

Seminário Pré-CONSEC 2019:  
Concreto para Ambientes de Agressividade Ambiental Elevada

# Agressividade do Ambiente versus Durabilidade do Concreto



**Paulo Helene**  
*Diretor PhD Engenharia  
Conselheiro Permanente IBRACON  
Prof. Titular Universidade de São Paulo  
Presidente Honorífico ALCONPAT Internacional  
fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design  
Conselheiro CNTU e SEESP*

ITT/UNISINOS

23 de junho de 2017

Porto Alegre/RS

1

## **NBR 6118:2014; NBR 12655:2015; 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

2

## NBR 6118:2014

### *“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.”*

3

## Vida Útil das Estruturas de Concreto

*adaptado BS 7543 2015*

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 superior	obras de grande responsabilidade como barragens, pontes, metros, ...

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

4

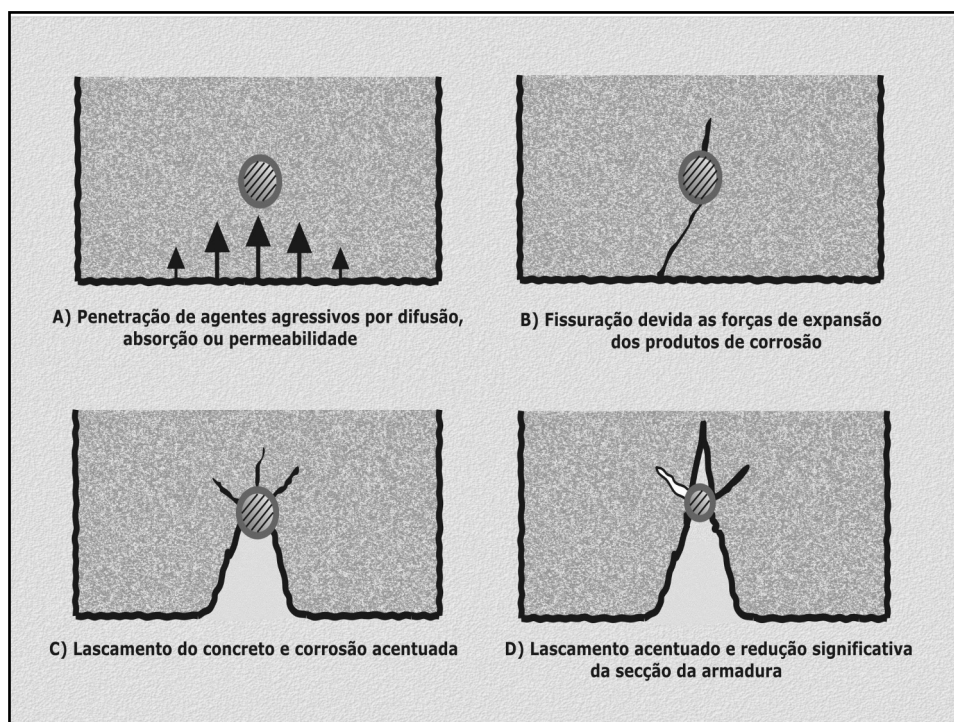
## Vida útil de Projeto NBR 15575:2013

Vida útil de projeto mínima e superior (VUP)<sup>a</sup>

Sistema	VUP (anos)		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30

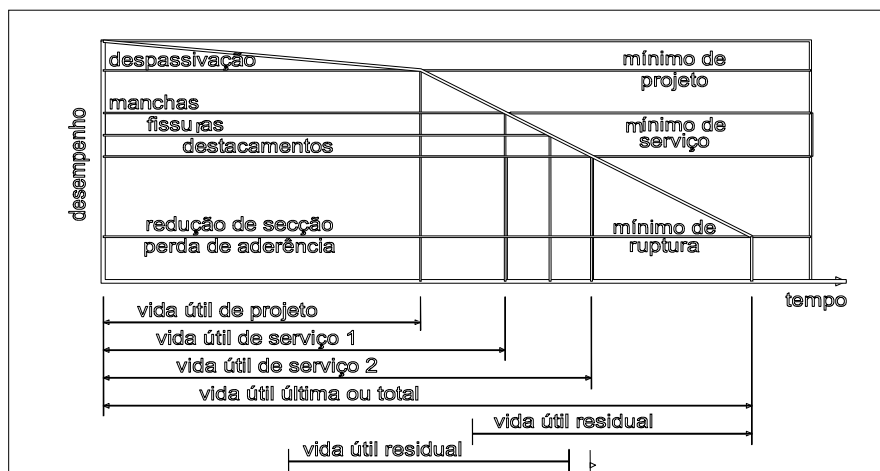
(a) Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

