

Durabilidade das Estruturas de Concreto



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Carlos Brites
Jéssika Pacheco
Paulo Helene

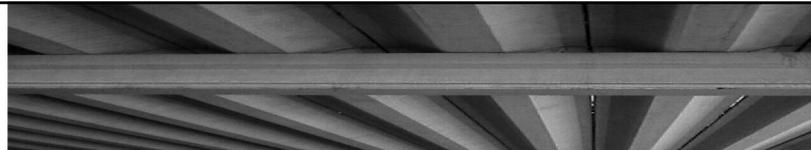
Diretor PhD Engenharia
Conselheiro Permanente IBRACON
Presidente ALCONPAT Internacional
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures

Auditório Sede Rio Verde

18 de maio de 2012

Limeira. São Paulo.SP

1



Importância

Conhecimento do comportamento do concreto:

- *auxiliar* na previsão do comportamento do concreto a longo prazo: ***projeto estrutural***;
- prevenir manifestações patológicas precoces nas estruturas;
- “contribuir” para a economia, sustentabilidade e durabilidade das estruturas

2

DURABILIDADE

- Capacidade do concreto resistir às *condições de serviço previstas em projeto*.
- Capacidade de se manter íntegro, não se deteriorar ao longo do tempo.

Logo, o concreto é considerado durável quando conserva sua forma original, qualidade e capacidade de utilização, estando exposto às condições de serviço.....

Portanto, abordar durabilidade em condições não explícitas de exposição... merece cautela.

Descreve-se os mecanismos de deterioração e as medidas preventivas em projetos estruturais

3

Durabilidade

É uma das Necessidades do Usuário
tal como definido no conceito de
desempenho pela ISO 6241
“*Performance standards in building -
- Principles for their preparation and
factors to be considered*”

Na década de 70...

4

Durabilidade

É o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, operação e manutenção. *Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura ou ao concreto.*

Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes *funções de durabilidade versus tempo.*

5

Durabilidade “NBR 6118”

Capacidade de uma estrutura, componente, produto ou construção de manter sua aptidão funcional para aquilo que haja sido projetada ou construída, durante um tempo mínimo especificado.

6

Durabilidade “NBR 6118”

Segundo este conceito, as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

7

DURABILIDADE



8

DURABILIDADE



9

IMPORTÂNCIA

Segundo a NBR 6118/2003, ao se projetar uma estrutura de concreto, a sua durabilidade é propriedade fundamental e deve ser considerada de forma simultânea aos aspectos de segurança.

Portanto, as condições de serviço precisam ser previamente analisadas e definidas

10

IMPORTÂNCIA

Gastos com manutenção e reparo em países desenvolvidos (UEDA, TAKEWAKA, 2007).

Pais	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanhã	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de Pounds (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

Observação: Todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de 2002.

