



CYTED
Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
Sub Programa XV

IREHABILITAR
Red Temática XV.F

CYTED

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE ESTRUCTURAS
COMITÉ PARAGUAYO DE PRESAS**

**Curso
PATOLOGÍA, INSPECCIÓN,
DIAGNÓSTICO Y REHABILITACIÓN
DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN
Martes 13 al Viernes 16 de Abril**

•1

Durabilidad y Vida Útil de las Estructuras de Hormigón

Eng. Paulo Helene

*Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON
MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo PCC.USP
Chairman of Red REHABILITAR CYTED*

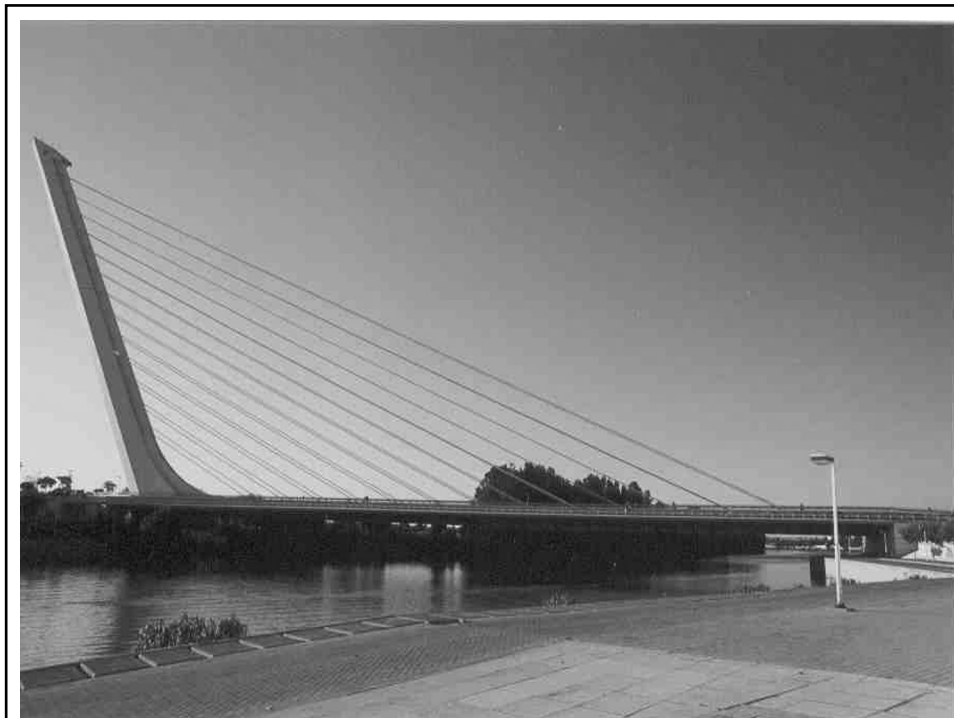
•2

IMPORTÂNCIA

Em países desenvolvidos estima-se que 20 a 40% de todos os recursos investidos anualmente na indústria da construção civil sejam aplicados no reparo e manutenção de estruturas já existentes.

“Patrimônio Construído”

