

Iº Workshop

Avaliação de Desempenho na Prática




Módulo 02

Avaliação de Desempenho em Projetos

Debatedor

Eng. MSc. Thomas Garcia Carmona

NBR 15575 - Requisitos, Critérios e Métodos de Avaliação aplicáveis à Estruturas de Concreto

Requisito	Critério	Métodos de Avaliação
Estabilidade e Resistência Estrutural	Estado Limite Último (ELU)	⇒ Verificação de acordo com as normas (cálculos) - NBR 6118, NBR 8800 etc ⇒ Ensaios (NBR 15575-2, Anexo A) 
Deformações e Fissuração	Estado Limite de Serviço (ELS)	⇒ Verificação de acordo com as normas, NBR 6118, NBR 8800 etc (cálculos) ou limites para deformações da própria 15575-2 ⇒ Ensaios (NBR 15575-2, Anexo B) 
Segurança Estrutural Contra Incêndio	Minimizar o risco de colapso em situação de incêndio	⇒ Verificação de acordo com as normas, NBR 15200, NBR 14323 etc (cálculos)
Durabilidade	Vida Útil (ELD) 	⇒ Verificação de acordo com as normas (prescrições) - NBR 6118 , NBR 8800 etc ⇒ Ensaios  ⇒ Modelos de previsão 

NBR 15575 - Requisitos, Critérios e Métodos de Avaliação aplicáveis à Estruturas de Concreto

Requisito	Critério	Métodos de Avaliação
Manutenção do Sistema Estrutural	Manual de Opeção, Uso e Manutenção	⇒ Verificação do atendimento das diretrizes das normas de elaboração de manual de uso e manutenção NBR 5674 (em revisão), NBR 14037 (em revisão).

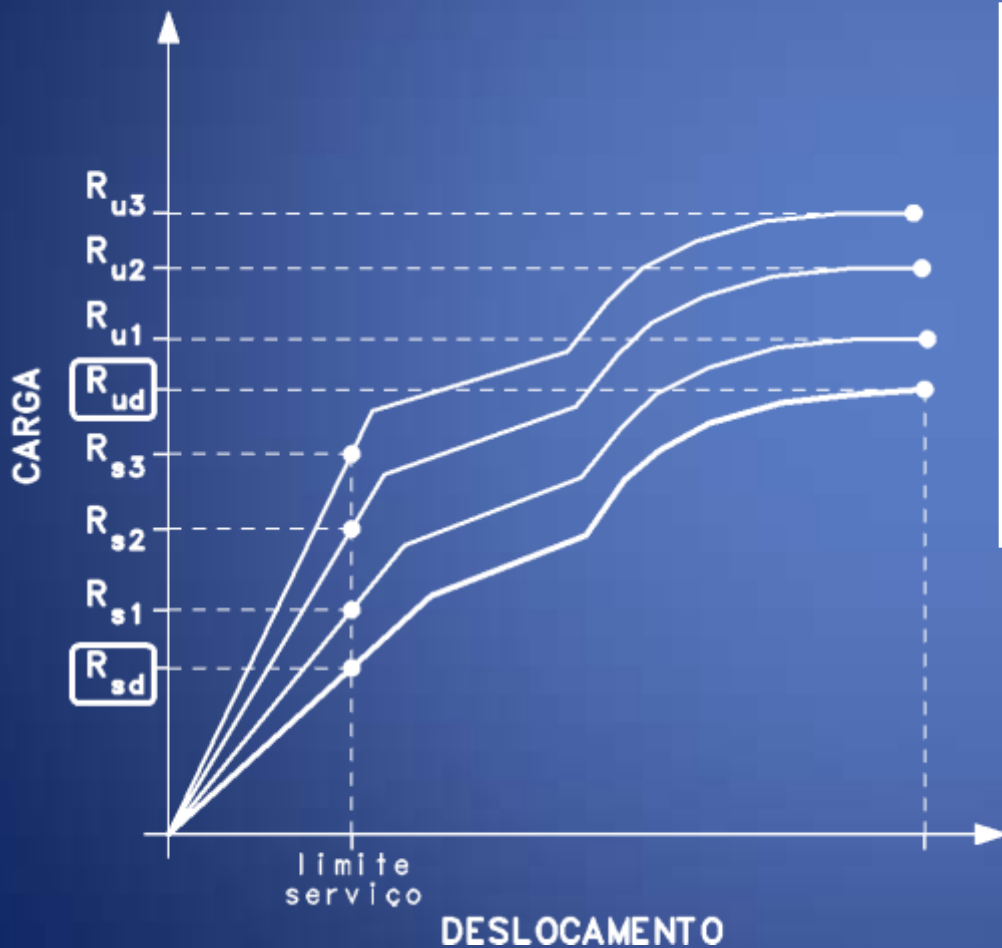
Observações:

Em certos casos alguns requisitos normalmente não atribuídos às estruturas devem ser observados como pode ser o caso de estanqueidade, desempenho térmico e acústico.

Determinação das Resistências Últimas e de Serviço por Meio de Ensaio



materiais e componentes não consolidados por experimentação ou norma técnica



$$R_{ud} = \left[R_{u1} - \frac{R_{u3} - R_{u1}}{2} \cdot \xi \right] \cdot \frac{1}{\gamma_m} \leq (1 - 0,2 \cdot \xi) \cdot R_{u1} \cdot \frac{1}{\gamma_m}$$

$$R_{sd} = \left[R_{s1} - \frac{R_{s3} - R_{s1}}{2} \cdot \xi \right] \leq (1 - 0,2 \cdot \xi) \cdot R_{s1}$$

Vida Útil



Definições Clássicas:

Durabilidade ⇒ Característica da construção de manter suas características ao longo do tempo.

Vida Útil ⇒ Período de tempo no qual a construção pode cumprir sua função sem custos importantes de manutenção (mensuração da durabilidade).

Definições da NBR 15575:

3.13

durabilidade

capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção

3.43

vida útil de projeto (VUP)


período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta Norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção (a VUP não pode ser confundida com o tempo de vida útil, durabilidade, e prazo de garantia legal ou contratual)

Vida Útil



Sistema	VUP mínima (anos)
Estrutura	≥ 50
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Vida Útil

- Definição explícita de vida útil NBR 15575 ⇒ inédita no Brasil.
- Única referência normalização ⇒ “período de retorno” do vento com velocidade de projeto (NBR 6123).
- Entretanto esse não é um conceito novo... 
- Norma inglesa BS 7543 (1992) ⇒ conceitos e critérios de projeto ⇒ durabilidade e a vida útil ⇒ origem capítulo IX do “Code of Practice 3” datado de 1950...
- **Vitória!** “começo do fim” de dispendiosas demandas judiciais...

Vida Útil – Métodos Explícitos

- Ábacos, ensaios acelerados, cálculos analíticos etc.