11

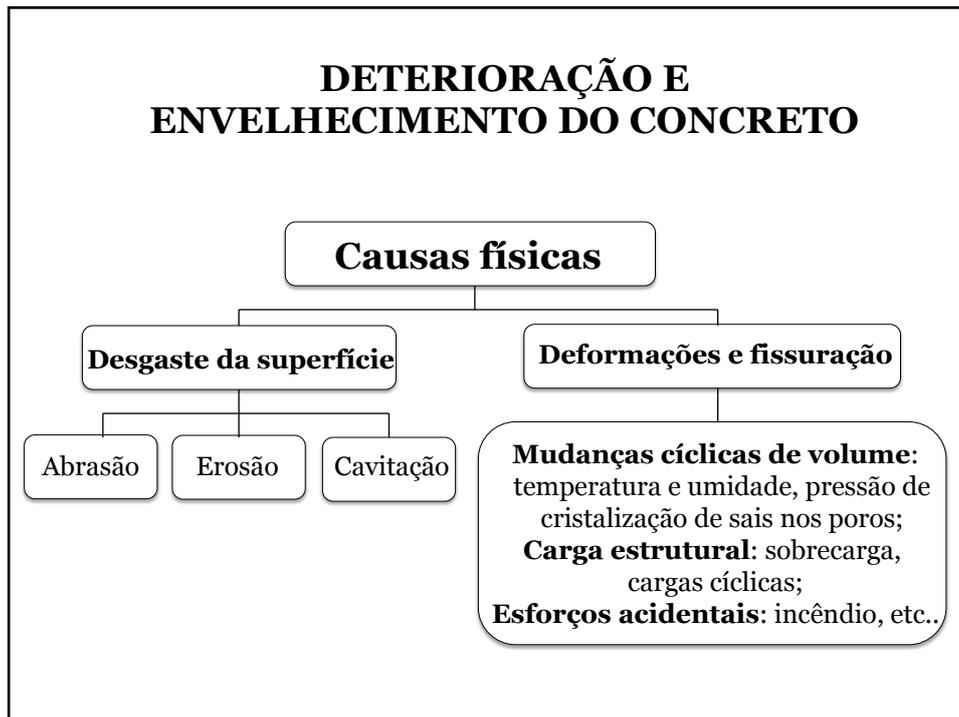
DETERIORAÇÃO E ENVELHECIMENTO DO CONCRETO

Ocorre através de:

- Processos físicos
- Processos químicos

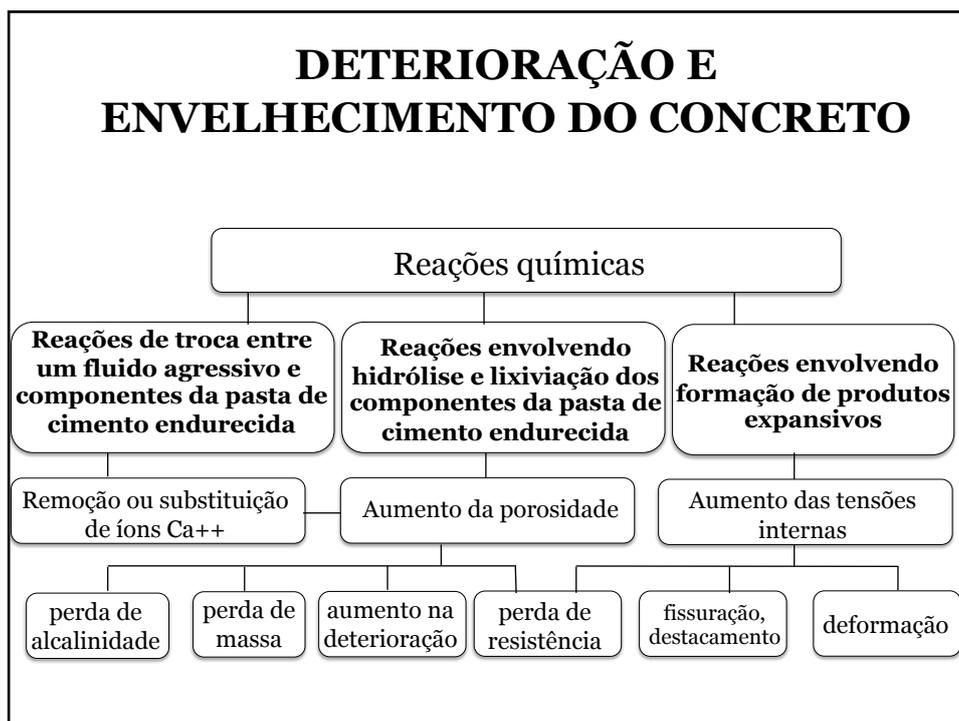
12

DETERIORAÇÃO E ENVELHECIMENTO DO CONCRETO



13

DETERIORAÇÃO E ENVELHECIMENTO DO CONCRETO



14

Modelo clássico de deterioração e envelhecimento do concreto

- O concreto é um material poroso e os *fenômenos de deterioração físico-química* são normalmente associados à ação da água
- A grandeza desse ataque é controlada pelos mecanismos de transporte nos poros do concreto
- A água é o principal agente de transporte dos íons agressivos

15

Lixiviação

Mecanismo:

Remoção de sais solúveis $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ pela passagem de água pelo concreto.

Manifestação:

- Manchas esbranquiçadas na superfície $[\text{CaCO}_3]$
 - Pode até formar estalactites
 - Aumento da porosidade
- Redução do pH com risco de corrosão

16

Lixiviação



Cobertura do
Prédio da FAU-USP

17

Lixiviação



Edifício da
Engenharia Civil
POLI.USP

18

Lixiviação

Como evitar?

