

Estruturas de Concreto Desempenho (NBR 15575) versus Prescrição (NBR 6118) Mitos e Verdades



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

Ed. JK Financial Centre

17 de dezembro de 2013

São Paulo, SP

1

NBR 15575-1:2013 “descreve responsabilidades”

5. INCUMBÊNCIAS DOS INTERVENIENTES

✓ **Fornecedor de insumo, material, componente e/ou sistema:**

- caracterizar o desempenho de sistemas de acordo com esta norma;
- fornecer resultados comprobatórios do desempenho de seus produtos, caso não haja normas brasileiras específicas.

✓ **Projetista:**

- estabelecer a Vida Útil de Projeto (VUP);
- especificar materiais, produtos e processos que atendam o desempenho mínimo estabelecido;
- solicitar informações ao fabricante para balizar as decisões de especificação quando não existirem normas específicas;
- declarar nos projetos ou memoriais de cálculo a consideração de VUPs atendendo os mínimos estabelecidos nesta norma.

2

NBR 15575-1:2013 **“descreve responsabilidades”**

5. INCUMBÊNCIAS DOS INTERVENIENTES

✓ **Construtor e incorporador:**

- *identificar os riscos previsíveis na época do projeto (incorporador e sua equipe técnica);*
- *elaborar o manual de operação uso e manutenção, ou documento similar, atendendo ao disposto na ABNT NBR 14037, com explicitação pelo menos dos prazos de garantia aplicáveis ao caso, previstos pelo construtor ou pelo incorporador, e citados no Anexo D (construtor ou incorporador).*

✓ **Usuário:**

- *realizar a manutenção, de acordo com o que estabelece a ABNT NBR 5674 e o manual de operação, uso e manutenção, ou documento similar.*

3

NBR 15575-1:2013

7. DESEMPENHO ESTRUTURAL

7.2.2 Métodos de avaliação

Análise do projeto estrutural, verificando sua conformidade com as Normas Brasileiras específicas e com as premissas de projeto indicadas em 7.2.1.2 e na ABNT NBR 15575-2.

Dessa forma, devem ser atendidos todos os requisitos estabelecidos nas Normas a seguir:

- **ABNT NBR 6118**, para estruturas de concreto;

14. DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE

14.2.4 Método de avaliação

A avaliação pode ser realizada:

- a) através da verificação do cumprimento das exigências estabelecidas em Normas Brasileiras que estejam relacionadas com a durabilidade dos sistemas do edifício. São exemplos de Normas com estas características as **ABNT NBR 6118**, **ABNT NBR 8800**, **ABNT NBR 9062** e **ABNT NBR 14762**;

4

7. SEGURANÇA ESTRUTURAL

NBR 15575-2:2013

7.2.2 Métodos de avaliação

7.2.2.1 Cálculos

A análise do projeto dos componentes estruturais da edificação habitacional deve ser feita com base nas seguintes normas, quando aplicáveis: **ABNT NBR 6118**, ABNT NBR 6120, ABNT NBR 6122, ABNT NBR 6123, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8681, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 10837 e ABNT NBR 14762.

7.3 Requisito. Deformações ou estados de fissuração do sistema estrutural

7.3.1 Critério. Estados-limites de serviço

Sob a ação de cargas gravitacionais, de temperatura, de vento, recalques diferenciais das fundações ou quaisquer outras solicitações passíveis de atuarem sobre a construção, os componentes estruturais não devem apresentar:

- deslocamentos maiores que os estabelecidos nesta norma e nas normas de projeto estrutural (**ABNT NBR 6118**, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 10837 e ABNT NBR 14762) ;
- fissuras com aberturas maiores que os limites indicados nas **ABNT NBR 6118** e ABNT NBR 9062 , ou outra norma específica para o método construtivo adotado ou abertura superior a 0,6 mm em qualquer situação.

5

NBR 15575-2:2013

7. SEGURANÇA ESTRUTURAL

7.3 Requisito. Deformações ou estados de fissuração do sistema estrutural

7.3.2.1 Cálculos

A análise do projeto dos componentes estruturais da edificação habitacional deve ser feita com base nas **ABNT NBR 6118**, ABNT NBR 6120, ABNT NBR 6123, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8681, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 10837 e ABNT NBR 14762, em função do tipo de estrutura. Devem ser consideradas as cargas permanentes acidentais devidas ao vento e a deformações específicas, conforme a ABNT NBR 8681.

7.4 Requisito: Impactos de corpo mole e corpo duro

Não sofrer ruptura ou instabilidade sob as energias de impacto indicadas nas Tabelas 3 a 5. São dispensadas da verificação deste requisito as estruturas projetadas conforme as **ABNT NBR 6118**, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 10837, ABNT NBR 14762, respeitado o descrito em 7.2.2.1.

6

ABNT NBR 6118:2013

Projeto de Estruturas de Concreto. Procedimento. 195p.

- | | |
|---|--|
| 1. Objetivo | 16. Princípios gerais de dimensionamento, verificação e detalhamento |
| 2. Referências normativas | 17. Dimensionamento e verificação de elementos lineares |
| 3. Definições | 18. Detalhamento de elementos lineares |
| 4. Simbologia | 19. Dimensionamento e verificação de lajes |
| 5. Requisitos gerais de qualidade da estrutura e avaliação da conformidade do projeto | 20. Detalhamento de lajes |
| 6. Diretrizes para durabilidade das estruturas de concreto | 21. Regiões especiais |
| 7. Critérios de projeto que visam a durabilidade | 22. Elementos especiais |
| 8. Propriedades dos materiais | 23. Ações dinâmicas e fadiga |
| 9. Comportamento conjunto dos materiais | 24. Concreto simples |
| 10. Segurança e estados limites | 25. Interfaces do projeto com a construção, utilização e manutenção |
| 11. Ações | ANEXOS |
| 12. Resistências | A Efeito do tempo no concreto estrutural |
| 13. Limites para dimensões, deslocamentos e abertura de fissuras | B Índice geral |
| 14. Análise estrutural | C Índice de figuras e tabelas |
| 15. Instabilidade e efeitos de 2ª ordem | D Índice remissivo |

7

ABNT NBR 15575:2013

obrigatória desde 19.07.2013

Edifícios habitacionais. Desempenho

Parte 1 - Requisitos gerais . 60p.