•3



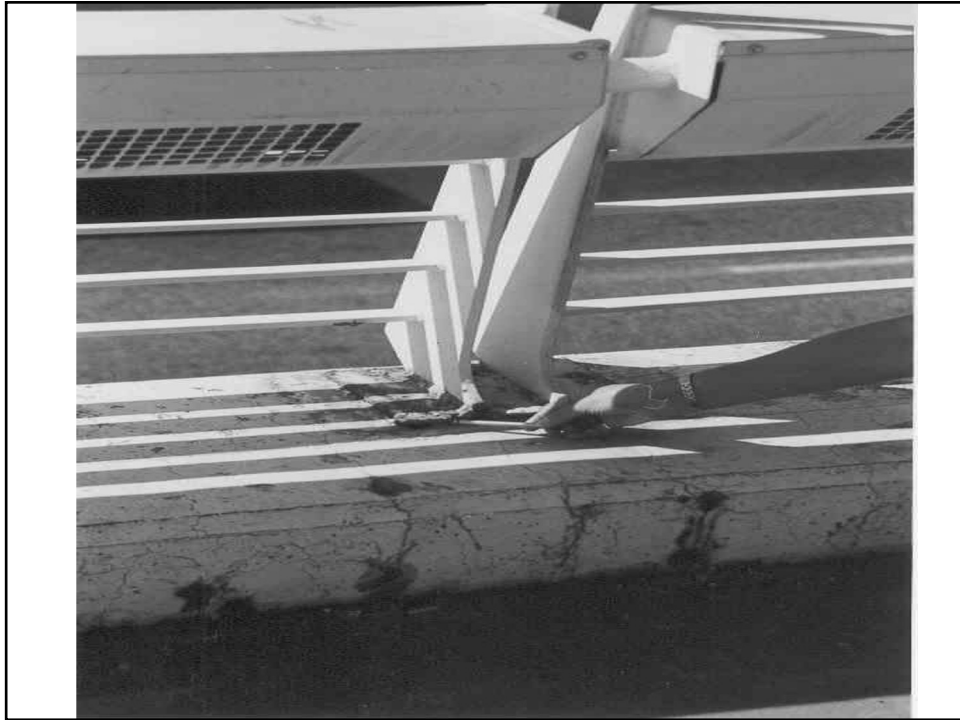
•4



•5



•6



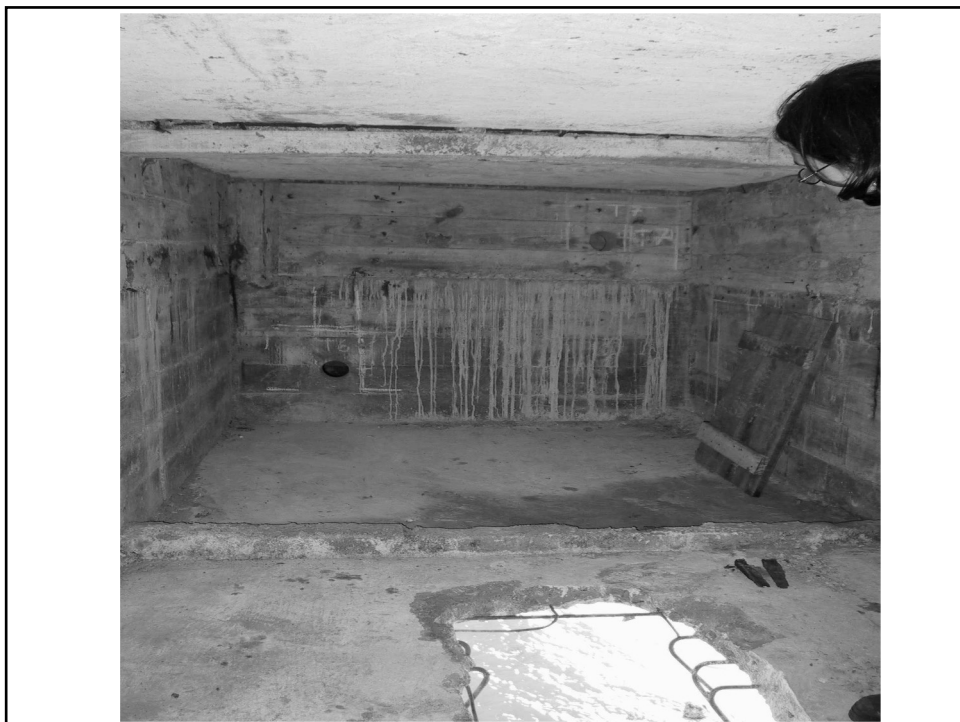
•7



•8



•9



•10



•11



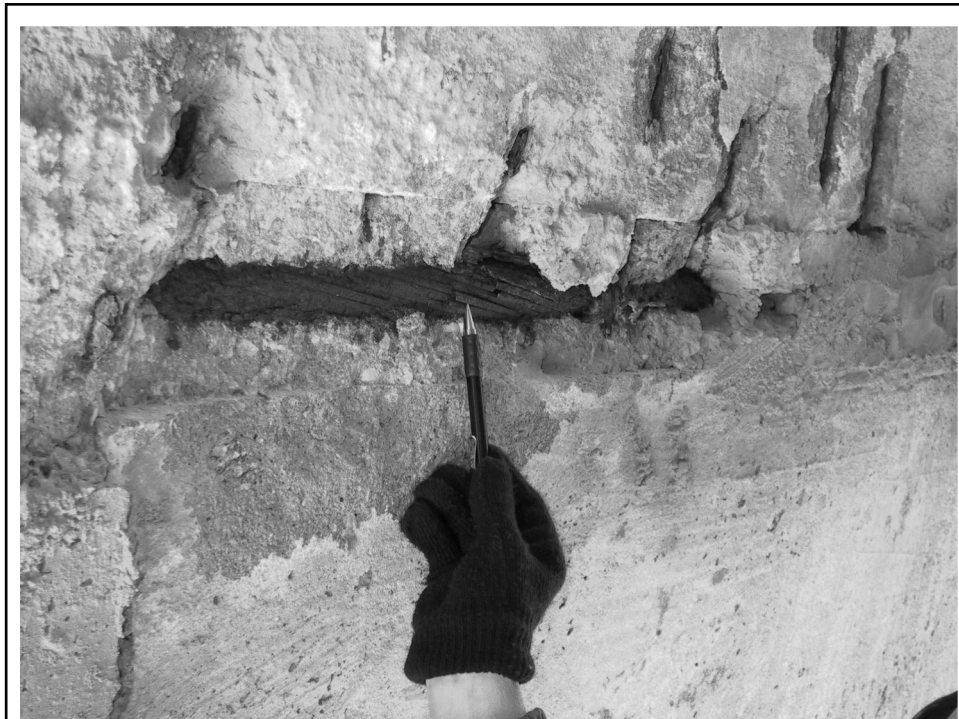
•12



•13



•14



•15



•16



•17



•18



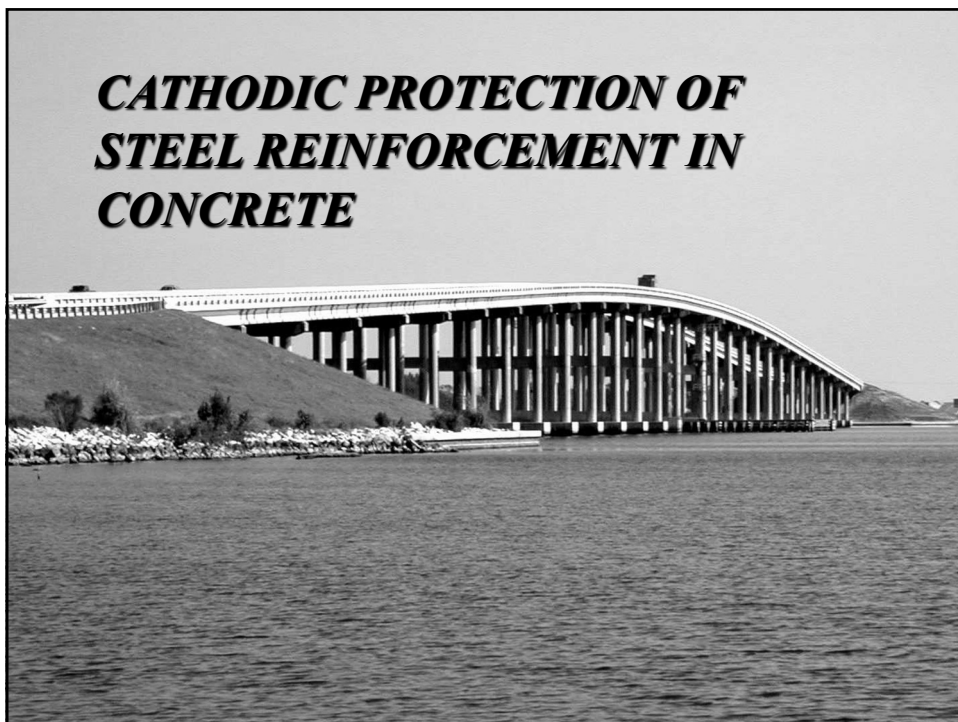
•19



•20



•21



•22

ARC-SPRAYED ZINC SYSTEM



- THE ZINC ANODE IS APPLIED OVER THE CONCRETE TO BE PROTECTED AND A CONNECTION TO THE STEEL IS ESTABLISHED.
- THE BOND STRENGTH BETWEEN THE ZINC AND THE CONCRETE IS MAINTAINED AT A MINIMUM OF 90 PSI.

•23

ARC-SPRAYED ZINC APPLICATION



- SPECIAL EQUIPMENT IS USED FOR THE APPLICATION OF THE ANODE.
- SURFACE PREPARATION INCLUDES THE REMOVAL OF UNSOUND CONCRETE AND SANDBLASTING.