- Reduzir porosidade do concreto;
 - Baixar relação a/c;
 - Melhorar condições de cura;
- Impermeabilizar evitando água.

Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

19

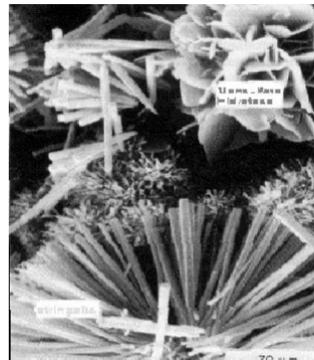
19

Reações expansivas

Sulfatos, SO_4^{-2}

Mecanismo:

Clínquer + gesso \longrightarrow Etringita Primária
Composto expansivo sem problemas



Compostos hidratados

+

Na_2SO_4 ; $MgSO_4$ e outros

Compostos expansivos secundários (*problemas*)

Presente em solo agressivo, esgotos e água do mar

20

Ataque por sulfatos ao concreto, SO_4^{-2} :

Manifestação:

- Fissuras aleatórias;
- Redução da dureza;
- Redução da resistência do concreto;
- Redução do pH com risco de despassivação do aço.

21

Ataque por sulfatos ao concreto, SO_4^{-2} :

Como evitar?

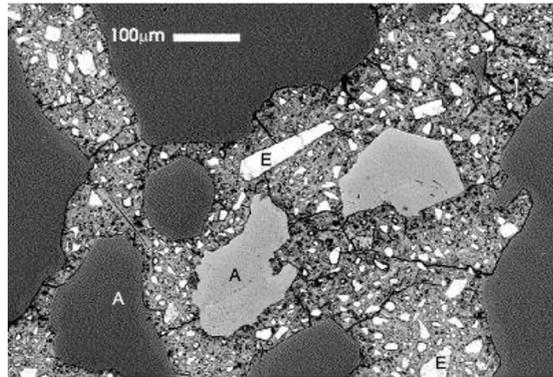
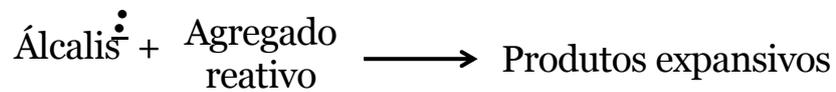
- Proteger/impermeabilizar a superfície;
 - Usar adições minerais;
 - Usar cimento com pouco C_3A ;
- Reduzir porosidade do concreto;
 - Baixar relação a/c;
 - Melhorar condições de cura.

22

Reação álcali – agregado

ARR

Mecanismo



23

Reação álcali – agregado

ARR

Quando se preocupar?

Onde existir exposição excessiva de água.



Investigar reatividade
dos agregados



Tomar medidas
preventivas

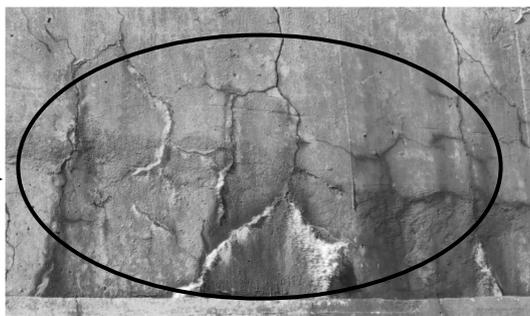
Muito comum em barragens!!!

24

Reação álcali – agregado ARR

Manifestação:

- Fissuras aleatórias;
- Presença de gel.



