



**INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO**  
FUNDADO EM 23 DE 1972

## Capítulo 22

### Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto

Jairo Andrade – PUCRS  
Marcelo Medeiros – UFPR  
Paulo Helene – PhD Engenharia  
& Consultoria

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

1



### 22.1 Importância do Tema

---

- Em função dos crescentes problemas de degradação precoce observados nas estruturas, das novas necessidades competitivas e das exigências de sustentabilidade no setor da Construção Civil, observa-se, nas últimas duas décadas, uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e à extensão da vida útil das estruturas de concreto armado e protendido (CLIFTON, 1993).

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

2



## 22.1 Importância do Tema

---

- Segundo o fib *Model Code for Service Life Design* (2006), a questão da vida útil deve ser tratada sob, pelo menos, três aspectos:
  - Métodos de Introdução ou Verificação da Vida Útil no Projeto;
  - Procedimentos de Execução e Controle de Qualidade;
  - Procedimentos de Uso, Operação e Manutenção.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

3



## 22.1 Importância do Tema

---

- Ainda, segundo o mesmo documento, para a introdução da durabilidade e seu controle no projeto e construção das estruturas de concreto, ou seja, para verificação da vida útil no projeto, há, pelo menos, quatro métodos ou estratégias, a saber:
  - Método probabilista completo (*confiabilidade* – ISO 2394:1998);
  - Método dos coeficientes parciais de segurança (*semiprobabilista* – ISO 22111:2007 e ABNT NBR 8681:2003);
  - Método “por atributos” ou exigências prescritivas;
  - Método indireto de proteção da estrutura.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

4



## 22.1 Importância do Tema

- O estudo da durabilidade das estruturas de concreto armado e protendido tem evoluído graças ao maior conhecimento dos mecanismos de transporte de líquidos e de gases agressivos nos meios porosos, como o concreto, que possibilitaram associar o tempo aos modelos matemáticos que expressam quantitativamente esses mecanismos.
- Consequentemente, passou a ser viável a avaliação da vida útil expressa em número de anos e não mais em critérios apenas qualitativos de adequação da estrutura a certo grau de exposição.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

5



## 22.1 Importância do Tema

- Pode-se afirmar que o conhecimento da durabilidade e dos métodos de previsão da vida útil das estruturas de concreto são fundamentais para:
  - auxiliar na previsão do comportamento do concreto em longo prazo- *o conceito de vida útil é introduzido no projeto estrutural de forma análoga ao de introdução da segurança;*
  - prevenir manifestações patológicas precoces nas estruturas- *esse conhecimento é fundamental para reduzir riscos de fissuras, corrosão, expansões e outros problemas nas estruturas;*
  - contribuir para a economia, sustentabilidade e durabilidade das estruturas- *sempre lembrando que fazer uma boa engenharia significa manejar bem custos, técnica, recursos humanos e respeito ao meio ambiente.*

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

6



## 22.1 Importância do Tema

O Quadro 1 demonstra os significativos gastos com manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos:

Quadro 1. Gastos em países desenvolvidos com manutenção.

País	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%)
Alemanha	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%)

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

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

7



## 22.2 Definições e Terminologia

- *Durabilidade* é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

8



## 22.2 Definições e Terminologia

- No Brasil há uma proposta de definição clara de *Vida Útil* de projeto desde o início da década de 90 (HELENE, 1993), limitada aos fenômenos de corrosão das armaduras, que pode ser esquematizado conforme mostrado nas figuras a seguir. Essa proposta foi realizada tomando por base o modelo proposto por Tuutti (1982) em sua tese de doutorado. Para os demais fenômenos de deterioração ainda não há propostas brasileiras nem internacionais.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

9



## 22.2 Definições e Terminologia



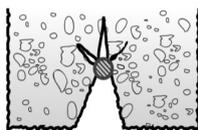
A) Penetração de agentes agressivos por difusão, absorção capilar ou permeabilidade



B) Fissuração devida as forças de expansão dos produtos de corrosão

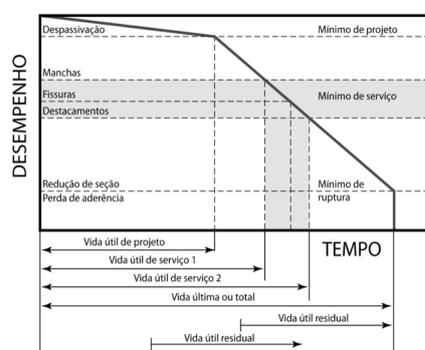


C) Destacamento do concreto e corrosão acentuada



D) Destacamento acentuado e redução significativa da secção da armadura

HELENE, 1986.