- Prefácio
Introdução
1. Escopo
 2. Referências normativas
 3. Termos e definições
 4. Exigências do usuário
 5. Incumbências dos intervenientes
 6. Avaliação de desempenho
 7. Desempenho estrutural
 8. Segurança contra incêndios
 9. Segurança no uso e na operação
 10. Estanqueidade
 11. Desempenho térmico
 12. Desempenho acústico
 13. Desempenho lumínico
 14. Durabilidade e manutenibilidade
 15. Saúde, higiene e qualidade do ar
 16. Funcionalidade e acessibilidade
 17. Conforto tátil e antropodinâmico
 18. Adequação ambiental
- ANEXOS A a F

Parte 2 - Requisitos para os sistemas estruturais. 32p.

- Prefácio
Introdução
1. Escopo
 2. Referências normativas
 3. Termos e definições
 4. Exigências do usuário
 5. Incumbências dos intervenientes
 6. Avaliação de desempenho
 7. Segurança estrutural
 8. Segurança contra incêndios
 9. Segurança ao uso e operação
 10. Estanqueidade
 11. Desempenho térmico
 12. Desempenho acústico
 13. Desempenho lumínico
 14. Durabilidade e manutenibilidade
 15. Saúde, higiene e qualidade do ar
 16. Funcionalidade e acessibilidade
 17. Conforto tátil e antropodinâmico
 18. Adequação ambiental
- ANEXOS A a E

8

ABNT NBR 6118:2013 item 13.3
ABNT NBR 15575-2:2013 item 7.3.1

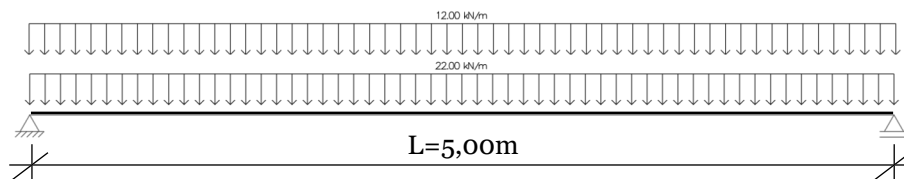
<i>EFEITO</i>	<i>ELEMENTO</i>	<i>Deslocamento limite</i>	
		<i>NBR 15575:2013</i>	<i>NBR 6118:2013</i>
Aceitabilidade sensorial (visual)	Pilares, paredes, vigas, lajes (visíveis)	L/250	L/250
Deslocamentos e falhas de operação em caixilhos	Caixilhos, instalações, vedações	L/400	L/500 ou 10mm ou $\theta = 0.0017$ rad
Deslocamentos e falhas de operação	Divisórias Leves (dry-wall)	L/330	L/250 ou 25mm
Destacamentos e fissuras em vedações	Paredes	L/400	L/500
Pisos com revestimentos rígidos	Vigas e Lajes	L/320	L/250
Pisos com revestimento flexível	Vigas e Lajes	L/280	L/250
Forros com revestimento rígido	Vigas e Lajes	L/300	L/350
Forros com revestimento flexível	Vigas e Lajes	L/260	L/350

9

Flechas ABNT NBR 15575-2:2013
Limite: L/330 = 15,15 mm

Flechas ABNT NBR 6118:2013
Limite: L/250 ou 25mm = 20 mm

$g = 22 \text{ kN/m}$
 $q = 12 \text{ kN/m}$



10

f_{ck}	Parâmetro	NBR 15575:2013	NBR 6118:2013	Comparação NBR 15575 x NBR 6118
		L/330 = 15,15 mm	L/250 = 20 mm	
C30	Dimensões da seção			Aumento seção 10%
	Concreto	0,55 m ³	0,50 m ³	Aumento 10,0%
	Fôrma	6,50 m ²	6,00 m ²	Aumento 8,3%
	Área de aço	7,50 cm ²	8,52 cm ²	Redução 12,0%
C90	Dimensões da seção			Aumento seção 7,1%
	Concreto	0,45 m ³	0,42 m ³	Aumento 7,1%
	Fôrma	5,50 m ²	5,20 m ²	Aumento 5,8%
	Área de aço	8,74 cm ²	9,43 cm ²	Redução 7,3%

11

<h2>Vida útil</h2> <h3>NBR 6118:2013</h3>	
<p>6.2 Vida útil de projeto</p> <p>6.2.1 Por vida útil de projeto, entende-se o 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.</p> <p>6.2.2 O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Dessa forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo, como, por exemplo, aparelhos de apoio e juntas de movimentação.</p> <p>6.2.3 A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e esforços coordenados de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização, devendo, como mínimo, ser seguido o que estabelece a ABNT NBR 12655, sendo também obedecidas as disposições de 25.3 com relação às condições de uso, inspeção e manutenção.</p>	<p>7.8 Inspeção e manutenção preventiva</p> <p>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.</p> <p>7.8.2 O manual de utilização, inspeção e manutenção deve ser produzido conforme 25.3.</p> <p>25.3 Manual de utilização, inspeção e manutenção</p> <p>De posse das informações dos 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 especificar, de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessários para garantir a vida útil prevista para a estrutura, conforme indicado na ABNT NBR 5674.</p>

12

Vida útil

NBR 8681:2003

4.1.2 Estados limites de serviço

4.1.2.2 Os estados limites de serviço decorrem de ações cujas combinações podem ter três diferentes ordens de grandeza de permanência na estrutura:

b) combinações frequentes: combinações que se repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura, da ordem de 105 vezes em **50 anos**, ou que tenham duração total igual a uma parte não desprezível desse período, da ordem de 5%;

4.2.2.1 Valores representativos para estados limites últimos

4.2.2.1.1 Valores característicos

Consideram-se valores característicos os seguintes:

- para as ações que apresentam variabilidade no tempo, consideram-se distribuições de extremos correspondentes a um período convencional de referência, de **50 anos**, admitindo que sejam independentes entre si os valores extremos que achem em diferentes anos de vida da construção;
- os valores característicos das ações variáveis, estabelecidos por consenso e indicados em normas específicas, correspondem a valores que têm de 25% a 35% de probabilidade de serem ultrapassados no sentido desfavorável, durante um período de **50 anos**;

13

Vida útil e VUP

ABNT NBR 15575-1:2013

3.42 Vida Útil (VU)

Período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção (a vida útil não pode ser confundida com prazo de garantia legal e certificada).