25

Reação álcali – agregado ARR



Blocos de fundação de edifícios
residenciais em Recife



26



27

o problema

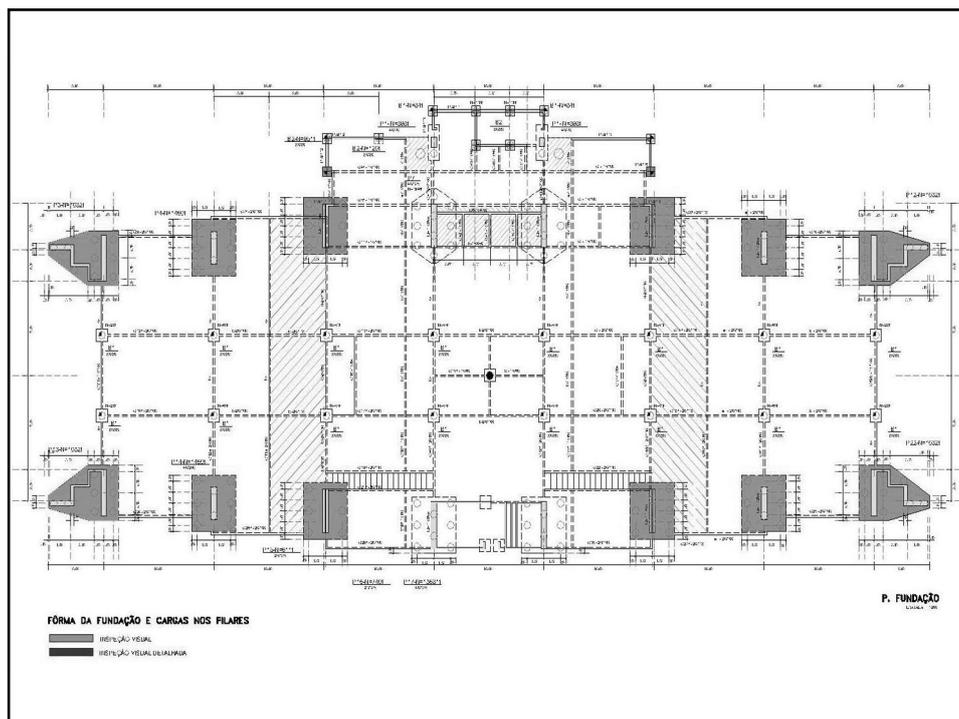
- foram observadas fissuras em um dos blocos de fundação
- após a constatação do fato, foram escavados outros blocos, os quais apresentaram manifestações patológicas similares

28

Edifício Habitacional

- 13 pavimentos
- Idade 12 anos
- estacas pré-fabricadas centrifugadas;
- cargas elevadas nos blocos de fundação;
- $f_{ck} = 18$ MPa;
- alta umidade do solo na época da inspeção.

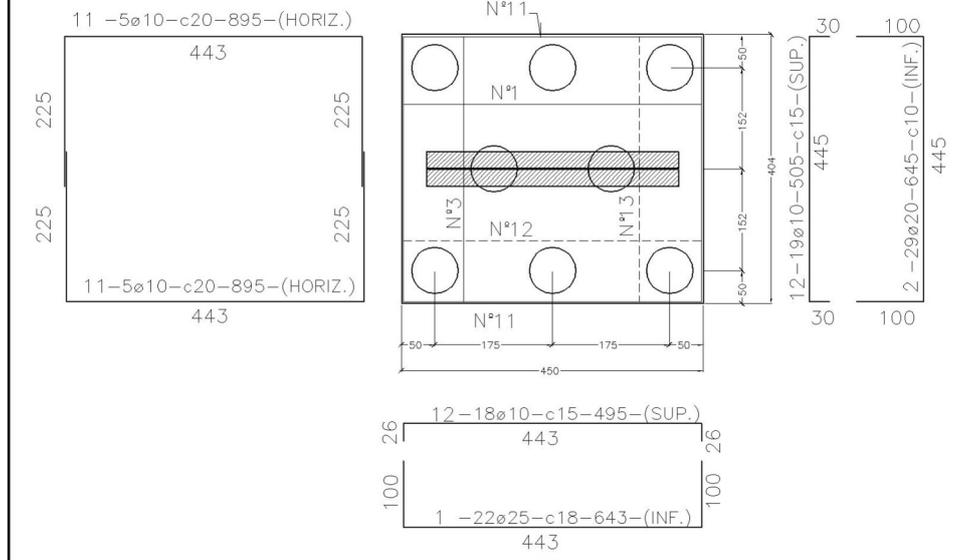
29



30

blocos de fundação

$$B(P5+P6)=B(P9+P10)=B(P15+P16)=\frac{B(P95+P20) - (4x)}{4}$$



31



32



33



34



35



36

Ensaaios

- Extração de testemunhos
 - Avaliação da profundidade e da direção das fissuras e trincas no interior dos blocos;
 - Análise petrográfica do concreto;
 - Resistência à compressão;
 - Resistência à tração na compressão diametral;
 - Módulo de elasticidade;
- Ensaio acelerado das barras de argamassa do agregado graúdo extraído dos testemunhos;
- Percentual do teor álcalis solúveis no concreto

