



# Inspeção de Estruturas de Concreto → Diagnóstico

**Paulo Helene**

*Prof. Titular da Universidade de São Paulo  
Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON  
Coordinador Internacional de la Red Rehabilitar CYTED XV.F  
Eng., MSc., PhD Consultor de Materiais, Patologia e Reabilitação  
Member of fib(CEB-FIP) Commission J: Service Life of Concrete Structures*

1

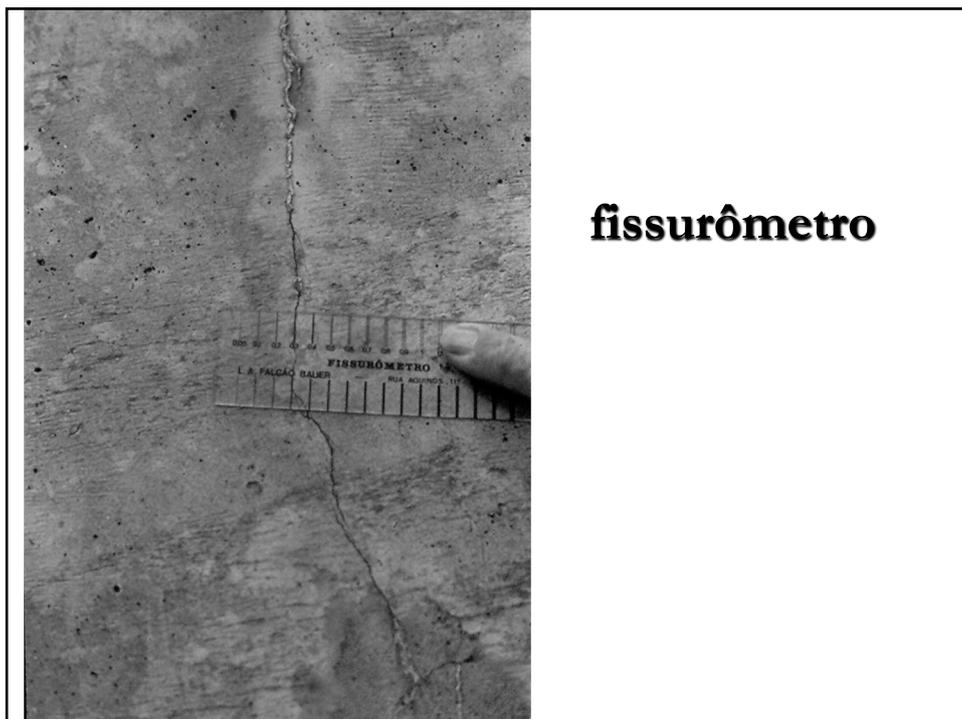
## Metodologia de Análise de Problemas Patológicos

- 1° → Inspeção Preliminar**
- 2° → Inspeção Detalhada**
- 3° → Diagnóstico da Situação**
- 4° → Estudo de Alternativas**
- 5° → Definição da conduta**

2



3



4

**fissurômetro**

**umidímetro  
superficial**



5



**pacômetro**

6

**pacômetro**



7



**pacômetro**

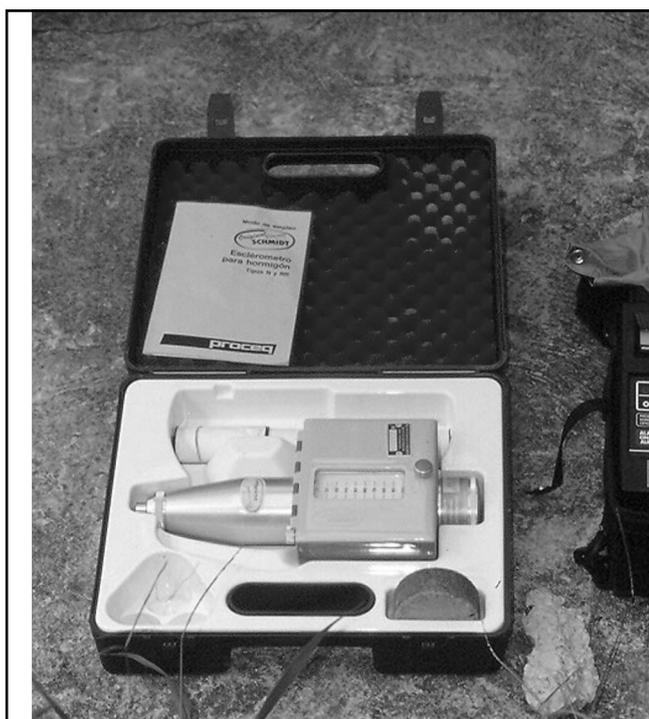
8

**pacômetro**



9

**esclerômetro  
de reflexão**



10

## **esclerômetro de reflexão**

**NBR 7584 – “Concreto  
endurecido . Avaliação  
da dureza superficial  
pelo esclerômetro de  
reflexão. Procedimento”**



11

## **esclerômetro de reflexão**

**NBR 7584 – “Concreto  
endurecido . Avaliação  
da dureza superficial  
pelo esclerômetro de  
reflexão. Procedimento”**



12

## **esclerômetro de reflexão**

**NBR 7584 – “Concreto  
endurecido . Avaliação  
da dureza superficial  
pelo esclerômetro de  
reflexão. Procedimento”**

**carborundum**



13



## **esclerômetro de reflexão**

**NBR 7584 – “Concreto  
endurecido . Avaliação  
da dureza superficial  
pelo esclerômetro de  
reflexão. Procedimento”**