Nota: Interferem na vida útil, além da vida útil projetada, das características dos materiais e da qualidade da construção como um todo, o correto uso e operação da edificação e de suas partes, a constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local da obra, mudanças no entorno da obra ao longo do tempo (trânsito de veículos, obras de infraestrutura, expansão urbana), etc.

As negligências no cumprimento integral dos programas definidos no manual de operação, uso e manutenção da edificação, bem como ações anormais do meio ambiente, irão reduzir o tempo de vida útil, podendo este ficar menor que o prazo teórico calculado como Vida Útil Projetada.

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 cumprimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção (a VUP não deve ser confundida com tempo de vida útil, durabilidade, prazo de garantia legal e certificada).

Nota: A VUP é uma estimativa teórica de tempo que compõe o tempo de vida útil. O tempo de VU pode ou não ser confirmado em função da eficiência e registro das manutenções, de alterações no entorno da obra, fatores climáticos, etc.

14

Vida útil e VUP

NBR 15575-1:2013 Anexo C

1. Medida temporal da durabilidade
2. A VUP é uma expressão de caráter econômico
3. Melhor relação custo global VS benefício
4. A VUP é uma decisão de projeto
5. A VUP da estrutura é igual à do Edifício
6. Proprietário pode eleger entre VUP mínima a superior
7. Cabe ao Projetista de comum acordo com o Proprietário fixar a VUP

VUP
Mínima > 50anos
Intermediária > 63anos
Superior > 75anos

15

Conceito

$$VU = VUP \pm \text{Manutenção} \pm \text{Alteração Ambiente}$$

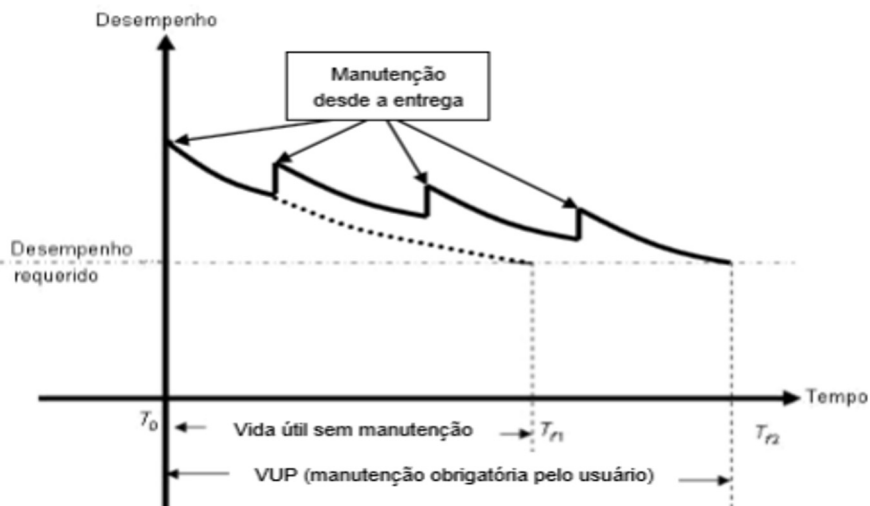


Figura C.1 - Anexo C da NBR 15.575-1:2013 Desempenho ao longo do tempo.

16

Vida útil e VUP

NBR 15575-1:2013

14.2.1 Critério – Vida Útil de Projeto

Na ausência de indicação em projeto da VUP dos sistemas, admite-se que os valores adotados correspondem aos relacionados na Tabela 14.1 para o desempenho mínimo.

Tabela 14.1* - Vida Útil de Projeto (VUP)

Sistema	VUP mínima anos
Estrutura	≥ 50 segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

*Considerando periodicidade e processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à norma NBR 5676.

17

Vida útil

NBR 15575-1 Anexo C

Tabela C.5 - Anexo C da NBR 15575-1/2013 – Vida útil de projeto mínima e superior.

Sistema	VUP anos	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674:1999 e especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à norma ABNT NBR 14037:2011.

18

NBR 15575-1:2013 Anexo D

“diretrizes para o estabelecimento de prazos de garantia”

Tabela D.1 - Anexo D da NBR 15575-1/2013 – Prazos de garantia.

Sistemas, elementos, componentes e Instalações	Prazos de garantia recomendados			
	1 ano	2 anos	3 anos	5 anos
Fundações, estrutura principal, estruturas periféricas, contenções e arrimos				Segurança e estabilidade global Estanqueidade de fundações e contenções
Paredes de vedação, estruturas auxiliares, estruturas de cobertura, estrutura das escadarias internas ou externas, guarda-corpos, muros de divisa e telhados				Segurança e integridade
Equipamentos industrializados (aquecedores de passagem ou acumulação, motobombas, filtros, interfone, automação de portões, elevadores e outros) Sistemas de dados e voz, telefonia, vídeo e televisão	Instalação Equipamentos			

19

DURABILIDADE

- Capacidade do concreto resistir às *condições de serviço previstas em projeto*.
- Capacidade de se manter íntegro, não se deteriorar ao longo do tempo.

Logo, o concreto é considerado durável quando conserva sua forma original, qualidade e capacidade de utilização, estando exposto às condições de serviço.....

Portanto, abordar durabilidade em condições não explícitas de exposição... merece cautela. Descreve-se os mecanismos de deterioração e as medidas preventivas em projetos estruturais

20

DURABILIDADE

É uma das **Necessidades do Usuário** tal como definido no conceito de desempenho pela ISO 6241 *“Performance standards in building -- Principles for their preparation and factors to be considered”*

Desde a década de 70...

