



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



Paulo Helene

*Diretor PhD Engenharia
Presidente de Honor ALCONPAT
Prof. Titular Universidade de São Paulo USP
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures
Diretor e Conselheiro Permanente Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON*

NGI

16 de Junho de 2014

São Paulo

1

ABNT 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, com base nesta Norma ou em Normas específicas internacionais ou estrangeiras.
- ✓ **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;
 - inserir nos projetos ou memoriais de cálculo a consideração de VUPs maiores que os mínimos estabelecidos nesta norma.

2

ABNT 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

ABNT 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 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;

4

7 SEGURANÇA ESTRUTURAL **ABNT 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.

7.2.2.2 Ensaios

Quando a modelagem matemática do comportamento conjunto dos materiais e componentes que constituem o sistema, ou os sistemas que constituem a estrutura, não for.....

5

ABNT NBR 15575-2:2013

7 SEGURANÇA ESTRUTURAL

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 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.

6

Segurança estrutural

“ABNT NBR 15575-2:2013”



7.3.1 Critério – Estados-limites de serviço

Tabela 1 – Deslocamentos-limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral

Razão da limitação	Elemento	Deslocamentolimites	Tipo de deslocamento
Visual/insegurança psicológica	Pilares, paredes, vigas, lajes (componentes visíveis)	$L/250$ ou $H/300^a$	Deslocamento final incluindo fluência (carga total)
Destacamentos, fissuras em vedações ou acabamentos, falhas na operação de caixilhos e instalações	Caixilhos, instalações, vedações e acabamentos rígidos (pisos, forros etc.)	$L/800$	Parcela da flecha ocorrida após a instalação da carga correspondente ao elemento em análise (parede, piso etc.)
	Divisórias leves, acabamentos flexíveis (pisos, forros etc.)	$L/600$	
Destacamentos e fissuras em vedações	Paredes e/ou acabamentos rígidos	$L/500$ ou $H/500^a$	Distorção horizontal ou vertical provocada por variações de temperatura ou ação do vento, distorção angular devida ao recalque de fundações (deslocamentos totais)
	Paredes e acabamentos flexíveis	$L/400$ ou $H/400^a$	

H - é a altura do elemento estrutural.
L - é o vão teórico do elemento estrutural.
^a Para qualquer tipo de solicitação, o deslocamento horizontal máximo no topo do edifício deve ser limitado a $H_{total}/500$ ou 3 cm, respeitando-se o menor dos dois limites.
NOTA. Não podem ser aceitas falhas, a menos aquelas que estejam dentro dos limites previstos nas normas prescritivas específicas.

7

Segurança estrutural

“ABNT NBR 6118:2014”



13.3 Deslocamentos-limites

Tabela 13.3 - Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^{(1)}$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350+$ contraflecha ⁽²⁾
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^{(3)}$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^{(4)}$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^{(3)}$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($v_f=0,30$)	$H/1700$ e $H/850^{(5)}$ entre pavimentos ⁽¹⁾
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400^{(1)}$ e 15 mm

8

Segurança estrutural “ABNT NBR 6118:2014”

13.3 Deslocamentos- limites

Tabela 13.3 (continuação)

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Efeitos em elementos não estruturais	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após construção do forro	$l/350$
	Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após construção do forro	$l/175$	
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

¹⁾ As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contrafechas, de modo a não se ter acúmulo de água.
²⁾ Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contrafechas. Entretanto, a atuação isolada da contrafecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.
³⁾ O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.
⁴⁾ Rotação nos elementos que suportam paredes.
⁵⁾ H é a altura total do edifício e H_1 o desnível entre dois pavimentos vizinhos.
⁶⁾ Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos devido à atuação de ações horizontais. Não devem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica para o deslocamento vertical relativo das extremidades de linteis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_1 representa o comprimento do lintel.
⁷⁾ O valor l refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS
1 Todos os valores limites de deslocamentos supõem elementos de vão l suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.
2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor l é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o l menor.
3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na seção 11.
4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contrafechas.



Segurança estrutural

ABNT NBR 15575:2013 vs ABNT NBR 6118:2014”



Elemento	Deslocamento Limite		Deslocamento a considerar
	ABNT NBR 6118	ABNT NBR 15575	
Componentes estruturais visíveis	$l/250$	$l/250$ ou $H/300$	Carga total
Caixilhos	$l/500$ e 10mm e $\theta=0,0014$ rad	$l/800$	após a construção da parede
Alvenaria		$l/500$ ou $H/500$	após a construção da parede
Divisórias leves	$l/250$ e 25mm	$l/600$	após a instalação
Forros	$l/350$	$l/600$	após a construção do forro

Vida útil

ABNT NBR 6118:2014



6.2 Vida útil de projeto

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.