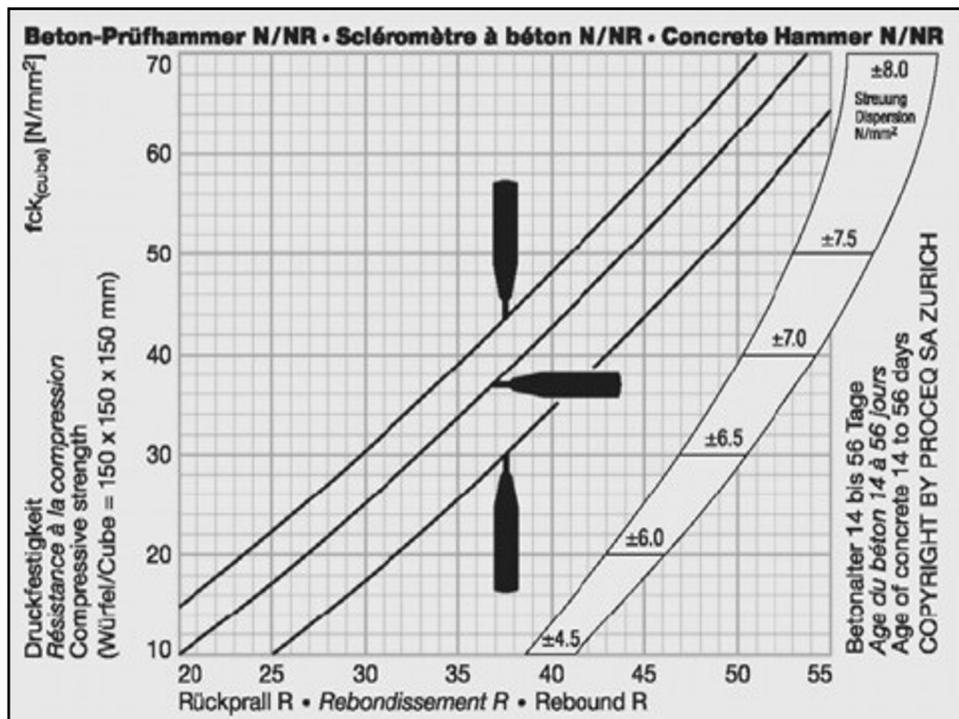
14



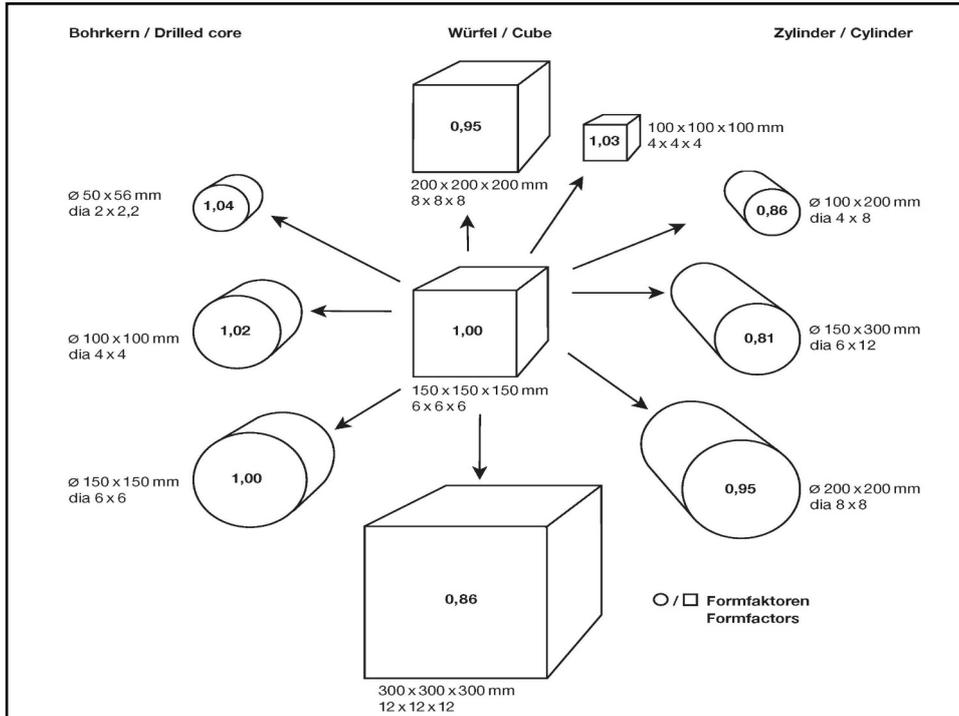
## esclerômetro de reflexão

**NBR 7584 – “Concreto endurecido . Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Procedimento”**

15



16



17



18

## ultrassom calibragem



19



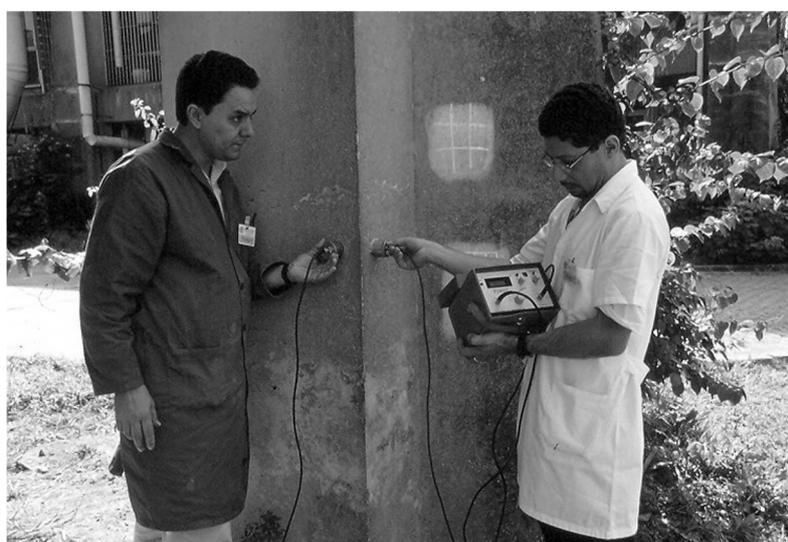
## ultrassom

20

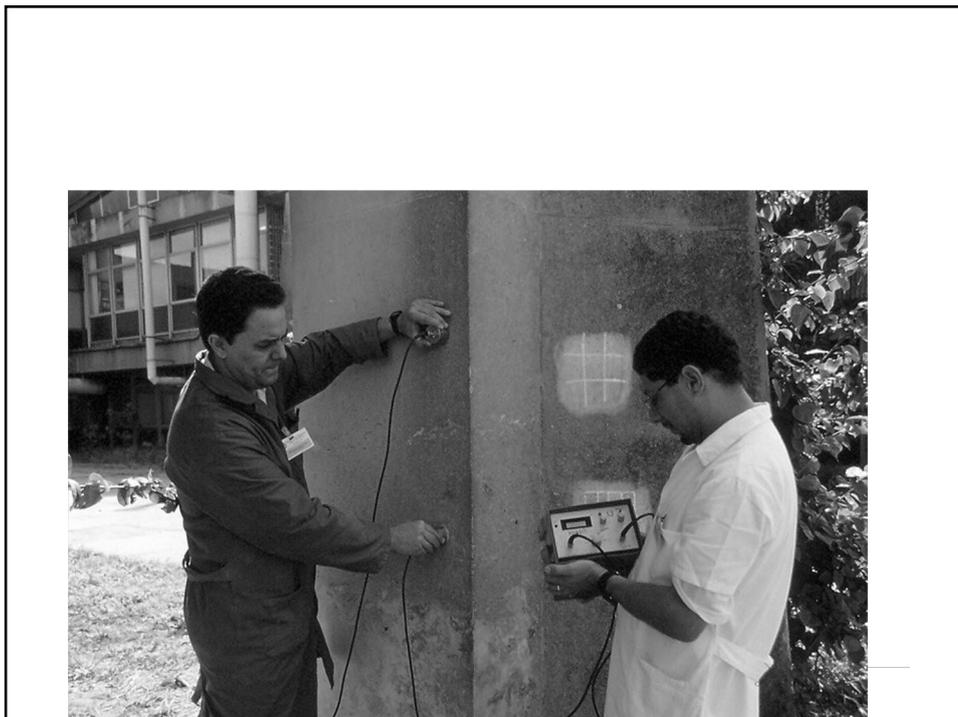


**ultrassom**

**21**



**22**



23



**resistividade iônica superficial**

24



**resistividade iônica superficial**

25



26



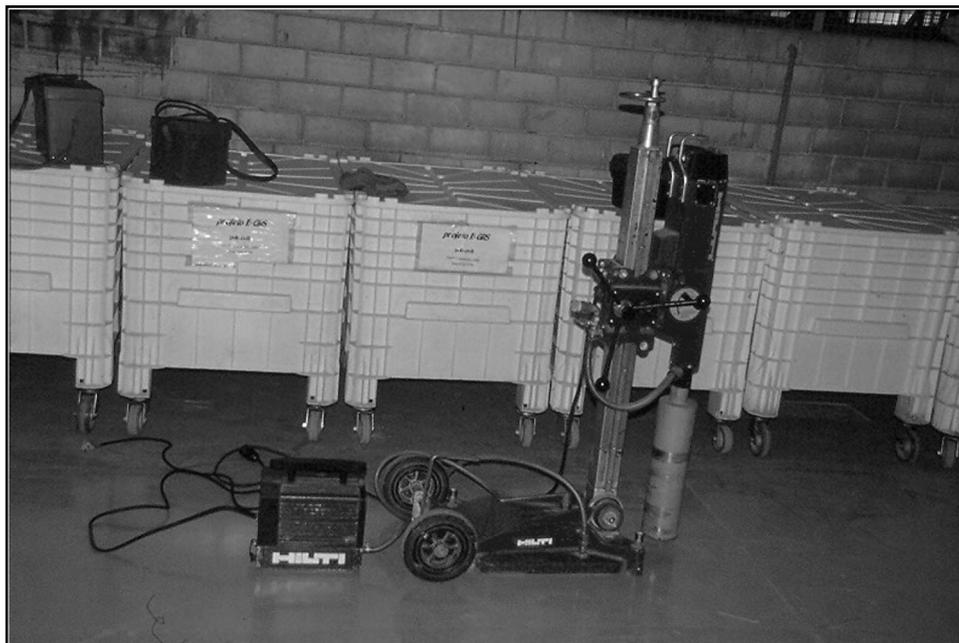
27

**RESISTIVIDADE****VOLUMÉTRICA**

- ❑ **NBR 9204 concreto endurecido.**
- ❑ **Determinação da resistividade elétrica volumétrica. Método de ensaio.**
- ❑ **ASTM G57 Standart test method for field measurement of soil resistivity using the Wenner four-electrode method.**

