

PCC 2527

Patologia e Terapia das Estruturas de Concreto

Introdução da Vida Útil no Projeto das Estruturas de Concreto

Paulo Helene

Diretor Vice-Presidente do IBRACON

Prof. Titular da Universidade de São Paulo

Coordenador Internacional da Rede REHABILITAR CYTED

Member fib (CEB-FIP) Model Code for Service Life

1

PROJETAR para DURABILIDADE

- 1. PERSPECTIVA HISTÓRICA**
- 2. DEFINIÇÃO de VIDA ÚTIL**
- 3. COMPARAÇÃO de NORMAS**
- 4. PROJETAR ESTRUTURAS DURÁVEIS**
- 5. CONCLUSÃO**

2

**SÉCULO XX
1900**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

3

**Primeiras Normas
sobre Estruturas de
Concreto**

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

4

Naquela época acreditava-se que...

**Os PROBLEMAS de CORROSÃO e
de DURABILIDADE ESTAVAM
RESOLVIDOS DEFINITIVAMENTE
pois o AÇO seria PROTEGIDO
“ETERNAMENTE”
pelo CONCRETO**

5

**Infelizmente
a história
demonstrou que
essa
expectativa
não é
verdadeira**



**O deterioro precoce da armadura se
apresenta frequentemente devido à elevada
instabilidade do aço frente a ambientes**

6

**“Como podem
ser mais
Duráveis?”**

7

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**

8



ENVELHECIMENTO

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

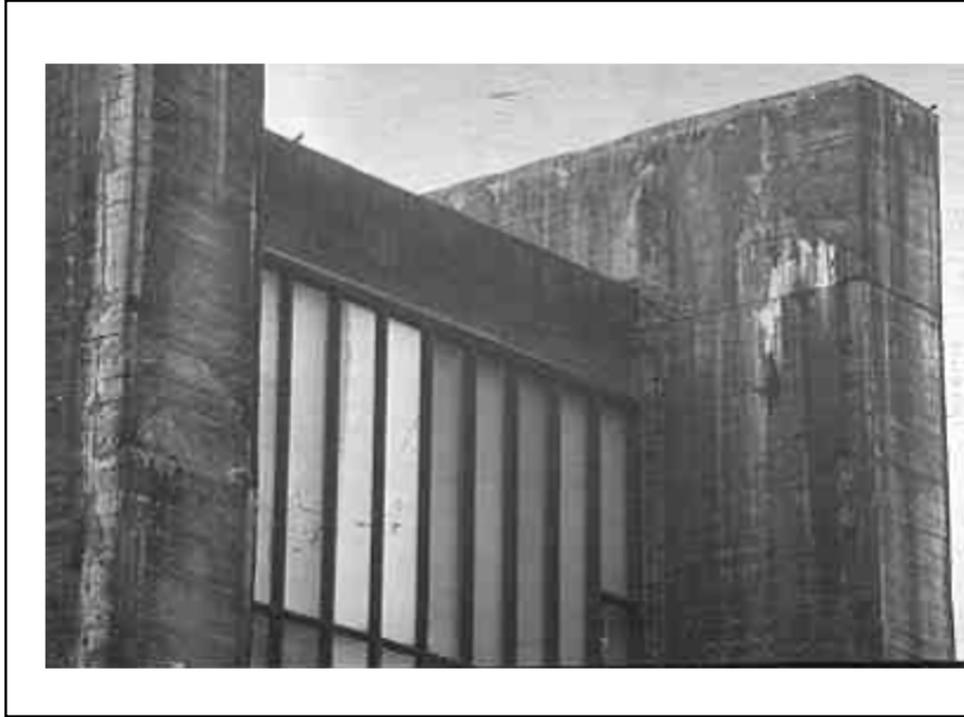
9



Lina Bo Bardi

MASP Museu de Arte São Paulo 1968

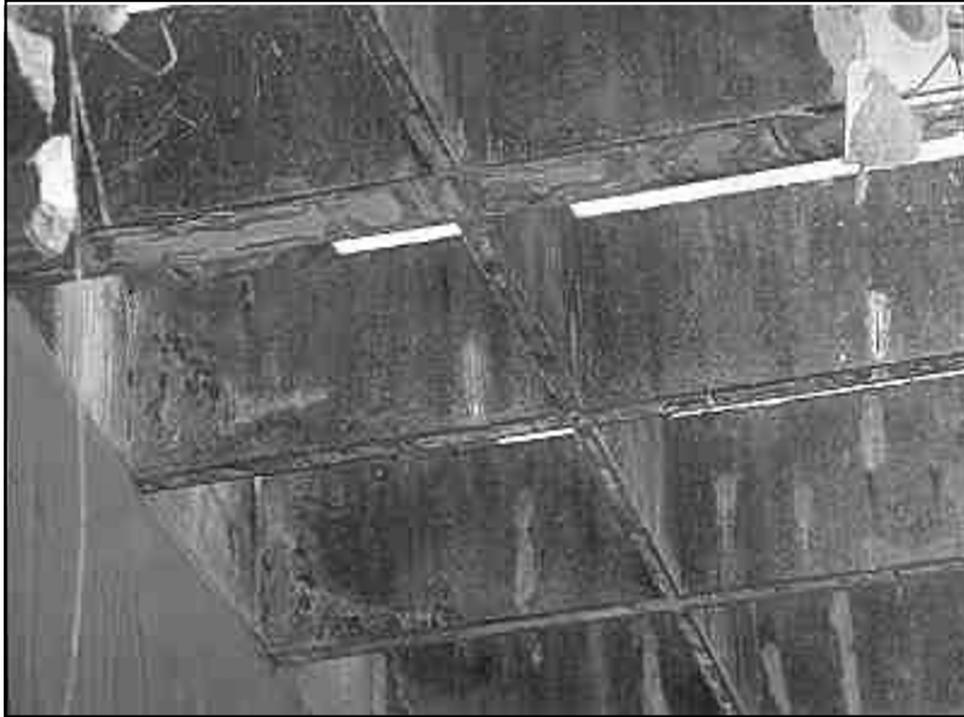
10



11



12



13

diretrizes

**mecanismos de
envelhecimento**

Relativos ao concreto:

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

Relativos à armadura:

- **carbonatação**
- **cloretos**

14

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**

15



16

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.

17

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

18

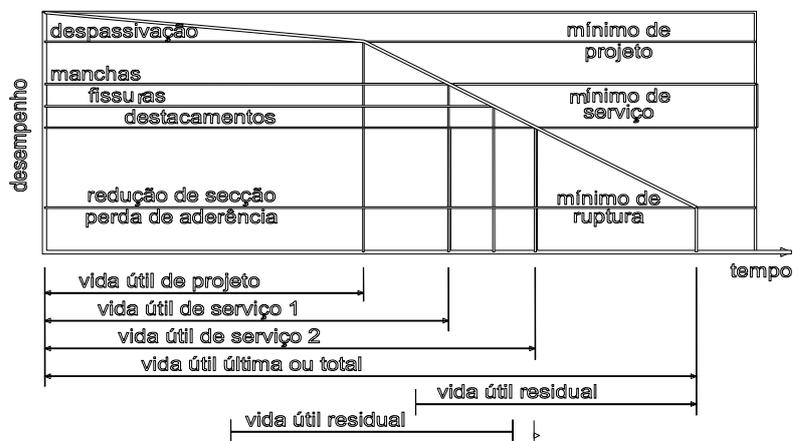