21

DURABILIDADE

É o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, operação e manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade versus tempo.

Concreto: Ciência e Tecnologia.
Marcelo Henrique Farias de Medeiros, Jairo José de Oliveira Andrade e Paulo Helene.
IBRACON, 2011.

22

**Durabilidade “NBR 6118:2013”
item 5.1.2.3**

Capacidade de uma 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.

23

**Durabilidade “NBR 6118:2013”
Item 5.2.2.4**

As exigências de durabilidade deixam de ser atendidas quando não são observados os critérios de projeto definidos na seção 7.

Drenagem: Formas; a/c: f_{ck} : cobrimento: detalhamento: fissuração: medidas especiais: inspeção e manutenção

24

Durabilidade “NBR 15575-1:2013”

14. Durabilidade e manutenibilidade

14.2.2 Método de avaliação Análise do projeto.

O projeto do edifício deve atender os parâmetros mínimos de VUP indicados na Tabela 14.1. Caso sejam adotados valores superiores ao da Tabela 14.1, estes devem ser explicitados no projeto. Os sistemas do edifício devem ser adequadamente detalhados e especificados em projeto, de modo a possibilitar a avaliação da sua Vida Útil de Projeto. É desejável conhecer as especificações dos elementos e componentes empregados, de modo que possa ser avaliada a sua adequabilidade de uso em função da Vida Útil de Projeto VUP estabelecida para o sistema. Na análise do projeto, a avaliação do atendimento à Vida Útil de Projeto VUP pode ser realizada pela utilização da metodologia proposta pelas ISO 15686-1 a 15686-3 e ISO 15686-5 a 15686-7.

O período de tempo a partir do qual se iniciam os prazos de vida útil deve ser sempre o da data de conclusão do edifício habitacional, a qual, para efeitos desta Norma, é a data de expedição do Auto de Conclusão de Edificação, documento legal que atesta a conclusão das obras.

25

Durabilidade “NBR 15575-1:2013”

Tabela 14.1* - Vida Útil de Projeto (VUP)

Sistema	VUP mínima anos
Estrutura	≥ 50 segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

*Considerando periodicidade e processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à norma NBR 5676.

26

ISO 15686

Planejamento de vida útil

Identifica e estabelece os princípios gerais para o planejamento de vida útil e trabalhos de construção em todo o seu ciclo de vida (ou ciclo de vida útil residual de edifícios existentes).

Parte 1 – Princípios gerais e estrutura (2011)

Parte 2 – Procedimentos de previsão de vida útil (2012)

Parte 3 – Auditorias e avaliações de desempenho (2002)

Parte 4 – Planejamento de vida útil usando Building Information Modeling (em desenvolvimento)

Parte 5 – Custo do ciclo de vida (2008)

Parte 6 – Procedimentos para considerar os impactos ambientais (2006)

Parte 7 – Avaliação de desempenho para feedback de dados da vida de serviço da prática (2006)

Parte 8 – Vida útil de referência e estimativa de vida útil (2008)

Parte 9 – Orientação sobre avaliação de dados de vida útil (2008)

Parte 10 – Quando avaliar o desempenho funcional (2010)

27

Durabilidade “NBR 15575-1:2013”

14. Durabilidade e manutenibilidade

14.2.2 Método de avaliação Análise do projeto.

A avaliação da Vida Útil de Projeto VUP de qualquer um dos sistemas ou do edifício pode ser substituída pela asseguarção por uma terceira parte (companhia de seguros) do desempenho destes.

Decorridos 50 % dos prazos de Vida Útil de Projeto (VUP) conforme Tabela 14.1, contados a partir do auto de conclusão da obra, e desde que sem a necessidade de intervenções com Custo de manutenção e reposição iguais ou superiores a categoria D conforme **Tabela C3 [...]**, **considera-se atendido o requisito de Vida Útil de Projeto (VUP)**, salvo prova objetiva em contrário.

Os valores de Vida Útil de Projeto também podem ser comprovados por verificações de cumprimento das normas nacionais prescritivas em vigor na data do projeto, bem como constatações em obra do cumprimento integral do projeto pela Construtora.

28

Durabilidade “NBR 15575-1:2013”

Anexo C

TabelaC.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 telhamento
D	Alto custo de manutenção e/ou reparação Custo de reposição superior ao custo inicial Comprometimento da durabilidade afeta outras partes do edifício	Revestimentos de fachada e estrutura de telhados
E	Alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição muito superior ao custo inicial	Impermeabilização de piscinas

Anexo C da NBR 15.575-1:2013

29

Durabilidade “NBR 15575-2:2013”

Introdução

O Estado limite de serviço ELS tem como premissa assegurar a durabilidade quando da utilização normal da estrutura, limitando a formação de fissuras, a magnitude das deformações e a ocorrência de falhas localizadas que possam prejudicar os níveis de desempenho previstos para a estrutura e os demais elementos e componentes que constituem a edificação.

30

Durabilidade “NBR 15575-2:2013”

14.1 Requisito. Durabilidade do sistema estrutural

Conservar a **segurança, estabilidade e aptidão em serviço** durante o período correspondente à sua **vida útil**.

14.1.1 Critério. Vida útil de projeto do sistema estrutural VUP

A estrutura principal e os elementos que fazem parte do sistema estrutural, comprometidos com a segurança e a estabilidade global da edificação, devem ser projetados e construídos de modo que, **sob as condições ambientais previstas** na época do projeto e **quando utilizados conforme preconizado** em projeto e **submetidos a intervenções periódicas** de manutenção e conservação, segundo instruções contidas no manual de operação, uso e manutenção, devem **manter sua capacidade funcional** durante toda a **vida útil** de projeto VUP, conforme estabelecido na Seção 14 e Anexo C da ABNT NBR 15575-1:2013.

