



PCC 2341
PCC USP Tecnologia do Concreto

Avaliação do Concreto em Estruturas Existentes

Equipe de Professores

- Antonio Figueiredo
- Paulo Helene
- Vanderley John
- Vahan Agopyan

Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

1

1



PCC USP

BIBLIOGRAFIA

**ISAIA, Geraldo C. Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações.
IBRACON, 2005**

- **Cap. 33 “Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com problemas de resistência, fissuras e deformações” *Enio Pazini Figueiredo. p. 985-1016***
- **Cap. 34 “Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com problemas de reação álcali-agregado” *Simão Prizskulnik. p. 1017-1070***
- **Cap. 35 “Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com problemas de corrosão de armaduras” *Oswaldo Cascudo. p. 1071-1108***
- **normas da ABNT**

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

2

2



PCC USP

ENSAIOS em ESTRUTURAS DE CONCRETO

>CONTROLE DA QUALIDADE DURANTE A EXECUÇÃO

$$f_{ck_{est}} < f_{ck}$$

>CONTROLE DA QUALIDADE EM SERVIÇO:

MUDANÇA DE UTILIZAÇÃO

COMPORTAMENTO INADEQUADO

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE RESIDUAL

Incêndio

Sobrecarga não prevista

Impactos

Deteriorações físico-químicas.

3


ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ESTRUTURAS DE CONCRETO



MÉTODO	CUSTO	VELOCIDADE DE OBTENÇÃO DE RESULTADO	DANO À ESTRUTURA	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO	APLICAÇÃO
MEDIDA DO COBRIMENTO E DE POSICIONAMENTO DA ARMADURA	BAIXO	RÁPIDA	NENHUM	IN LOCO	CAUSA E RISCO DE CORROSÃO
CONTEÚDO E PROFUNDIDADE DE ALCANCE DE CLORETO	BAIXO	MODERADA	PEQUENO	LABORATÓRIO	
POTENCIAL DE CORROSÃO	MODERADO	RÁPIDA	PEQUENO	IN LOCO	RISCO DE CORROSÃO
RESISTIVIDADE	MODERADO	RÁPIDA	PEQUENO/NENHUM	IN LOCO	
RESISTÊNCIA DE POLARIZAÇÃO	MODERADO/ALTO	RÁPIDA	PEQUENO	IN LOCO	VELOCIDADE DE CORROSÃO
IMPEDÂNCIA	ALTO	LENTA	PEQUENO	LABORATÓRIO	
INTENSIDADE GALVÂNICA	MODERADO/ALTO	RÁPIDA	PEQUENO	LABORATÓRIO	
TEOR DE UMIDADE	BAIXO	MODERADA/LENTA	PEQUENO	IN LOCO	CAUSA E RISCO DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO E CORROSÃO
ANÁLISE PETROGRÁFICA	ALTO	LENTA	MODERADO	IN LOCO	
RADIOGRÁFICOS	ALTO	LENTA	NENHUM	LABORATÓRIO	
ÁLCALI-SILICATO	ALTO	LENTA	MODERADO	LABORATÓRIO	

4

ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ESTRUTURAS DE CONCRETO



MÉTODO	CUSTO	VELOCIDADE DE OBTENÇÃO DE RESULTADO	DANO À ESTRUTURA	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO	APLICAÇÃO
ESCLEROMETRIA	BAIXO	RÁPIDA	NENHUM	IN LOCO	HOMOGENEIDADE/UNIFORMIDADE, ESTIMATIVA DA, DUREZA SUPERFICIAL
ULTRA-SOM	BAIXO	RÁPIDA	NENHUM	IN LOCO	UNIFORMIDADE/HOMOGENEIDADE/MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DINÂMICO/DEFEITOS NÃO VISÍVEIS
PROVA DE CARGA	ALTO	MODERADA	NENHUM/PEQUENO	IN LOCO	DEFORMAÇÕES
EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS	MODERADO	MODERADA	PEQUENO	IN LOCO	RESIST. CARAC. ESTIMADA À COMPRESSÃO/MÓDULO DEF. LONGITUDINAL/DIAGRAMA $\sigma \times \epsilon$ /RESISTÊNCIA À TRAÇÃO/COEFICIENTE DE POISSON
PERMEABILIDADE À ÁGUA E GASES	MODERADO	LENTA	MODERADO/PEQUENO	LABORATÓRIO/IN LOCO	CAUSA E RISCO DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO E DE CORROSÃO
ABSORÇÃO	MODERADO	LENTA	MODERADO/PEQUENO	LABORATÓRIO	
CONTEÚDO DE SULFATOS	BAIXO/MODERADO	MODERADA/LENTA	MODERADO/PEQUENO	LABORATÓRIO	
PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO	BAIXO	RÁPIDA	PEQUENO	IN LOCO	CAUSA E RISCO DE CORROSÃO