**BS 7543, 1992 Guide to
Durability of Buildings and Building Elements,
Products and Components**

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 edifícios

19

comentários

Vida Útil



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

20

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**

21

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

22

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 $\geq 3m$	-	-	-	I
solo	-	-	I	II, III, IV

23

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

24

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 $a/c < 0,40$

25

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

26

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**

27

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

28

durabilidade da estrutura de concreto regra dos 4C

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

29

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.

30

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

31

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).”

32

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

$c > 38\text{mm}$

33

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

34

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

35

ASTM E 632, USA 1988

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

- ✚ Ensaio exploratório
- ✚ Ensaio acelerado e de envelhecimento natural
- ✚ Envelhecimento acelerado corresponde ao natural
- ✚ Modelos matemáticos
- ✚ Critérios de desempenho
- ✚ Estimar a vida útil em condições de operação

36

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

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

37

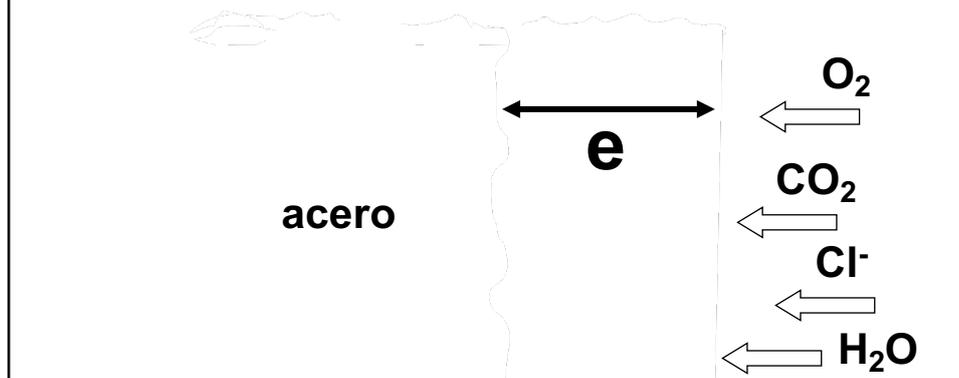
Ingresso de gases e fluidos

- **Permeabilidade**
- **Capilaridade**
- **Difusibilidade**
- **Migración**
- **Convección**