31

Durabilidade “NBR 15575-2:2013”

14.2 Requisito. Manutenção do sistema estrutural

A fim de que seja alcançada a **Vida Útil de Projeto (VUP)** para a estrutura e seus elementos, conforme ABNT NBR 15575-1, **devem ser previstas e realizadas manutenções preventivas** sistemáticas e, sempre que necessário, **manutenções com caráter corretivo**. Estas últimas devem ser realizadas assim que o problema se manifestar, impedindo que pequenas falhas progridam às vezes rapidamente para extensas patologias. As manutenções devem ser realizadas obedecendo-se ao manual de operação, uso e manutenção fornecido pelo incorporador ou construtora e às boas práticas, de acordo com a ABNT NBR 5674.

32

Segurança estrutural “NBR 6118:2013”

16.2.3 Segurança em relação aos ELU

Em relação aos ELU, além de se garantir a segurança adequada, isto é, uma probabilidade suficientemente pequena de ruína, é necessário garantir uma boa ductilidade, de forma que uma eventual ruína ocorra de forma suficientemente avisada, alertando os usuários.

16.2.4 Segurança em relação aos ELS (desempenho em serviço)

Na verificação da segurança em relação aos ELS, devem ser satisfeitas também, analogamente, expressões analíticas de segurança e regras construtivas.

Para garantir o bom desempenho de uma estrutura em serviço, deve-se, usualmente, respeitar limitações de flechas, de abertura de fissuras ou de vibrações, mas também é possível que seja importante pensar na estanqueidade, no conforto térmico ou acústico, etc.

33

Segurança estrutural “NBR 15575-2:2013”

7.1 Requisitos gerais para a edificação habitacional

Atender durante a sua vida útil de projeto VUP, sob as diversas condições de exposição (ação do peso próprio, sobrecargas de utilização, atuações do vento e outros), aos seguintes requisitos gerais:

- a) não ruir ou perder a estabilidade de nenhuma de suas partes;
- b) prover segurança aos usuários sob ação de impactos, choques, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis na época do projeto;
- c) não provocar sensação de insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação, admitindo-se tal exigência atendida caso as deformações se mantenham dentro dos limites estabelecidos nesta Norma;
- d) não repercutir em estados inaceitáveis de fissuração de vedação e acabamentos;
- e) não prejudicar a manobra normal de partes móveis, como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento normal das instalações em face das deformações dos elementos estruturais;
- f) cumprir as disposições das ABNT NBR 5629, ABNT NBR 11682 e ABNT NBR 6122 relativamente às interações com o solo e com o entorno da edificação.

34

NBR 15575-2:2013 Edifícios habitacionais. Desempenho.

14.2.1 CRITÉRIO. MANUAL DE OPERAÇÃO, USO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL

O manual de operação, uso e manutenção do sistema estrutural deve prever (NBR 5674):

- a) recomendações gerais para prevenção de falhas e acidentes decorrentes de utilização inadequada (sobrecargas não previstas no projeto estrutural, abertura de vãos de portas ou janelas em paredes estruturais, ampliações verticais não previstas, perfuração de peças estruturais para passagem de dutos e outros);*
- b) periodicidade, forma de realização e forma de registro das inspeções prediais;*
- c) periodicidade, forma de realização e forma de registro das manutenções; e*
- d) técnicas, processos, equipamentos, especificação e previsão quantitativa de todos os materiais necessários para as diferentes modalidades de manutenção.*

35

NBR 6118:2013; NBR 12655:2006; NBR 14931:2004 Vida Útil

- | | |
|---|---|
| 1. Define????? | consumo; tipo cimento |
| 2. Enumera os responsáveis | 7. Para cada classe recomenda espessura mínima de cobrimento à armadura |
| 3. Classifica agressividade ambiental em 4 classes | 8. Recomenda cura |
| 4. Descreve 4 mecanismos de deterioração do concreto ; 2 das armaduras e 1 da estrutura | 9. Controla fissuração e flechas |
| 5. Recomenda detalhamento | 10. Recomenda medidas especiais |
| 6. Para cada classe recomenda qualidade do cobrimento: $a/c; f_{ck}$; | 11. Exige manutenção |

36

NBR 6118:2013

“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	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingo de maré ^{1), 3)}	

37

NBR 6118:2013

“descreve mecanismos de deterioração e envelhecimento”

6.3.2 Concreto

- ✓ lixiviação;
- ✓ expansão → sulfatos
- ✓ expansão → AAR

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

38

NBR 6118:2013 **“classifica agressividade ambiental”**

Tabela 6.1 Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Fenômeno armadura	Fenômeno concreto	Fenômeno estrutura
I	Rural	Carbonatação Nihil	Lixiviação AAR	Retração Térmicos
	Submersa			
II	Urbana	Carbonatação	Lixiviação AAR	Retração Térmicos
III	Marinha	Cloretos Cloretos	Lixiviação Cloretos Sulfatos AAR	Retração Térmicos
	Industrial			
IV	Industrial	Carbonatação + Cloretos	Lixiviação Cloretos Sulfatos AAR	Retração Térmicos
	Respingo de maré			

39

NBR 6118:2013 & NBR 12655:2006 **“qualidade do cobrimento”**

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

Tabela 7.1 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 ³	CA /CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

40

NBR 6118:2013 & NBR 12655:2006 **“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	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$	$\leq 0,40$
classe de concreto (NBR 8953)	$\geq C35$	$\geq C40$	$\geq C45$

41

NBR 6118:2013 & NBR 12655:2006 **“qualidade do cobrimento”**

Tabela 4 Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

classe de agressividade	teor de sulfato solúvel na água do solo (SO ₄), % em massa	teor de sulfato solúvel na água (SO ₄), % em massa	relação a/c	classe de concreto (NBR 8953)
água de mar	0,10 a 0,20	0,015 a 0,15 150ppm a 1500ppm	$< 0,50$	$> C35$
esgotos, indústrias	$> 0,20$	$\text{>} 0,15$ $\text{>} 1500\text{ppm}$	$< 0,45$	$> C40$

Obs.: sempre dar preferência a cimentos resistentes a sulfatos conforme NBR 5737

42

NBR 6118:2013 & NBR 12655:2006 “qualidade do cobrimento”

Tabela 5. Teor máximo de cloretos no concreto para proteção às armaduras

classe de agressividade e tipo de estrutura	teor total de íons cloreto Cl ⁻ , % em massa de cimento
concreto protendido	< 0,05
concreto armado exposto a cloretos	< 0,15
concreto armado em ambiente seco	< 0,40
outras situações	< 0,30

Obs.: proibido o uso de aditivos contendo cloretos.