**RESISTIVIDADE****SUPERFICIAL**

28



**extração de testemunhos de concreto**

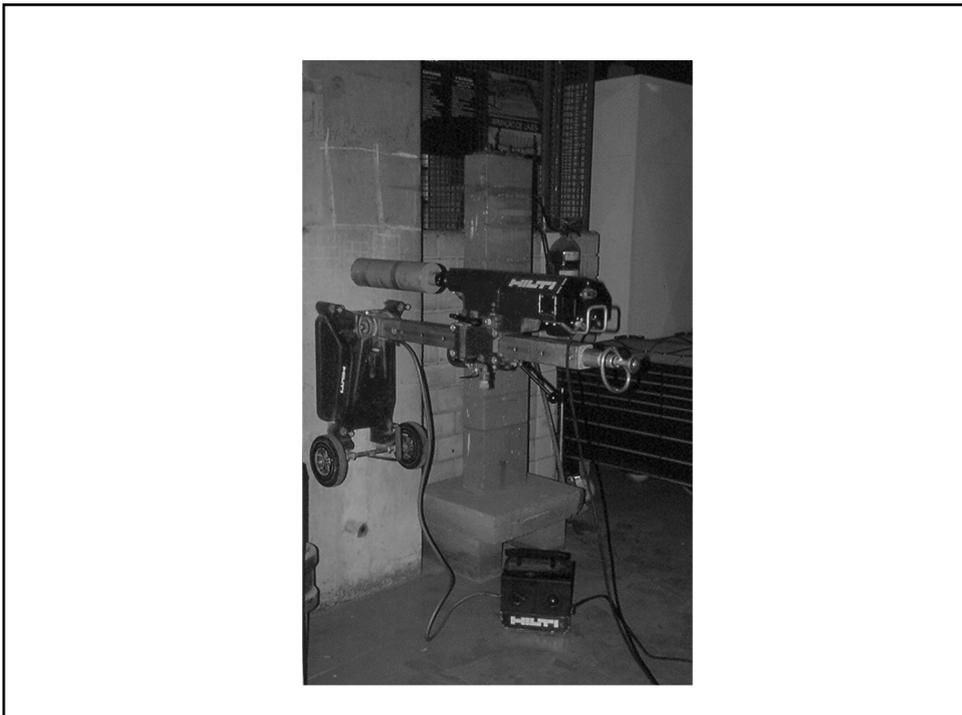
29



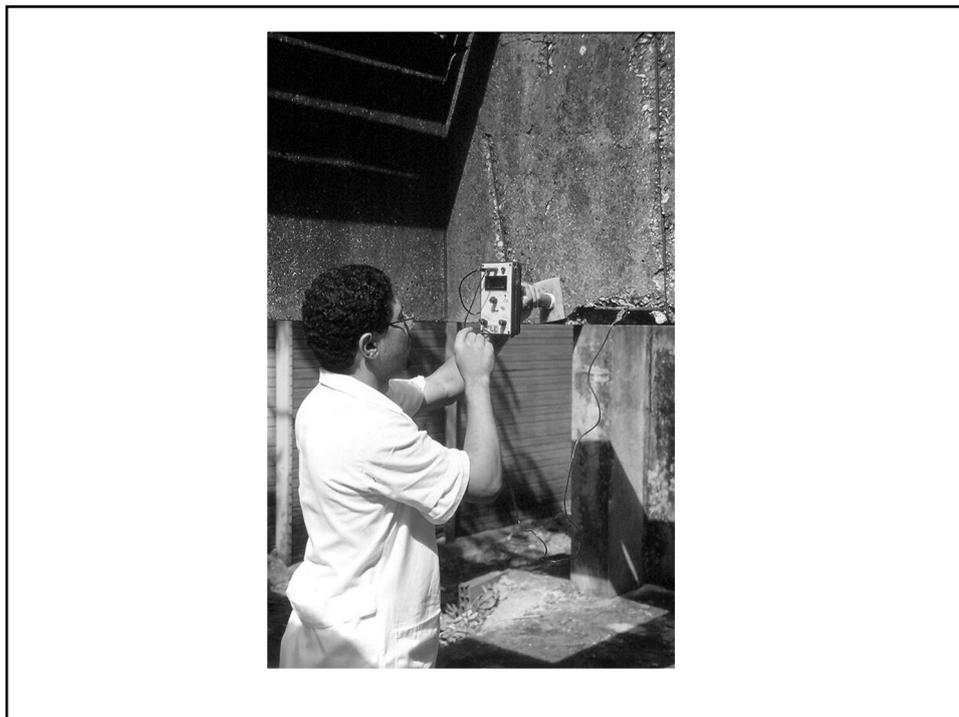
30



31



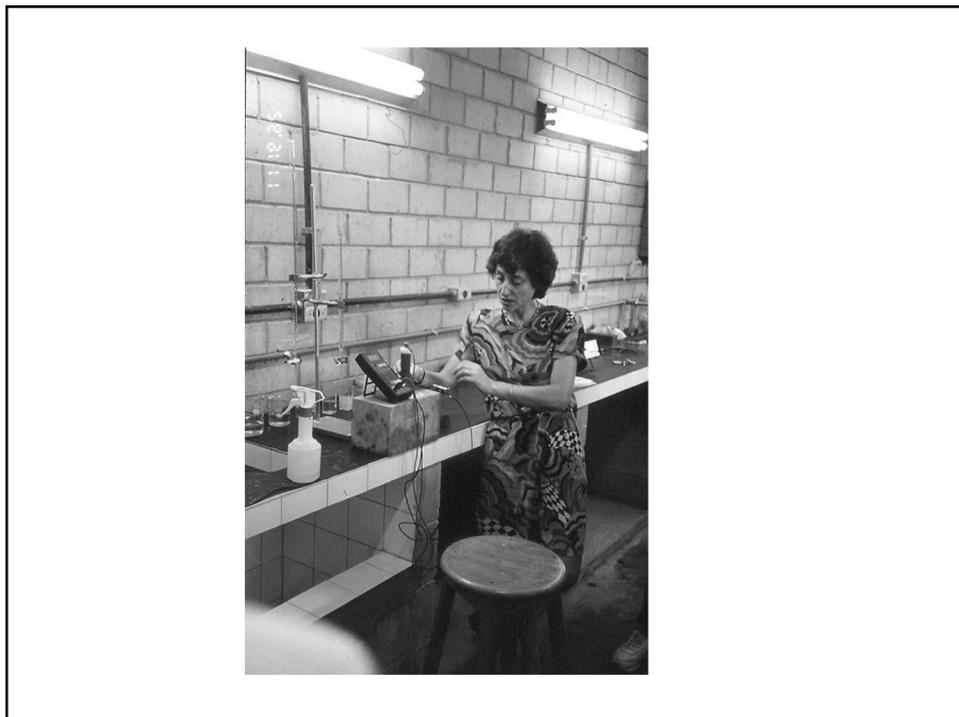
32



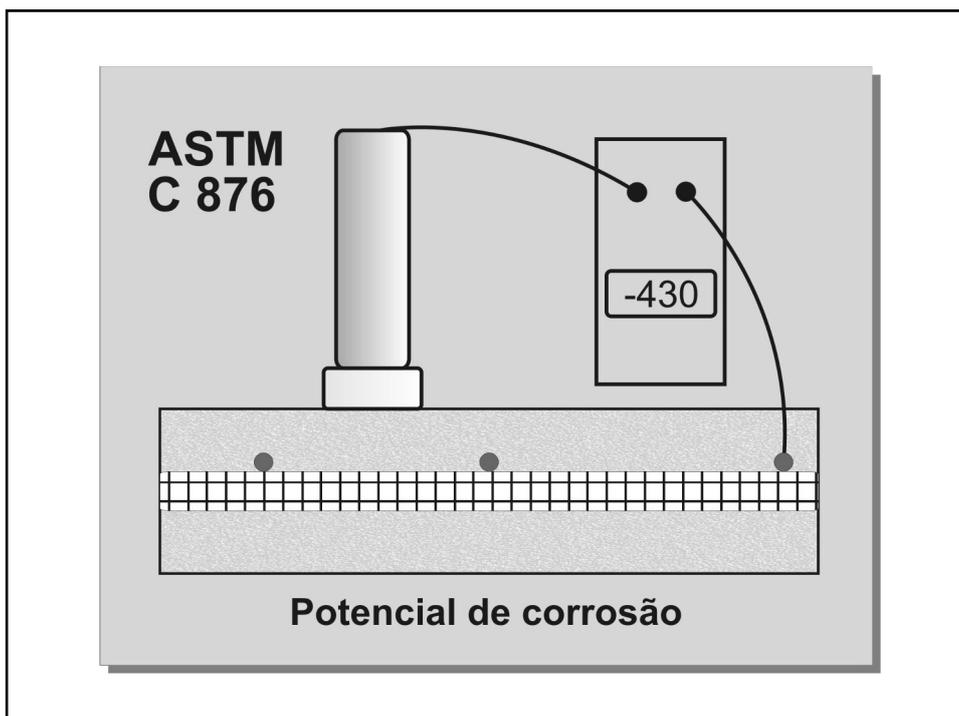
33



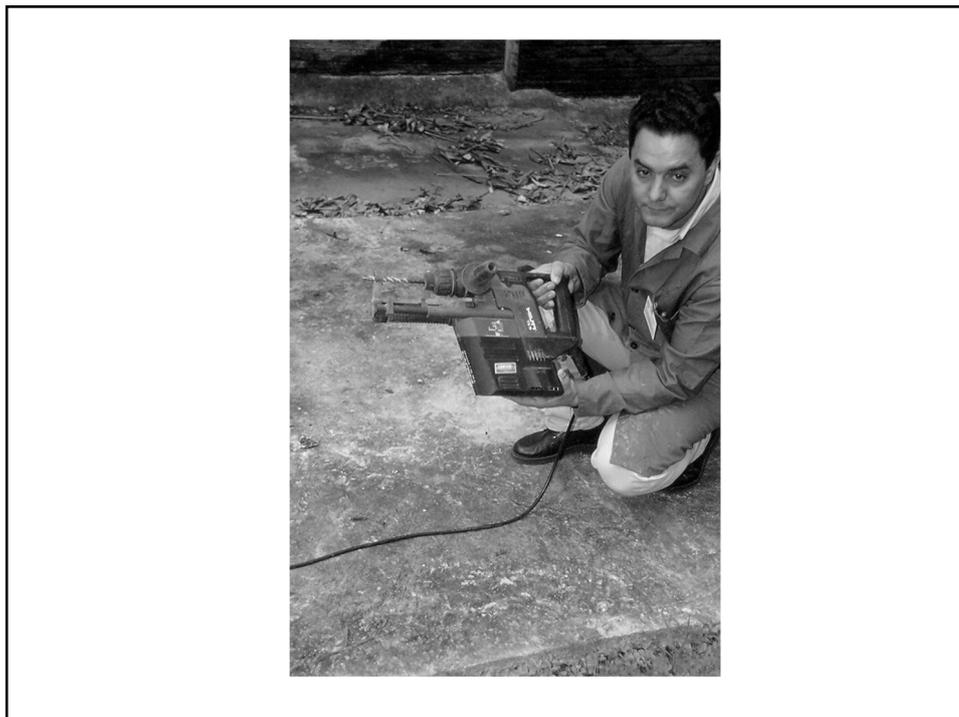
34



35



36



37



38



39



40

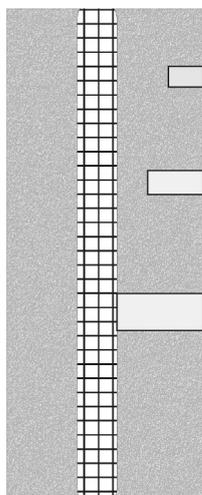
## TEOR DE CLORETOS

### ASTM C 1152

Standart test method for acid- soluble chloride in mortar and concrete

41

## CLORETOS



### NBR 6118 (NB-1)

p/ água de amassamento  
 $\leq 500\text{mg/L}$

- Concreto de  $360\text{Kg/m}^3$

- Relação a/c = 0,50

→  $\leq 0,025\%$  p/ cimento

ACI, CEB, Internacionais

$\leq 0,4\%$  concreto armado

$\leq 0,05\%$  concreto protendido.