HELENE, 1997

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

10



## 22.2 Definições e Terminologia

---

- a) Vida útil de projeto: Período de tempo que vai até a despassivação da armadura, normalmente denominado de período de iniciação. Corresponde ao período de tempo necessário para que a frente de carbonatação ou a frente de cloretos atinja a armadura.
- b) Vida útil de serviço: Período de tempo que vai até o momento em que aparecem manchas na superfície do concreto, ou ocorrem fissuras no concreto de cobrimento, ou ainda quando há o destacamento do concreto de cobrimento.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

11



## 22.2 Definições e Terminologia

---

- c) Vida útil última ou total: Período de tempo que vai até a ruptura ou colapso parcial ou total da estrutura.
- d) Vida útil residual: Corresponde ao período de tempo em que a estrutura ainda será capaz de desempenhar suas funções, contado nesse caso a partir de uma data qualquer, correspondente a uma vistoria. Essa vistoria e diagnóstico podem ser efetuados a qualquer instante da vida em uso da estrutura.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

12

 **22.2 Definições e Terminologia**

---

Armadura atingida por frente de carbonatação      Deslocamento do concreto de cobertura

Foto: Douglas Couto      Foto: Karina Cavalcante

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

13

 **22.2 Definições e Terminologia**

---

- Nos métodos de introdução da segurança no projeto das estruturas de concreto, há vários anos utilizam-se os seguintes termos e critérios de verificação da segurança e estabilidade estrutural:
  - estado limite último ou de ruptura (ELU ou ULS);
  - estado limite de utilização ou de serviço (ELS ou SLS).

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

14



## 22.2 Definições e Terminologia

---

- Na definição da vida útil, o importante é construir uma sistemática abrangente que permita:
  - deixar bem claro o critério de julgamento;
  - fixar uma condição de alta probabilidade de sucesso, pois o “engenheiro” vai ter de passar a projetar e garantir aquilo que projetou e construiu e não poderá frustrar-se frequentemente;
  - estimular a inspeção e a observação periódicas das estruturas com recálculos de vida residual e de vida útil efetivas e comprovação das hipóteses inicialmente adotadas na fase de projeto;

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

15



## 22.2 Definições e Terminologia

---

- revalorizar o papel da técnica na decisão da durabilidade. Evitar manter a situação atual na qual a “perda da vida útil” se faz com base a observação visual, em que todos, inclusive e principalmente os “leigos”, percebem que a vida útil de uma estrutura terminou, pois esta se mostra visivelmente alterada, fissurada, manchada, deformada e até “desmanchando-se”.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

16



### 22.3 Conceito Sistêmico de Durabilidade e Vida Útil

---

- A questão da vida útil das estruturas de concreto deve ser enfocada de forma holística, sistêmica e abrangente, envolvendo equipes multidisciplinares. Deve também ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo: concepção; planejamento; projeto; materiais e componentes; execução propriamente dita e principalmente durante a etapa de uso da estrutura.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

17



### 22.3 Conceito Sistêmico de Durabilidade e Vida Útil

---

- Existem níveis de desempenho mínimos aceitáveis e a estrutura vai perdendo sua capacidade inicial ao longo do tempo de utilização. Isso vem do fato incontestável de que nada é eterno e toda construção tem um tempo de vida útil que é finito. A figura a seguir ilustra essa questão e também destaca a necessidade de manutenção periódica.