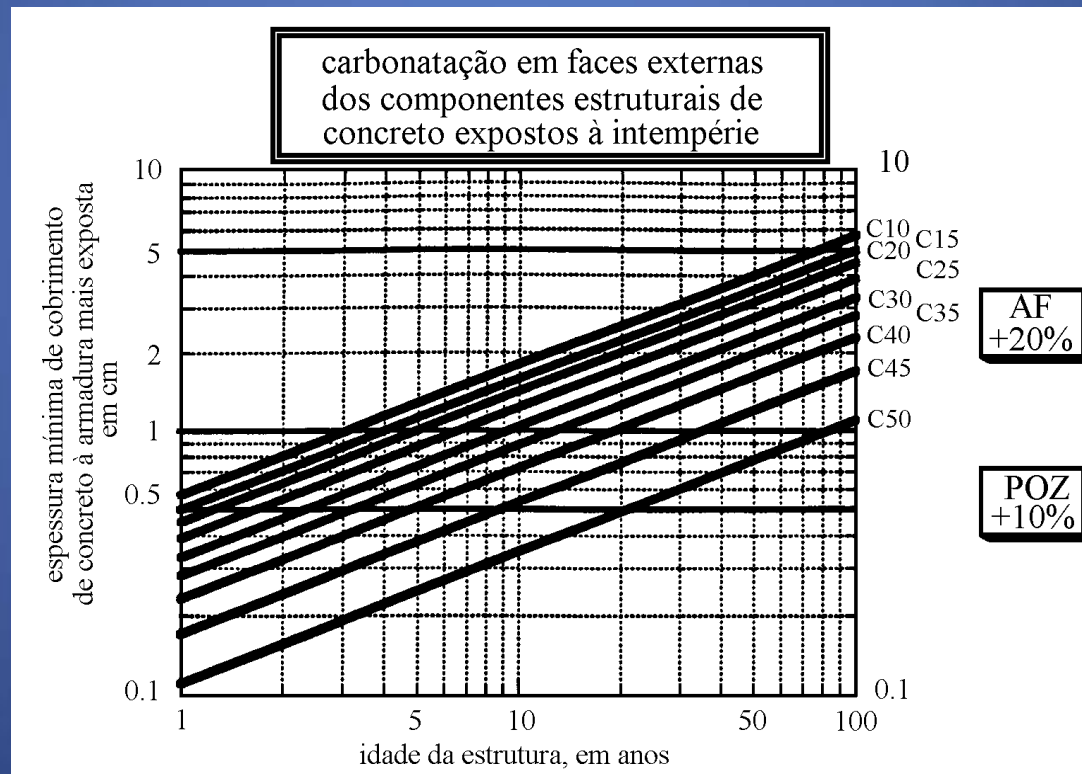


Modelos de transporte de CO_2 , Cl^- etc \Rightarrow 1990!!!

CEB Fip – Bulletim 203 – Model Code (1991) – Capitulo 2

Vida Útil – Métodos Explícitos

Ábacos de vida útil (carbonatação e cloretos) ⇒ HELENE (1997)



Vida Útil – Métodos Explícitos

No Brasil não se conseguiu incluir nenhum modelo de previsão na revisão da NBR 6118 de 2003, apesar de todo o conhecimento existente...



EHE:2008, anexo 9

Espanha Vencedora da Corrida!



Implicações

Estabilidade e Resistência Estrutural ⇒ aplicar normas

Deformações e Fissuração ⇒ aplicar normas

Segurança Estrutural Contra Incêndio ⇒ aplicar normas

Durabilidade ⇒ ¿ aplicar normas ?

Decorridos 50 % dos prazos da VUP descritos na Tabela 7, desde que não exista histórico de necessidade de intervenções significativas, considera-se atendido o requisito de VUP, salvo prova objetiva em contrário.

A título informativo, a categoria D, conforme Tabela C.3, apresenta parâmetros para a definição de custos significativos.

Implicações

Tabela C.3 – Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil

Categoria	Descrição	Exemplos típicos
A	Baixo custo de manutenção	Vazamentos em metais sanitários
B	Médio custo de manutenção ou reparação	Pintura de revestimentos internos
C	Médio ou alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição (do elemento ou sistema) equivalente ao custo inicial	Pintura de fachadas, esquadrias de portas, pisos internos e telhado
D	Alto custo de manutenção e/ou reparação Custo de reposição superior ao custo inicial Comprometimento da durabilidade afeta outras partes do edifício	Troca integral da impermeabilização de piscinas
E	Alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição muito superior ao custo inicial	Troca integral dos revestimentos de fachada e estrutura de telhados

NOTA A Tabela C.4 foi elaborada com base nos parâmetros descritos nas Tabelas C.1 a C.3.

Implicações



Auto de conclusão

25 anos

50 anos

↑
Não foi cumprida a VUP o construtor deverá provar a sua inocência

↑
VUP assumida cumprida, o consumidor deverá provar a culpa do construtor (manutenção adequada)

↑
VU cumprida não cabe reclamação por parte do consumidor

Implicações

¿ Danos significativos ?

¿ Segurança ?

¿ Manutenção preventiva ?

¿ Manutenção corretiva (reparo) ?

¿ \$\$\$\$ Custo do reparo \$\$\$\$?