37

Ensaio petrográfico

- Agregado graúdo
 - Tipo de Rocha : Metamórfica
 - Class. petrográfica: Milonito
 - Textura : Milonítica

 - Minerais reativos :
Quartzo deformado com extinção ondulante, quartzo recristalizado e quartzo fino.

 - Reatividade Potencial: reativo

38

Concreto

▪ módulo de deformação

BLOCO	f_{ck} (MPa)	Resistência à compressão média (MPa)	Módulo tangente médio (GPa)
BP 12	18,0	23,7	12,8
BP 22	18,0	26,8	14,5

**O valor obtido é cerca de 57% do estimado
pela NBR 6118/03**

39

Terapia

40

Terapia

1. Reduzir acesso de água;
2. Injetar sais de lítio;
3. Cintar;
4. Abrir juntas

41



42



43



44

Profilaxia

45

Como prevenir?

1. Controlando álcalis no cimento;

Na_2O equivalente $< 0,6\%$

Total álcalis $< 3\text{kg/m}^3$

2. Controlando reatividade nos agregados

Método químico ASTM C 289 (24h)

Visual análisis ASTM C 294 (24h)

Análise petrográfica ASTM C 295 (24h)

46

C α Como prevenir?

3. Controlando reatividade no concreto

Método de barras adição mineral ASTM C 342 &
ASTM C 441 (6 meses)

Método das barras de argamassa ASTM C 227
(6 meses)

Método carbonato → ASTM C 586

Método alcali carbonato → ASTM C 1105

Método acelerado das barras ASTM C 1260
(16d e 28d)

Método dos prismas de concreto ASTM C 1293
(1ano)

47

Como prevenir?

4. Usando adições

Método de barras adição mineral ASTM C 342 &
ASTM C 441 (6 meses)

Eficácia de adições ASTM C 1567
microsílica, metacaulim, fly-ash, escória

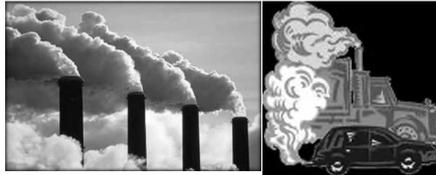
5. Impermeabilizando

silicone, epoxy, poliuretano, cimento+latex, betume,
drenar, etc.

48

Corrosão de armaduras

Na presença de água, ddp e O₂:
- Despassivação por carbonatação;



- Despassivação por cloretos.



49

Despassivação por carbonatação

• Ca(OH)₂ → pH ≥ 12
(aço passivado)

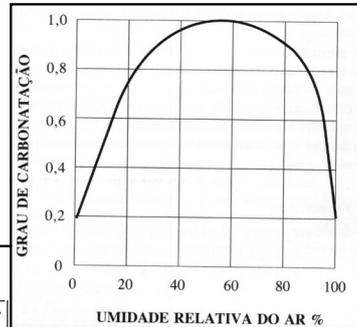
• $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
Mais alcalino Menos alcalino



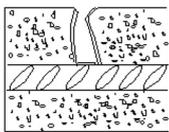
50

Despassivação por carbonatação

Influência da U.R.
estados de umidade dos poros

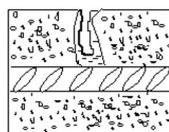


BAIXA UR



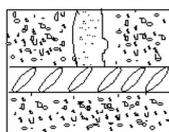
(A)

ALTA UR



(B)