38

Generalização

$$e = k \cdot \sqrt{t} \quad (\text{cm})$$



39

Carbonatação

$$t = \frac{e_{CO_2}^2}{k_{CO_2}^2} \quad (\text{año})$$

➤ $e_{CO_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤ $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/año}^{1/2}$

40

Carbonatação

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

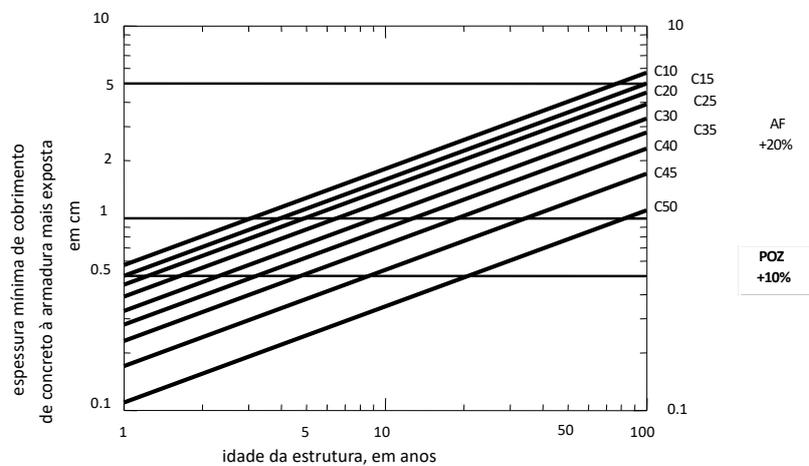
$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ años}$$

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

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

41

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



42



**Centro
Empresarial
Nações
Unidas**

Torre Norte

**São Paulo
1997**

Altura 179 m

$f_{ck} = 50\text{MPa}$

43

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e performance, precisa de Engemix. Concreto Engemix é produzido, armazenado e entregue sob controle de qualidade. O Engemix Nações Unidas, um dos 20 maiores edifícios do Brasil, foi construído com Engemix. O Engemix Nações Unidas possui uma altura de 179 metros e é considerado o maior edifício de concreto armado do Brasil.

O Engemix Nações Unidas é um edifício de concreto armado de 179 metros de altura, com 45 andares e uma área construída de 1.200.000 m². O Engemix Nações Unidas é um edifício de concreto armado de 179 metros de altura, com 45 andares e uma área construída de 1.200.000 m².

O Engemix Nações Unidas é um edifício de concreto armado de 179 metros de altura, com 45 andares e uma área construída de 1.200.000 m². O Engemix Nações Unidas é um edifício de concreto armado de 179 metros de altura, com 45 andares e uma área construída de 1.200.000 m².

Quem precisa de solução segura em concreto, não corre risco. Chama a Engemix.

CONCRETO ENGEMIX

44

Cloretos - difusão

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

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

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

45

Cloretos - difusão

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

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

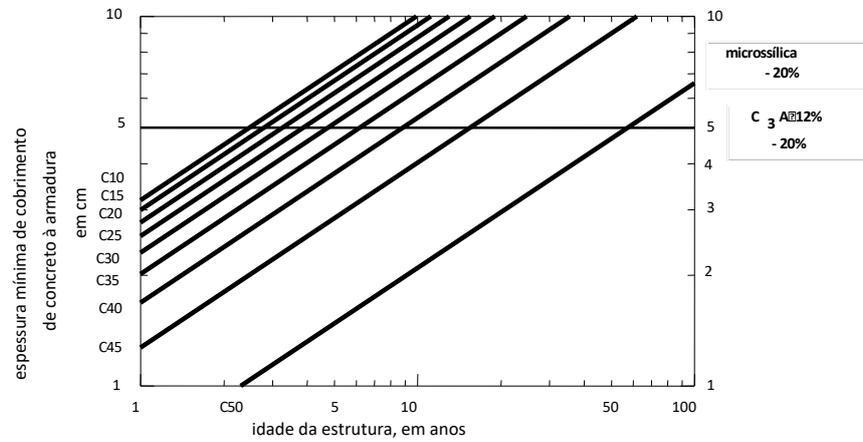
$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$$

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

46

referência

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



47

Cloretos

$$e_{cl} = 7,35 \frac{UR^{0,7} \cdot T^{0,2} \cdot Cl^{0,7}}{k_1 \cdot f_{ck}^1 \cdot k_2 \cdot A^{0,2}} \cdot \sqrt{t}$$