Implicações

Vamos imaginar um cenário:

Estrutura em concreto armado, sem revestimento ou pintura, em um grande centro urbano, fora de atmosfera marinha. Cimento usado na região CP III.

Pela tabela 7.1 da NBR 6118 classifica-se o ambiente com relação à sua agressividade:

Ambiente Urbano => Classe II

Para essa classe de agressividade, com a tabela 7.1 determina-se:

Concreto C25, com relação a/c máxima = 0,6

Na tabela 7.2 determina-se: cobrimento nominal= 3 cm

Implicações

The screenshot shows the CARAMBOLA software interface with the following data:

Category	Parameter	Value
Dados dos Materiais e Ambiente	fck (MPa)	25
	Tipo de cimento	CPIII
	Cobrimento (cm)	3
	CO ₂ ambiente (%)	0,1
	Variabilidade	CV carbonatação (%)
CV cobrimentos (%)		30
Probabilidade de Despassivação (%)		50
Resultados	k _{CO₂} (mm / ano ^{1/2})	4,8
	Tempo até a despassivação (anos)	39,8

Buttons: Determinista, Probabilista, Calcular!

Footer: CARAMBOLA, Desenvolvido por Thomas Garcia Carmona, thomas@exataweb.com.br

Valores de coeficiente de variação bem realistas para obras com bom controle de qualidade

Obs.: Pela EHE resultou 31 anos

VUP atendida, mas a probabilidade de despassivação é 50%...

Implicações

The screenshot shows the CARAMBOLA software interface. At the top, there are two radio buttons: "Determinista" (unselected) and "Probabilista" (selected). Below this, there are two main input sections: "Dados dos Materiais e Ambiente" and "Variabilidade".

Dados dos Materiais e Ambiente:

- fck (MPa): 25
- Tipo de cimento: CIII
- Cobrimento (cm): 3
- CO₂ ambiente (%): 0,1

Variabilidade:

- CV carbonatação (%): 30
- CV cobrimentos (%): 30
- Probabilidade de Despassivação (%): 5

Resultados:

- k_{CO₂} (mm /ano^{1/2}): 4,8
- Tempo até a despassivação (anos): 8,4

A "Calcular!" button is located to the right of the results section. At the bottom left, there is a logo with three stars (green, yellow, and red) and the text: "CARAMBOLA Desenvolvido por Thomas Garcia Carmona thomas@exataweb.com.br".

Com 8 anos 5% de probabilidade de despassivação...

Implicações

The screenshot shows the CARAMBOLA software interface. At the top, there are two radio buttons: "Determinista" (unselected) and "Probabilista" (selected). Below this, there are two main sections: "Dados dos Materiais e Ambiente" and "Variabilidade".

Dados dos Materiais e Ambiente:

- fc (MPa): 25
- Tipo de cimento: CIII
- Cobrimento (cm): 3
- CO₂ ambiente (%): 0,1

Variabilidade:

- CV carbonatação (%): 30
- CV cobrimentos (%): 30
- Probabilidade de Despassivação (%): 10

Resultados:

- k_{CO₂} (mm / ano^{1/2}): 4,8
- Tempo até a despassivação (anos): 12,5

A "Calcular!" button is located to the right of the results section. At the bottom left, there is a logo with a green star and a yellow star, and the text: "CARAMBOLA Desenvolvido por Thomas Garcia Carmona thomas@exataweb.com.br".

Com 12,5 anos 10% de probabilidade de despassivação...

Implicações

Ou seja:

MANUTENÇÃO CORRETIVA COM IDADES
MENORES QUE 20 ANOS (50% VUP
ESTRUTURA) \cong 5 a 10%

¿¿ ISSO É SIGNIFICATIVO ??



Obs: Empregando modelos de penetração de cloretos os resultados são similares.

Implicações



Os usuários não estão preparados para fazer manutenção em estruturas...

∴ o construtor deverá provar a sua inocência...