43

NBR 6118:2013. 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	classe de agressividade			
		I	II	III	IV
concreto armado CA	laje	≥ 20	≥ 25	≥ 35	≥ 45
	viga / pilar	≥ 25	≥ 30	≥ 40	≥ 50
CA	solo	≥ 30	≥ 30	≥ 40	≥ 50
concreto protendido CP	laje	≥ 25	≥ 30	≥ 40	≥ 50
	viga / pilar	≥ 30	≥ 35	≥ 45	≥ 55

* *cobrimento nominal da armadura ativa(?????)*

** *face superior de lajes e vigas com piso > 15mm*

*** *face inferior de lajes e vigas em reservatórios > 45mm*

**** *pilares no solo > 45mm*

Para f_{ck} maior pode reduzir em 5mm

44

NBR 6118:2013. Cobrimento

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

tipo de estrutura	componente	classe de agressividade			
		I	II	III	IV
concreto armado CA	laje	≥ 20	≥ 25	≥ 35	≥ 45
	viga / pilar	≥ 25	≥ 30	≥ 40	≥ 50
CA	solo	≥ 30	≥ 30	≥ 40	≥ 50
concreto	laje	≥ 25	≥ 30	≥ 40	≥ 50
protendido CP	viga / pilar	≥ 30	≥ 35	≥ 45	≥ 55

7.4.7.4 Para controle de qualidade rigoroso e rígidos limites de tolerância da execução, permite-se adotar $\Delta_c = 5\text{mm}$ e portanto reduzir em 5mm os limites da Tabela 7.2 (cuidado com anti-ética!)

7.4.7.7 Para pré-moldados seguir NBR 9062.

45

NBR 6118:2013
“drenagem + detalhamento”

NBR 6118:2013
“controle da fissuração”

NBR 14931:2004
“controle da execução”

NBR 6118:2013
“medidas especiais”

NBR 15575:2013
“inspeção & manutenção”

46

Problema

- ◆ **Estrutura CA em Brasília**
- ◆ **Edificação habitacional**
- ◆ **Projetar para andar tipo**
- ◆ **Concreto aparente**
- ◆ **Vida útil superior = 75anos**

47

Fenômenos

- ◆ **Lixiviação chuva ácida**
- ◆ **AAR**
- ◆ **Carbonatação**
- ◆ **Retração de secagem**
- ◆ **Térmicos**

48

Fenômenos

- ◆ Lixiviação chuva ácida
- ◆ AAR

◆ Carbonatação

- ◆ Retração de secagem / hidráulica
- ◆ Térmicos

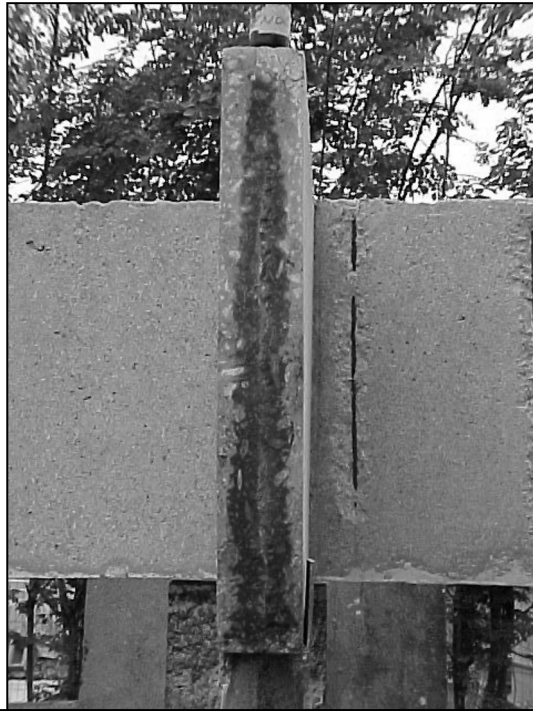
49

Classe de Agressividade

- Atmosfera urbana
- Grau II
- Agressividade moderada
- Risco pequeno de deterioração precoce

50

**armadura
corrosão
por
carbonatação**



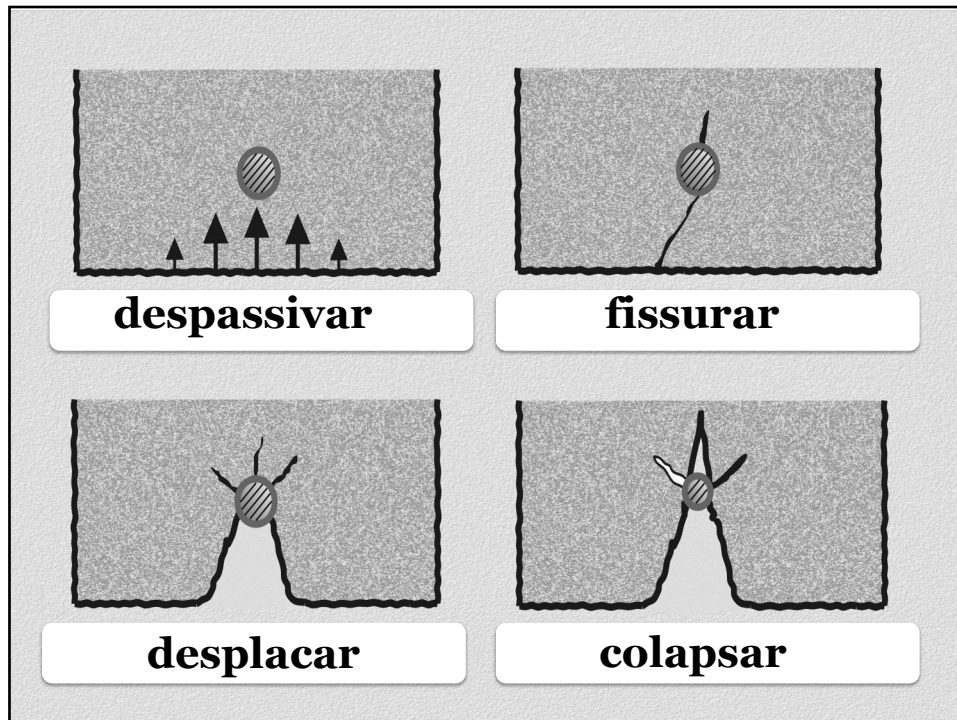
51

Armadura → Corrosão por carbonatação

- $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{pH} \geq 12$
(acero pasivado)
- $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
Mais alcalino Menos alcalino