5



PCC USP

Sequência de Atividades para análise de Problemas Patológicos

1° → Inspeção Preliminar

2° → Inspeção Detalhada

3° → Diagnóstico da Situação

4° → Estudo de Alternativas

5° → Definição da conduta

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

6

6



PCC USP

Ferramentas básicas para análise de Problemas Patológicos



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

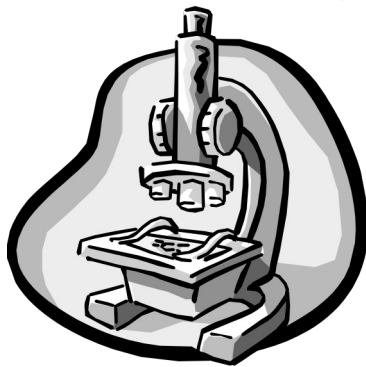
77

7



PCC USP

Investigação quanto à Resistência e homegeneidade



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

88

8



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Localização das armaduras

Equipamento:

pacômetro



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

9

9



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Localização das armaduras

Princípio:

Eletromagnetismo



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

10

10



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Localização das armaduras

Técnica auxiliar a muitas outras:

- Extração de testemunhos
- Resistividade elétrica
- Potencial de corrosão
- Velocidade de corrosão
- Exclerometria
- Ultra-som



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

11

11



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Extração de testemunhos:



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

12

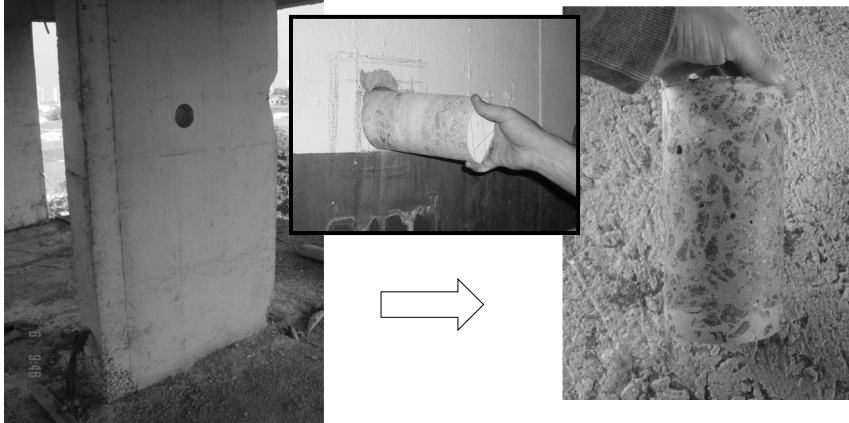
12



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Extração de testemunhos:



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

13

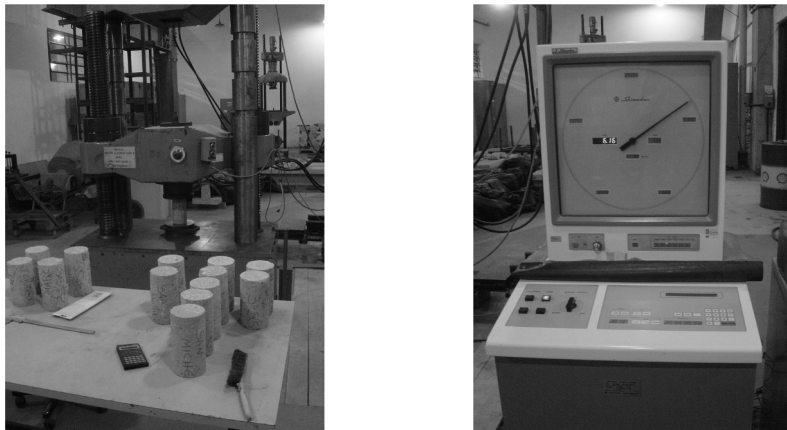
13



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Extração de testemunhos:



