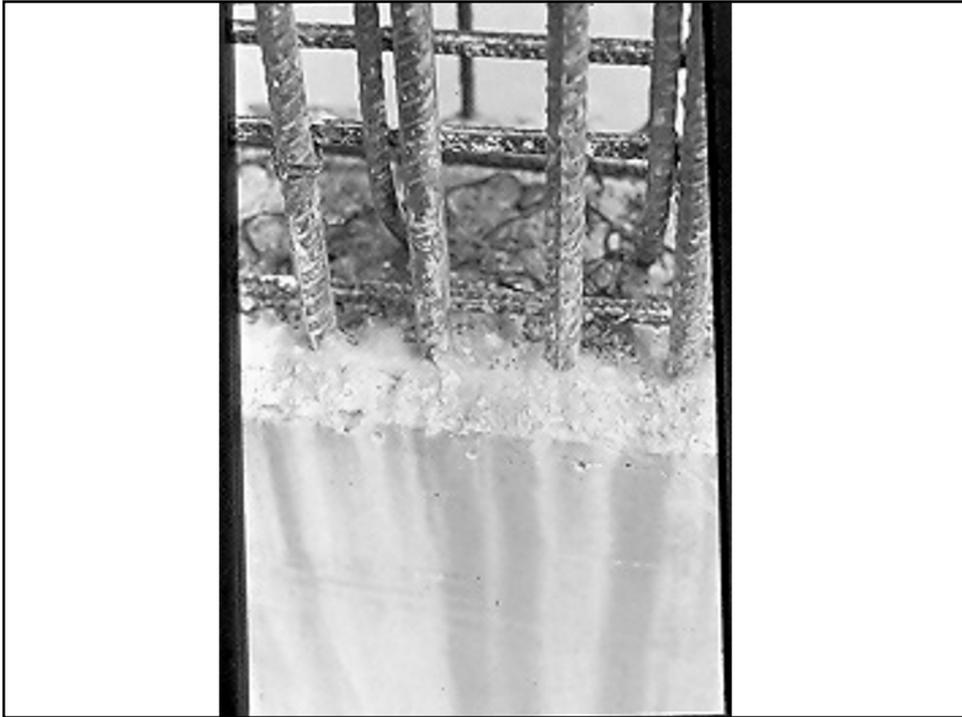


71



Tensor de núcleo perdido

72



73