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.

6.2.3 A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e atitudes coordenadas 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.

7.8 Inspeção e manutenção preventiva

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.

7.8.2 O manual de utilização, inspeção e manutenção deve ser produzido conforme 25.3.

25.3 Manual de utilização, inspeção e manutenção

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.

11

Vida útil

ABNT 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 agem 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**;

12

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 ou contratual).

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 ou contratual).

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

13

Durabilidade “ABNT 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 7. Caso sejam adotados valores superiores ao da Tabela 7, 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.

14

ISO 15686

Planejamento de vida útil



Identifica e estabelece os princípios gerais para o planejamento de vida útil e uma estrutura sistemática para a realização de planejamento de vida útil de um edifício planejado ou trabalhos de construção em todo o seu ciclo de vida (ou ciclo de vida útil restante de edifícios existentes ou obras de construção).

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 (2014)

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)

15

ABNT NBR 15575-1:2013



14 DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE

14.2.4 Método de avaliação

A avaliação pode ser realizada:

- ✓ por análise de campo do sistema através de inspeção em protótipos e edificações, que possibilite a avaliação da durabilidade por conhecimento das características do sistema, obedecendo ao tempo mínimo de comprovação da durabilidade (2anos) e considerando a vida útil pretendida;
- ✓ pela análise dos resultados obtidos em estações de ensaios de durabilidade do sistema, desde que seja possível comprovar sua eficácia.

16

ABNT NBR 15575-1:2013

14 DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE

14.2.4 Método de avaliação

A avaliação pode ser realizada:

- ✓ 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**. Na ausência de Normas Brasileiras, através dos requisitos estabelecidos nas normas estrangeiras;
- ✓ pela comprovação da durabilidade dos elementos e componentes dos sistemas, bem como de sua correta utilização, conforme as Normas a elas associadas que tratam da especificação dos elementos e componentes, sua aplicação e métodos de ensaios específicos, como a **ABNT NBR 5649**, **ABNT NBR 6136**, etc.;



17

Vida útil e VUP

ABNT 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



18

Vida útil e VUP



ABNT NBR 15575-1:2013 Anexo C

C2. Determinação da vida útil de projeto

- Aos usuários é incumbido realizar os programas de manutenção, segundo ABNT NBR 5674, considerando as instruções do manual de uso, operação e manutenção e recomendações técnicas das inspeções prediais;
- A Inspeção predial configura-se como ferramenta útil para verificação das condições de conservação das edificações em geral, para atestar se os procedimentos de manutenção adotados são insuficientes ou inexistentes, além de fornecer subsídios para orientar o plano e programas de manutenção, através das recomendações técnicas indicadas no documento de inspeção predial → IBAPE/SP – 2007, *Inspeção Predial*

19

ABNT NBR 6118:2014; ABNT NBR 12655:2006; ABNT NBR 14931:2004 Vida Útil

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

20

ABNT NBR 6118:2014

“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

21

ABNT NBR 6118:2014

“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	Fracá	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)}	

22

ABNT NBR 6118:2014

“classifica agressividade ambiental”



- 1) uma classe de agressividade mais branda para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamento residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).
- 2) uma classe de agressividade mais branda em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65% partes de estruturas protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.
- 3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

23

ABNT NBR 6118:2014

“recomenda detalhamentos”



7.1 Simbologia

c_{min} → *cobrimento mínimo de concreto à armadura, referido à distância entre a superfície do componente estrutural e a face mais externa da armadura (em geral estribo)*

c_{nom} → *cobrimento nominal ($c_{min} + \Delta_c$)*

UR → *umidade relativa do ar*

Δ_c → *tolerância de execução para o cobrimento*

7.2 Drenagem

Limpeza, lavagem, águas pluviais, condutores, ralos, rufos, chapins, pingadeiras, juntas de movimentação, juntas de construção, selantes, troca de aparelhos de apoio, acessos a caixões “perdidos”, insertos, renovação da impermeabilização (estanqueidade), etc.