42

# CLORETOS

**a) Conhecidos:**

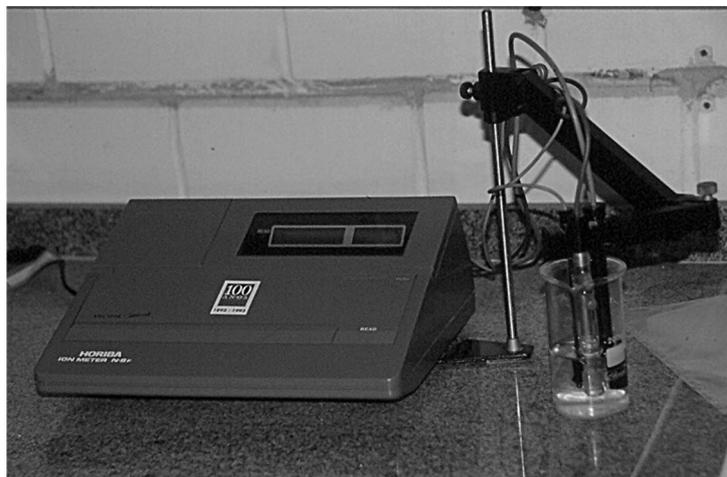
- **Perfil de concentração de cloretos**
- **Idade da estrutura**

**b) Calcular o coeficiente de difusividade pela 2ª lei de Fick**

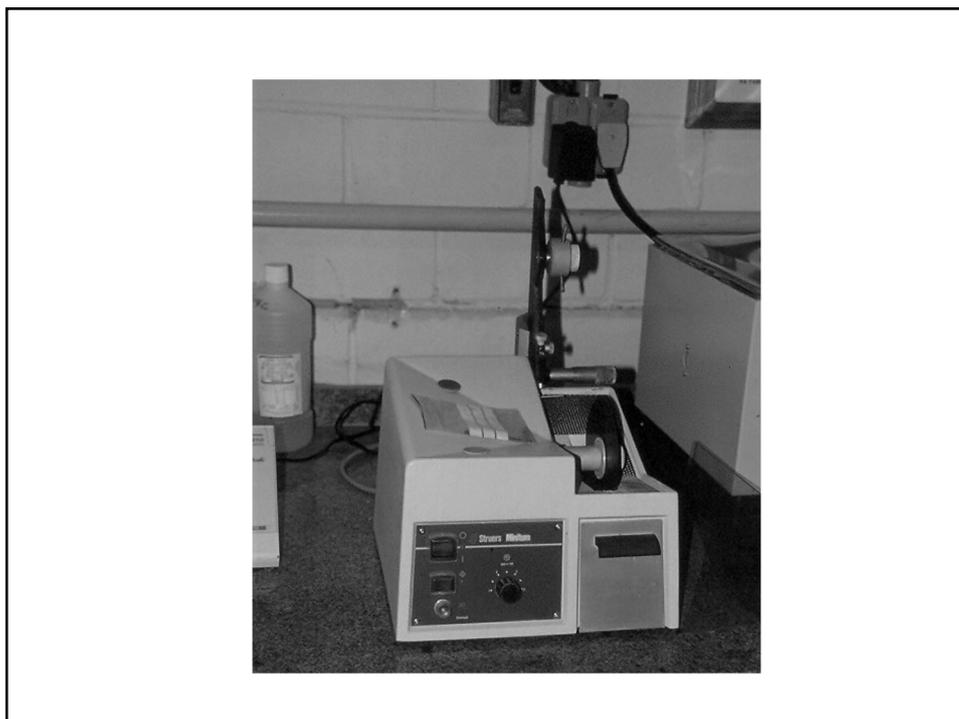
**c) Simplificadamente ajustar uma lei do tipo**