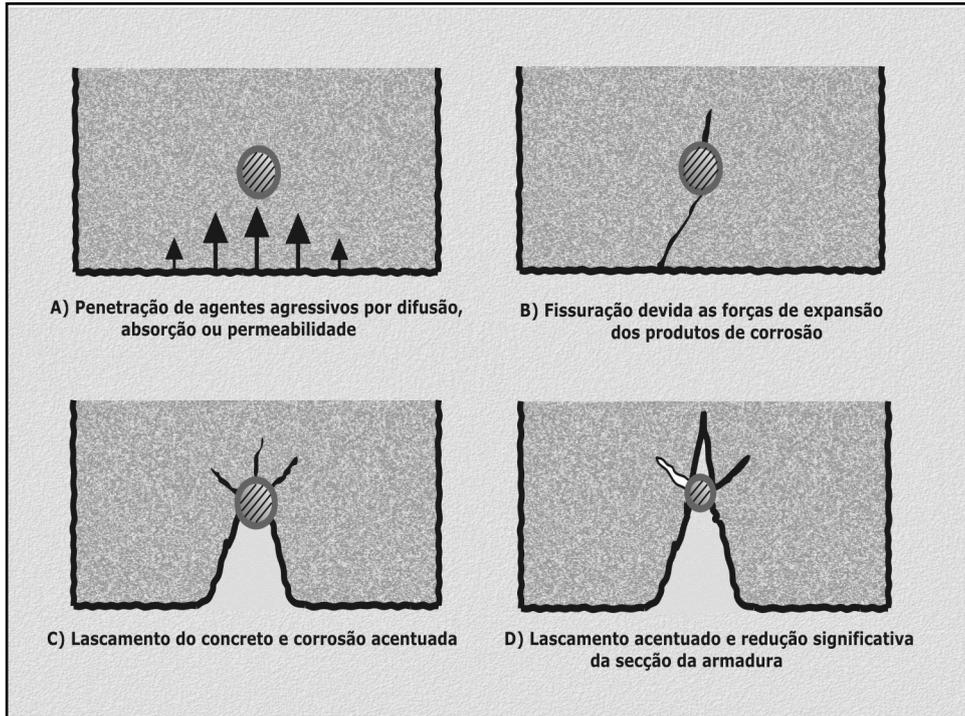
74



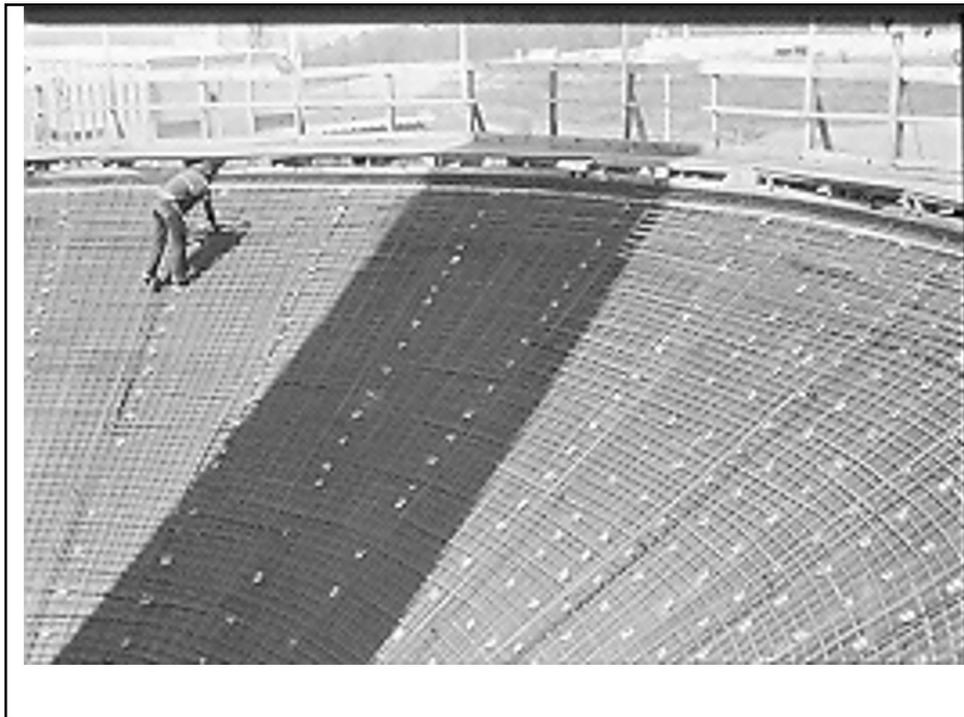
75

Proteção contra Corrosão!

