



1

Normas

- ✓ **ISO 16204:2012. Durability: Service Life Design of Concrete Structures**
- ✓ **fib Model Code 2010. Concrete Structures**
- ✓ **fib Model Code for Service Life Design 2006.**

Helland, Steinar. Design for Service Life: Implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204. Structural Concrete 14 (2013), n.1. p. 10-18

3

Normas

ISO 16204. Existem 4 alternativas para verificar VU:

1. The full probabilistic method. *Método probabilista integral*
2. The partial factor method. *Método dos fatores parciais (característicos)*
3. The deemed-to-satisfy method. *Método prescritivo (a/c, recubrimientos, etc.)*
4. The avoidance-of-deterioration method. *Método baseado na proteção das estruturas*

4

Conceitos

- ✓ **Conhecer como envelhece**
- ✓ **Definir VU**
- ✓ **Quantificar VU**
- ✓ **Estabelecer Estados Limites**
- ✓ **Prever ou Estimar VU**
- ✓ **Especificar Manutenção**

5

Conceitos

- ✓ **Conhecer como envelhece**
- ✓ **Definir VU**
- ✓ **Quantificar VU**
- ✓ **Estabelecer Estados Limites**
- ✓ **Prever ou Estimar VU**
- ✓ **Especificar Manutenção**

6

Mecanismos de Deterioração e Envelhecimento

Armadura

- ✓ corrosão por carbonatação
- ✓ corrosão por cloretos

Concreto

- ✓ lixiviação → água, chuva ácida e ácidos
- ✓ expansão → sulfatos e AAR
- ✓ Poluição → fungos, fuligem, pó

Estrutura

- ✓ ações mecânicas, movimentos térmicos, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, ... fator humano

7

Armadura → **Corrosão**

- ◆ ***Existem vários modelos matemáticos e probabilistas baseados na Lei de Fick***
- ◆ ***Ainda não existe um critério único para o estado limite de durabilidade***
- ◆ ***Existe prescrições profiláticas (espessura e qualidade do cobrimento)***

8

Concreto → Lixiviação & Expansão
Sulfatos, SO_4^{-2}
Reação álcali-agregado

- ◆ ***Existem alguns modelos matemáticos***
- ◆ ***Ainda não existe um critério único para o estado limite de durabilidade***
- ◆ ***Existe prescrições profiláticas (cimentos, adições)***

9

Durabilidade

O objetivo de um estudo ou projeto de durabilidade (vida útil), tendo em vista o principal problema de deterioração, ou seja, a corrosão das armaduras, é:

1. *Especificar o concreto (ac; C; consistência,)*
2. *Especificar o cimento;*
3. *Especificar as adições*
4. *Especificar o cobrimento da armadura*

10

Vida Útil de Projeto VUP

Preciso de um modelo matemático, um ábaco, uma tabela de previsão da deterioração com o tempo !

Procedimentos de calcular VUP

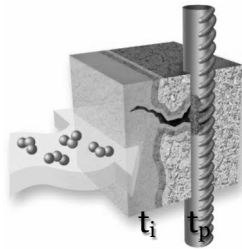
1. Experiência (normas prescritivas)
2. Ensaios Acelerados ?
3. Modelos Deterministas
4. Modelos Probabilistas

11

Qual o critério para definir término da vida útil???

No Brasil: não há, pode ser despassivação

Na Europa: não há, pode ser despassivação mais perda de seção da armadura



Créditos: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/06/durabilidade-do-concreto-processo-de.html>