5



6

# Vida Útil das Estruturas de Concreto



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

7

## NBR 6118:2014 “define”

### 6.1 EXIGÊNCIAS de DURABILIDADE

*“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 prazo correspondente à sua vida útil.”*

8

## **NBR 6118:2014**

### **“define”**

#### 6.2 VIDA ÚTIL de PROJETO

*6.2.1 Período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme 7.8 e 25.3, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.*

*6.2.2 O conceito de vida útil aplica-se ao todo e às suas partes, independentemente.*

9

## **NBR 6118:2014**

### **“define”**

#### 7.8 INSPEÇÃO e MANUTENÇÃO PREVENTIVA

*7.8.1 O conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção.*

*7.8.2 O Manual de Utilização, Inspeção e Manutenção deve ser produzido conforme 25.3.*

10

## **NBR 6118:2014** **“define”**

### **25.3 MANUAL de UTILIZAÇÃO, INSPEÇÃO e MANUTENÇÃO**

*“De posse das informações de projetos, materiais e produtos utilizados e da execução da obra, deve ser produzido por profissional habilitado, devidamente contratado pelo Contratante, um manual de utilização, inspeção e manutenção. Esse Manual deve explicitar de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessárias para garantir a vida útil prevista para a estrutura, conforme indicado na ABNT NBR 5674.”*

11

## **NBR 5674:2012 Manutenção de Edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**

### **1. ESCOPO**

*Esta Norma estabelece os requisitos para a gestão do sistema de manutenção de edificações. A gestão do sistema de manutenção inclui meios para:*

- a) preservar as características originais da edificação;*
- b) prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes;*

*Edificações existentes antes da vigência desta Norma devem se adequar ou criar os seus programas de manutenção atendendo ao apresentado nesta Norma.*

*Os anexos desta Norma apresentam exemplos de modelos não restritivos ou exaustivos a serem adaptados em função das características específicas da edificação.*

12

**NBR 14037:2011 Diretrizes para  
elaboração de manuais de uso, operação e  
manutenção das edificações – Requisitos  
para elaboração e apresentação dos  
conteúdos**

**3.4 MANUAL de USO, OPERAÇÃO e MANUTENÇÃO**

*Documento que reúne as informações necessárias para orientar as atividades de conservação, uso e manutenção da edificação e operação dos equipamentos.*

13

**Modelos de Previsão de  
Vida Útil**

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaio Acelerado
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)

14

# Modelos de Previsão de Vida Útil

## Experiência

### *Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto*

1903	Suíça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

15

# Modelos de Previsão de Vida Útil

## Experiência

STANDARD BUILDING REGULATIONS for the USE of REINFORCED CONCRETE  
National Association of Cement Users Philadelphia, USA, Feb.1910

“the main reinforcement in column shall be protect by a minimum of two inches (> 5cm) of concrete cover, reinforcement in beams by one and one-half inches (> 3.8cm) and floor slabs by one inch (>2,5 cm).”

16



# Modelos de Previsão de Vida Útil

## Experiência

Norma Brasileira de 1931

- ✓ Água não pode conter cloreto, sulfatos e matéria orgânica
- ✓ Cobrimento  $\geq 1,0\text{cm}$  p/lajes
- ✓ Cobrimento  $\geq 1,5\text{cm}$  p/vigas
- ✓ Cobrimento  $\geq 2,0\text{cm}$  p/pilares

17

# Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaios Acelerados
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)

18

# Modelos de Previsão de Vida Útil

## Ensaio Acelerados

*“risco de alterar o mecanismo que ocorre ao natural”*

1. Carbonatação acelerada
2. Migração de  $Cl^-$  acelerada
3. Difusão de  $Cl^-$  acelerada
4. Permeabilidade acelerada
5. Outros mecanismos

19

# Modelos de Previsão de Vida Útil

## Ensaio Acelerados

**Carbonatação acelerada**



20

# Modelos de Previsão de Vida Útil

## Ensaio Acelerados Migração de Cl<sup>-</sup> acelerada



21

# Modelos de Previsão de Vida Útil

## Ensaio Acelerados Difusão de Cl<sup>-</sup> acelerada



Imersão em solução de NaCl por um determinado tempo

Coefficiente de difusão de Cl<sup>-</sup>

22

# Modelos de Previsão de Vida Útil

## Ensaio Acelerados Permeabilidade acelerada



23

# Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaio Acelerados
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)