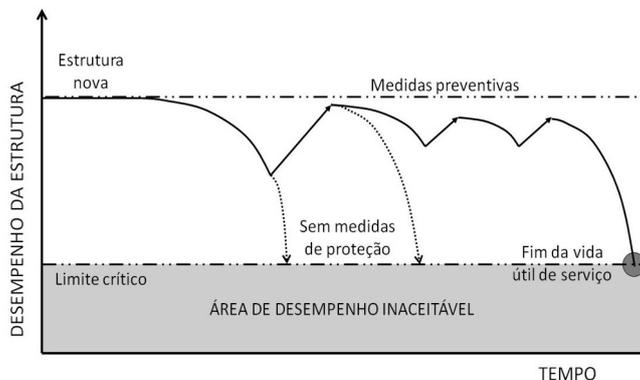
•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

18



## 22.3 Conceito Sistêmico de Durabilidade e Vida Útil

Variação do desempenho de uma estrutura de concreto armado ao longo do tempo.



• Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
• Editor: Geraldo C. Isaia

19



## 22.4 Mecanismos de Envelhecimento e Deterioração

- Os mecanismos mais importantes e frequentes de envelhecimento e de deterioração das estruturas de concreto estão descritos nas ABNT NBR 6118:2007 e ABNT NBR 12655:2006 e listados a seguir.
  - *Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto:*
    - lixiviação (águas puras e ácidas);
    - expansão (sulfatos, magnésio);
    - expansão (reação álcali-agregado);
    - reações deletérias (superficiais tipo eflorescências).

• Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
• Editor: Geraldo C. Isaia

20



## 22.4 Mecanismos de Envelhecimento e Deterioração

- *Mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura:*
  - corrosão devida à carbonatação;
  - corrosão por elevado teor de íon cloro (cloreto).
  
- *Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita:*
  - ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas (fadiga), deformação lenta (fluência), relaxação, e outros considerados em qualquer norma ou código regional, nacional ou internacional, mas que não fazem parte de uma análise de vida útil e durabilidade tradicional.

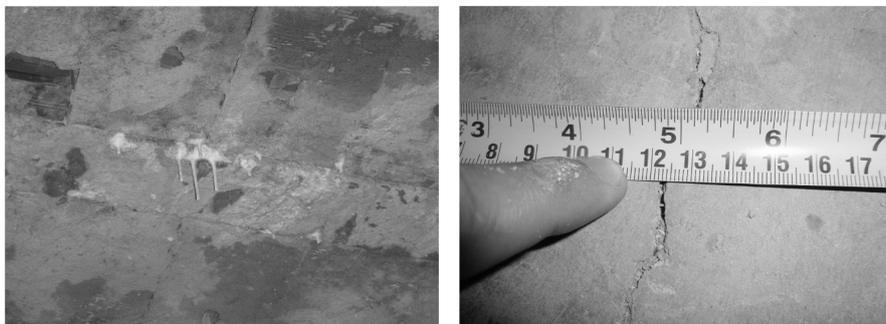
•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

21



## 22.4 Mecanismos de Envelhecimento e Deterioração

Eflorescências resultantes do processo de lixiviação      Fissuras resultantes das movimentações da estrutura



Fotos: Douglas Couto

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

22



## 22.4 Mecanismos de Envelhecimento e Deterioração

Junta de dilatação incorreta



Foto: Douglas Couto

Corrosão das armaduras



Foto: Karina Cavalcante

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

23



## 22.4 Mecanismos de Envelhecimento e Deterioração

- De forma geral, ácidos orgânicos e minerais, óleos, substâncias fermentadas, esgoto industrial podem atacar o concreto.
- Numa estrutura de concreto armado e protendido, o aço é a parte mais sensível ao ataque do meio ambiente e por essa razão as armaduras devem ficar protegidas através de uma espessura de concreto de cobrimento.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

24



## 22.4 Mecanismos de Envelhecimento e Deterioração

- Observa-se que o cobrimento das armaduras tem uma importância fundamental no que se refere à vida útil das estruturas, assim como os procedimentos executivos têm consequências preponderantes na qualidade desta camada. Sendo assim, é imperativo que o cobrimento seja projetado e executado adequadamente, a fim de garantir o desempenho projetado para a estrutura.
- Na tabela a seguir está apresentada uma visão geral dos principais mecanismos físico-químicos de deterioração das estruturas de concreto armado e protendido:

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

25



## 22.4 Mecanismos de Envelhecimento e Deterioração

Agressividade do ambiente		Consequências sobre a estrutura	
natureza do processo	condições particulares	alterações iniciais na superfície do concreto	efeitos a longo prazo
carbonatação	UR 60% a 85%	imperceptível	redução do pH corrosão de armaduras fissuração superficial
lixiviação	atmosfera ácida, águas puras	eflorescências, manchas brancas	redução do pH corrosão de armaduras desagregação superficial
retração	umedecimento e secagem, ausência de cura UR baixa (< 50%)	fissuras	fissuração corrosão de armaduras
fuligem	partículas em suspensão na atmosfera urbana e industrial	manchas escuras	redução do pH corrosão de armaduras
fungos e mofo	temperaturas altas (>20°C e <50°C) com UR > 75%	manchas escuras e esverdeadas	redução do pH desagregação superficial corrosão de armaduras
concentração salina, Cl <sup>-</sup>	atmosfera marinha e industrial	imperceptível	despassivação e corrosão de armaduras expansão → fissuras
sulfatos	esgoto e águas servidas	fissuras	desagregação do concreto corrosão de armaduras expansão → fissuras
álcali-agregado	composição do concreto umidade, UR > 95%	fissuras gel ao redor do agregado graúdo	desagregação do concreto corrosão de armaduras

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

26



## 22.5 Classificação da Agressividade do Meio Ambiente

- A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e de outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.
- A classificação da agressividade do ambiente, com base nas condições de exposição da estrutura ou suas partes, deve levar em conta o micro e macroclima atuantes sobre a obra e suas partes críticas.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

27



## 22.5 Classificação da Agressividade do Meio Ambiente

- No caso dos projetos das estruturas correntes, é possível considerar as classes adotadas pela ABNT NBR 6118:2007 e ABNT NBR 12655:2006, apresentadas no Quadro 2:

Quadro 2

Classe de agressividade	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	insignificante
II	Média	pequeno
III	Forte	grande
IV	muito forte	elevado

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

28



## 22.5 Classificação da Agressividade do Meio Ambiente

Ambiente marítimo: o mais agressivo



Foto: Carlos Brites

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

29



## 22.6 Classificação dos Concretos

- A resistência do concreto aos diferentes meios agressivos depende, entre outros fatores, da natureza e tipo dos seus materiais constituintes assim como da composição ou dosagem do concreto, ou seja, depende de:
  - tipo e consumo de cimento;
  - tipo e consumo de adições e de água;
  - relação água / cimento;
  - natureza e  $D_{max}$  do agregado.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

30



## 22.6 Classificação dos Concretos

- É conhecido que para evitar envelhecimento precoce e satisfazer às exigências de durabilidade devem ser observados os seguintes critérios de projeto:
  - prever drenagem eficiente;
  - evitar formas arquitetônicas e estruturais inadequadas;
  - garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
  - garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
  - detalhar adequadamente as armaduras;
  - controlar a fissuração das peças;

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

31



## 22.6 Classificação dos Concretos

- prever espessuras de sacrifício ou revestimentos protetores em regiões sob condições de exposição ambiental muito agressivas;
- definir um plano de inspeção e manutenção preventiva.
- Deve-se dar preferência a certos tipos de cimento Portland, a adições minerais e a aditivos mais adequados para resistir à agressividade ambiental, em função da natureza dessa agressividade.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

32



## 22.6 Classificação dos Concretos

- Uma diretriz geral, encontrada na literatura técnica, ressalta que a durabilidade da estrutura de concreto é determinada por quatro fatores identificados como regra dos **4C**:
  - **C**omposição ou traço do concreto;
  - **C**ompactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;
  - **C**ura efetiva do concreto na estrutura;
  - **C**obrimento das armaduras.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

33



## 22.7 Agressividade do Meio *versus* Durabilidade do Concreto

- Uma vez que sejam mantidas constantes as demais variáveis que entram em jogo na problemática da durabilidade das estruturas de concreto, a correspondência básica entre agressividade do meio ambiente e durabilidade do concreto pode ser a considerada, simplificadamente, no Quadro 3:

Quadro 3

Classe de agressividade	Concreto recomendável
I ou fraca	efêmero, normal, resistente ou durável
II ou média	normal, resistente ou durável
III ou forte	resistente ou durável
IV ou muito forte	durável

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

34



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

---

- De acordo com Helene (2004), a estimativa de vida útil de estruturas de concreto pode ser efetuada através de um dos quatro procedimentos a seguir:
  - com base nas experiências anteriores;
  - com base em ensaios acelerados;
  - com base em enfoque determinista;
  - com base em enfoque estocástico ou probabilista.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

35



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

---

### 22.8.1 Método com base nas experiências anteriores

•Desde as primeiras normas sobre estruturas de concreto armado, a questão da durabilidade tem sido introduzida de forma qualitativa. São especificadas certas exigências construtivas que “asseguram” durabilidade. Em outras palavras significa “– Faça assim que tem dado bom resultado. – Mas quantos anos de vida útil terá? – Não se sabe, mas parece que dessa maneira tem funcionado bem...”

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

36



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

- No Brasil a primeira norma sobre estruturas de concreto, publicada pela Associação Brasileira de Concreto (ABC), data de julho de 1931 e especificava:
  - consumo de cimento  $\geq 240 \text{ kg/m}^3$ , sempre;
  - consumo de cimento  $\geq 270 \text{ kg/m}^3$ , partes expostas;
  - consumo de cimento  $\geq 300 \text{ kg/m}^3$ , para pontes;
  - água de amassamento não deve conter cloretos, sulfatos e nem matéria orgânica;
  - cobrimento  $\geq 1,0\text{cm}$  para lajes interiores e  $\geq 1,5\text{cm}$  para exteriores;
  - cobrimento  $\geq 1,5\text{cm}$  para pilares e vigas interiores e  $\geq 2,0\text{cm}$  para exteriores.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

37



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

- 22.8.2 Método com base em ensaios acelerados
  - Trata-se de um método introduzido pelos Americanos em 1978, na primeira norma ASTM E 632. Posteriormente foi publicada também a norma ISO 6241:1984, com conceitos similares.
  - Os ensaios de degradação acelerada podem ser usados para estimar a vida útil do concreto, porém o mecanismo de degradação no ensaio acelerado difere das condições reais. Se a degradação avança da mesma forma, mas em velocidades diferentes nesses dois casos, é possível determinar um coeficiente de aceleração **K**;

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

38



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

---

$$K = \frac{T_{ea}}{T_{cr}}$$

em que:

- taxa de degradação pelo ensaio acelerado;
- taxa de degradação em condições reais.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

39



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

---

- 22.8.3 Método com enfoque determinista
  - A base científica desse método são os mecanismos de transporte de gases, de fluídos e de íons através dos poros do concreto, no caso do período de iniciação e a lei de Faraday no caso do período de propagação, sempre que se trate de corrosão das armaduras (HELENE, 1997), a saber:
    - **Modelos de Previsão até Despassivar**  
→ **Termodinâmica da Corrosão**
    - **Modelos de Previsão após Despassivar** → **Cinética da Corrosão**

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

40



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

- Um dos modelos mais empregados para representar a penetração de agentes agressivos através da rede de poros do concreto é denominado modelo da raiz quadrada do tempo, que foi inicial e historicamente apresentado no começo do século passado, sendo representado por:

$$x = k\sqrt{t}$$

em que:

- profundidade de carbonatação (cm);
- coeficiente de carbonatação (cm<sup>2</sup>/ano);
- tempo (anos).