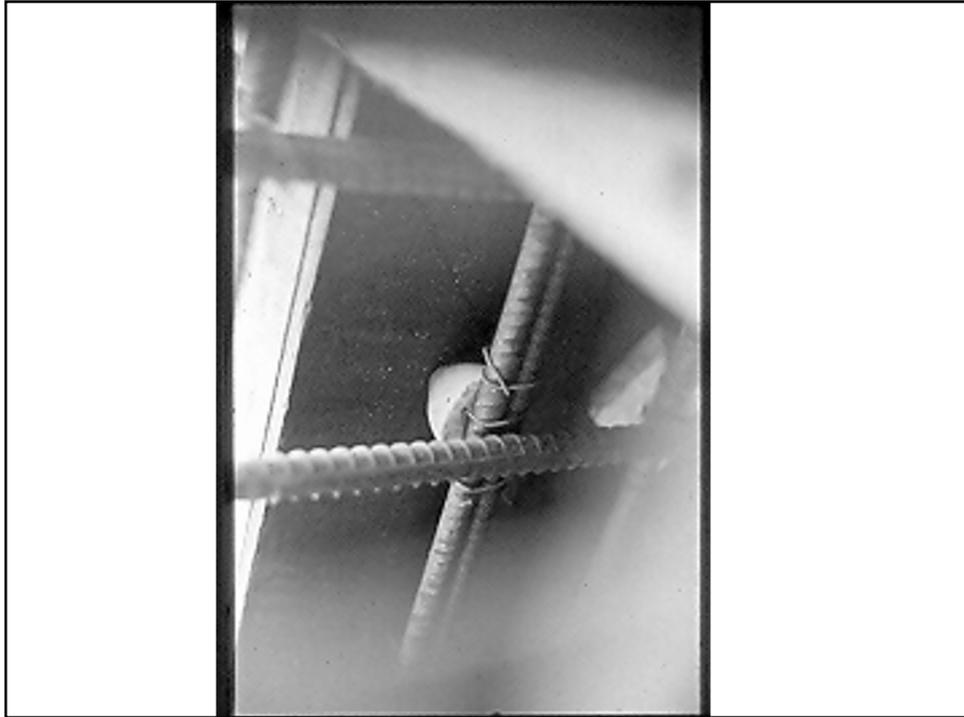
76



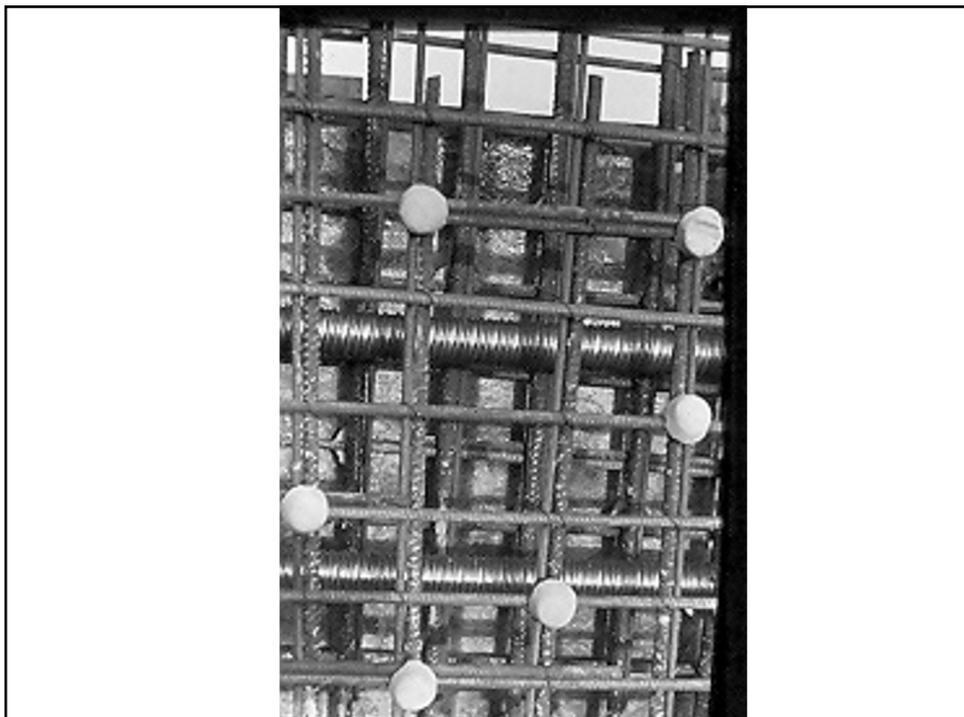
77



78



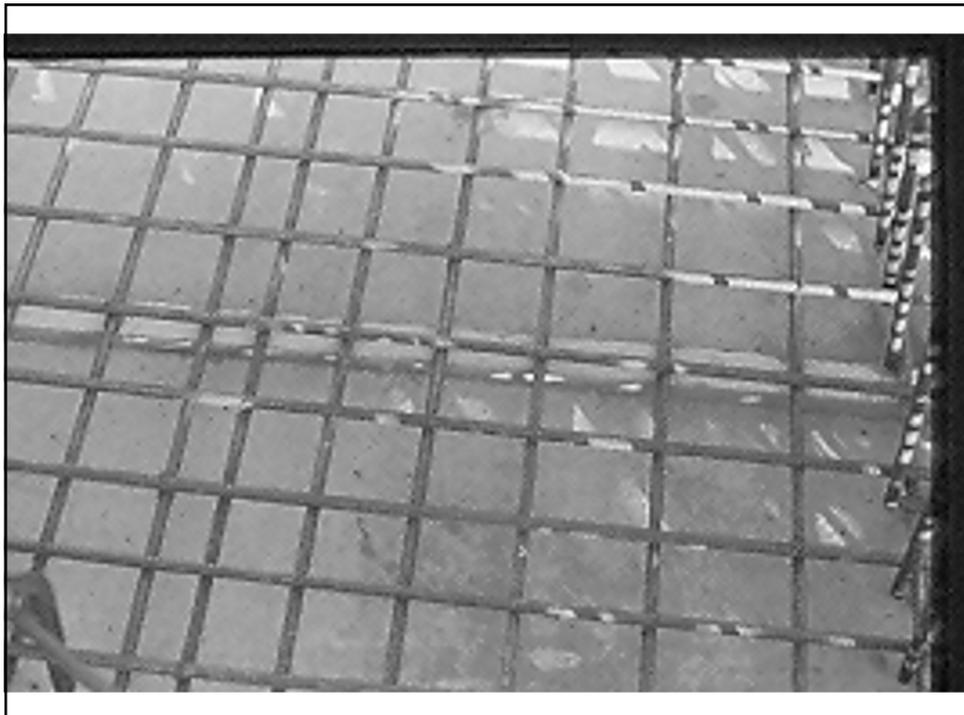
79



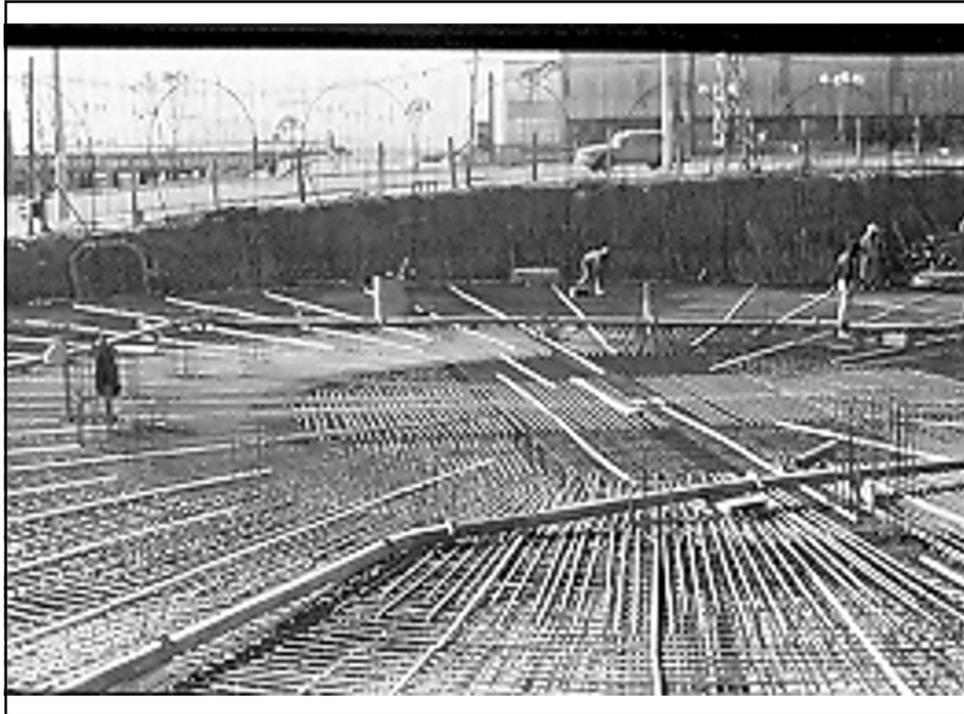
80



81



82



83

Ingresso de gases e fluidos

mecanismos de transporte

- **Permeabilidade**
- **Capilaridade**
- **Difusibilidade**
- **Migração**
- **Convecção**

84

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

85

Permeabilidade do concreto ao O₂

fib(CEB-FIP) Model Code 90

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

k_g = coeficiente de permeabilidade ao gás
oxigênio, em m²

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

86

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 m²/s

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

87

Frente 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 CO₂ com HR = 65% ou idade do concreto em s