48

Cloretos

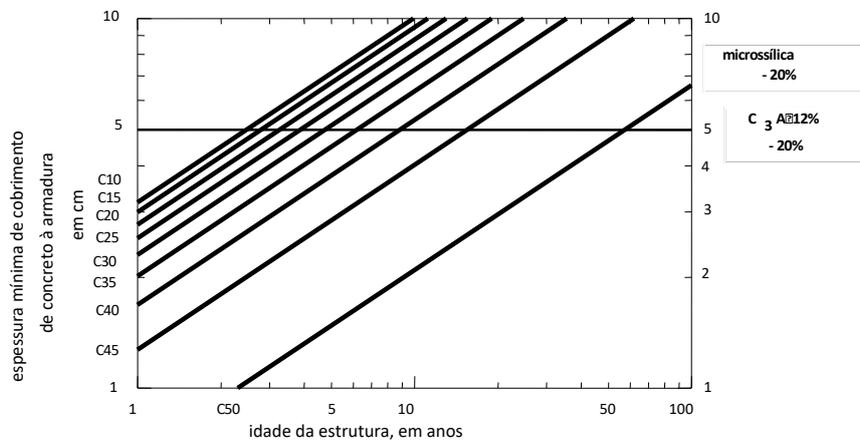
$$t = \frac{e_{Cl}^2 \cdot f_{ck}^2 \cdot A^{0,4}}{7,35^2 \cdot UR^{1,4} \cdot T^{0,2} \cdot Cl^{1,4}} = \frac{e_{Cl}^2}{k_{Cl}^2} \text{ (ano)}$$

$$k_{Cl} = \frac{7,35 \cdot UR^{0,7} \cdot T^{0,1} \cdot Cl^{0,7}}{f_{ck}^1 \cdot A^{0,2}} \text{ (cm/ano}^{1/2}\text{)}$$

49

referência

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



50

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

- Experiência
- Ensaios Acelerados
- Mecanismos de Transporte
- Estocásticos

51

VIDA DE UMA OBRA

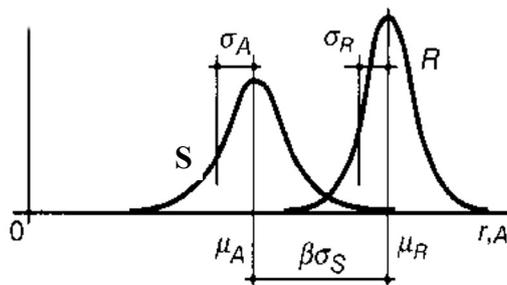
O QUE SIGNIFICA UMA VIDA ESTRUTURAL DE 50 ANOS?

NORMAS (MATERIAIS E AÇÕES) → PROJETO

SIGNIFICADO:

$$P(S > R) < 10^{-6}$$

$$\beta = 3.8$$



SE NÃO OCORRER DEGRADAÇÃO !!

52

**Equivalente à segurança
estrutural tem de ser
realizado um...**

PROJETO DE DURABILIDADE

53

Métodos Estocásticos

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

54

Métodos Estocásticos

probabilidade de falha:

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

55

Carbonatação

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

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

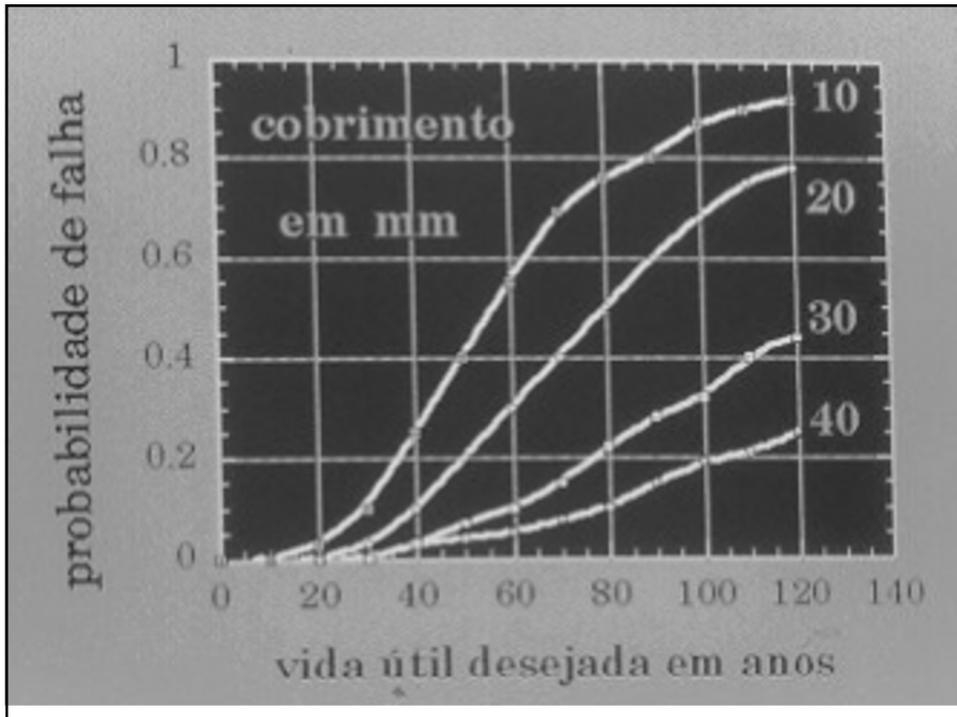
qual é o c p/ 50 anos c/ quantil de 10%?