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

41



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

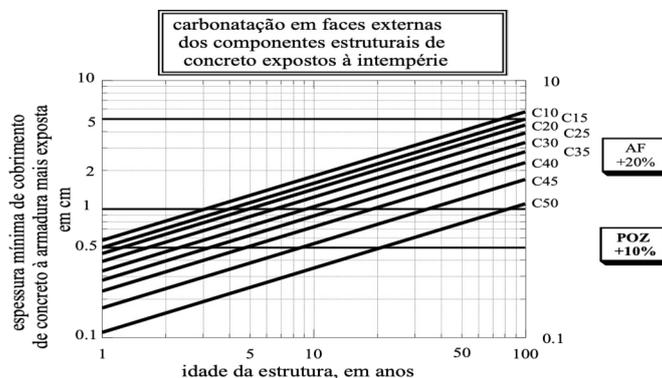
- Uma aplicação prática dessa função matemática pode ser exemplificada na figura a seguir (HELENE, 2004; HELENE, 2007), onde está apresentado ábaco correspondente a uma estrutura sujeita a um ambiente agressivo no qual predomina a ação do gás carbônico. Como se pode observar, uma mesma vida útil pode ser alcançada por diferentes pares de “cobrimentos / resistência (qualidade) de concreto”.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

42



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil



Ábaco para obtenção da espessura de cobrimento às armaduras em função de um ambiente agressivo onde prepondera o risco de carbonatação. Caso sejam utilizados cimentos Portland com escórias de alto forno ou com pozolanas as espessuras mínimas características de cobrimento de concreto à armadura, devem ser aumentadas em pelo menos 20% e 10%, respectivamente. Ábacos similares podem ser construídos para outras condições de exposição (HELENE, 2007).

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

43



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

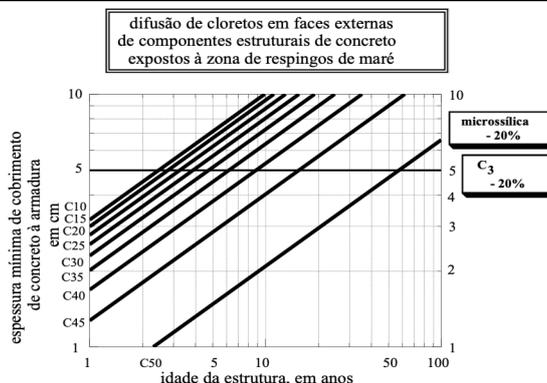
- A figura a seguir apresenta um ábaco determinista para o caso de estrutura de concreto situada em zona de variação de maré e respingos que é uma das situações naturais mais agressivas ao concreto armado e protendido. Para ter-se uma referência, o *ACI 318-08* e o *Eurocode II* especificam, para essa condição, cobrimentos mínimos de concreto de 3 polegadas ( $\geq 75\text{mm}$ ), ou mais.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

44



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil



Ábaco para obtenção da espessura de cobrimento às armaduras em função de um ambiente agressivo onde prepondera o risco de penetração de cloretos. Caso sejam utilizadas adições de 8% de Metacaulim ou sílica ativa ou empregados cimentos Portland com teor de C<sub>3</sub>A ≥ 12%, as espessuras mínimas características de cobrimento de concreto à armadura podem ser reduzidas em 20%. Ábacos similares podem ser construídos para outras condições de exposição (HELENE, 2007).