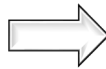
No USA: despassivação mais 6 anos

12

ABNT NBR 6118:2014
ABNT NBR 12655:2015

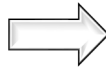


fib Model Code
Eurocode 2
EN 206:2000



tem um *soft* para
cloreto com base
probabilista, 10%

ACI 318
ACI 365



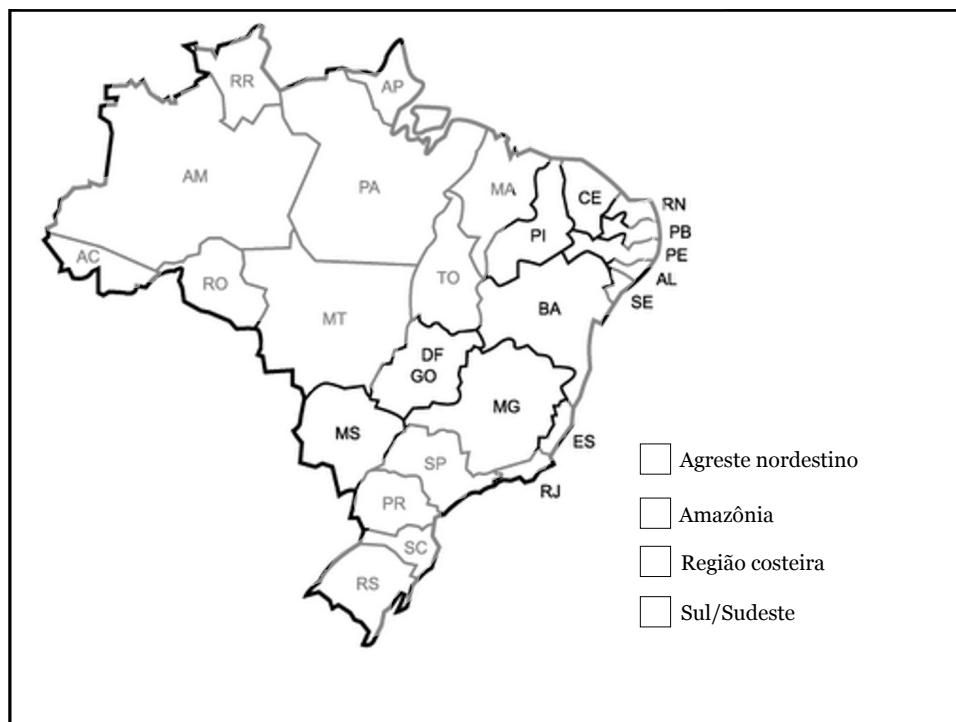
tem um *soft* para
cloreto com base
determinista (média)