$$\beta = 1,28$$

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

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

56



57

Vida útil
Service life

58

Vida Útil das Estruturas de Concreto Service Life of Concrete Structures NBR 6118 versus ACI 318	
Definição de vida útil	Service life
Mecanismos de envelhecimento	Aging
Agressividade ambiental	Aggressiveness
Critérios de projeto	Design criteria
Módulo de elasticidade	Modulus of elasticity
Fissuração	Cracking
Flechas	Deflection
Aplicação	Example

59

NBR 6118 definição da vida útil seção 6.2+comentários
<p>Vida útil de projeto é o período de tempo durante o qual são mantidas as características adotadas para projeto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção especificados no projeto.</p>

60

ACI 318
ACI365.1R

service life
ACI 365.1R Chapter 1

Service life is the period of time after concrete placement during which all the properties exceed the minimum acceptable values when routinely maintained.

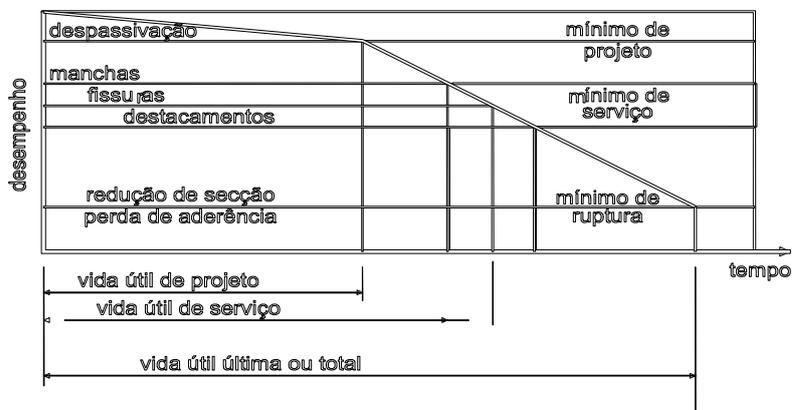
Three types of service life have been defined;

1. Technical service life is the time in service until a defined unacceptable state is reached, such as spalling of concrete;
2. Functional service life is the time in service until the structure needs change in functional requirements;
3. Economic service life is the time in service until replacement of the structure (or part of it) is economically more advantageous than keeping it in service.

61

NBR 6118

ACI 318



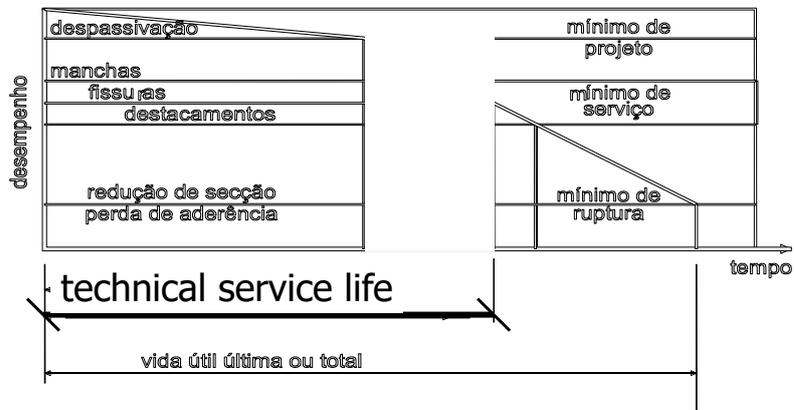
$t \geq ???$ anos

62

NBR 6118

ACI 318
ACI 365-1R

6 years



$t \geq ???$ years

63

Envelhecimento

Aging

64

NBR 6118

**envelhecimento
secção 6.3**

Relativos ao concreto

- **lixiviação** (ácidos, poluição, chuvas)
- **expansão** (álcali-agregado, sulfatos, óxidos)
- **contaminantes** (pirita, óxidos ferrosos)

Relativos à armadura

- **carbonatação**
- **cloretos**

65

ACI 318

aging
chapter 4 Durability Requirements

Related to concrete

- **sulfate**
- **freezing and thawing**

Related to reinforcement

- **chlorides**

66

NBR 6118

1. Ácidos
2. Poluição
3. Chuvas ácidas
4. Sulfatos
5. Álcali-agregado
6. Óxidos
7. Pirita
8. Oxidos ferrosos
9. Carbonatação
10. Cloretos

ACI 318

1. Freezing
2. Sulfates
3. Chlorides

67

Classes de Agressividade ***Aggressiveness***

68

Norma		macro clima			
		Classe de Agressividade*			
		<i>Fraca</i>	<i>Moderada</i>	<i>Forte</i>	<i>Muito forte</i>
		I	II	III	IV
NBR 6118		Rural / Submerso	Urbana	Marinha / Industrial	Industrial / Respingos de Maré
micro clima		ambiente externo úmido	ambiente interno seco	ambiente interno seco	ambiente interno seco