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

45

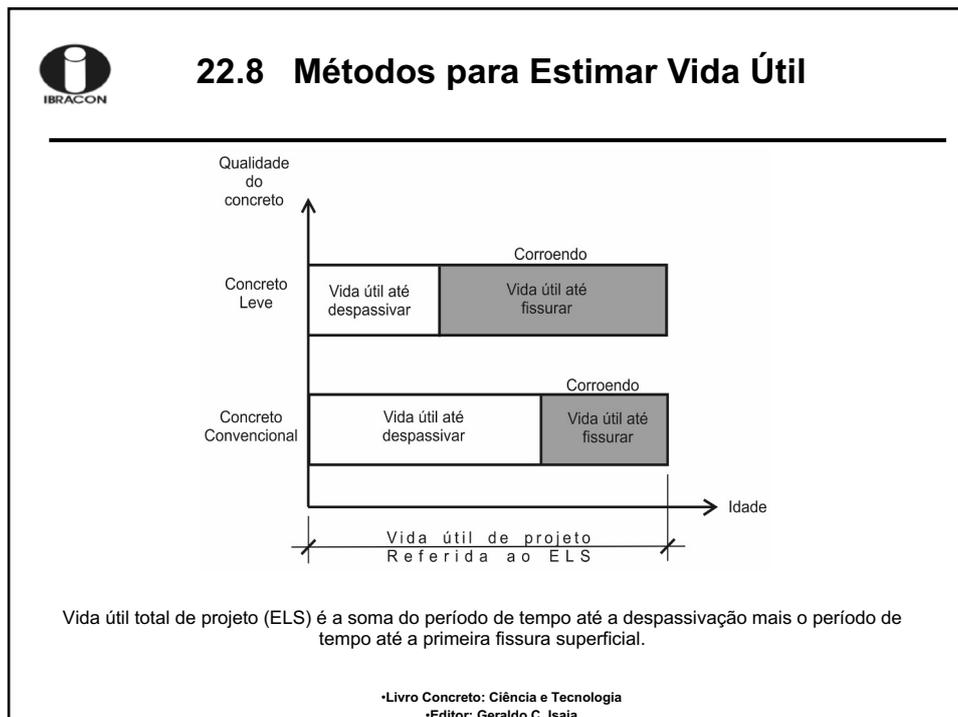


## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

- Cascudo & Helene (1999) realizaram extenso programa experimental buscando quantificar a influência dos produtos da corrosão nas propriedades mecânicas do concreto de cobrimento com vistas à previsão de vida útil a partir do momento da fissuração do concreto na superfície.
- Os resultados obtidos permitiram formular o modelo apresentado na figura a seguir onde se vê claramente que a vida útil total de projeto é a soma do tempo até a despassivação mais o tempo de corrosão até a formação de um volume considerável de produtos de corrosão suficiente para romper e destacar o concreto de cobrimento.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

46



47

 **22.8 Métodos para Estimar Vida Útil**

- Para o cálculo da vida útil de projeto (ELS), pode-se utilizar o modelo simplificado proposto por Helene (1993), baseado na lei de Faraday a seguir exposta:
  - Lei de Faraday:
 
$$m = \frac{i \cdot t \cdot a}{n \cdot F}$$

em que:

- m – massa em g do metal corroído
- i – corrente elétrica em A
- t – tempo em s
- a – massa atômica em g
- n – valência dos íons do metal
- F – constante de Faraday [96.493 C]

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

48



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

- Andrade (2001) desenvolveu o modelo a seguir para estimar a profundidade de penetração de cloretos no concreto:

$$y_{0,4\%} = 7,35 \cdot \frac{UR^{0,7} \cdot T^{0,1} \cdot Cl^{0,7}}{K_1 \cdot f_{ck} \cdot K_2 \cdot (1 + Ad)^{0,2}} \cdot \sqrt{t}$$

no qual:

- $y_{0,4\%}$  = posição da concentração crítica de cloretos ( $C_{cr} = 0,4\%$ ) a partir da superfície do concreto (mm);
- UR = umidade relativa média do ambiente (%);
- T = temperatura ambiental ( $^{\circ}$  C);
- Cl = concentração de cloretos na superfície (%);
- $K_1$  = fator que varia em função do tipo de cimento;
- $f_{ck}$  = resistência à compressão (28 dias) (MPa);
- $K_2$  = fator que leva em consideração o tipo de adição empregado no concreto;
- Ad = quantidade de adição empregada no concreto (%);
- t = tempo (anos).

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

49



## 22.8 Métodos para Estimar Vida Útil

- 22.8.4 Método com enfoque probabilista
  - Os documentos de referência obrigatória deste mais moderno e mais realístico método de introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto são: o **fib Model Code 2006 for Service Life Design**, o **ASTM STP 1098:1990**, o **RILEM Report 12 (1995)**, o **RILEM report 14 (1996)** e o **CEB Bulletin 238 (1997)**.
  - Neste caso empregam-se as teorias da confiabilidade (teoria das falhas) para predizer como se comportará uma determinada estrutura, considerando parâmetros estatísticos (médias e desvios-padrão) dos diversos parâmetros envolvidos (SILVA, 1998; ANDRADE, 2001; POSSAN, 2010).