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

88

Difusibilidade de íons Cloreto

fib(CEB-FIP) Model Code 90

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

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

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

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

D_{Cl} = coeficiente de difusão de íons cloreto em m²/s

89

Capilaridade à Água

fib(CEB-FIP) Model Code 90

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

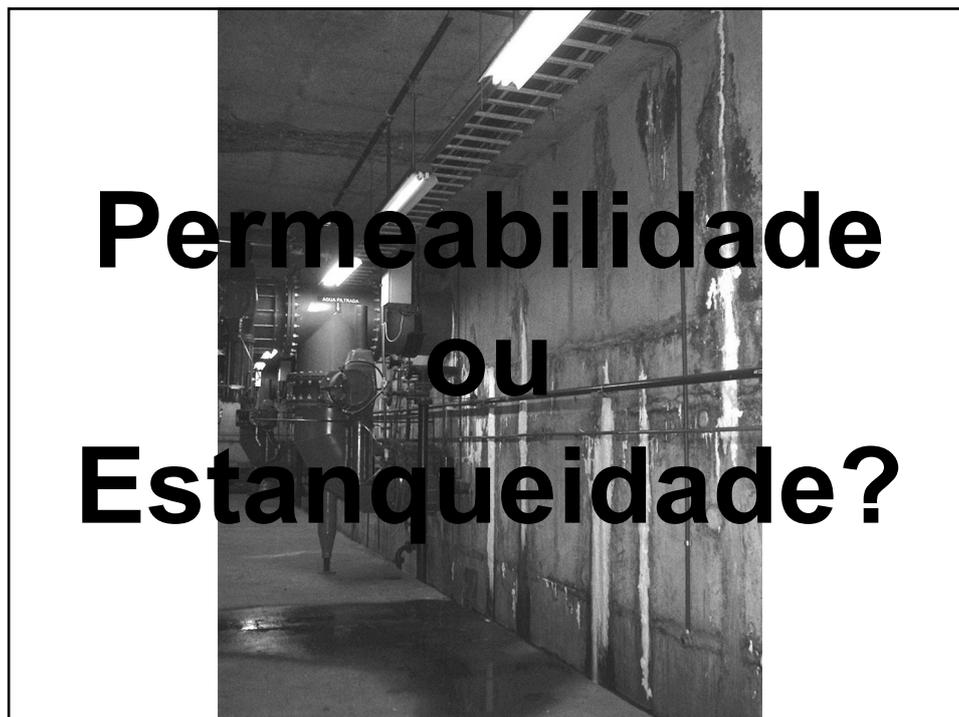
w_t = água absorvida em m³/m²

t = tempo de absorção de água em s

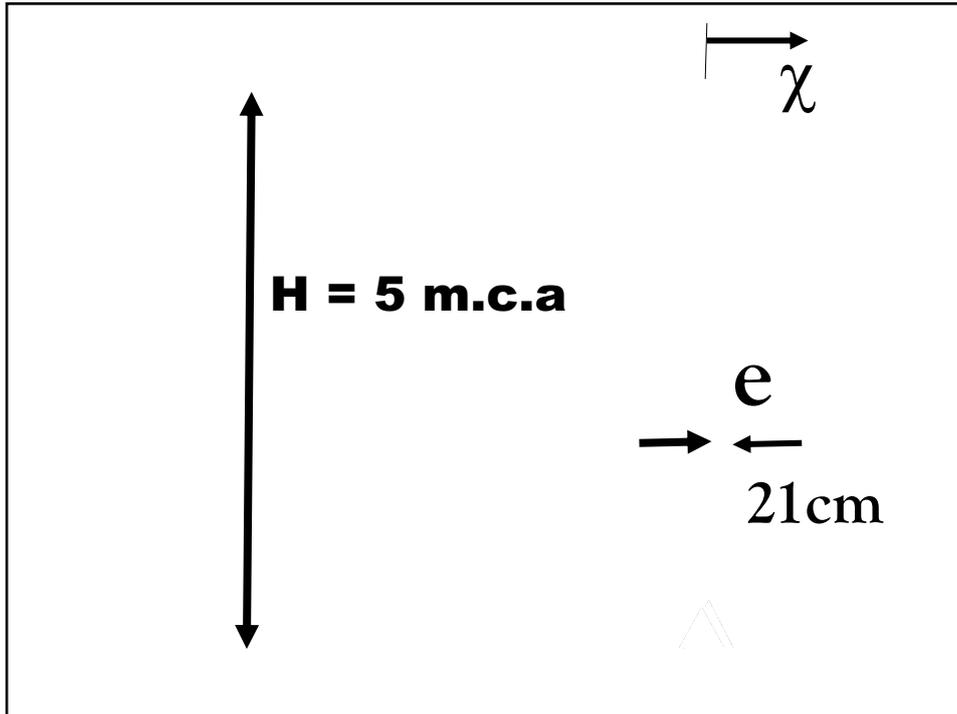
90

propriedade	20 MPa	50 MPa
coeficiente de permeabilidade à água k_w (cm/s)	$4 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-12}$
coeficiente de permeabilidade a gás O_2 k_g (m ²)	$1 \cdot 10^{-15}$	$3 \cdot 10^{-17}$
carbonatação em 50 anos e_{CO_2} (mm)	52	2
coeficiente de difusão de cloretos D_{Cl} (m ² /s)	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-11}$
absorção capilar de água em 24h w (dm ³ /m ²)	$40 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$

91



92



93

Lei de Darcy
permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$V = \frac{Q}{S} = k_w \cdot \frac{H}{x}$$

V → velocidade de percolação de água em cm/s