69

ACI 318		aggressiveness	
		Chapter 4	
SPECIAL EXPOSURE CONDITIONS			
Exposure Condition			
concrete intended to have low permeability when exposed to water			
freezing and thawing or deicing chemicals			
corrosion protection of reinforcement – deicing chemicals, salt, salt water, brackish water, seawater or spray from these sources			
sulfate exposure			

70

Concreto

Concrete

71

NBR 6118

**critérios de projeto
concreto
seção 7.4**

Tabela 7.1

Concreto	Classe de agressividade			
	I	II	III	IV
Relação a/c	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
Classe de Concreto	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$

72

ACI 318

design criteria concrete

Table 4.2.2 Requirements for Special Exposure Conditions

Exposure Condition	Maximum w/c	Minimum f'_c (MPa)
Concrete intended to have low permeability when exposed to water	0,50	28
freezing and thawing or deicing chemicals	0.45	31
corrosion protection of reinforcement – deicing chemicals, salt, salt water, brackish water, seawater or spray from these sources	0.50	35

73

Cobrimento Concrete cover

74

NBR 6118**critérios de projeto
cobrimento
seção 7.4****Tabela 7.2**

Elemento	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
	Cobrimento nominal (mm)			
Laje	20	25	35	45
Viga/Pilar	25	30	40	50

75

ACI 318**design criteria
concrete cover
sections 7.7.1, 7.7.5**

Member	Environmental conditions		
	Not exposed to earth or weather	Exposed to earth or weather	Severe environments
	Nominal concrete cover (mm)		
Slabs	20	40	50
Beams Columns	40	50	60

76

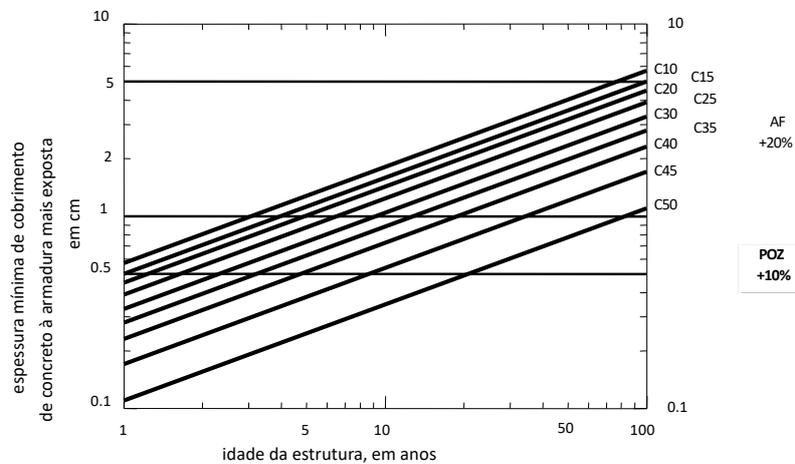
Parâmetros de Durabilidade para Resistir “Splash Zone”

a/cm W/Cm	kg / kg	NBR 6118 ≤ 0,45	ACI 318 ≤ 0,50
Consumo cimento Cement content	kg / m ³	no	no
f _{ck} f' _c	MPa	≥ 40	≥ 35
Cobrimento Concrete cover	mm	laje 45 viga/pilar 50	laje 50 viga/pilar 60
Cloretos Chlorides	kg / kg _c	no	0,15%

77

comentários

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



78

Fissuração

Cracking

79

NBR 6118

**critérios de projeto
abertura de fissura
seção 7.6+13.4.2**

Tabela 13.3

Classe de Agressividade Ambiental	I	II	III	IV
Abertura máxima w_k (mm)	0,4	0,3	0,3	0,2

80

ACI 318

design criteria maximum crack width

O código não apresenta nenhuma informação a respeito do cálculo das aberturas estimadas de fissuras

81

NBR 6118

critérios de projeto estimativa da abertura de fissura secção 17.3.3.2

$$w_k = \min(w_1, w_2)$$

$$w_1 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

$$w_2 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

A_{cri} é a área da região de envolvimento protegida pela barra ϕ_i

E_{si} é o módulo de elasticidade do aço da barra considerada, de diâmetro ϕ_i

ϕ_i é o diâmetro da barra que protege a região de envolvimento considerada

ρ_{ri} é a taxa de armadura passiva ou ativa aderente em relação à área da região de envolvimento (A_{cri})

σ_{si} é a tensão de tração no centro de gravidade da armadura considerada, calculada no estágio II

82

NBR 6118

critérios de projeto estimativa da abertura de fissura secção 17.3.3.2

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

8.2.5 resistência à tração

- Para tensões baixas no aço $\sigma_{si} < 130$ MPa w_k é diretamente proporcional a ϕ e ao quadrado de σ_{si} e inversamente proporcional a f_{ck}
- Para tensões altas no aço $\sigma_{si} > 130$ MPa w_k é diretamente proporcional a ϕ , σ_{si} e distância entre barras