13

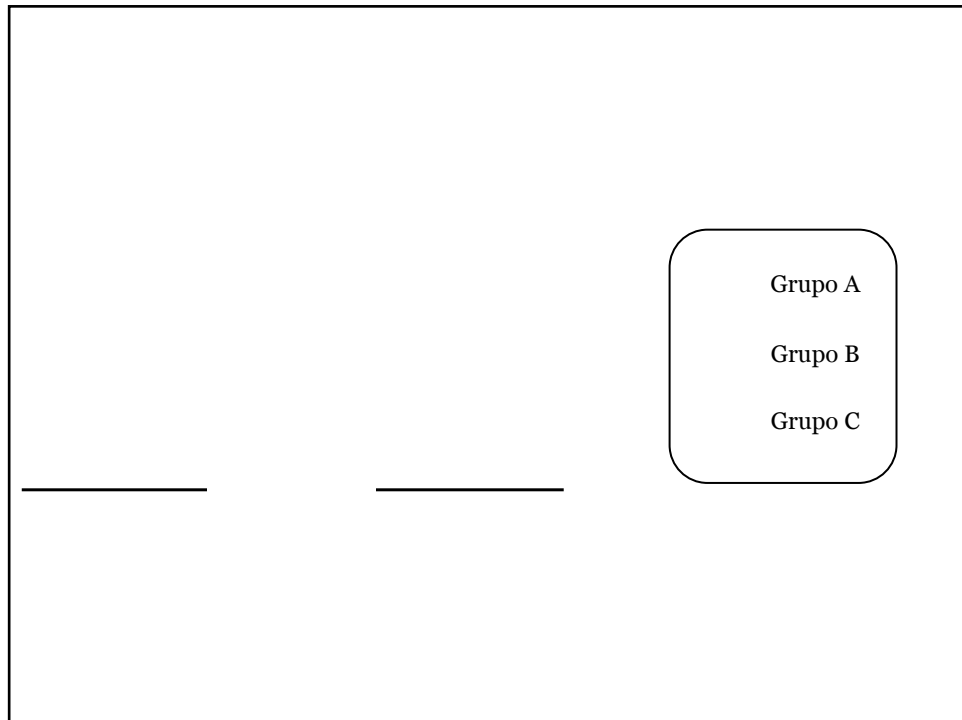
1º passo

Agressividade Ambiental

14



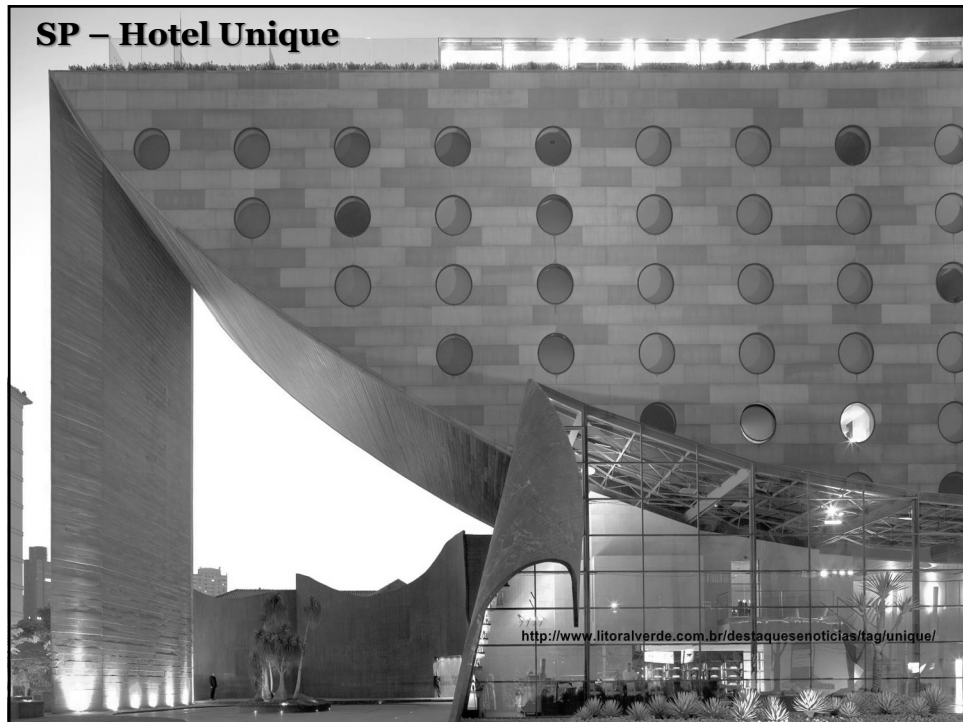
15



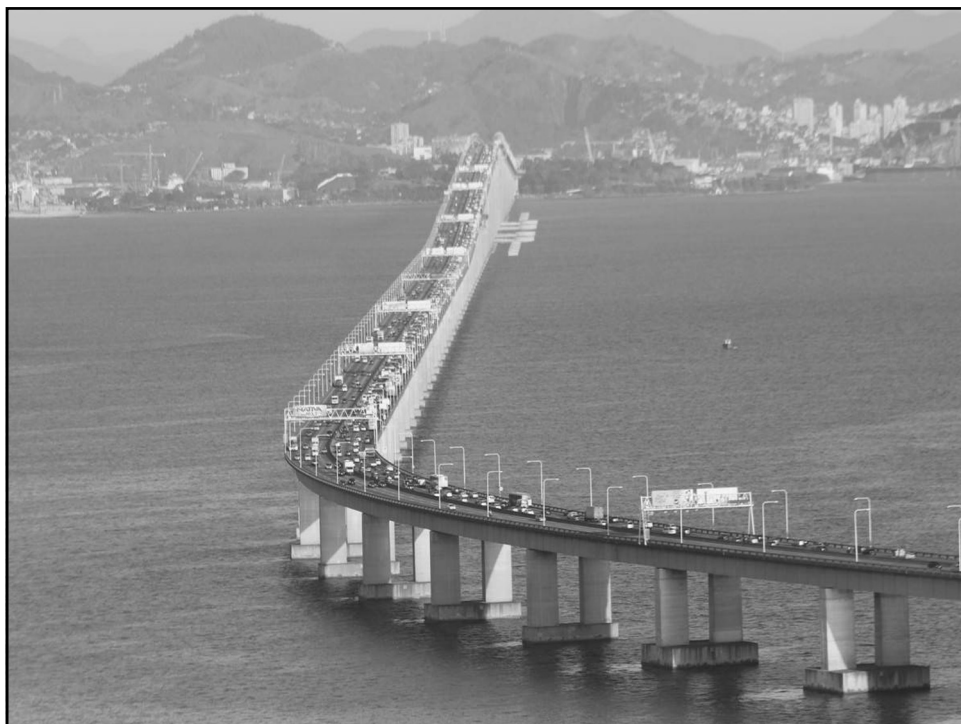
16



17



18



19

Classificação MACRO (e micro) Ambiental

20

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 ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

21

Agressividade do ambiente

Classificação natureza fenômeno e micro região

EN 206

“Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity”