$$e_{xd} = k_c \cdot t^{0,5}$$

43



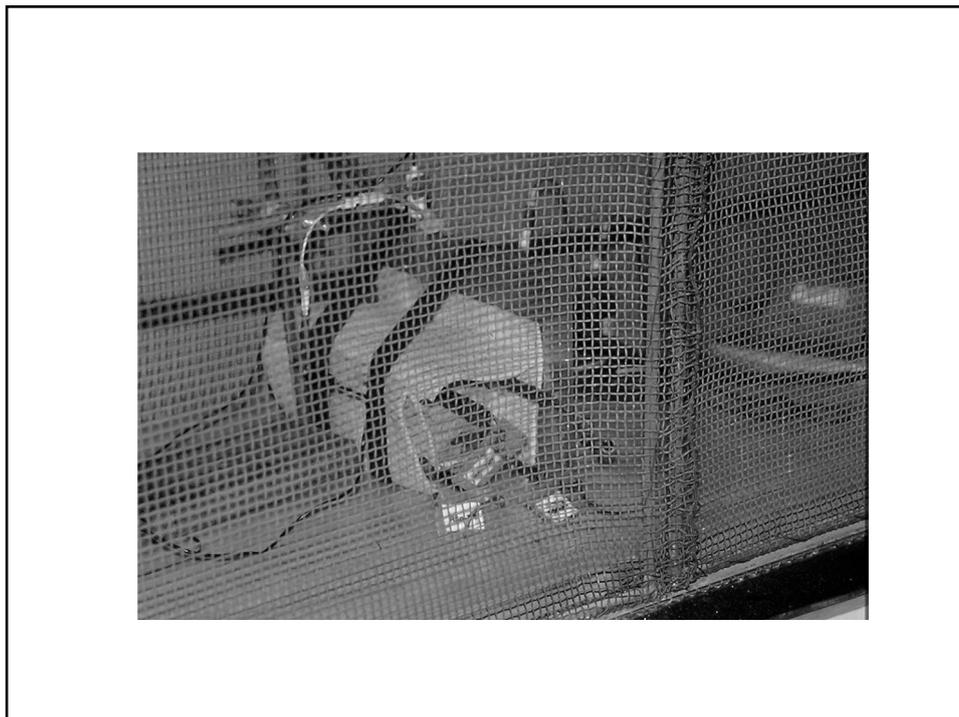
44



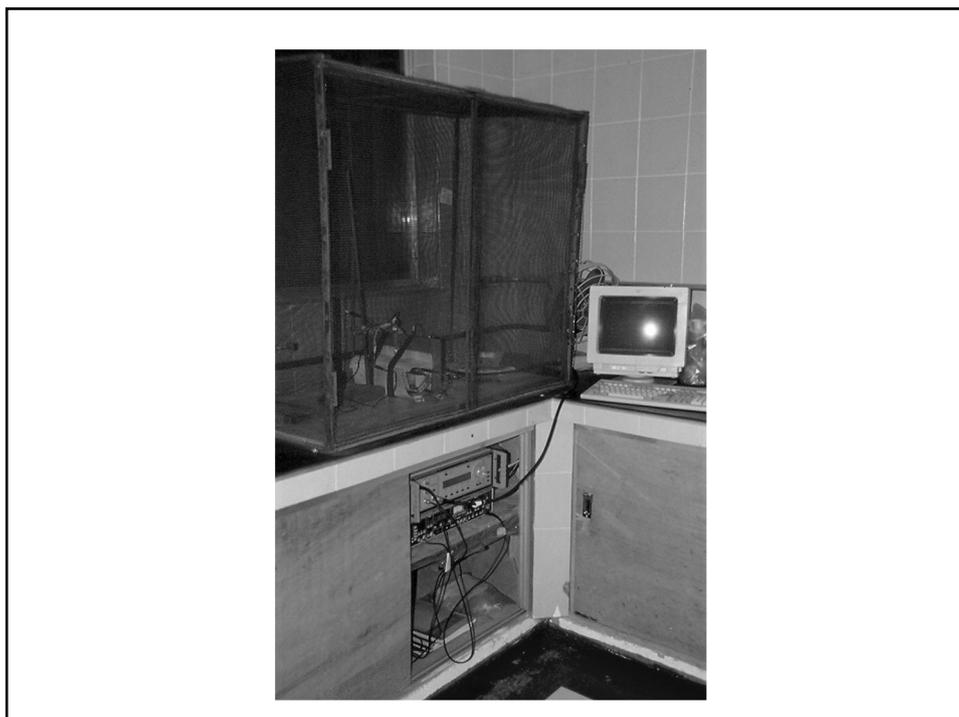
45



46



47



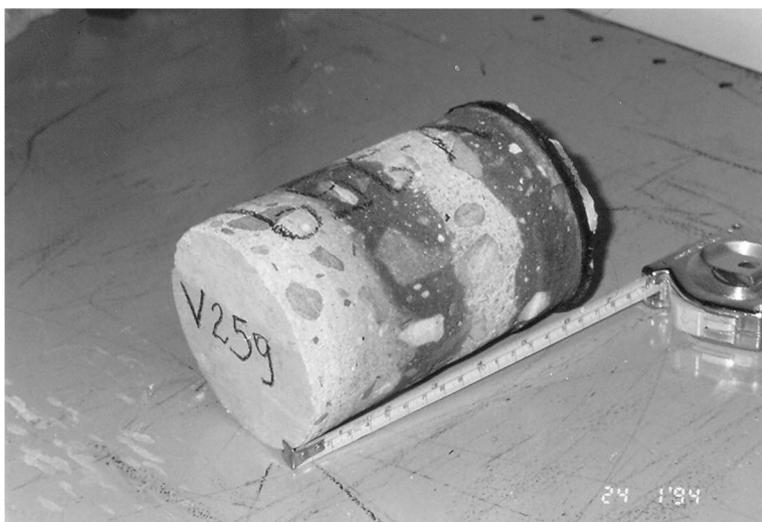
48

## **PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO**

- **Fenolftaleína**
- **Timolftaleína**

**1% água / álcool**

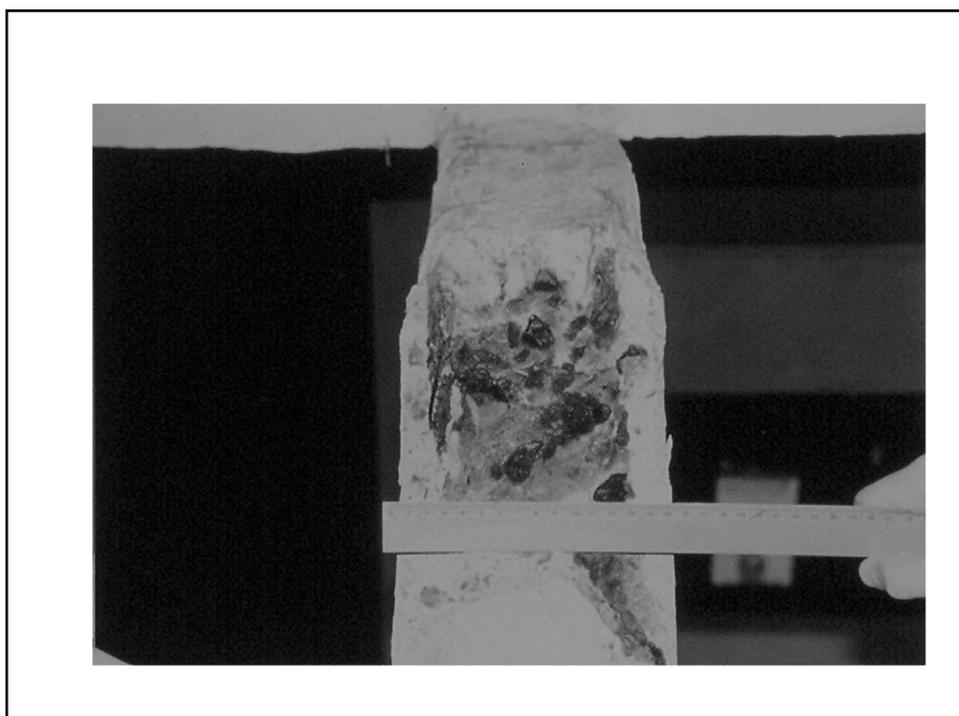
49



50



51



52

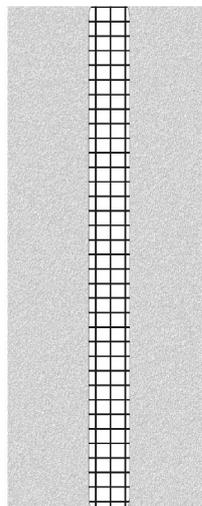
# CARBONATAÇÃO

a) Conhecidos:

- Espessura carbonatada
- Idade da estrutura

b) Calcular k:

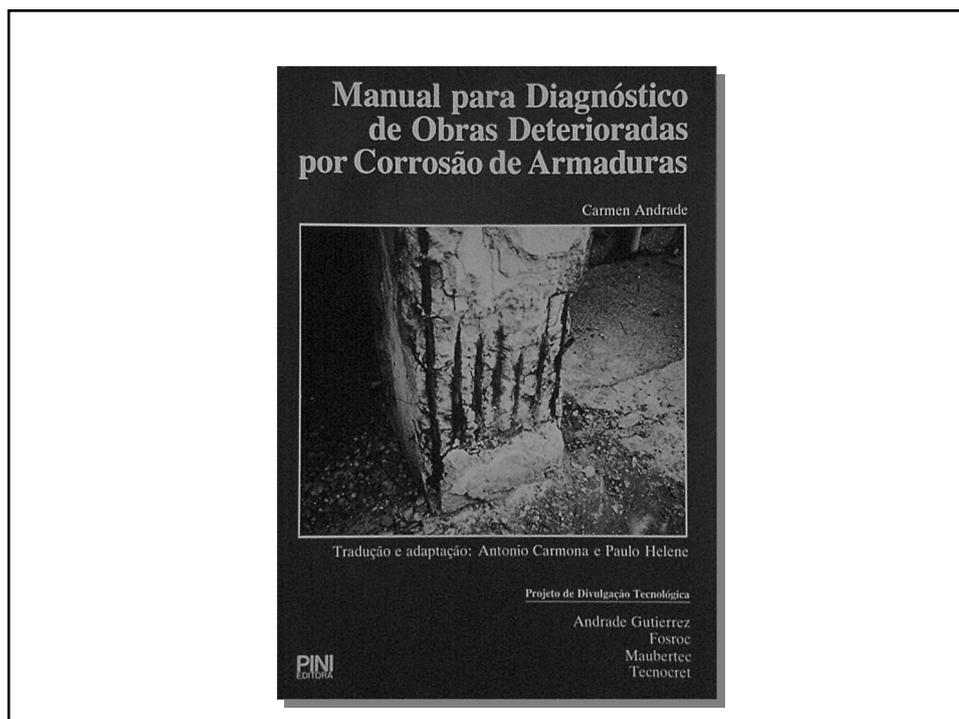
$$k = e_x \cdot t^{0,5}$$



53



54



55



56

## **Técnicas implantadas**

### **Medidas físicas, químicas e eletroquímicas**

- **Aderência superficial**
- **Aderência “beam-test”**
- **Aderência “pull-out”**
- **Carbonatação acelerada**
- **“salt-spray”**
- **Extração de testemunhos**
- **Retirada de amostras**
- **Corte de “fatias” de concreto**

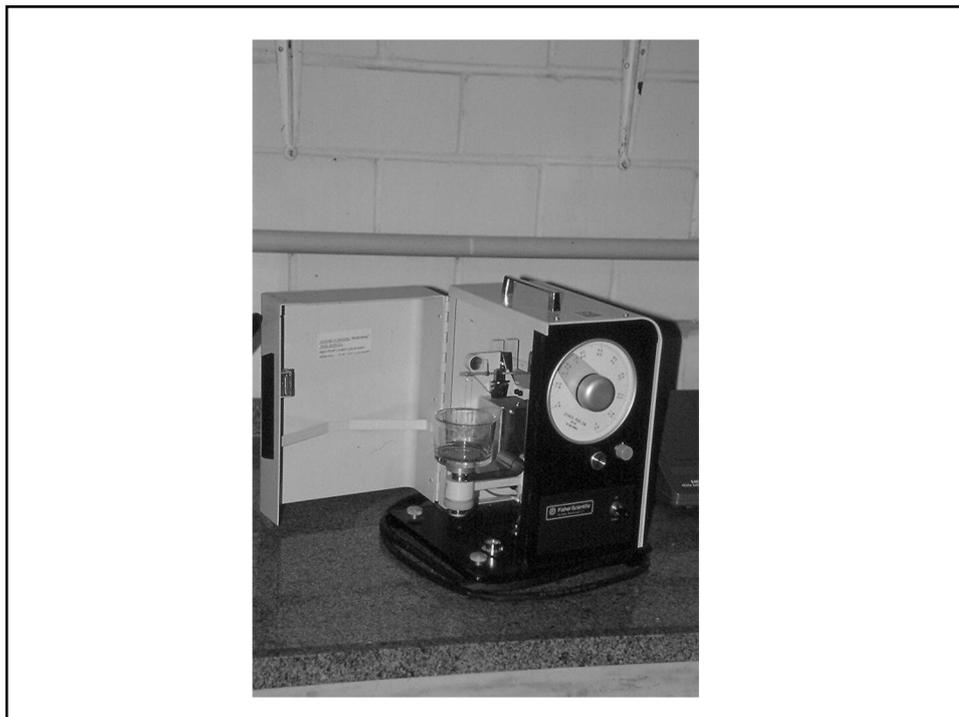
57

## **Técnicas implantadas**

### **Medidas físicas, químicas e eletroquímicas**

- **Potencial de corrosão**
- **Corrente de corrosão (RP)**
- **Corrente corrosão (IE)**
- **Resistividade elétrica**
- **Permeabilidade ao ar “in loco”**
- **Carbonatação**
- **Migração de cloretos**
- **Difusão de cloretos**

58



59



60



61



62



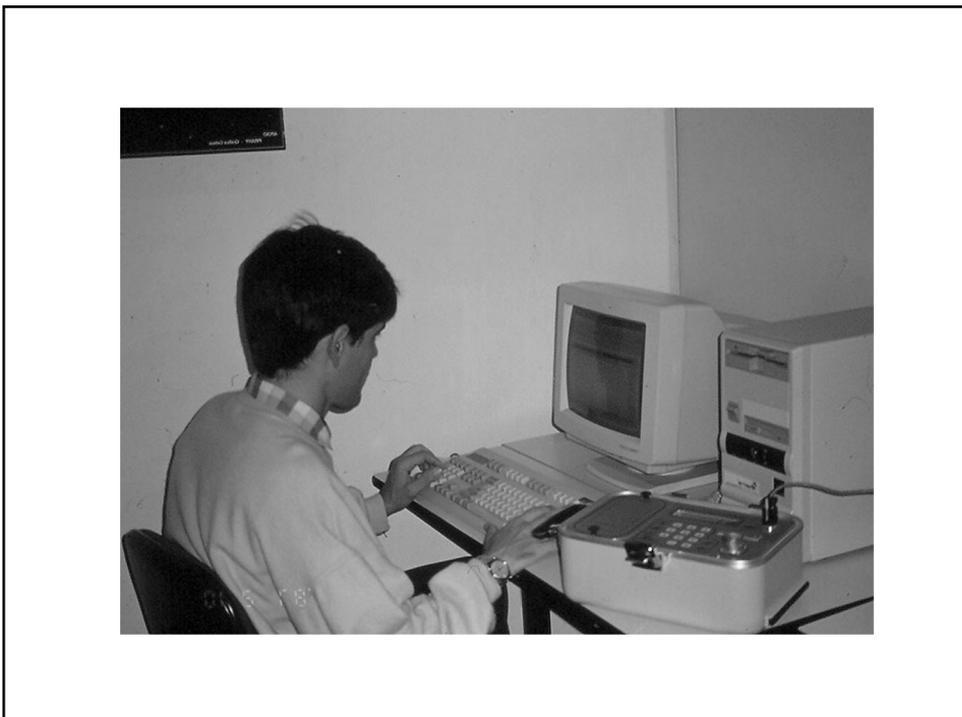
63



64



65

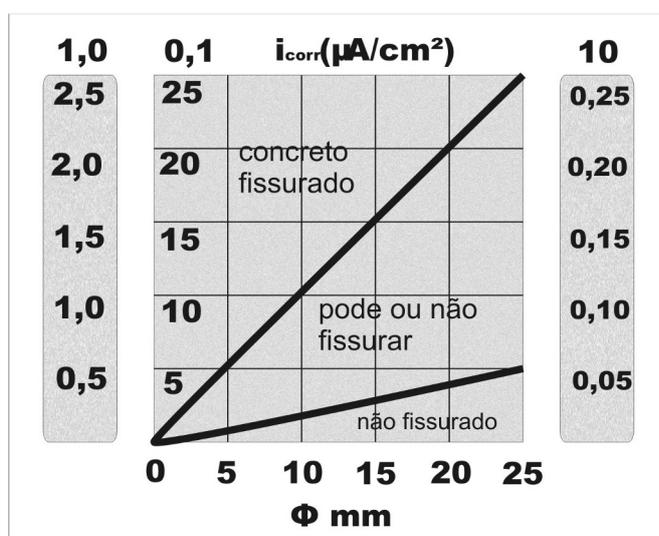
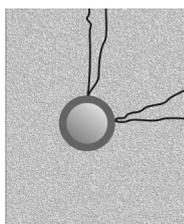