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

14

14



PCC USP

Extração de testemunhos – Vantagens

- **Confiabilidade**
 - Condições de cura e compactação reais
- **Ensaio típicos:**
 - Absorção de água;
 - Módulo de elasticidade;
 - Resistência à compressão;
 - Resistência à tração (compressão diametral)
 - Caracterização da microestrutura
 - Reconstituição de traço

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

15

15



PCC USP

Extração de testemunhos Desvantagens

- **Custo**
- **Tempo para a obtenção dos resultados**
- **Interferências do aço**
-
- **Ensaio destrutivo**

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

16

16

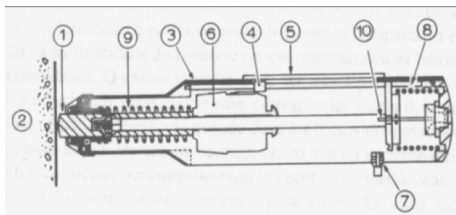


PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Esclerometria

- **Norma Brasileira:** NBR 7584/1995
- **Aplicação:** Verificação da dureza superficial, uniformidade e resistência à compressão do concreto
- **Equipamento mais utilizado:** martelo de Schmidt



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341



17

17



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Esclerometria

- **Princípio:** Esforço de compressão do pistão contra a superfície do concreto endurecido. Quando o pistão fica totalmente comprimido no interior do esclerômetro, ocorre a liberação da mola de impacto que projeta o pistão contra a superfície do concreto.



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

18

18



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Esclerometria

carborundum



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

19

19



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Esclerometria

- **Resultado:** Índice de reflexão

Pode ser relacionado por meio de uma curva empírica de correlação com a resistência do concreto da superfície.

Trata-se, portanto, de um ensaio que avalia a dureza superficial do concreto e a relaciona com sua resistência à compressão.

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

20

20



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Esclerometria

Pode ser empregada de forma qualitativa:

- Permite a comparação do concreto de diferentes regiões de uma estrutura.

EX: Um concretagem em que um caminhão betoneira entregou um concreto que não atingiu fck e não foi feito o mapeamentos de lançamento do concreto.

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

21

21



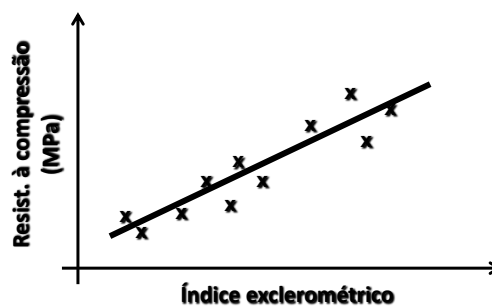
PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Esclerometria

Pode ser empregada de forma quantitativa:

- Estimativa da resistência à compressão do concreto a partir da correlação com a resistência de testemunhos extraídos.



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

22

22



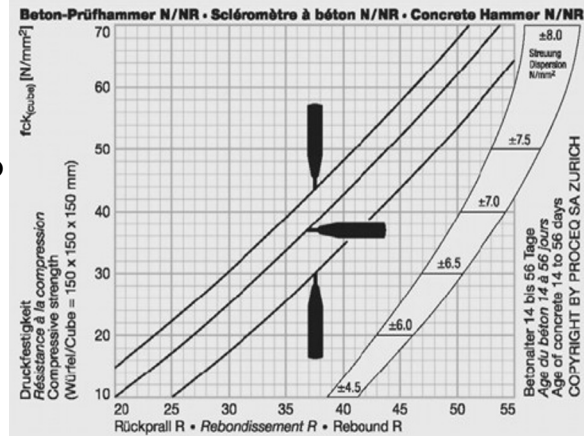
PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Esclerometria

Ábaco do equipamento

Crítica



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

23

23



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Esclerometria

Recomendações

- Evitar leituras a distância < 6 cm das arestas;
- Efetuar no mínimo 9 leituras em cada área;
- Evitar impacto sobre armadura e agregados;
- Não realizar mais de 1 impacto no mesmo ponto;
- Usar distância mínima entre impactos de 30 mm.

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

24

24



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Ultra-som

- **Norma Brasileira:** NBR-8802/1994
- **Aplicação:**
 - Verificação da uniformidade do concreto;
 - Detectar eventuais falhas internas;
 - Avaliar a profundidade de fissuras;
 - Determinar o módulo de deformação do concreto.