52



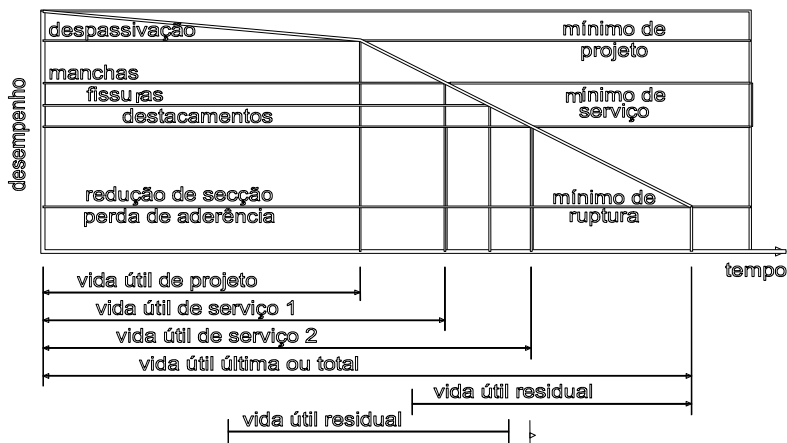
53

Qual o DLS?
estado limite de durabilidade

- **Despassivar ?**
- **Fissurar ?**
- **Deslocar ?**
- **Colapsar ?**

54

Vida Útil das Estruturas de Concreto



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

CONGRESSO IBERO AMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4, CONGRESSO DE CONTROLE DA QUALIDADE, 6.
Paulo Helene.
Porto Alegre: CON PAT-97, 1997. v. 1, p. 1-30.

55

Qual o DLS? *estado limite de durabilidade*

• Despassivar

- Fissurar ?
- Desplacar ?
- Colapsar ?

56

Critérios de Projeto ABNT NBR 6118:2013

- $f_{ck} > 25\text{MPa}$
- $a/c < 0,60$
- Consumo $> 280 \text{ kg / m}^3$
- Cobrimento nominal

Lajes $> 25\text{mm}$

Vigas $> 30\text{mm}$

Pilares $> 30\text{mm}$

57

Critérios de Projeto ABNT NBR 6118:2013

- $f_{ck} > 25\text{MPa}$
- $a/c < 0,60$
- Consumo $> 280 \text{ kg / m}^3$

50 anos !

Cobrimento nominal

Lajes $> 25\text{mm}$

Vigas $> 30\text{mm}$

Pilares $> 30\text{mm}$

58

Modelos de Previsão de Vida Útil

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

59

Modelos de Previsão de Vida Útil

Experiência

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suíça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

60

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).”

61

Modelos de Previsão de Vida Útil

Experiência

Norma Brasileira de 1931 e de 1940

- ✓ 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

62

Modelos de Previsão de Vida Útil

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

63

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerado

“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

64

Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados Carbonatação acelerada



65

Modelos de Previsão de Vida Útil

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

66

Modelos de Previsão de Vida Útil

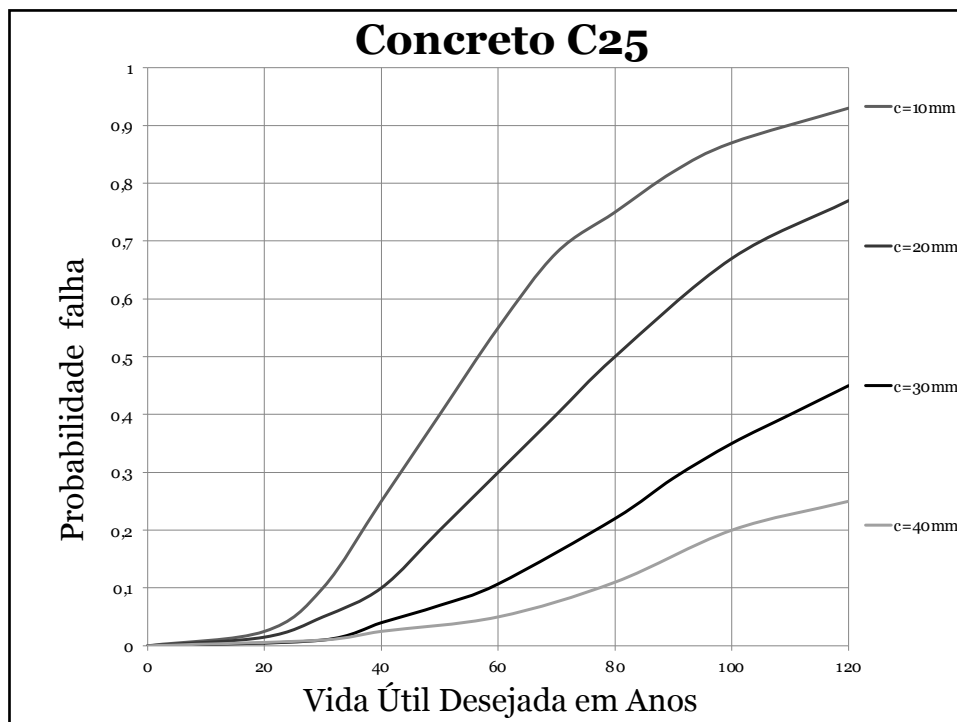
Estocásticos (probabilistas)