 Q → vazão de água em cm³/s
 S → área da superfície confinada por onde percola a água em cm²
 H → pressão da água de contacto em cm.c.a
 x → espessura de concreto percolada pela água em cm
 k_w → coeficiente de permeabilidade do concreto em cm/s

94

Lei de Darcy

permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$V = \frac{Q}{S} = k \cdot \frac{H}{x} \quad \Rightarrow \quad \frac{dx}{dt} = \frac{k \cdot H}{x}$$

$$\Rightarrow \quad x dx = H \cdot k \cdot dt$$

$$\Rightarrow \quad \int_0^e x dx = \int_0^t H \cdot k \cdot dt$$

$$\Rightarrow \quad t = \frac{e^2}{2 \cdot H \cdot k}$$

95

Concreto

(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{a}{c} = 0,75 \Rightarrow k = 10^{-9} \text{ cm/s}$$

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{a}{c} = 0,45 \Rightarrow k = 10^{-11} \text{ cm/s}$$

$$f_{ck} = 60 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{a}{c} = 0,35 \Rightarrow k = 10^{-13} \text{ cm/s}$$

96

Concreto

(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$$t = \frac{e^2}{2 \cdot H \cdot k_w}$$

$H \rightarrow 5 \text{ m.c.a}$

$e \rightarrow 21 \text{ cm}$

$k_w \rightarrow 10^{-9} ; 10^{-11} ; 10^{-13} \text{ m/s}$

97

Concreto

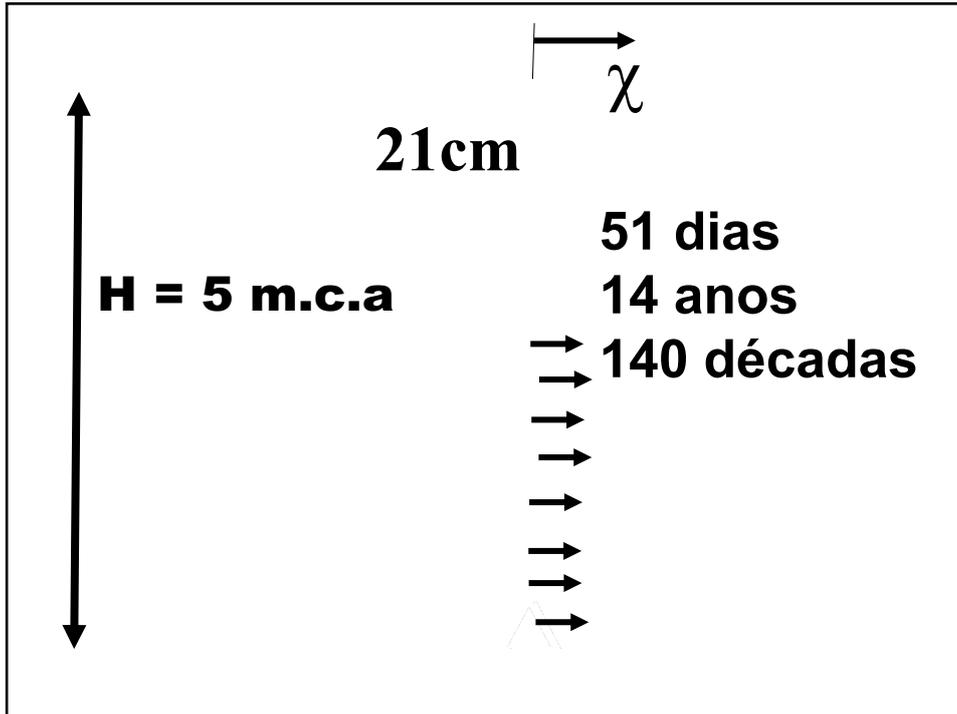
(lei de Darcy) permeabilidade
(gradiente de pressão)