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

25

25



PCC USP

Velocidade de propagação de onda de ultra-som (NBR-8802/1994)

- Verificação da uniformidade do concreto;
- Detectar eventuais presença de falhas internas
 - Vazios de concretagem
 - Fissuras
- Avaliar a profundidade de fissuras;
- Medir o módulo elasticidade dinâmico

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

26

26



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Ultra-som

- **Princípio:** Transporte do som através do material
- Conhecendo-se à distância entre o *transdutor emissor* e o *transdutor receptor* da onda ultra-sônica e medindo-se o *tempo* decorrido para este percurso, calcula-se a velocidade de propagação da onda no concreto.

$$\text{Velocidade} = \frac{\text{Espaço}}{\text{Tempo}} \text{ m/s}$$

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

27

27



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Ultra-som

Velocidade de propagação está ligada a qualidade do concreto.

$$V_{\text{som-gases}} < V_{\text{som-líquidos}} < V_{\text{som-sólidos}}$$

Este fato ajuda a entender a forma de analisar os resultados de diferentes concretos

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

28

28



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Ultra-som

Funcionamento:

- Emissor e receptor na superfície com uma distância conhecida entre eles para assegurar o contato.
- Usar vaselina ou graxa para facilitar o contato.
- Fazer várias leituras até obter um valor mínimo, quando se considera que o contato é adequado.

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

29

29



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Ultra-som

calibração



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

30

30



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Ultra-som



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

31

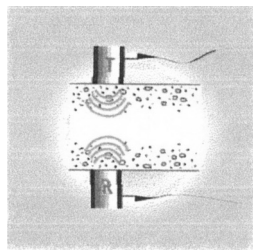
31



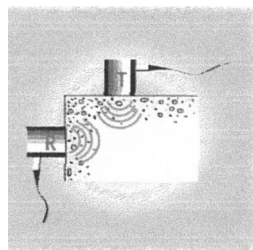
ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

PCC USP

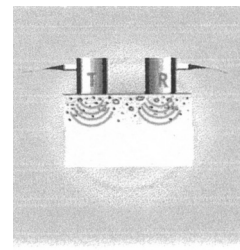
ULTRA-SOM



Direct Transmission



Semi direct Transmission



Indirect or Surface Transmission

Tipos de transmissão: transmissão direta, transmissão semi-direta e transmissão indireta.

32



ULTRA-SOM - RESULTADOS DO ENSAIO

- CÁLCULO DA VELOCIDADE $V = \frac{L}{T}$, em m/s
- CÁLCULO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO DINÂMICO
 $E = V^2 \times \gamma \times \frac{(1 + \eta) \times (1 - 2\eta)}{(1 - \eta)}$, em kgf/cm²

onde:

- V = velocidade em cm/s
- γ = densidade (kgf/cm³) $\approx 2,4 \times 10^{-3}$
- g = gravidade ≈ 1000 cm/s²
- η = Coef. Poisson $\approx 0,2$



ULTRA-SOM – CÁLCULO DA RESISTÊNCIA

- CÁNOVAS
 - ✓ $20 \text{ GPa} \leq E \leq 47 \text{ GPa}$
 - ✓ $f_c = 3,5 \times 10^{-9} * E^2 - 10^{-3}E + 200$
- GORISSE
 - ✓ $f_c \equiv (16,7)^{E/122500}$
- CURVAS DE CORRELAÇÃO (VxMPa)
 - ✓ fabricantes
 - ✓ estudos



PCC USP

ULTRA-SOM

- **FATORES QUE INFLUENCIAM NO ENSAIO**
 - ✓ UMIDADE ($\approx 8\%$)
 - ✓ ARMADURA TRANSVERSAL
 - ✓ ARMADURA LONGITUDINAL
 - ✓ FALHAS DE CONCRETAGEM
(QUEDA DE V DE 10 A 20%)
 - ✓ NATUREZA E CARACTERÍSTICA DO AGREGADO ($\approx 10\%$)

35



PCC USP

Quanto à Resistência e homogeneidade

Ultra-som

Velocidade da onda ultra-sônica (m/s)	Qualidade do concreto
$V > 4500$	Excelente
$3500 < V < 4500$	Ótimo
$3000 < V < 3500$	Bom
$2000 < V < 3000$	Regular
$V < 2000$	Ruim

36



PCC USP



Investigação quanto à Problemas de deformação

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

337

37



PCC USP

Quanto à Problemas de deformação

Provas de carga NBR 9607 - 1986

Consiste em colocar sobre a estrutura um parte dela cargas verticais iguais ou superiores às suportadas em condições normais com o objetivo de observar seu comportamento.