24

ABNT NBR 6118:2014 & ABNT NBR 12655:2006 “qualidade do cobrimento”



7.4.2 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

25

ABNT NBR 6118:2014 & ABNT 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)	$\geq C35$	$\geq C40$	$\geq C45$

26

ABNT NBR 6118:2014 & ABNT 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 (ABNT NBR 8953)
água de mar	0,10 a 0,20	0,015 a 0,15 150ppm a 1500ppm	< 0,50	> C35
esgotos, industrias	> 0,20	➤ 0,15 ➤ 1500ppm	< 0,45	> C40

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

27

ABNT NBR 6118:2014 & ABNT 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.

28

ABNT NBR 6118:2014

“espessura do cobrimento”



- 7.4.7.5 $C_{nom} \geq \phi$ barra;
- $C_{nom} \geq \phi$ feixe = $\phi_n = \phi$ raiz (n)
- $C_{nom} \geq 0,50 \phi$ bainha
- $C_{nom} \geq 15\text{mm}$ sempre!

29

ABNT NBR 6118:2014. 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	laje	≥ 25	≥ 30	≥ 40	≥ 50
protendido CP	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

30

ABNT NBR 6118:2014. 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	laje	≥ 20	≥ 25	≥ 35	≥ 45
	viga / pilar	≥ 25	≥ 30	≥ 40	≥ 50
CA	solo	≥ 30	≥ 30	≥ 40	≥ 50
concreto	laje	≥ 25	≥ 30	≥ 40	≥ 50
protendido	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 ABNT NBR 9062.

31

ABNT NBR 6118:2014 “controle da fissuração”



1. Só vale para componentes fletidos e nas condições de serviço. E.L.S.;
2. Só vale para a abertura de fissura na superfície do componente e na direção transversal à armadura principal;
3. Como controlar fissuras decorrentes de efeitos térmicos, retração, expansão, corrosão do aço?
4. As consequências de uma fissura são somente corrosão do aço/armadura, ou seja, durabilidade?
5. Conta efeito psicológico?
6. E mecânico de comportamento global?

32

ABNT NBR 14931:2004 **“controle da execução”**



10.1 Cura e cuidados especiais

- ✓ Para fins de assegurar eficiente hidratação do cimento é necessário curar com água potável ou alcalina as superfícies expostas do concreto até que este atinja 15MPa;
- ✓ Para fins de assegurar qualidade da superfície do ponto de vista da abrasão e acabamento deve-se curar até atingir 0,85 de f_{ck} ;
- ✓ Para evitar fissuração deve-se curar até que a resistência do concreto à tração supere as tensões de tração decorrentes dos esforços de retração restringida;
- ✓ Vale para retração hidráulica e para retração térmica.

33

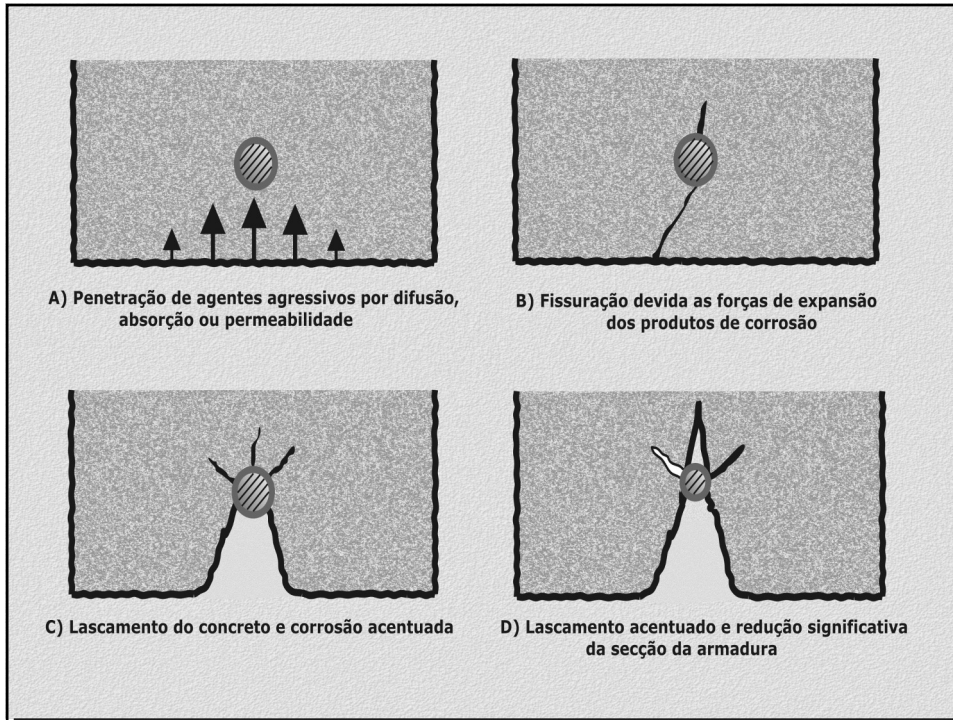
ABNT NBR 6118:2014 **“medidas especiais”**