24

## Principais mecanismos de transporte que atuam no concreto

- *Permeabilidade (gradiente de pressão A&G);*
- *Sucção capilar (forças capilares de A);*
- *Difusão (gradiente de concentração salina, temperatura ou densidade AI&G);*
- *Migração (diferença de potencial AI&G).*

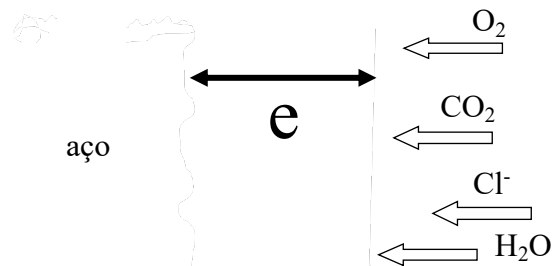
25

## Modelos de Previsão de Vida Útil

### Mecanismos de Transporte (determinísticos)

Generalização

$$e = k \cdot \sqrt{t}$$



26

# Carbonatação

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

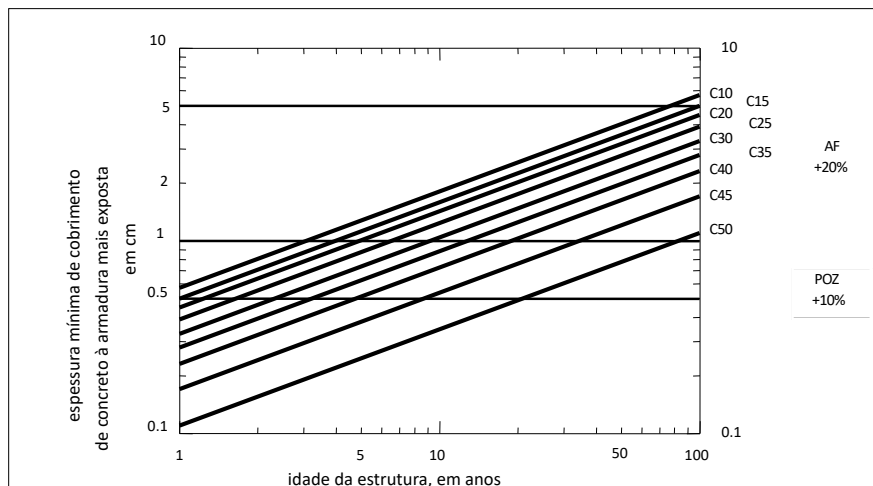
➤  $e_{CO_2} \rightarrow 1$  a  $5$  cm

➤  $k_{CO_2} \rightarrow 0.1$  a  $1.0$  cm/ano<sup>1/2</sup>

27

# Carbonatação

em faces dos componentes estruturais de concreto  
expostos à intempérie externas



28

## **Modelos de Previsão de Vida Útil**

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaio Acelerado
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)

29

## **Modelos de Previsão de Vida Útil**

### **Estocásticos (probabilístico)**

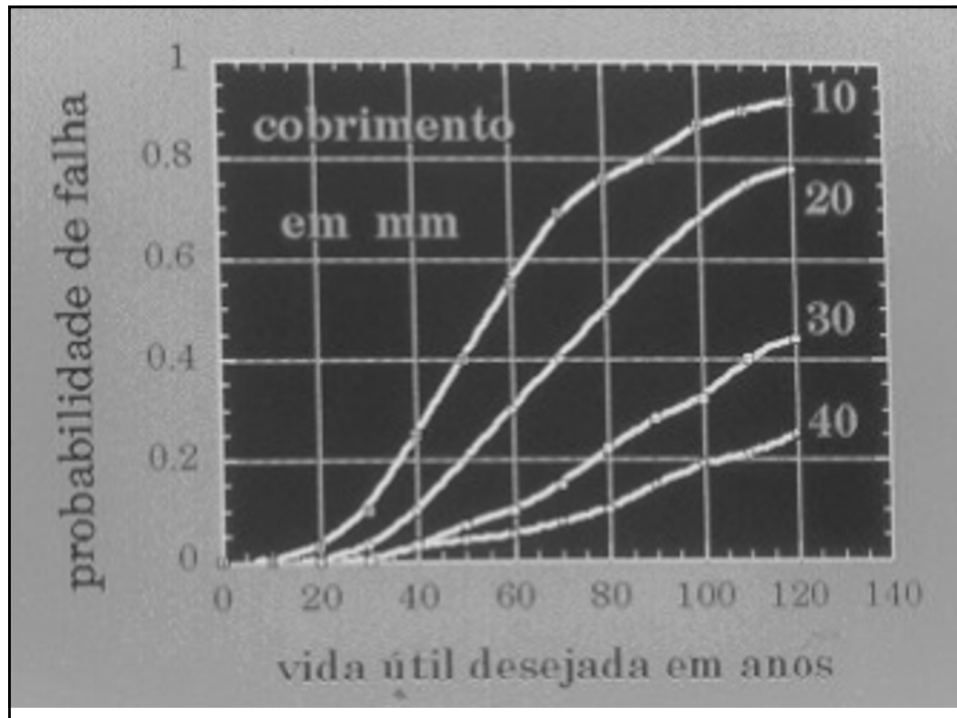
Estatística aplicada aos modelos determinísticos