SATURADO

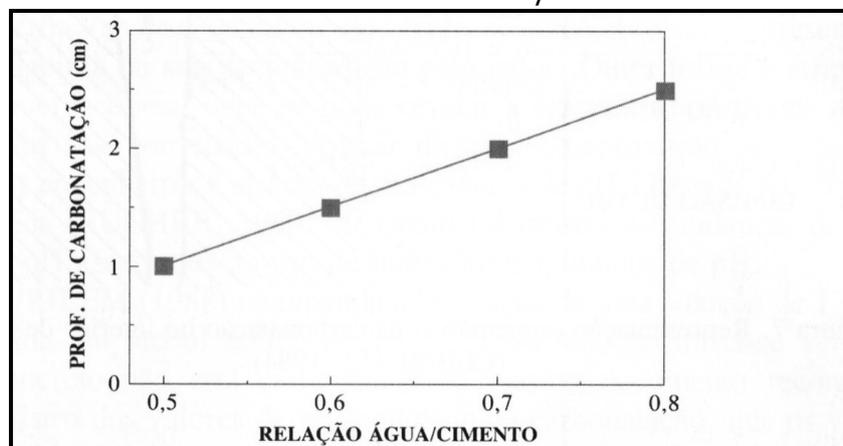


(C)

51

Despassivação por carbonatação

Influência da rel. a/c



52

Despassivação por carbonatação

Como evitar?

- Proteger / impermeabilizar a superfície;
- Reduzir porosidade do concreto;
- Usar cimentos com elevado C_3S ;
- Baixar relação a/c;
- Melhorar condições de cura.

53

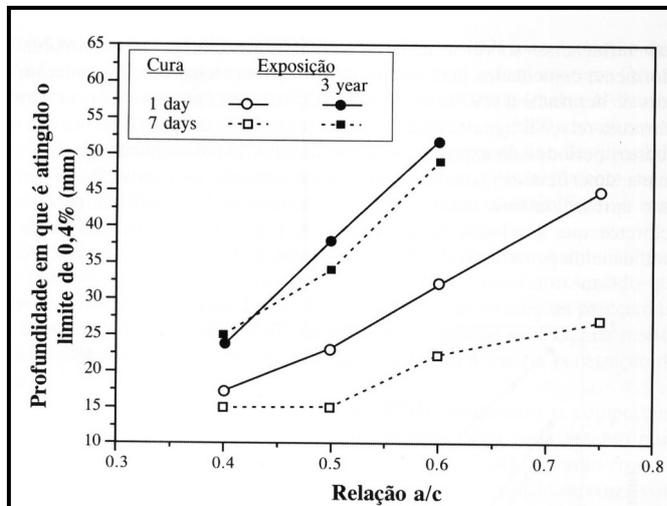
Despassivação por cloretos

- Penetração por difusão (lei de Fick)
- Atuam na condutividade do eletrólito
- Não são consumidos na reação de corrosão



54

Despassivação por cloretos



penetração
de
cloretos

55

Despassivação por cloretos

Como evitar?

- Proteger a superfície;
- Usar cimentos POZ e AF;
- Reduzir porosidade do concreto;
- Baixar relação a/c;
- Usar adições minerais;
- Melhorar condições de cura.

56

NBR 6118:2003; NBR 12655:2006; NBR 14931:2004

1. Define
2. Enumera os responsáveis
3. Classifica agressividade ambiental em 4 classes
4. Descreve 4 mecanismos de deterioração do concreto ; 2 das armaduras e 1 da estrutura
5. Recomenda detalhamento
6. Para cada classe recomenda qualidade do cobrimento
7. Para cada classe recomenda espessura mínima de cobrimento à armadura
8. Recomenda cura
9. Controla fissuração e flechas
10. Recomenda medidas especiais
11. Exige manutenção

57

NBR 6118:2003 ***“define”***

5.1.2.3 DURABILIDADE:

“Consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.”

58

Vida Útil das Estruturas de Concreto

BS 7543, 1992

Vida Útil	Tipos	Exemplos
< 10 anos	Temporárias	obras temporárias, divisórias, tapumes etc.
10 anos	Pequena Vida útil	construções usadas para processos industriais de curta duração
30 anos	Média Vida útil	a maiorias das construções industriais
60 anos	Vida útil normal	obras públicas, escolas, hospitais, casas, edifícios
120 anos	Vida útil longa	obras de grande responsabilidade como barragens, pontes, metros, ...
Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components		

59

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11-2501-4822 / 23
11-7881-4014

60