Implicações

Solução a)



Implicações

Solução a)



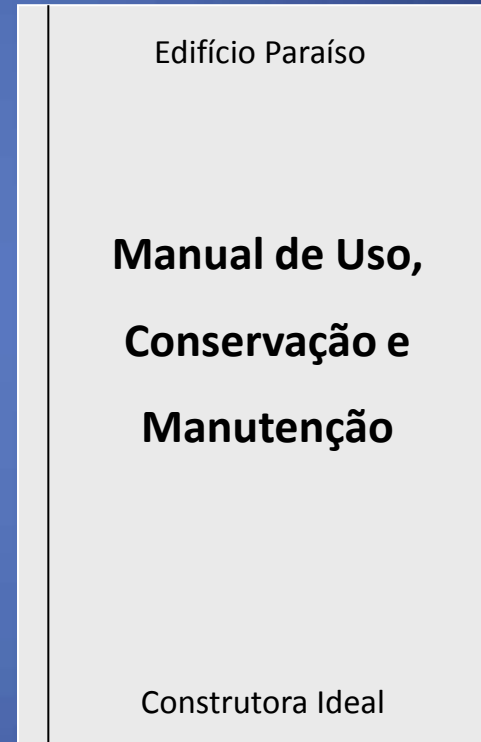
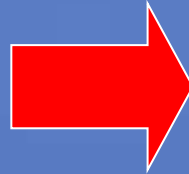
Implicações

Solução a)



Implicações

Solução b)



Implicações

Propostas:

NBR 6118 \Rightarrow Inclusão de modelos de previsão

NBR 15575 \Rightarrow Inclusão de limites aceitáveis para reparo

Implicações

ABNT NBR 8451:2001

4.8 Vida útil de projeto

Os postes fabricados conforme esta Norma (todas as partes) devem ter vida útil de projeto de no mínimo 35 anos a partir da data de fabricação. Não se admitem falhas de fabricação nos primeiros 5 anos; neste período, os postes que apresentarem falhas devem ser repostos pelo fornecedor sem ônus para o comprador.

Admite-se um percentual de falhas de 1 % a cada 5 anos subsequentes, totalizando 6 % no fim do período de 35 anos, tendo como parâmetro o lote adquirido.

Tentando responder ao ilustre mediador...

Do ponto de vista do Projeto Estrutural, como o projetista pode diferenciar e detalhar, no projeto estrutural, níveis de desempenho diferenciados: Mínimo, Intermediário ou Superior?

Qual a diferença fundamental a ser detalhada no projeto?

R: Tem alguém que participou da elaboração da norma ai?



Do ponto de vista do Projeto Estrutural, como o projetista pode identificar as condições de agressividade ambiental: Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte, para prescrever soluções diferenciadas no projeto, em relação ao ambiente?

- Como identificar?
- Como prescrever?

R: Se não for possível seguir as tabelas de norma contratar um especialista em durabilidade... O tema é complexo e ainda não está coberto por normalização. Entrará em campo a experiência e bom critério do especialista!



CONTAMINANTES DISPERSOS NO AR

Normas Utilizáveis para Metais e Aleações:

ISO 8044: Vocabulary

ISO 8565: Atmospheric corrosion test general, requirements (Gravimetria).

ISO 9223: Corrosivity of Atmospheric Classification

ISO 9224: Corrosivity of Atmospheres – Guidin values for the Corrosivity Categories

ISO 9225: Measurement of Pollution in the atmosphere.

- **Deposição de Cloretos: Método da Vela Úmida**

- **Deposição de Anidrido Sulfuroso (SO_2): Método da Vela de Sulfatação por dióxido.**

ISO 9226: Corrosivity of Atmospheres–Determination of Corrosion rate of Standard Specimens of the evaluation of corrosivity

Valores de Cloretos coletados utilizando a ISO-9225

País	Local	Classificação	Deposição Média de Cl ⁻ (mg/m ² .d)
CUBA	VIRIATO	S3	919
	VIA BLANCA	S1	40
	QUIVICAN	S1	16
MÉXICO	PUERTO PROGRESSO	S3	471
	PUERTO MORELOS	S2	234
	MERIDA	S1	10
VENEZUELA	LA VOZ	S3	568
	FUNTO FIJO	S1	26
	EL TABLAZO	S2	63
	MARACAIBO	S1	27