•24

Durabilidade das Estruturas de Concreto

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

•25



ENVELHECIMENTO

- **Carbonatação**
- **Cloretos**
- **Fuligem**
- **Fungos**
- **Lixiviação**
- **Retração**
- **Sulfatos**
- **<< pH**
- **Corrosão**
- **Fissuração**
- **Destacamento**

•26



•27



•28



•29



•30



•31

diretrizes

**mecanismos de
envelhecimento**

Relativos ao concreto:

- **lixiviação**
- **expansão**
- **intemperismo**

Relativos à armadura:

- **carbonatação**
- **cloretos**

•32

Durabilidade das Estruturas de Concreto

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

•33



•34

•MARTES 13 de Marzo de 2003 ABC Madrid

- * En los últimos 26 años han fallecido 33 personas a consecuencia de derrumbes de inmuebles, cornisas, marquesinas y muros en Madrid.
- * El pasado siete de marzo, un indigente moría al derrumbar-se un edificio de cuatro plantas en la confluência de Gaztambide con Alberto Aquilera, en pleno centro de la capital y una docena de personas resultaron heridas de diversa consideración, una de ellas, rescatada tras permanecer cinco horas bajo los escombros.
- * El 22 de enero de 1999 murió una joven de 18 años ai caer sobre el coche en el que viajaba un trozo de la cornisa del teatro Calderón de Madrid,
- * El 23 de enero de 1997 murió un hombre de 42 años aplastado por toneladas de hormigón y acero cuando, debido a un corrimiento de tierras a causa de las fuertes lluvias, doce pantallas acústicas de la autovía M-30 cayeron sobre su vehículo, que quedó sepultado.
- * El 27 de enero de 1993, murieron seis personas al desplomarse la marquesina del cine Bilbao, situado en la calle Fuencarral, cuando hacían cola para comprar entradas.

•35

3-4 Sexta-Feira, 26 de fevereiro de 1993 coti

Dona-de-casa morre atingida por pedaço de reboco de prédio no Rio

Da Sucursal do Rio

A dona-de-casa Maria Borges Nascimento, 49, morreu ao ser atingida na cabeça por um pedaço de reboco do 12º andar de um prédio de apartamentos no centro da cidade, na av. Gomes Freire nº 740. A mulher morreu na hora, e teve a face desfigurada. O pedaço de reboco caiu, resvalou na marquise do prédio e acertou a dona-de-casa.

Maria estava voltando para casa com as compras feitas num supermercado da região. Ela morava sozinha com o filho, o estudante Nino André Borges Nascimento, 27. O síndico do prédio em que aconteceu o acidente, João Salvador, afirmou que a obra de recuperação da fachada já havia sido aprovada pelo condomínio, mas faltava orçar o serviço.

A Defesa Civil municipal interditou a área em torno do prédio, o que deve causar prejuízo aos estabelecimentos comerciais que funcionam no local. Segundo o diretor do Departamento de Engenharia do órgão municipal, Roberto Formiga Oberlaender, o local só será liberado após o condomínio contratar uma firma para retirar as partes da fachada que ofereçam risco de desabamento.

Na área térrea interditada funcionam uma padaria, uma distribuidora de bebidas. No prédio ao lado, em área também interditada, funcionam um pequeno hotel e um restaurante.



Corpo de Maria Borges coberto em frente ao prédio

Oberlaender afirmou que será dado ao condomínio um prazo para recuperação da fachada. Caso o prazo não seja cumprido, o condomínio terá que pagar multa. Muito abalado, o filho da dona-de-casa não quis comentar que providências legais tomará em relação ao caso.

Oberlaender disse que um dos problemas do centro são os prédios antigos em mau estado de conservação. Além da má conservação do reboco, as marquises velhas são problemas apontados pelo diretor da Defesa Civil.

Segundo ele, os proprietários são obrigados a realizar obras de recuperação, mas a fiscalização não cabe à Defesa Civil.