83

ACI 318

design criteria cracking control section 10.6.4

Equation 10.6.4 results on acceptable crack widths

$$s = \frac{95000}{f_s} - 2.5C_c$$

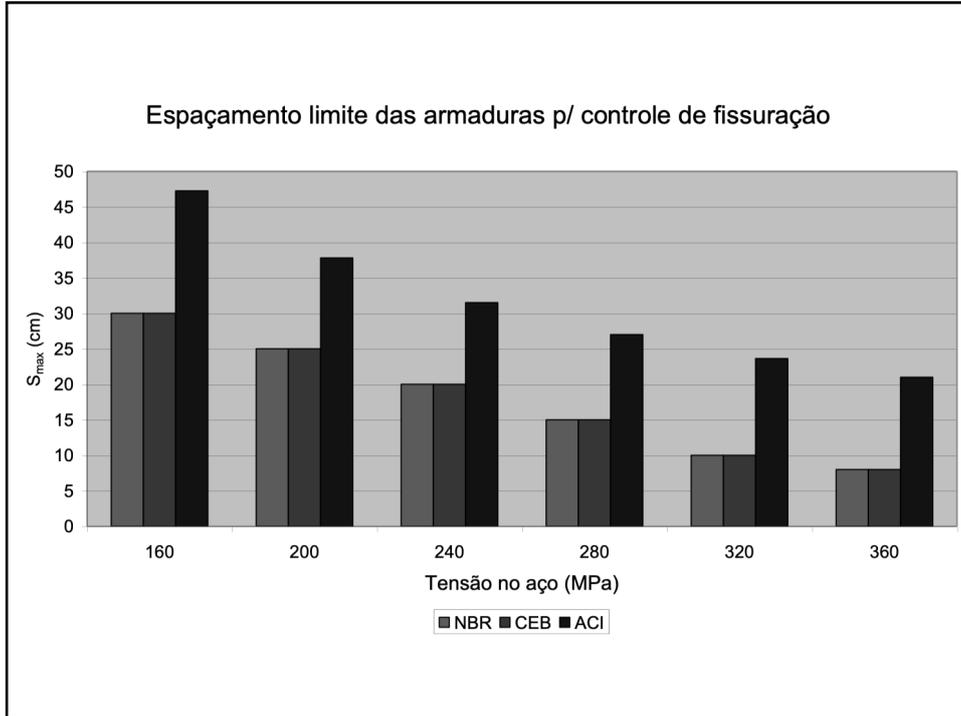
S=spacing of the reinforcement closest to a surface in tension (mm)

fs=steel stress (MPa)

Cc=concrete cover (mm)

Obs.: very aggressive environments shall need special considerations

84



85

Flechas máximas
Deflections

86

Flechas

- **NBR 6118/03:**
 - Caso geral: $l/250$
 - Caso especial: $l/350$

- **ACI 318-02:**
 - Caso geral: $l/240$
 - Caso específico: $l/480$
 - Limitada indiretamente pela relação vão/altura do elemento estrutural

87

ACI 318

Relação vão/altura

TABLE 9.5(a)—MINIMUM THICKNESS OF NONPRESTRESSED BEAMS OR ONE-WAY SLABS UNLESS DEFLECTIONS ARE COMPUTED

Member	Minimum thickness, h			
	Simply supported	One end continuous	Both ends continuous	Cantilever
	Members not supporting or attached to partitions or other construction likely to be damaged by large deflections.			
Solid one-way slabs	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Beams or ribbed one-way slabs	$l/16$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

* Span length l is in millimeters.
 Values given shall be used directly for members with normal weight concrete ($w_c = 2300 \text{ kg/m}^3$) and Grade 420 reinforcement. For other conditions, the values shall be modified as follows:
 a) For structural lightweight concrete having unit weight in the range 1500-2000 kg/m^3 , the values shall be multiplied by $(1.65 - 0.0003 w_c)$ but not less than 1.09, where w_c is the unit weight in kg/m^3 .
 b) For f_y other than 420 MPa, the values shall be multiplied by $(0.4 + f_y/700)$.

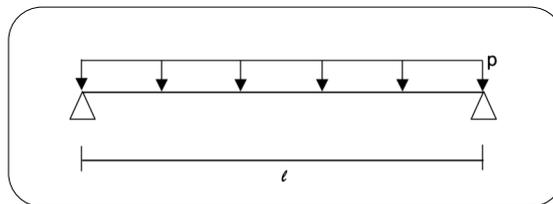
88

Aplicação

Comparação de duas vigas de concreto armado situadas num ambiente marinho, correspondente à Classe de Agressividade Ambiental 4 da NBR-6118, e à região com risco de corrosão segundo o ACI 318-02.

89

Cenário



- Trata-se de uma viga simplesmente apoiada situada em ambiente marinho submetida ao seguinte carregamento:
 - Carregamento permanente: 5 kN/m (DL)
 - Carregamento acidental: 4,5 kN/m (LL)

90

Parâmetros iniciais

$b = 25,4 \text{ cm}$ (adotado)

Momento = 173 kN.m

$h = ???$

Armadura = ????