Valores de SO₂ coletado/Sulfatação Alcalina utilizando a ISO-9225

País	Local	Classificação	Deposição Média de SO ₂ (mg/m ² .d)
CUBA	VIRIATO	P2	42
	VIA BLANCA	P1	29
	QUIVICAN	P1	16
MÉXICO	PUERTO PROGRESSO	P1	13
	PUERTO MORELOS	P0	5
	MERIDA	P0	4
VENEZUELA	LA VOZ	P0	10
	FUNTO FIJO	P0	9
	EL TABLAZA	P0	7
	MARACAIBO	P0	6

ANÁLISE QUÍMICA DE AGRESSIVIDADE “DA ÁGUA”:

A norma CETESB L1007 – Agressividade do meio aquoso apesar de não ter uma versão mais moderna e não ser ABNT fornece muita informação com relação à agressividade “da água” ao concreto.

A análise química pode ser realizada na própria CETESB ou outros laboratórios (IPT, CONCREMAT e outros).

ABNT NBR 12655:2014

Tabela 4 - Tipos de agressividade e valores limites para a avaliação do grau de agressividade

Reações		A				B				C			D	
Agressividade		Fenômeno preponderante de lixiviação incluindo a hidrólise dos compostos de cálcio do aglomerante				Fenômeno preponderante acompanhado de lixiviação				Fenômeno de expansão por formação de gipsita e/ou stringita acompanhada de lixiviação			Corrosão e amadurez	
		Carbonatação		Troca Iônica										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Grau	Agressividade de água	Águas puras	Águas não-salinas ácidas		Águas salinas		Águas magnesianas	Águas amoniacais		Águas do mar, salobra, de esgoto ou poluídas industrialmente			C1' (mg/L)	
			Sólidos dissolvidos (mg/L)	pH	CO ₂ agressivo (mg/L)	Ácidas		Alcalinas	NH ₄ ⁺ (mg/L)					
		pH				pH	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ < 100 mg/L, NH ₄ ⁺ < 100 mg/L	Mg ²⁺ ≥ 100 mg/L		NH ₄ ⁺ ≥ 100 mg/L
0	Nula	> 150	7,0	-	7,0	7,0	-	< 100	< 100	< 50	< 200	< 250	< 100	-
I	Fraca	150 a 50	> 6,0	< 20	> 6,0	-	-	100 a 150	100 a 150	50 a 100	200 a 350	250 a 400	100 a 200	-
II	Média	150 a 50	6,0 a 5,6	20 a 30	6,0 a 5,6	-	-	150 a 250	150 a 250	100 a 150	350 a 600	400 a 700	200 a 350	-
III	Forte	< 50	5,5 a 4,5	> 30	5,5 a 4,5	8 a 8	400	250 a 500	250 a 500	150 a 250	600 a 1.200	700 a 1.500	350 a 600	3.000
IV	Muito Forte	< 50	< 4,5	-	< 4,5	> 9	≥ 600	> 500	> 500	> 250	> 1.200	> 1.500	> 600	> 3.000

Fonte: Norma CETESB L1007 - Revisão de dezembro de 1988.

Estamos esperando a nova NBR 12655!

Provável tabela da nova ABNT NBR 12655

Condições de exposição em função da agressividade	pH ^b (Ver Bibliografia, [1])	CO ₂ agressivo mg/L (Ver Bibliografia, [5])	Íon magnésio mg/L (Ver Bibliografia, [3])	Íon Amônia mg/L (Ver Bibliografia, [2])	Resíduo sólido mg/L (Ver Bibliografia, [4])	Máxima relação água/cimento ^b	Mínimo f_{ck} MPa
Fraca	7 a 6	< 30	< 100	< 100	> 150	Conforme Tabela 2	Conforme Tabela 2
Moderada	6 a 5,5	30 a 45	100 a 200	100 a 150	150 a 50	0,50	35
Severa	< 5,5	> 45	> 200	> 150	< 50	0,45	40

Muito Obrigado!



EXATA
ENGENHARIA E ACESSORIA

Site: www.exataweb.com.br

e-mail: thomas@exataweb.com.br

Tel: 11 3815-8800