•36

VIDA ÚTIL

Período de tempo durante o qual a estrutura mantém certas características mínimas de segurança, estética, estabilidade e funcionalidade, sem necessidade de intervenção não prevista

•37

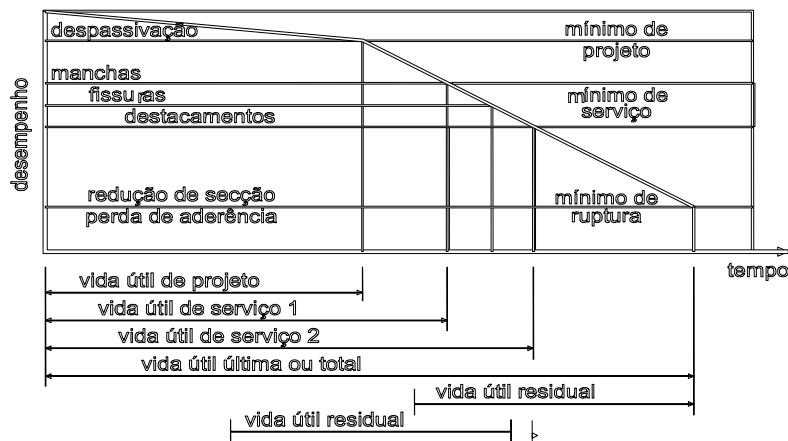
**BS 7543, 1992 Guide to
Durability of Buildings and Building Elements,
Products and Components**

Vida Útil	Tipo de estrutura
< 10 anos	temporárias
> 10 anos	substituíveis
>30 anos	ed.industriais e reformas
> 60 anos	ref. públicas e ed. novos
>120 anos	obras públicas e edificios

•38

comentários

Vida Útil



Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência o fenômeno de corrosão das armaduras

•39

Durabilidade das Estruturas de Concreto

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

•40

DETERIORAÇÃO e ENVELHECIMENTO das ESTRUTURAS de CONCRETO

➤ **do CONCRETO**

➤ **da ARMADURA**

•41

NORMA NBR 6118/2003

TABELA 1: Classes de agressividade ambiental.

Classe de Agressividade	Agressividade	Risco de Deterioração da Estrutura
I	Fraca	Insignificante
II	Média	Pequeno
III	Forte	Grande
IV	Muito forte	Elevado

•42

NORMA NBR 6118/2003

TABELA 2: Classes de agressividade ambiental em função das condições de exposição.

macro-clima	micro-clima			
	interior das edificações		exterior das edificações	
	seco	úmido	seco	úmido
rural	I	I	I	II
urbana	I	II	I	II
marinha	II	III	-	III
industrial	II	III	II	III
específico	II	III ou IV	III	III ou IV
respingo de maré	-	-	-	IV
submersa $\geq 3\text{m}$	-	-	-	I
solo	-	-	I	II, III, IV

•43

Durabilidade das Estruturas de Concreto

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

•44

Classificação da Resistência dos Concretos ao Meio Ambiente

- efêmeros $0,65 > a/c > 0,60$
- normais $0,60 > a/c > 0,55$
- resistentes $0,55 > a/c > 0,50$
- duráveis $0,50 > a/c > 0,45$
- excepcionais $a/c < 0,40$

•45

Correspondência entre agressividade do ambiente e durabilidade do concreto

Classe de agressividade	Classe recomendável de concreto
I fraca	efêmero, normal resistente e durável
II média	normal, resistente e durável
III forte	resistente e durável
IV muito forte	durável

•46

Durabilidade das Estruturas de Concreto

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

•47

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

- **Experiência**
- **Ensaio Acelerados**
- **Mecanismos de Transporte**
- **Estocásticos**

•48

durabilidade da estrutura de concreto regra dos 4C

- **Compactação ou adensamento**
- **Cura efetiva**
- **Composição ou traço do concreto**
- **Cobrimento**

•49

critérios generalidades

- a) prever drenagem eficiente;
- b) evitar formas arquitetônicas e estruturais inadequadas;
- c) garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- d) garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
- e) detalhar adequadamente as armaduras;
- f) controlar fissuração das peças;
- g) prever espessuras de sacrifício ou revestimentos protetores em regiões sob condições de exposição ambiental muito agressivas; e
- h) definir um plano de inspeção e manutenção preventiva.

•50

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

•51

National Association of Cement Users Philadelphia, USA, Feb.1910

STANDARD BUILDING REGULATIONS for the USE of REINFORCED CONCRETE

“the main reinforcement in column shall be protect by a minimum of two inches (> 5cm) of concrete cover, reinforcement in girders and beams by one and one-half inches (>3,8cm) and floor slabs by one inch (>2,5 cm).”