22

EN 206-1:2000 “Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity”		
Classe	Descrição do ambiente	Exemplos para ocorrência das classes de exposição
1 Nenhum risco de corrosão ou ataque		
Xo	Concreto sem armadura ou elementos metálicos embutidos: todas as exposições, exceto de gelo/degelo, abrasão ou ataque químico. Concretos com armadura ou elementos metálicos embutidos: muito seco	Concreto no interior de edifícios com umidade do ar muito baixa
2 Corrosão por carbonatação		
Onde o concreto contendo armadura ou elementos metálicos embutidos está exposto ao ar e à umidade.		
XC1	Seco ou permanentemente úmido	Interior de edifícios com baixa umidade do ar; concreto constantemente imerso em água
XC2	Úmido, raramente seco	Partes que retêm água; fundações
XC3	Umidade moderada	Interior de edifícios com umidade do ar moderada ou elevada; exteriores protegidos da chuva
XC4	Alternadamente úmido e seco	Superfícies em contato com água que não se encaixem no subgrupo de exposição XC2
3 Corrosão causada por cloretos		
Onde o concreto contendo armadura ou elementos metálicos embutidos está sujeito ao contato com água contendo cloretos, incluindo sais de degelo, desde que não sejam fontes de água do mar.		
XD1	Umidade moderada	Superfícies de concreto expostas diretamente a borrifos que contenham cloretos
XD2	Molhado, raramente seco	Piscinas, concreto exposto a águas industriais que contenham cloretos
XD3	Alternadamente molhado e seco	Partes de pontes, pavimentação, lajes de garagens ou estacionamentos
4 Corrosão causada por cloretos provenientes da água do mar		
Onde o concreto contendo armadura ou elementos metálicos embutidos está sujeito ao contato com cloretos provenientes da água do mar ou do ar que transporta sais provenientes do mar.		
XS1	Exposição à maresia, mas não em contato direto com a água marinha	Estruturas no litoral ou próximas do litoral
XS2	Permanentemente submerso	Partes de estruturas marinhas
XS3	Partes expostas à maré ou às ondas	Partes de estruturas marinhas
5 Ataque de gelo-degelo		
Onde o concreto é exposto a um significativo ataque de ciclos de gelo-degelo enquanto está úmido.		
XF1	Moderada saturação de água, sem agentes de degelo	Concreto com superfície vertical exposta a chuva e gelo
XF2	Moderada saturação de água, com agentes de degelo	Concreto de obras viárias com superfície vertical exposta a gelo e borrifos contendo cloretos
XF3	Elevada saturação de água, sem agentes de degelo	Concreto com superfície horizontal exposta a chuva e gelo
XF4	Elevada saturação de água com agentes de degelo ou água do mar	Lajes de pontes expostas a agentes de degelo e a gelo
6 Ataque químico		
Onde o concreto é exposto a ataque químico de solos naturais e água subterrâneas.		
XA1	Ambiente químico pouco agressivo	
XA2	Ambiente químico moderadamente agressivo	
XA3	Ambiente químico muito agressivo	

23

Agressividade do ambiente

ACI 318-14 Classificação por micro região e natureza da agressão

Table 19.3.1.1—Exposure categories and classes

Category	Class	Condition	
Freezing and thawing (F)	F0	Concrete not exposed to freezing-and-thawing cycles	
	F1	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with limited exposure to water	
	F2	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with frequent exposure to water	
	F3	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with frequent exposure to water and exposure to deicing chemicals	
Sulfate (S)		Water-soluble sulfate (SO_4^{2-}) in soil, percent by mass ^[1]	Dissolved sulfate (SO_4^{2-}) in water, ppm ^[2]
	S0	$\text{SO}_4^{2-} < 0.10$	$\text{SO}_4^{2-} < 150$
	S1	$0.10 \leq \text{SO}_4^{2-} < 0.20$	$150 \leq \text{SO}_4^{2-} < 1500$ or seawater
	S2	$0.20 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 2.00$	$1500 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 10,000$
	S3	$\text{SO}_4^{2-} > 2.00$	$\text{SO}_4^{2-} > 10,000$
In contact with water (W)	W0	Concrete dry in service Concrete in contact with water and low permeability is not required	
	W1	Concrete in contact with water and low permeability is required	
Corrosion protection of reinforcement (C)	C0	Concrete dry or protected from moisture	
	C1	Concrete exposed to moisture but not to an external source of chlorides	
	C2	Concrete exposed to moisture and an external source of chlorides from deicing chemicals, salt, brackish water, seawater, or spray from these sources	

^[1]Percent sulfate by mass in soil shall be determined by ASTM C1580.

^[2]Concentration of dissolved sulfates in water, in ppm, shall be determined by ASTM D516 or ASTM D4130.

24

3º passo

Escolher concreto e cobrimento

25

Tabela 7.2 Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$ (ABNT NBR 6118:2014)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/Pilar	30	35	45	55

^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 $\geq 15\text{mm}$.

^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 $\geq 45\text{mm}$.

26

BS EN 1992-1-1:2004
EN 1992-1-1:2004 (E)

Table 4.4N: Values of minimum cover, $c_{\min, \text{dur}}$, requirements with regard to durability for reinforcement steel in accordance with EN 10080.