Usados após:

- Incêndios;
- Abalos sísmicos;
- Impactos;
- Edificações submetidas a ambientes mais agressivos do que previstos em projeto;
- Mudanças nas condições de serviço.

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

38

38



PCC USP

Quanto à Problemas de deformação

Provas de carga

Estáticas:

Quando não há variação periódica de cargas

Dinâmicas:

Quando produzem oscilações na estrutura
(pontes de grandes vãos)

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

39

39



PCC USP

Quanto à Problemas de deformação

Provas de carga

Pontes

- Caminhões
- Locomotivas
- Pedras
- Outras fontes de carregamentos disponíveis no local

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

40

40



PCC USP

Quanto à Problemas de deformação

Provas de carga

Edifícios

- Reservatório feitos de lona d'água
- Sacos de cimento ou areia



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

41

41



PCC USP

Quanto à Problemas de deformação

Provas de carga

- O carregamento não deve ocasionar qualquer dano de caráter irreversível à estrutura
- Acompanhar as deformações ocasionadas pela carga aplicada

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

42

42



PCC USP

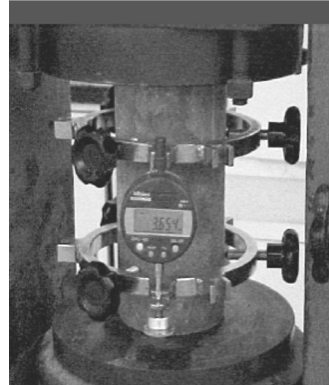
Quanto à Problemas de deformação

Módulo de elasticidade de corpos-de-prova extraídos

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

σ = tensão aplicada (MPa)

ε = deformação do corpo-de-prova



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

43

43



PCC USP

Quanto à Problemas de fissuras

Fissurômetro



Fissuras ativas

Fissuras passivas

É importante investigar a causa!!!

Direitos Reservados USP 2008

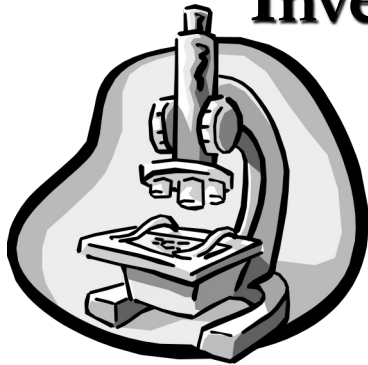
PCC 2341

44

44



PCC USP



Investigação quanto à corrosão de armaduras

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

455

45



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Despassivação por Carbonatação

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

Mais	Menos
alcalino	alcalino



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

46

46



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Despassivação por Carbonatação

- Fenolftaleína
- Timolftaleína

1% (água / álcool)



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

47

47



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Despassivação por Cloretos

- NBR 6118 (NB-1)
- p/ água de amassamento
- $\leq 500\text{mg/L}$



NBR não especifica teor máximo no concreto!!!

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

48

48



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Despassivação por Cloretos

- ACI, CEB, Internacionais
- $\leq 0,4\%$ concreto armado
- $\leq 0,05\%$ concreto protendido.

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

49

49



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Despassivação por Cloretos

Extração de amostras



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

50

50



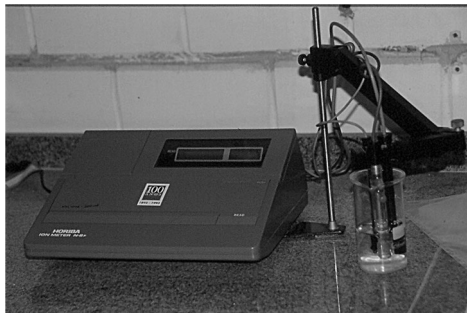
PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Despassivação por Cloretos

Determinação química

ASTM C 1152
Standard test method for acid-
soluble chloride in mortar and
concrete



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

51

51

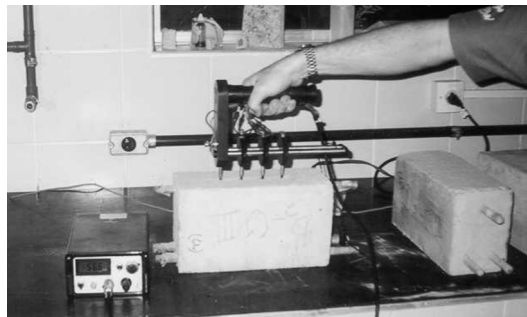


PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Resistividade elétrica

Equipamento dos quatro eletrodos Wenner



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

52

52



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Resistividade elétrica

Princípio:

O equipamento imprime uma corrente entre os eletrodos externos e conseqüentemente uma voltagem é captada nos eletrodos internos.



