



Modelos de Previsão de Vida Útil para Estruturas de Concreto

17/11/2022

Eng^a Jéssika Pacheco



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

1

Conceituação Técnica

2

Mecanismos de Envelhecimento ABNT NBR 6118

Armadura

- ✓ corrosão por carbonatação
- ✓ corrosão por cloretos

Concreto

- ✓ lixiviação → água, chuva ácida e ácidos
- ✓ expansão → sulfatos internos (DEF) e externos, AAR
- ✓ intemperismo → fungos, fuligem, poeira, abrasão

Estrutura

- ✓ ações mecânicas, movimentos térmicos, impactos, ações cíclicas, retração, fluência, relaxação, incêndio ... fator humano (*projeto, execução, uso, manutenção*)

3

Modelos de degradação

4

Conceituação técnica

- Durabilidade do concreto:
 - Carbonatação - TUUTTI (1982)

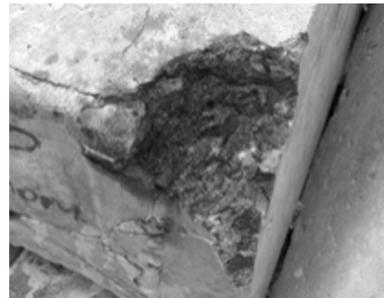
$$c = k \cdot \sqrt{t}$$

onde:

c = cobrimento nominal em mm;

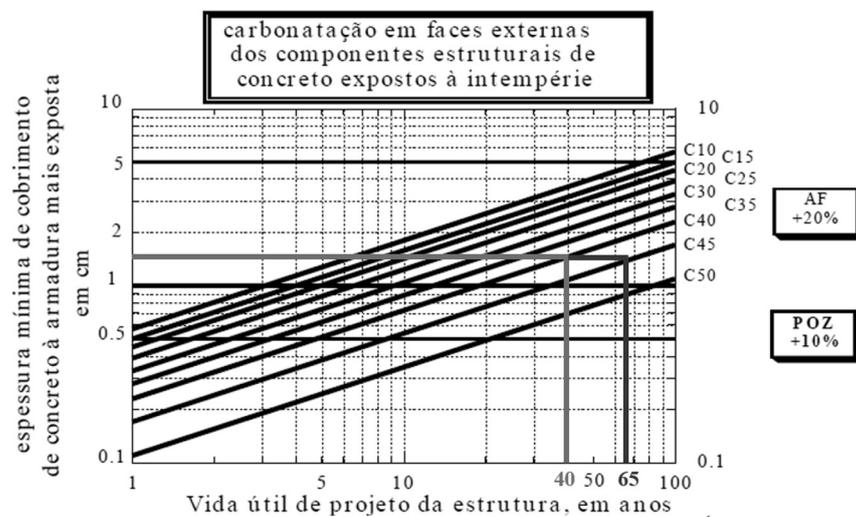
k = coeficiente global de penetração por difusão dos agentes agressivos (CO₂, H₂O, O₂ e gases ácidos) em $\frac{mm}{\sqrt{ano}}$;

t = vida útil de projeto em anos.



5

► Cálculo da Vida Útil de Projeto, VUP, segundo HELENE (1997)



6

“MODELOS” DE VIDA ÚTIL → Carbonatação

Modelos de VUP	VUP em anos
TUUTTI (1982)	50
MORINAGA (1990)	59
BOB e BOB (1991)	86
HELENE (1997)	40
CEB (1997)	146
EHE (2008)	209