Environmental Requirement for $c_{\min, \text{dur}}$ (mm)							
Structural Class	Exposure Class according to Table 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Table 4.5N: Values of minimum cover, $c_{\min, \text{dur}}$, requirements with regard to durability for prestressing steel

Environmental Requirement for $c_{\min, \text{dur}}$ (mm)							
Structural Class	Exposure Class according to Table 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

27

Table 20.6.1.3.1—Specified concrete cover for cast-in-place nonprestressed concrete members

Concrete exposure	Member	Reinforcement	Specified cover, in.
Cast against and permanently in contact with ground	All	All	3
Exposed to weather or in contact with ground	All	No. 6 through No. 18 bars	2
		No. 5 bar, W31 or D31 wire, and smaller	1-1/2
Not exposed to weather or in contact with ground	Slabs, joists, and walls	No. 14 and No. 18 bars	1-1/2
		No. 11 bar and smaller	3/4
	Beams, columns, pedestals, and tension ties	Primary reinforcement, stirrups, ties, spirals, and hoops	1-1/2

Table 20.6.1.3.2—Specified concrete cover for cast-in-place prestressed concrete members

Concrete exposure	Member	Reinforcement	Specified cover, in.
Cast against and permanently in contact with ground	All	All	3
Exposed to weather or in contact with ground	Slabs, joists, and walls	All	1
	All other	All	1-1/2
Not exposed to weather or in contact with ground	Slabs, joists, and walls	All	3/4
	Beams, columns, and tension ties	Primary reinforcement	1-1/2
		Stirrups, ties, spirals, and hoops	1

ACI 318

Table 20.6.1.3.3—Specified concrete cover for precast nonprestressed or prestressed concrete members manufactured under plant conditions

Concrete exposure	Member	Reinforcement	Specified cover, in.
Exposed to weather or in contact with ground	Walls	No. 14 and No. 18 bars; tendons larger than 1-1/2 in. diameter	1-1/2
		No. 11 bars and smaller; W31 and D31 wire and smaller; tendons and strands 1-1/2 in. diameter and smaller	3/4
	All other	No. 14 and No. 18 bars; tendons larger than 1-1/2 in. diameter	2
		No. 6 through No. 11 bars; tendons and strands larger than 5/8 in. diameter through 1-1/2 in. diameter	1-1/2
Not exposed to weather or in contact with ground	Slabs, joists, and walls	No. 5 bar, W31 or D31 wire, and smaller; tendons and strands 5/8 in. diameter and smaller	1-1/4
		No. 14 and No. 18 bars; tendons larger than 1-1/2 in. diameter	1-1/4
		Tendons and strands 1-1/2 in. diameter and smaller	3/4
	Beams, columns, pedestals, and tension ties	No. 11 bar, W31 or D31 wire, and smaller	5/8
		Primary reinforcement	Greater of d_b and 5/8 and need not exceed 1-1/2
		Stirrups, ties, spirals, and hoops	3/8

28

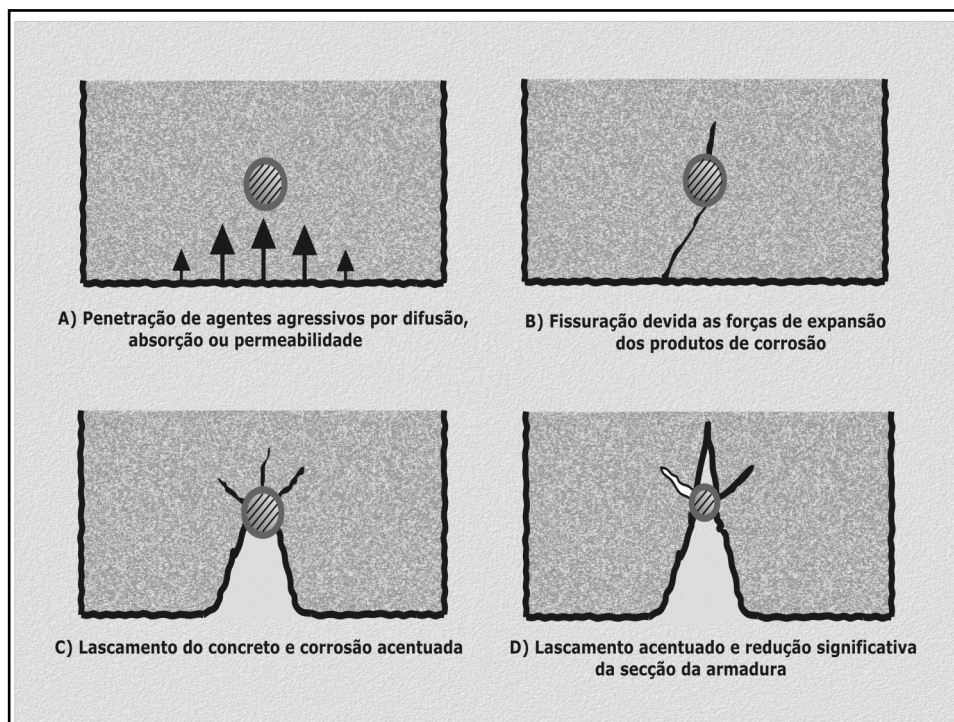
Comparativo Requisitos de durabilidade				
Norma	Classe de concreto	Relação a/c	Consumo de cimento (kg)	Especificação de cimentos especiais
ABNT NBR 6118:2014 ABNT NBR 12655:2015	$C20 \leq f_{ck} \leq C40$	0,45 a 0,65	$260 \leq C_{cim} \leq 360$	Cimento resistente a sulfatos
fib Model Code Eurocode II EN 206-1:2000	$C20 \leq f_{ck} \leq C40$	0,45 a 0,65	$260 \leq C_{cim} \leq 360$	Cimento resistente a sulfatos
ACI 318-14	$18MPa \leq f'_c \leq 35MPa$	0,40 a livre	livre	Cimento resistente a sulfatos e teores limites de adições