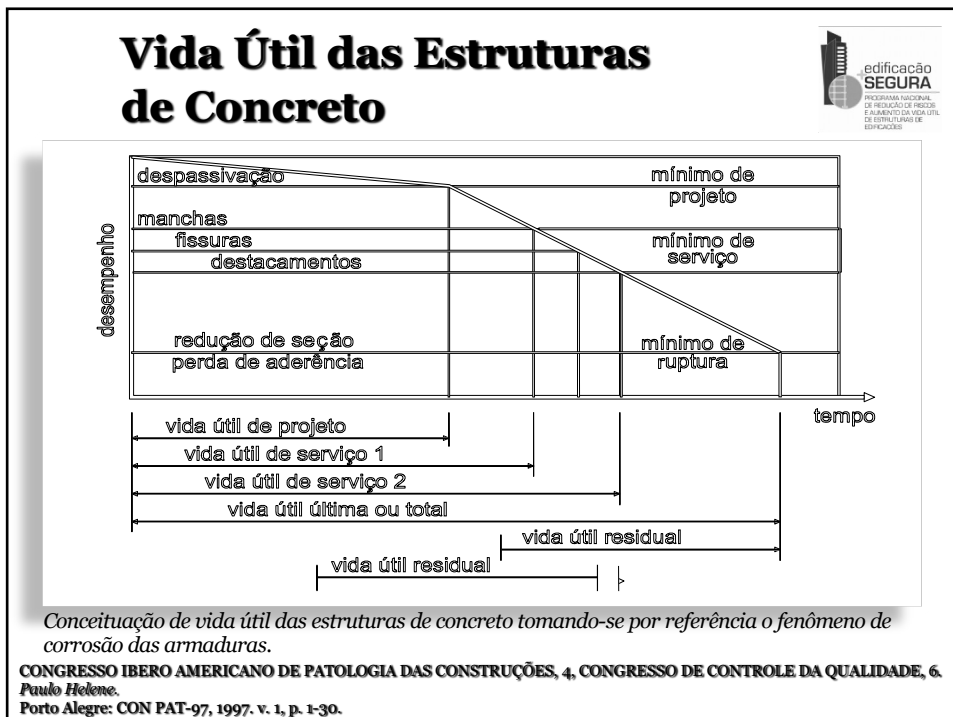
7.7 “Em condições de exposição adversas devem ser tomadas medidas especiais do tipo:

- ✓ aplicação de revestimento hidrofugantes;
- ✓ pinturas impermeabilizantes;
- ✓ revestimentos de argamassas e cerâmicas ou outros;
- ✓ galvanização da armadura;
- ✓ proteção catódica da armadura;
- ✓ outros.

34



35



36

Modelos de Previsão de Vida Útil



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

37

Modelos de Previsão de Vida Útil



Experiência

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suíça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

38

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).”

39

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

40

Modelos de Previsão de Vida Útil



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

41

Modelos de Previsão de Vida Útil



Ensaios Acelerados

“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

42

Modelos de Previsão de Vida Útil



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

43

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).*

44

Modelos de Previsão de Vida Útil

Mecanismos de Transporte (deterministas)