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

53

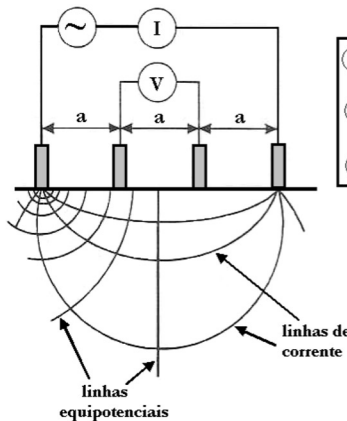
53



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Resistividade elétrica



- ~ Suprimento de corrente alternada
- I Amperímetro
- V Voltímetro

$$\rho = 2 \pi a V / I$$

Onde:

ρ é a resistividade (ohm x cm);
 a é o espaçamento entre eletrodos (cm);
 V é a voltagem (Volts);
 I é a corrente (Ampere).

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

54

54



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Resistividade elétrica

CEB 192

RESISTIVIDADE DO CONCRETO	INDICAÇÃO DE PROBABILIDADE DE CORROSÃO
$\rho > 20 \text{ kohm x cm}$	Desprezível
10 a 20 kohm x cm	Baixa
5 a 10 kohm x cm	Alta
$\rho < 5 \text{ kohm x cm}$	Muito alta

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

55

55



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Umidade:



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

56

56



PCC USP

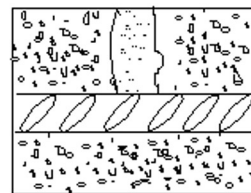
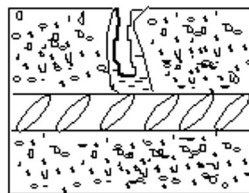
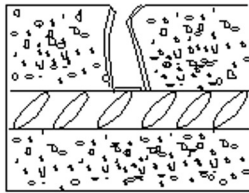
Quanto à corrosão de armaduras

Umidade: Influência na corrosão

BAIXA UR

ALTA UR

SATURADO



(A)

(B)

(C)

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

57

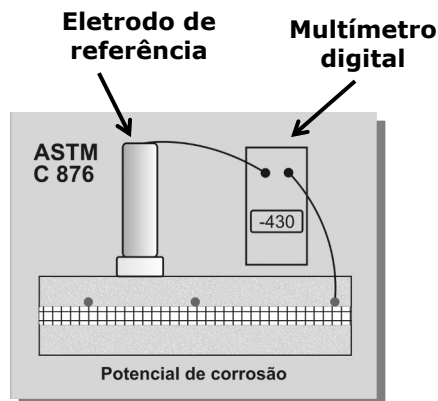
57



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Potencial de corrosão



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

58

58



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Potencial de corrosão

Aplicação:

- Localizar zonas com corrosão;
- Monitorar estruturas de concreto armado X tempo;
- Avaliar serviços de recuperação.



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

59

59



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Potencial de corrosão

ASTM C 876 (1992)

VALOR DE POTENCIAL DE CORROSÃO	PROBABILIDADE DE ESTAR OCORRENDO CORROSÃO
>95%	$E_{\text{corr}} < -350 \text{ mV}$
Aproximadamente 50%	$-200 \text{ mV} < E_{\text{corr}} < -350 \text{ mV}$
<5%	$E_{\text{corr}} > -200 \text{ mV}$

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

60

60



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Velocidade de corrosão

Gecor

Cinética



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

61

61



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Velocidade de corrosão

Vida útil



Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

62

62



PCC USP

Quanto à corrosão de armaduras

Velocidade de corrosão

Critério de avaliação (Andrade – Manual Geocisa)

VELOCIDADE DE CORROSÃO		NÍVEL DE CORROSÃO
$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	$\mu\text{m}/\text{ano}$	
< 0,1	< 1	Desprezível
0,1 – 0,5	1 – 5	Baixo
0,5 – 1	5 – 10	Moderado
> 1	> 10	Alto

Direitos Reservados USP 2008

PCC 2341

63