Aço CA-50 para NBR 6118

Aço CA-42 para ACI 318

91

Exigência das Normas

ACI 318 – 02

Para splash zone

- Cobrimento*:
- 60 mm R.7.7.5
- Classe de concreto:
 $f'_c = 35 \text{ MPa}$ 4.2.2

NBR 6118 – 03

Para maré

- Cobrimento:
- 50 mm
- Classe de concreto:
 $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

92

Exigência das Normas

ACI 318 – 02

$$(f'_c):$$

$$f_{cr} = f'_c + 1,34s$$

$$f_{cr} = f'_c + 2,33s - 3.45$$

(5.3.2.1)

Módulo de elasticidade

$$E = 4700 * f'_c{}^{1/2}$$

$$E = 27,8 \text{ GPa}$$

NBR 6118 – 03

$$(f_{ck}):$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,65s$$

(NBR-12655 5.5.3.2.1)

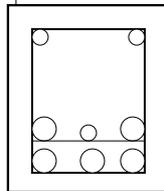
Módulo de elasticidade

$$E = 4760 * f_{ck}{}^{1/2}$$

$$E = 26,1 \text{ GPa}$$

93

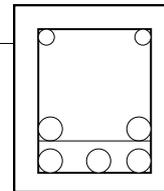
Dimensionamento



Aço = + 12%

C1 = 0%

C2 = - 10%



ACI 318-02

h = 36 cm

armadura

5 ϕ 20mm + 1 ϕ 16mm

Satisfaz flecha / fluência

NBR 6118/04

h = 36 cm

h = 40 cm (dutilidade)

armadura

5 ϕ 20mm

Satisfaz flecha / fluência

94

Dimensionamento Vida Útil

35 MPa



6 cm

ACI 318

40 MPa



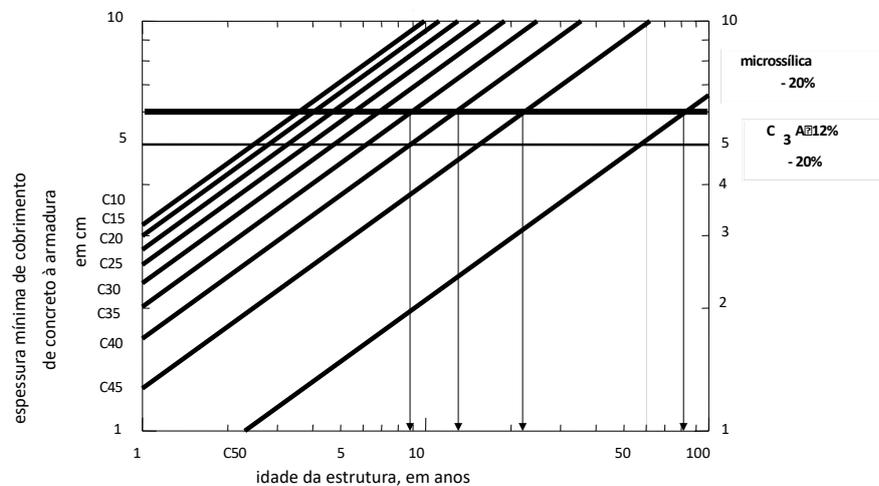
5 cm

NBR 6118

95

comentários

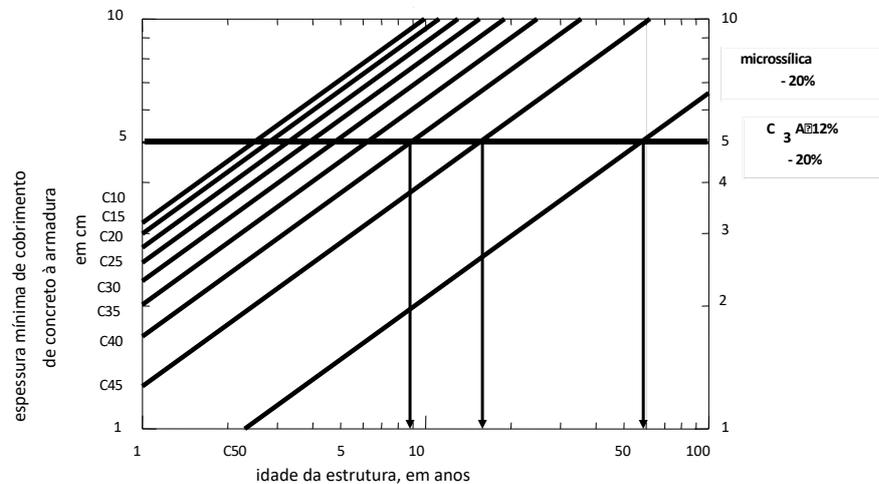
Difusão de cloretos em faces externas
de componentes estruturais de concreto
expostos à zona de respingos de maré



96

comentários

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



97

Sustainable 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

98

CONCLUINDO
projetar e construir obras
duráveis é:

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