Generalização

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

aço

e

O_2

CO_2

Cl^-

H_2O

45

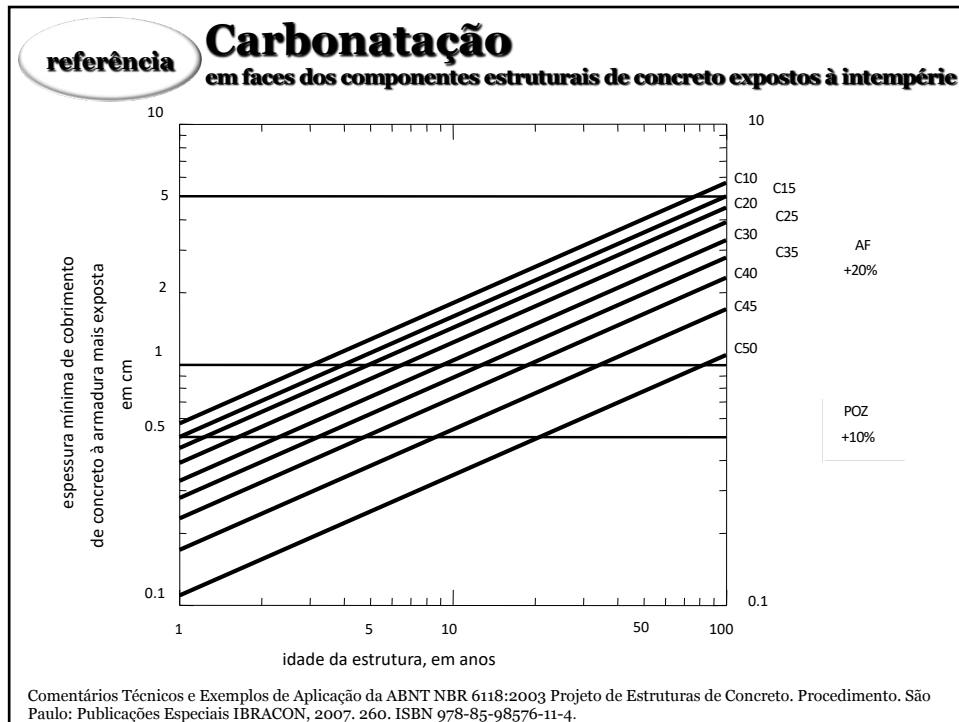
Carbonatação

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

➤ $e_{CO_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤ $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

46



47

Modelos de Previsão de Vida Útil

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

48

Modelos de Previsão de Vida Útil



Estocásticos (probabilistas)

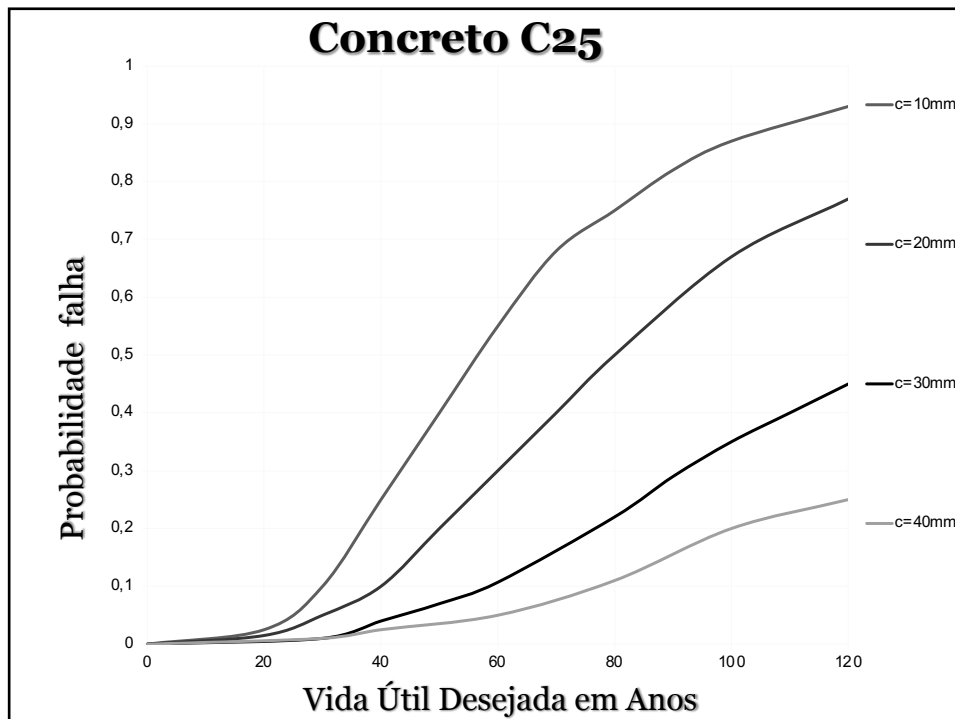
Estadística aplicada aos modelos deterministas



Conceito de risco (Probabilidade de falha)
Conceito de confiabilidade



49



50

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

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

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