29

Comparativo Cobrimentos

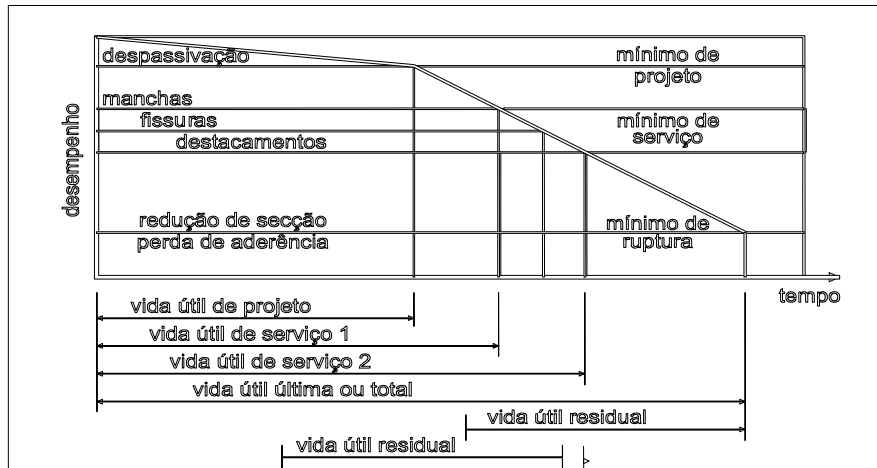
Norma	Concreto armado	Concreto protendido	Observações
ABNT NBR 6118:2014	20 a 50mm	25 a 55mm	Diferencia cobrimentos para diferentes elementos estruturais num mesmo ambiente (laje, viga/pilar, elementos de fundação)
EN 1992-1-1:2004	10 a 55mm	10 a 65mm	Não diferencia cobrimento por elemento estrutural
ACI 318-14	16mm a 75mm	16mm a 75mm	Separa por elemento estrutural e por condição de moldagem: <i>in loco</i> ou em fábrica de pré-moldados

30



31

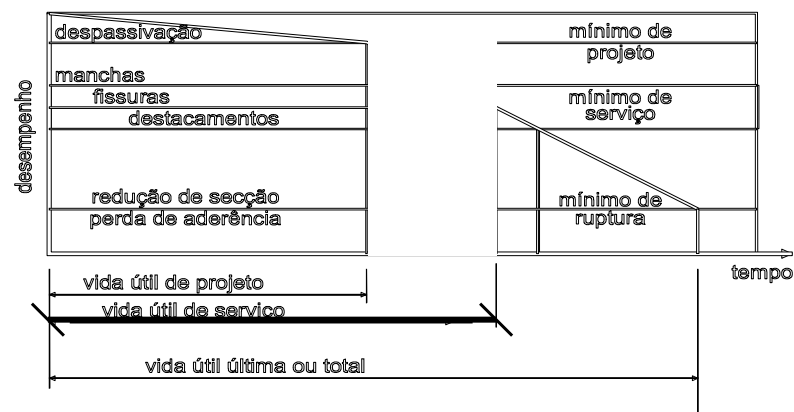
Modelo de Vida Útil para corrosão da armadura



32

ACI 318 → ACI 365

6 anos



$t \geq ??? \text{ anos}$

33

Modelos de previsão de vida útil Difusão de cloretos

- Com base em enfoque determinista (LIFE-365);
- Com base em enfoque probabilista (DURACON).

34

Life-365



O software Life-365 é uma ferramenta de auxílio para calcular a vida útil considerando a difusão for cloreto segundo o ACI 365.

É possível fazer o download pelo site:
www.life-365.org/download.html

35

DURACON

O software Duracon é uma ferramenta desenvolvida na Dinamarca para calcular a vida útil considerando a difusão por cloreto.