$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \rightarrow t = 51 \text{ dias}$

$f_{ck} = 40 \text{ MPa} \rightarrow t = 14 \text{ anos}$

$f_{ck} = 60 \text{ MPa} \rightarrow t = 140 \text{ décadas}$

98



99

**CONCRETO é
“impermeável”**

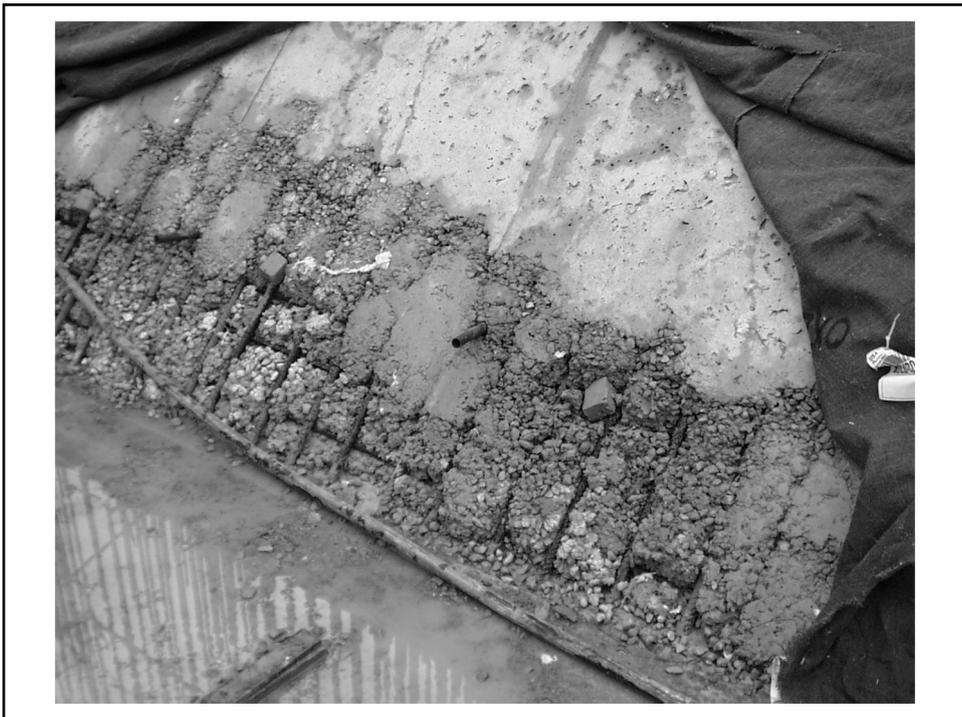
difícil → estanqueidade

**pois independe do
material e depende 100%
do projetista e 100% da
CONSTRUTORA**

100



101



102

Panteão
de
Roma



103

Cúpula do Panteão → Século II dC



ro de **44m**

ve de pedra pome

ronze (cubetas)