66

# VIDA ÚTIL RESIDUAL

67

**Vida  
útil em  
anos**



68

# Obra executada e em bom aspecto



69

## 1. A obra por fazer

- Parâmetros desconhecidos
- Período de iniciação
- Critério subjetivo
- Estado limite de serviço

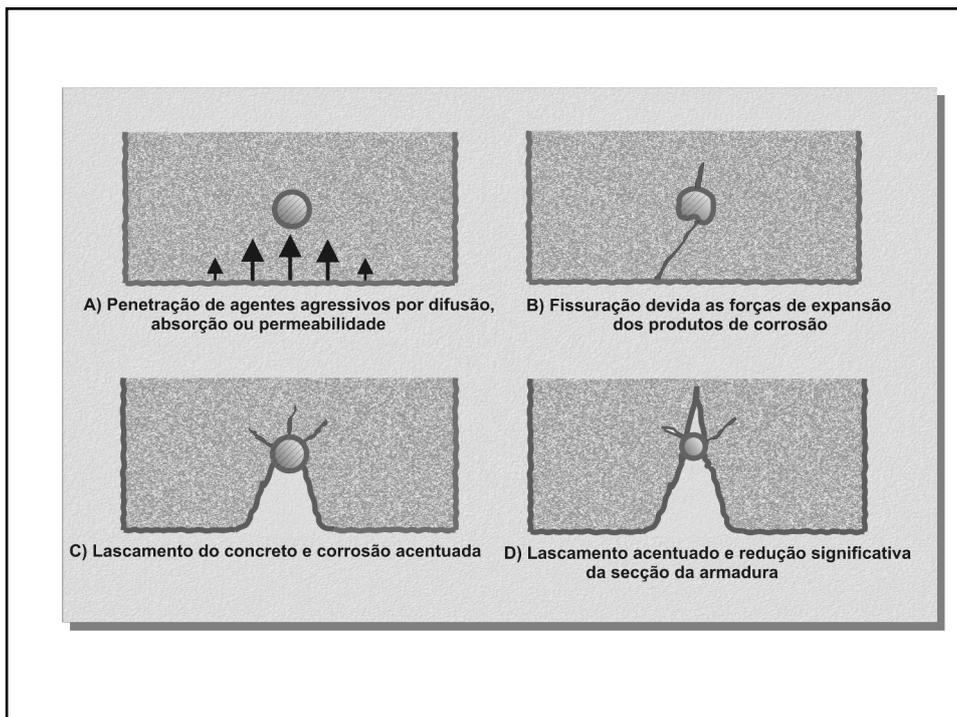
## 2. A obra executada em bom aspecto

- Parâmetros conhecidos /efetivos
- Período de iniciação
- Critério objetivo
- Estado limite de serviço

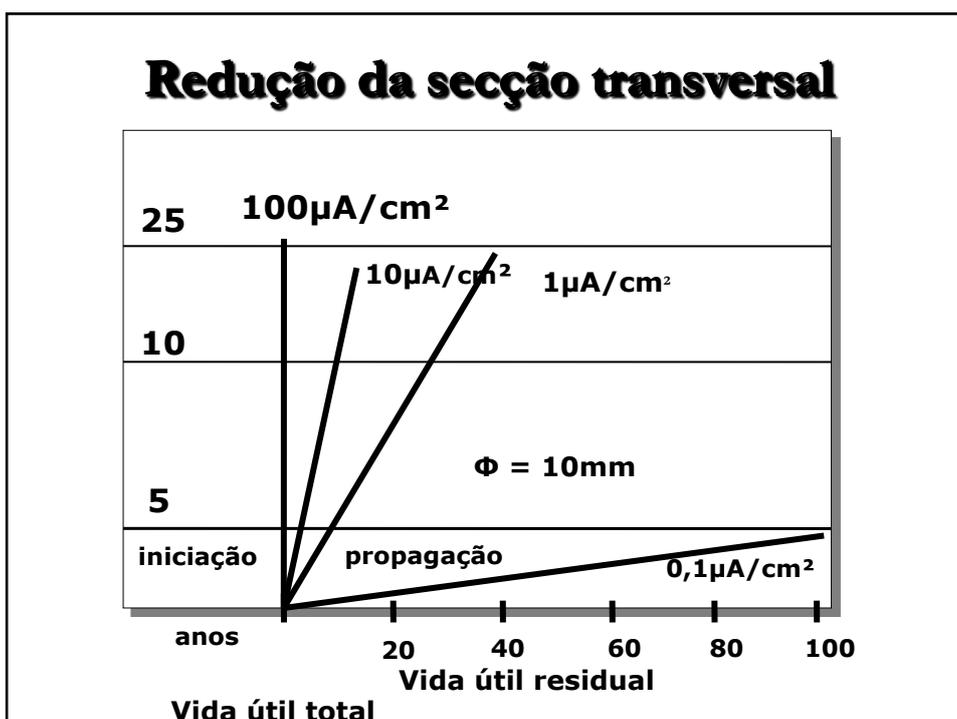
## 3. A obra deteriorada

- Parâmetros conhecidos?
- Período de propagação
- Critério objetivo?
- Estado limite de ruptura

70



71



72

# OBRA DETERIORADA



73



74

## RESULTADOS TÍPICOS

Característica		Unidade	Região corroída	Região não corroída
$f_c$		MPa	18	18,1
Massa específica		Kg/m <sup>3</sup>	2380	2380
Absorção d' água		%	6,0	5,9
Volume de vazios		%	11,6	11,8
Resistividade	Ambiente	$\Omega$ m	355	1152
	Saturado	$\Omega$ m	173	272
	Seco	$\Omega$ m	1840	4700
Cloretos		%	0,53	0,07

75

## PROCEDIMENTOS PARA DETECTAR PROCESSOS CORROSIVOS

COMMITTEE REPORT ACI 222 R - 85

- Pacometro      posição  
                         bitola  
                         cobrimento
- Medida do potencial elétrico ( ASTM C876)  
    < - 0,35 V → alta probabilidade de corrosão  
    > - 0,20 V → alta probabilidade de não corrosão  
    Entre - 0,20V e - 0,35 V → incerteza
- Teor de cloretos ( ASTM C114 )
- Resistividade

76