### **Estocásticos (probabilístico)**

Conceito de risco (Probabilidade de falha)

Ainda pouco utilizado

30



31

## **NBR 12655:2015** **“enumera responsáveis”**

### 4. ATRIBUIÇÕES de INCUMBÊNCIAS

*A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e esforço coordenados de pelo menos seis responsáveis:*

- ✓ *proprietário,*
- ✓ *responsável pelo projeto arquitetônico,*
- ✓ *responsável pelo projeto estrutural,*
- ✓ *responsável pela tecnologia do concreto,*
- ✓ *responsável pela execução da estrutura/obra,*
- ✓ *proprietário/usuário da estrutura/obra.*

32



## NBR 6118:2014

*“descreve mecanismos de deterioração e envelhecimento”*

### 6.3.2 Concreto

- ✓ lixiviação;
- ✓ expansão → sulfatos
- ✓ expansão → AAR
- ✓ intemperismo → pirita/ferruginosos

### 6.3.3 Aço

- ✓ corrosão por carbonatação
- ✓ corrosão por cloretos

### 6.3.4 Estrutura

ações mecânicas, movimentações térmicas, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação

33

## NBR 6118:2014

*“classifica agressividade ambiental”*

Tabela 6.1 Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingo de maré <sup>1), 3)</sup>	

34

## **NBR 6118:2014**

### ***“classifica agressividade ambiental”***

- 1) uma classe de agressividade mais branda para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros cozinhas e áreas de serviço de apartamento residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).
- 2) uma classe de agressividade mais branda em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65% partes de estruturas protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.
- 3) Ambientes quimicamente agressivos tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazém de fertilizantes, indústrias químicas.

35

## **NBR 6118:2014**

### ***“recomenda detalhamentos”***

#### *7.1 Simbologia*

$c_{min}$  → *cobrimento mínimo de concreto à armadura, referido à distância entre a superfície do componente estrutural e a face mais externa da armadura (em geral estribo)*

$c_{nom}$  → *cobrimento nominal ( $c_{min} + \Delta_c$ )*

$UR$  → *umidade relativa do ar em %*

$\Delta_c$  → *tolerância da espessura de cobrimento*

#### *7.2 Drenagem*

*Limpeza, lavagem, águas pluviais, condutores, ralos, rufos, chapins, pingadeiras, juntas de movimentação, juntas de construção, selantes, troca de aparelhos de apoio, acessos a caixões “perdidos”, insertos, renovação da impermeabilização (estanqueidade), etc.*

36

## NBR 6118:2014 & NBR 12655:2015 “qualidade do cobrimento”

7.4.1 Devem existir estudos experimentais. Na falta adotar Tabela 7.1. (Tabela 2)

Tabela 7.1 (2) Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de Agressividade			
		I	II	III	IV
relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
classe de concreto (NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
consumo de cimento kg/m <sup>3</sup>	CA /CP	$\geq 260$	$\geq 280$	$\geq 320$	$\geq 360$

37

## NBR 6118:2014 & NBR 12655:2015 “qualidade do cobrimento”

Tabela 3 Requisitos para o concreto em condições especiais de exposição

Concreto	Concreto de baixa permeabilidade à água	Concreto sujeito a gelo e degelo	Concreto sujeito a sais de degelo; água salgada; água de mar; zona de respingos de maré
relação a/c em massa	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$	$\leq 0,45$
classe de concreto (NBR 8953)	$\geq C35$	$\geq C40$	$\geq C40$

38

## NBR 6118:2014 & NBR 12655:2015 “qualidade do cobrimento”

Tabela 4 Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO <sub>4</sub> ) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel (SO <sub>4</sub> ) presente na água ppm	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal <sup>a</sup>	Mínimo $f_{ck}$ (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	Conforme Tabela 2	Conforme Tabela 2
Moderada <sup>b</sup>	0,10 a 0,20	150 a 1500	0,50	35
Severa <sup>c</sup>	> 0,20	> 1500	0,45	40