to primitivo

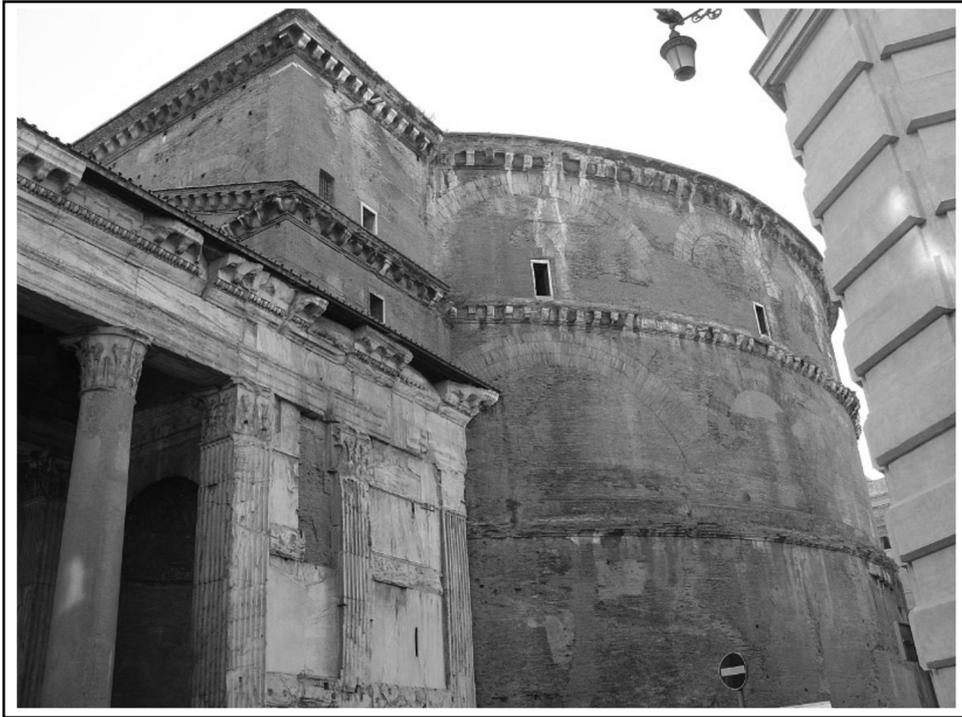
- pozolana + sangue

q. Bernini → baldaquino papal

a (Catedral) de São Pedro

rente mais antigo

104



105

Cúpula do Panteão de Roma
Século II dC → Diâmetro de 44m



106



107

TIPOLOGIA DO PROJETO (Cabeira 2010) A FALTA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

A) Penetração de agentes agressivos por difusão, absorção ou permeabilidade

B) Fissuração devida as forças de expansão dos produtos de corrosão

C) Lascamento do concreto e corrosão acentuada

D) Lascamento acentuado e redução significativa da secção da armadura

13º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização 2013

iBi INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

108

Durabilidade das Estruturas de Concreto

- 1. Envelhecimento**
- 2. Vida Útil**
- 3. Classificar Meio Ambiente**
- 4. Classificar o Concreto**
- 5. Modelos de Previsão**
- 6. Critérios de Projeto**
- 7. Proporcionamento dos Materiais**
- 8. Procedimentos de Execução**
- 9. Manutenção Preventiva**

109

CONCLUINDO

projetar e construir obras de saneamento duráveis depende:

- ✓ especificação;
- ✓ projeto;
- ✓ preço unitário;
- ✓ dosagem / controle;
- ✓ conscientização da direção da construtora;
- ✓ treinamento dos operários;
- ✓ fiscalização

110

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e sustentabilidade para o futuro, confia no concreto e no Engemix. O líder mundial em tecnologia de concreto, o Engemix, oferece soluções para o futuro. O Engemix é o líder mundial em tecnologia de concreto, o Engemix, oferece soluções para o futuro. O Engemix é o líder mundial em tecnologia de concreto, o Engemix, oferece soluções para o futuro.

O Engemix é o líder mundial em tecnologia de concreto, o Engemix, oferece soluções para o futuro. O Engemix é o líder mundial em tecnologia de concreto, o Engemix, oferece soluções para o futuro. O Engemix é o líder mundial em tecnologia de concreto, o Engemix, oferece soluções para o futuro.

CONCRETO ENGEMIX

111



112