•52

ACI 318 / 2002

No solo $c > 76\text{mm}$

À intempérie

$c > 51\text{mm}$ p/ $d > 19\text{mm}$

$c > 38\text{mm}$ p/ $d < 16\text{mm}$

interiores

lajes/paredes

$c > 38\text{mm}$ p/ $d > 19\text{mm}$

$c > 19\text{mm}$ p/ $d < 16\text{mm}$

vigas/pilares

$c > 38\text{mm}$

•53

Associação Brasileira de Concreto

São Paulo, Brasil. Jul. 1931

REGULAMENTO para

as CONSTRUÇÕES em CONCRETO ARMADO

- ✓ Água não conter cloreto, sulfatos e matéria orgânica
- ✓ Cobrimento $\geq 1\text{cm}$ p/lajes interiores e $\geq 1.5\text{cm}$ p/exterior
- ✓ Cobrimento $\geq 1.5\text{cm}$ p/pilares e vigas $\geq 2\text{ cm}$ p/exterior

•54

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

- **Experiência**
- **Ensaaios Acelerados**
- **Mecanismos de Transporte**
- **Estocásticos**

•55

ASTM E 632, USA 1988

Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials

-  Ensaaios exploratorios
-  Ensaaios acelerados e de envelhecimento natural
-  Envelhecimento acelerado corresponde ao natural
-  Modelos matemáticos
-  Critérios de desempenho
-  Estimar a vida útil em condições de operação

•56

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

- **Experiência**
- **Ensaio Acelerados**
- **Mecanismos de Transporte**
- **Estocásticos**

•57

Carbonatação

$$t = \frac{e_{\text{CO}_2}^2}{k_{\text{CO}_2}^2} \quad (\text{ano})$$

- $e_{\text{CO}_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$
- $k_{\text{CO}_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

•58

Carbonatação

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

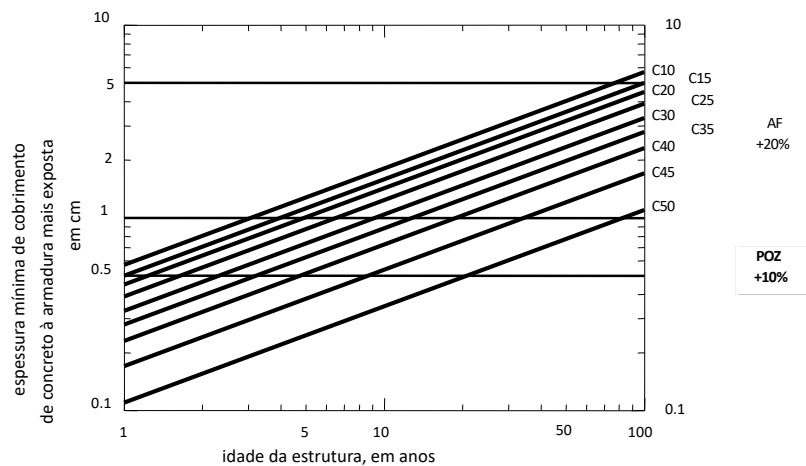
$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 350 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 38 \text{ anos}$$

•59

Carbonatação em faces externas dos componentes estruturais de referência concreto expostos à intempérie



•60

Cloretos - difusão

$$t = \frac{c_{Cl}^2}{4 \cdot z^2 \cdot D_{ef,Cl}^{1/2}} \text{ (anos)}$$

$$c_{Cl} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$$

$$D_{ef,Cl} \rightarrow 0,15 \text{ a } 2,7 \text{ cm}^2/\text{ano}$$

•61

Cloretos - difusão

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 4 \text{ anos}$$

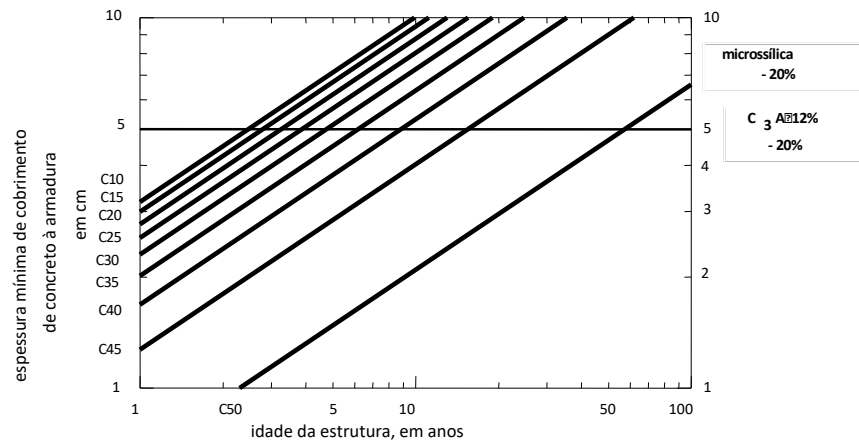
$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 23 \text{ anos}$$