- (a) Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.
- (b) A água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO<sub>4</sub> seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos.
- (c) Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

39

## NBR 6118:2014 & NBR 12655:2015 “qualidade do cobrimento”

Tabela 5 Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto

classe de agressividade	Condições de serviço da estrutura	teor máximo de íons cloreto (Cl <sup>-</sup> ) % em massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,30
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40

*Obs.: proibido o uso de aditivos contendo cloretos.*

40

## NBR 6118:2014

### *“espessura do cobrimento”*

- 7.4.7.5  $c_{nom} \geq \phi$  barra ou fio;  
 $c_{nom} \geq \phi$  feixe =  $\phi_n$   
 $c_{nom} \geq 0,50 \phi$  bainha  
 $c_{nom} \geq 15\text{mm}$  *sempre!*
- 7.4.7.6  $c_{nom} \geq 0,83 \phi D_{max}$

41

## NBR 6118:2014

### *“espessura do cobrimento”*

Tabela 7.2 Correspondência entre classe de agressividade ambiental e espessura de cobrimento nominal para  $\Delta_c = 10\text{mm}$

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	$\geq 20$	$\geq 25$	$\geq 35$	$\geq 45$
	Viga / Pilar	$\geq 25$	$\geq 30$	$\geq 40$	$\geq 50$
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	$\geq 30$		$\geq 40$	$\geq 50$
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	$\geq 25$	$\geq 30$	$\geq 40$	$\geq 50$
	Viga / Pilar	$\geq 30$	$\geq 35$	$\geq 45$	$\geq 55$

42

## NBR 6118:2014 “*espessura do cobrimento*”

- (a) *Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.*
- (b) *Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.*
- (c) *Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.*
- (d) *No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.*

43

## NBR 6118:2014 “*controle da fissuração*”

Tabela 13.4 Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinações de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	-
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente

44

## **NBR 6118:2014 “controle da fissuração”**

### *NOTAS*

- *Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.*
- *No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.*

45

## **NBR 6118:2014 “controle da fissuração”**

1. Só vale para componentes fletidos e nas condições de serviço. E.L.S.;
2. Só vale para a abertura de fissura na superfície do componente e na direção transversal à armadura principal;
3. Como controlar fissuras decorrentes de efeitos térmicos, retração, expansão, corrosão do aço?
4. As consequências de uma fissura são somente corrosão do aço/armadura, ou seja, durabilidade?
5. Conta efeito psicológico?
6. E mecânico de comportamento global?

46

## **NBR 14931:2004**

### ***“controle da execução”***

#### 10.1 Cura e cuidados especiais

- ✓ Para fins de assegurar eficiente hidratação do cimento é necessário curar com água potável ou alcalina as superfícies expostas do concreto até que este atinja 15MPa;
- ✓ Para fins de assegurar qualidade da superfície do ponto de vista da abrasão e acabamento deve-se curar até atingir 0,85 de  $f_{ck}$ ;
- ✓ Para evitar fissuração deve-se curar até que a resistência do concreto à tração supere as tensões de tração decorrentes dos esforços de retração restringida;
- ✓ Vale para retração hidráulica e para retração térmica.

47

## **NBR 6118:2014**

### ***“medidas especiais”***

7.7 “Em condições de exposição adversas devem ser tomadas medidas especiais do tipo:

- ✓ aplicação de revestimento hidrofugantes;
- ✓ pinturas impermeabilizantes;
- ✓ revestimentos de argamassas e cerâmicas ou outros;
- ✓ galvanização da armadura;
- ✓ proteção catódica da armadura;
- ✓ outros.

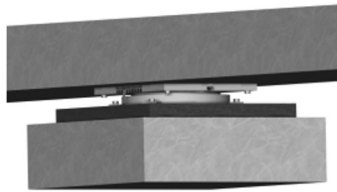
48



## Considerações Finais

Toda estrutura de concreto pode conter elementos com vida útil inferior a ela.

Exemplos:



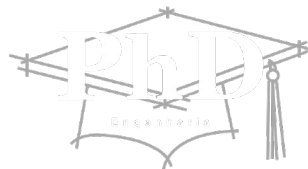
Aparelhos de apoio, selantes



Proteção superficial de concreto

49

# OBRIGADO!



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

[www.concretophd.com.br](http://www.concretophd.com.br)

[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)

11.2501.4822 / 23

119.5045.4940

50