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

50



## 22.9 Principais orientações de normas e códigos sobre a durabilidade e vida útil das estruturas

- Os Quadros 3 e 4 mostram as recomendações de vida útil de alguns documentos de referência internacional:

Quadro 3

BS 7543 (1992) Guide to Durability of Buildings and Buildings Elements, Products and Components	
Tipo de estrutura	Vida útil nominal
Temporárias	≥ 10 anos
Substituíveis	≥ 10 anos
Edifícios industriais e reformas	≥ 30 anos
Edifícios novos e reformas de edifícios públicos	≥ 60 anos
Obras de arte e edifícios públicos novos	≥ 120 anos

Quadro 4

EN 206-1 (2007) Concreto: Especificação, desempenho, produção e conformidade	
Tipo de estrutura	Vida útil nominal
Temporárias	≥ 10 anos
Partes estruturais substituíveis (Ex.: apoios)	10 a 25 anos
Estruturas para agricultura e semelhantes	15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns	≥ 50 anos
Edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil	≥ 100 anos

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

51



## 22.9 Principais orientações de normas e códigos sobre a durabilidade e vida útil das estruturas

- Verifica-se que o tempo de vida útil de projeto para estruturas correntes é de no mínimo 50 anos, salientando que a norma inglesa é ainda mais exigente com a prescrição de tal parâmetro. A fixação desse valor é de extrema importância para garantir os níveis mínimos de desempenho exigidos pela estrutura. É importante salientar a exigência de valores da ordem de 120 anos para estruturas de caráter especial, tais como as obras de arte, considerando-se o montante financeiro despendido em todas as etapas do processo construtivo desse tipo de estrutura.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

52



## 22.10 Considerações Finais

---

- As principais considerações finais podem ser assim resumidas nos itens a seguir:
  - a) Há a necessidade da modelagem dos mecanismos de degradação, principalmente da corrosão das armaduras, reação álcali-agregado e ataque por sulfatos. O desenvolvimento de modelos aplicáveis na prática, que representem com melhor acurácia os fenômenos envolvidos, é importante para fornecer ao engenheiro uma ferramenta para quantificar a vida útil de uma estrutura;

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

53



## 22.10 Considerações Finais

---

- b) Há necessidade de definir e de introduzir os Estados Limites de Durabilidade ELD ou DLS;
- c) Faz-se necessária a incorporação de métodos probabilísticos para considerar as variabilidades das características do concreto e das condições ambientais nos modelos de previsão da vida útil;
- d) O sucesso do desempenho de uma estrutura durante sua vida útil depende das decisões tomadas pelos proprietários e pelos agentes da construção. Como o concreto é um material que altera suas propriedades ao longo do tempo, é necessário o monitoramento da estrutura após a entrada em serviço;

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

54



## 22.10 Considerações Finais

---

- e) Para assegurar o desempenho desejado, o proprietário é obrigado a definir a qualidade e a vida útil requerida, garantir que a qualidade dos materiais e execução seja satisfatória, arcando com os eventuais custos adicionais da qualidade. Assim, o proprietário deve selecionar uma equipe de engenharia competente e o suporte financeiro necessário;
- f) Devem ser realizadas inspeções periódicas nas obras, com recálculos da vida útil residual, para verificação das hipóteses iniciais adotadas nos projetos;

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

55



## 22.10 Considerações Finais

---

- g) As normas de projeto estrutural atuais em todo o mundo ainda usam os métodos baseados em experiências anteriores com a prescrição de cobrimentos, com o consumo de cimento e com a resistência mecânica mínimos para cada tipo de condição de exposição. Introduzir os métodos deterministas e probabilistas nas normas constitui-se um grande desafio para a engenharia civil tornando a análise de vida útil mais precisa, versátil e confiável.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia

56



## 22.10 Considerações Finais

---

- De forma geral, pode-se afirmar que a determinação da vida útil das estruturas de concreto pode ser uma tarefa um tanto difícil de ser realizada. Contudo, desde que se tenha ciência dos vários fatores envolvidos na sua estimativa, não é uma tarefa inexecutável, sendo que previsões que incorporam as incertezas referentes às características do concreto e às condições de exposição podem fornecer resultados com a menor margem de erro possível.

•Livro Concreto: Ciência e Tecnologia  
•Editor: Geraldo C. Isaia