•62

referência

Difusão de cloretos em faces externas
de componentes estruturais de concreto
expostos à zona de respingos de maré



•63

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

- Experiência
- Ensaio Acelerados
- Mecanismos de Transporte
- Estocásticos

•64

Métodos Estocásticos

- Estatístico comb. Determinístico
- teoria das falhas → distribuição de Weibull
- conceito de risco (probabilidade de falha x prejuízo causado)

•65

Métodos Estocásticos

probabilidade de falha:

$$\beta(t) = \frac{\mu(R,t) - \mu(S,t)}{\{\sigma^2(R,t) + \sigma^2(S,t)\}^{0,5}}$$

•66

Carbonatação

$$S \rightarrow c_{CO_2} = k_{CO_2} \cdot t^{0,5} \rightarrow v = 0,6$$

$$R \rightarrow c \rightarrow v = 0,2$$

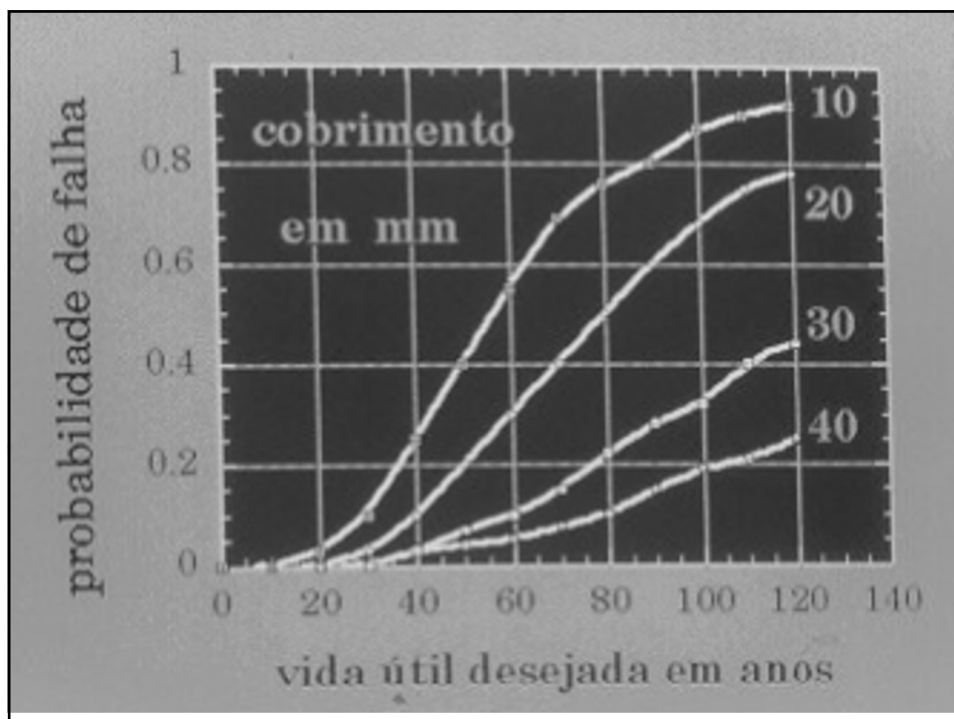
qual é o c p/ 50 anos c/ quantil de 10%?

$$\beta = 1,28$$

$$p/ 15 \text{ MPa} \rightarrow c = 55 \text{ mm}$$

$$p/ 40 \text{ MPa} \rightarrow c = 15 \text{ mm}$$

•67



•68

Sustanaible Development

“Increasing service life of concrete structures we can preserve the natural resources.

If we develop the design and construction ability we can get concrete structures with **500 years** service life. Doing this we can multiply by ten our productivity which means preserve the 90% of them”

Kumar Mehta

Reducing the Environmental Impact of Concrete
Concrete International. ACI, v.23, n. 10, Oct. 2001. p.61-66

•69

Projetar e construir obras duráveis é:

- **contribuir para a valorização profissional**
- **defender os reduzidos recursos de nossos países**

•70