7

Conceituação técnica

- Durabilidade do concreto:
 - Cloretos



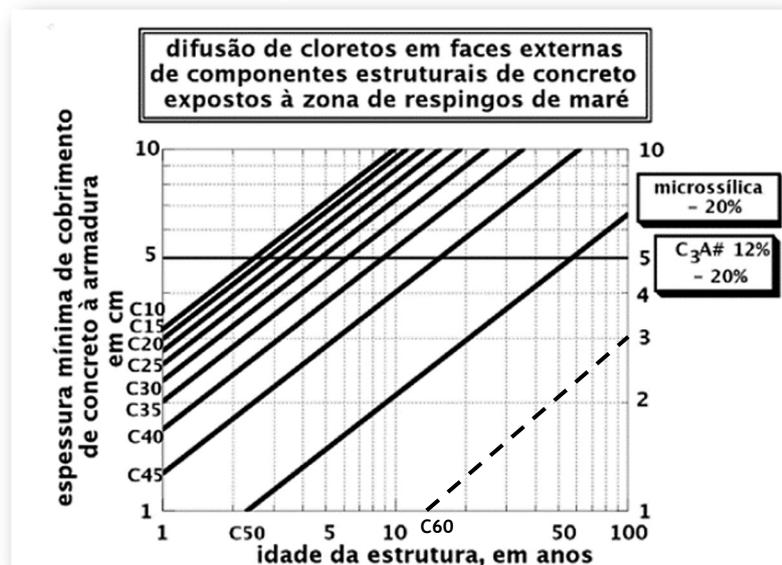
8

Modelos de previsão de vida útil Difusão de cloretos

- base enfoque determinista (média 50%) →
ábaco IBRACON Helene
- base enfoque probabilista (10%) →
EN DURACON
- base enfoque determinista (média 50%) →
ACI LIFE 365

9

Modelo referente a cloretos: cobertura vs VUP vs concreto
vs cimento referido à espessura de cobertura mínimo



fonte: ábaco proposto por Paulo Helene em 1997, acessível na prática recomendada IBRACON (Comentários Técnicos e Exemplos de Aplicação da NB-1, p. 36, 2007. ISBN 978-85-98576-11-4)



10

Life-365



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

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

11

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” (IBRACON).

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

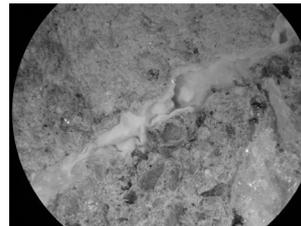
12

Exemplos comparativos

ABNT NBR 6118:2014			
CPI ou CPV + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)			
Vida útil (anos)			
Life 365	Duracon	Helene (1997)	
7,4	1	1,2	$f_{ck}=30; c=40$
8	2	1,5	$f_{ck}=40; c=35$
11,2	4	48,0	$f_{ck}=60; c=35$
CPIV + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)			
Vida útil (anos)			
Life 365	Duracon	Helene (1997)	
15,5	4	1,2	$f_{ck}=30; c=40$
16,4	5	1,5	$f_{ck}=40; c=35$
26,8	13	48,0	$f_{ck}=60; c=35$
CPIII + 8% Sílica Ativa (ou 8% de Metacaulim)			
Vida útil (anos)			
Life 365	Duracon	Helene (1997)	
24,4	6	1,2	$f_{ck}=30; c=40$
25,8	10	1,5	$f_{ck}=40; c=35$
45,4	26	48,0	$f_{ck}=60; c=35$

13

Conceituação técnica



- Durabilidade do concreto:
 - Expansão por reação álcali-agregado RAA ou AAR (alkali aggregate reaction)

$$\varepsilon(t, \theta) = \varepsilon_{\infty} \cdot \frac{1 - e^{\left(\frac{-t}{\tau_C(\theta)}\right)}}{1 + e^{\left(\frac{-t - \tau_L(\theta)}{\tau_C(\theta)}\right)}}$$

Sendo:

ε_{∞} = expansão no infinito;

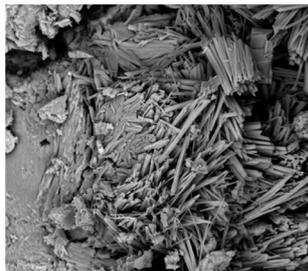
τ_L = tempo de latência;

τ_C = tempo característico.

Larive, C. (1997). Combined contribution of experiments and modelling to the understanding of alkali aggregate reaction and its mechanical consequences (PhD thesis).

14

Conceituação técnica



- Durabilidade do concreto:
 - Formação de etringita tardia ou DEF (Delayed Ettringite Formation)

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_{\infty} \cdot \frac{1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau_C}\right)}}{1 + e^{-\left(\frac{t - \tau_L}{\tau_C}\right)}} \cdot \left(1 - \frac{\varphi}{\delta - t}\right) \quad \text{para: } 0 \leq \varphi \leq \delta$$

Sendo:

ε_{∞} = expansão no infinito;

τ_L = tempo de latência;