Estatística aplicada aos modelos deterministas

Conceito de risco (Probabilidade de falha)
Conceito de confiabilidade

Ainda pouco utilizado

67



68

Modelos de Previsão de Vida Útil

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

69

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).*

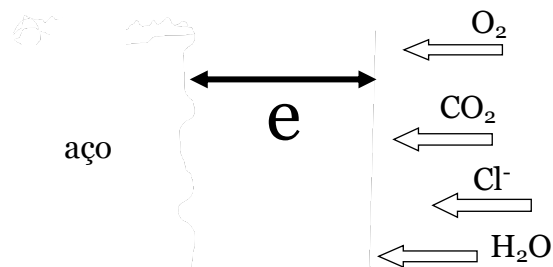
70

Modelos de Previsão de Vida Útil

Mecanismos de Transporte (deterministas)

Generalização

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



71

Carbonatação

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

- $e_{CO_2} \rightarrow 10 \text{ a } 50 \text{ mm}$
- $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1,0 \text{ cm}/\sqrt{\text{ano}}$

72

Critérios de Projeto ABNT NBR 6118:2013

- $f_{ck} > 25\text{MPa}$
- $a/c < 0,60$
- Consumo $> 280 \text{ kg / m}^3$
- Cobrimento nominal

Lajes $> 25\text{mm}$

Vigas $> 30\text{mm}$

Pilares $> 30\text{mm}$

73

Critérios de Projeto ABNT NBR 6118:2013

- $f_{ck} > 25\text{MPa}$
- $a/c < 0,60$
- Consumo $> 280 \text{ kg / m}^3$
- Cobrimento nominal de pilares = 30mm

$$c_{50} = k_{25} \cdot \sqrt{t} \rightarrow 30 = k \cdot \sqrt{50}$$

Portanto $k = 4,24 \text{ mm}/\sqrt{\text{ano}}$

$$c_{75} = k_{25} \sqrt{75} \rightarrow c_{75} = 37\text{mm}$$

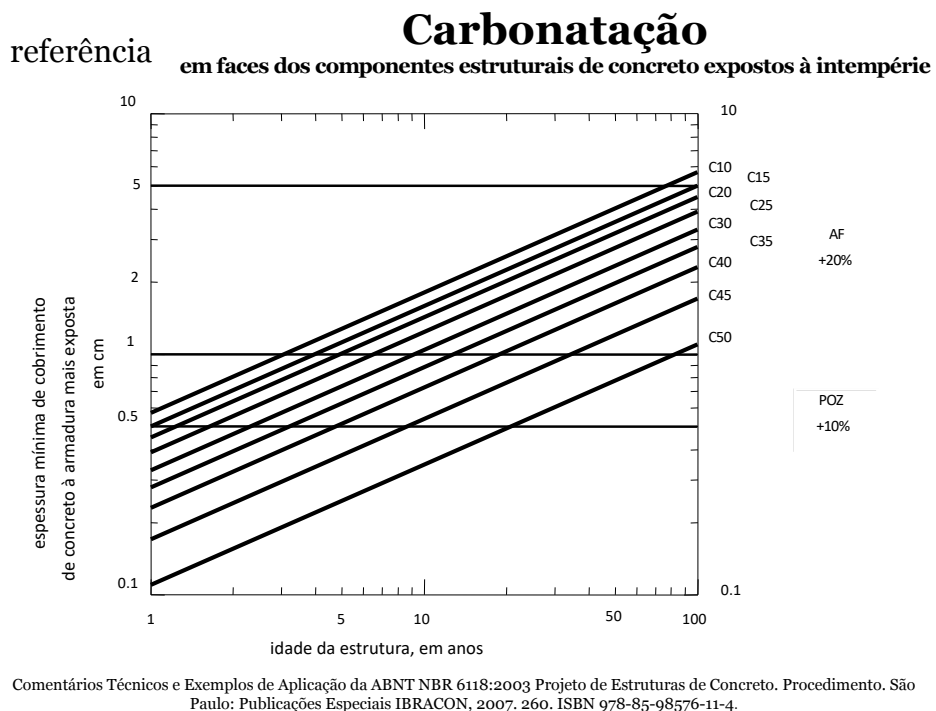
74

Critérios de Projeto ABNT NBR 6118:2013

- $f_{ck} > 25\text{MPa}$
- $a/c < 0,60$
- Consumo $> 280 \text{ kg / m}^3$
- Cobrimento nominal

	VUP 50anos	VUP 75 anos
lajes	25	31
vigas	30	37
pilares	30	37

75



76

Frente de Carbonatação

fib(CEB-FIP) Model Code 90

$$e_{CO_2,t} = 4 * \sqrt{10^{-(12,5+0,05*f_{ck})}} * \sqrt{t}$$

$e_{CO_2,t}$ = profundidade carbonatada em m

t = tempo de exposição ao CO₂ com HR = 65% ou idade do concreto em s

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, em MPa

77

MPa	50 anos	75 anos
20	40 mm	49 mm
25	30 mm	37 mm
30	22 mm	28 mm
35	17 mm	21 mm
40	13 mm	16 mm
45	10 mm	12 mm
50	7 mm	9 mm
60	4 mm	5 mm
70	3 mm	3 mm
80	2 mm	2 mm
90	1 mm	1 mm

vigas & pilares

78

MPa	50 anos	75 anos
20	34 mm	41 mm
25	25 mm	31 mm
30	19 mm	23 mm
35	14 mm	18 mm
40	11 mm	13 mm
45	8 mm	10 mm
50	6 mm	8 mm
60	4 mm	5 mm
70	2 mm	3 mm
80	1 mm	2 mm
90	1 mm	1 mm
lajes		

79

Qualidade da Construção



Colapso de metade do
Edifício Palace II
Barra da Tijuca, RJ 1996

Diagnóstico:
um dos pilares foi projetado e
construído para 270t e na realidade
deveria suportar 420t

Moral da História

O conceito de Vida Útil não resolve
problemas de erros grosseiros,
ganância, omissões, falta de ética,
desonestidade, malandragem...

80

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

11-2501-4822 / 23
11-7881-4014