Foi o software utilizado por Odd E. Gjorv em seu livro “Projeto da durabilidade de estruturas de concreto em ambiente de severa agressividade”.

É possível fazer o download pelo site:
www.pianc.no/duracon.php

36

Exemplo

Um edifício deverá ser projetado em região litorânea, considerando o ataque por cloretos (classe III, fora dos respingos de maré).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014:

Para $f_{ck} = 30\text{MPa}$, $a/c = 0,55$ e $c=40\text{mm}$ (controle rigoroso $c=35\text{mm}$)

Para $f_{ck} = 40\text{MPa}$, $a/c = 0,45$ e $c=35\text{mm}$ (controle rigoroso $c=35\text{mm}$)

Para $f_{ck} = 60\text{MPa}$, $a/c = 0,35$ e $c=35\text{mm}$ (controle rigoroso $c=35\text{mm}$)

Segundo a EN 1992 (considerando as mesmas relações a/c):

Para $f_{ck} = 30\text{MPa}$ e $c=45\text{mm}$

Para $f_{ck} = 40\text{MPa}$ e $c=40\text{mm}$

Para $f_{ck} = 60\text{MPa}$ e $c=40\text{mm}$

Variáveis:

- CP I ou CP V (+8% SA ou MC): coef. $m = 0,20$
- CP III (+8% SA ou MC): coef. $m=0,54$
- CP IV (+8% SA ou MC): coef. $m=0,44$

Utilizando os softwares Duracon e Life-365, e tendo em vista que a obra está localizada na atmosfera marinha livre de respingos de maré ($C_s = 0,6\%$) e sendo $C_{cr} = 0,05\%$ (sobre a massa de concreto).

41

Exemplo

Dado de entrada	Símbolo	Unidade
Cobrimento	c	mm
Relação água/cimento	a/c	kg/kg
Coeficiente de difusibilidade aos 28 dias	D₂₈	10 ⁻¹² m ² /s
Concentração crítica de cloreto	C_{cr}	wt. concr. (%)
Concentração superficial de cloreto	C_s	wt. concr. (%)

Paulo Helene & Mariana Pacheco
PhD Engenharia 25.11.2015

42

ABNT NBR 6118:2014

CP I ou CP V + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)							
f_{ek}	c (mm)	a/c	C _{cr} (% wt. concr)	m	D ₂₈ (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)	
						Life 365	Duracon
30	40	0,55	0,05	0,2	4,8611	7,4	1
40	35	0,45	0,05	0,2	2,7973	8	2
60	35	0,35	0,05	0,2	1,6096	11,2	4

CP IV + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)							
f_{ek}	c (mm)	a/c	C _{cr} (% wt. concr)	m	D ₂₈ (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)	
						Life 365	Duracon
30	40	0,55	0,05	0,44	4,8611	15,5	4
40	35	0,45	0,05	0,44	2,7973	16,4	5
60	35	0,35	0,05	0,44	1,6096	26,8	13

CP III + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)							
f_{ek}	c (mm)	a/c	C _{cr} (% wt. concr)	m	D ₂₈ (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)	
						Life 365	Duracon
30	40	0,55	0,05	0,54	4,8611	24,4	6
40	35	0,45	0,05	0,54	2,7973	25,8	10
60	35	0,35	0,05	0,54	1,6096	45,4	26

43

EN 1992-1

CP I ou CP V + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)							
f_{ck}	c (mm)	a/c	C _{cr} (% wt. conc)	m	D ₂₈ (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)	
						Life 365	Duracon
30	45	0,55	0,05	0,2	4,8611	7,7	2
40	40	0,45	0,05	0,2	2,7973	10,6	3
60	40	0,35	0,05	0,2	1,6096	15,6	6

CP IV (30% de Cinza Volante) + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)							
f_{ck}	c (mm)	a/c	C _{cr} (% wt. conc)	m	D ₂₈ (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)	
						Life 365	Duracon
30	45	0,55	0,05	0,44	4,8611	16,1	6
40	40	0,45	0,05	0,44	2,7973	25,6	9
60	40	0,35	0,05	0,44	1,6096	43,7	21

CP III (60% de Escória) + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)							
f_{ck}	c (mm)	a/c	C _{cr} (% wt. conc)	m	D ₂₈ (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)	
						Life 365	Duracon
30	45	0,55	0,05	0,54	4,8611	25,3	10
40	40	0,45	0,05	0,54	2,7973	43,2	17
60	40	0,35	0,05	0,54	1,6096	75,5	44