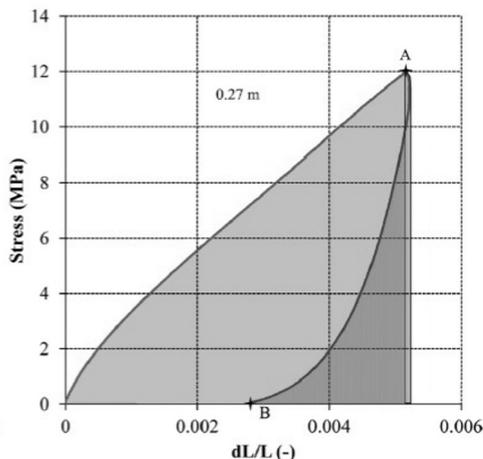
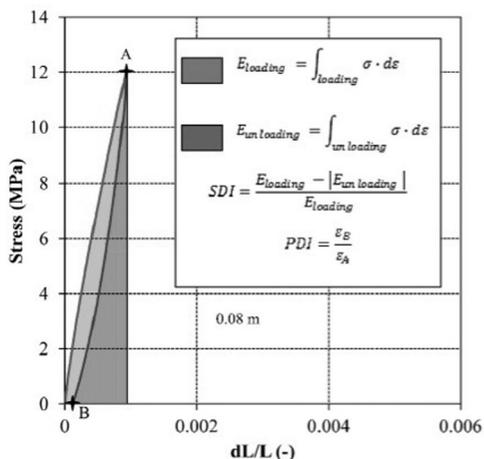
τ_C = tempo característico;

φ e δ = parâmetros de correção da equação de Larive.

Kawabata Y. et al. **Modelling of evolution of transfer properties due to expansion of concrete induced by internal swelling reaction**. ICAAR 2016 - 15th international conference on alkali aggregate reaction, Jul 2016, Sao Paulo, Brazil. 10p

15

Conceituação técnica



Renaud-Pierre Martin, Leandro Sanchez, Benoit Fournier, François Toutlemonde, **Evaluation of different techniques for the diagnosis & prognosis of Internal Swelling Reaction (ISR) mechanisms in concrete**. Construction and Building Materials, Volume 156, 2017, Pages 956-964, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.047>.

16

Conceituação técnica

mecanismo de expansão	SDI	índice de expansão de referência (%)
RAA	0,06 – 0,16	0,00 – 0,03
	0,11 – 0,25	0,04 ± 0,01
	0,15 – 0,31	0,11 ± 0,01
	0,19 – 0,32	0,20 ± 0,01
	0,22 – 0,36	0,30 a 0,50 ± 0,01
	> 0,36	0,50 a 1,00 ± 0,01
DEF e DEF+RAA	< 0,11	0,00 – 0,03
	0,11 – 0,17	0,04 ± 0,01
	0,17 – 0,20	0,11 ± 0,01
	0,20 – 0,25*	0,20 ± 0,01
	0,19 – 0,28	0,30 a 0,50 ± 0,01
	0,27 – 0,43	0,50 a 1,00 ± 0,01
	0,30 – 0,54	≥ 1,00 ± 0,01

L.F.M. Sanchez, T. Drimalas, B. Fournier, D. Mitchell, J. Bastien. **Comprehensive damage assessment in concrete affected by different internal swelling reaction (ISR) mechanisms**. Cement and Concrete Research, Volume 107, 2018, Pages 284-303, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.017>.

17

Conceituação técnica

expansão (%)	redução da resistência à compressão (%)	redução da resistência à tração (%)
0,00 – 0,03	-	-
0,04 ± 0,01	0 a 10 – 15	15 – 60
0,11 ± 0,01	0 – 20	40 – 65
0,20 ± 0,01	13 – 25	45 – 80
0,30 a 0,50 ± 0,01	20 – 35	-
0,50 a 1,00 ± 0,01	-	-

L.F.M. Sanchez, T. Drimalas, B. Fournier, D. Mitchell, J. Bastien. **Comprehensive damage assessment in concrete affected by different internal swelling reaction (ISR) mechanisms**. Cement and Concrete Research, Volume 107, 2018, Pages 284-303, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.017>.

18

Aplicações

19

Plano de manutenção e inspeção das estruturas



20

Benefícios

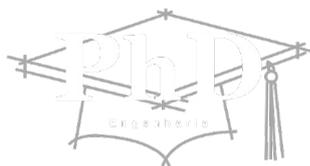
21

Impedir a interrupção do trecho para intervenções corretivas mais pesadas



22

OBRIGADA!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

11-2501-4822 / 23