44

NBR 6118:2014 vs. EN 1992

ABNT NBR 6118:2014			EN 1992		
CPI ou CPV + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)			CPI ou CPV + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)		
Vida útil (anos)			Vida útil (anos)		
Life 365	Duracon		Life 365	Duracon	
7,4	1		7,7	2	
8	2		10,6	3	
11,2	4	15,6	6		
$f_{ck}=30; c=40$			$f_{ck}=30; c=45$		
$f_{ck}=40; c=35$			$f_{ck}=40; c=40$		
$f_{ck}=60; c=35$			$f_{ck}=60; c=40$		
CPIV + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)			CPIV + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)		
Vida útil (anos)			Vida útil (anos)		
Life 365	Duracon		Life 365	Duracon	
15,5	4		16,1	6	
16,4	5		25,6	9	
26,8	13	43,7	21		
$f_{ck}=30; c=40$			$f_{ck}=30; c=45$		
$f_{ck}=40; c=35$			$f_{ck}=40; c=40$		
$f_{ck}=60; c=35$			$f_{ck}=60; c=40$		
CPIII + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)			CPIII + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)		
Vida útil (anos)			Vida útil (anos)		
Life 365	Duracon		Life 365	Duracon	
24,4	6		25,3	10	
25,8	10		43,2	17	
45,4	26	75,5	44		
$f_{ck}=30; c=40$			$f_{ck}=30; c=45$		
$f_{ck}=40; c=35$			$f_{ck}=40; c=40$		
$f_{ck}=60; c=35$			$f_{ck}=60; c=40$		

45

Comparação de Requisitos de diferentes normas VU = 50 anos (carbonatação)

Membros sujeitos a classificações de exposições B1 = XC4 CEM 1, serão:

Recobrimento, livre de armadura:

Holanda → $a/c < 0,5$ 25mm cover

Alemanha → $a/c < 0,60$ 25mm cover

México → $a/c < 0,40$? 25mm cover ($f_c > 60\text{MPa}$)

Brasil → $a/c < 0,55$ 25mm cover ($f_{ck} > 30\text{MPa}$)

46

Vida Útil → Prescritiva → Limitações

Estrutura em São Paulo, ou seja, risco dos componentes estruturais externos apresentarem corrosão de armadura por carbonatação.

O que ocorre ao utilizar adições de sílica e de metacaulim?

O que ocorre ao utilizar cimento de alto forno, ou resistente a sulfatos, ou de alta resistência inicial?

O que ocorre ao utilizar aditivos inibidores de corrosão?

O que ocorre se o concreto tem 175 l/m^3 ou 210 l/m^3 de água de amassamento?

47

Modelos de Previsão de Vida Útil

Apêndice da EH 2008

Carbonatação:

$$d = k_c * t^{1/2}$$

$$k_c = c_{env} * c_{air} * a * (f_{ck} + 8)^b$$

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| ✓ amb. externo | $c_{env} = 0,5$ |
| ✓ conteúdo de ar < 4,5% | $c_{air} = 1,0$ |
| ✓ cimento comum | $a = 1800$ |
| ✓ cimento comum | $b = -1,7$ |

48

Modelos de Previsão de Vida Útil

Apêndice da EH 2008

Carbonatação:

$$VU_d \text{ de calculo} = (VU_g \text{ de projeto}) * \gamma_t$$

VU_g = tempo até iniciação + tempo propagação até destacamentos

$$\gamma_t = 1,1 - 1,3$$

$$VU_g = (d/k_c)^2 + (80 * d) / (\phi * 3)$$

49

Modelos de Previsão de Vida Útil

Apêndice da EH 2008

Carbonatação:

$f_c = 20\text{MPa}$ com armadura de $\phi = 16\text{mm}$
Recobrimento $d = 30\text{mm}$

$$k_{c20} = 3,12 \text{ mm/ano}^{1/2}$$

$$Vu_g = 92 + 50 = 142 \text{ anos !}$$

50

Modelos de Previsão de Vida Útil

Apêndice da EH 2008

Carbonatação:

$f_c = 50\text{MPa}$ com armadura de $\phi = 16\text{mm}$
recobrimento $d = 30\text{mm}$

$$k_{c20} = 0,90 \text{ mm/ano}^{1/2}$$

$$Vu_g = 1100 + 50 = 1.150 \text{ anos !}$$

51

Projetar para Durabilidade

Necessidade de sempre utilizar o bom senso na tomada de decisões e considerar o problema com uma visão holística que vise abarcar todas as variáveis, sem se prender a um número, que pode ter significado relativo e não absoluto

52

Estruturas de Concreto

- É possível não ter problemas**
- É durável, tem vida útil longa**
- Necessita gerenciar a qualidade**
 - Necessita ter visão sistêmica**
 - É um trabalho de equipe**
- Precisa conhecer e bem usar normas e documentos existentes**

53



54