



Durabilidade e Vida Útil: Visão Histórica



Paulo Helene
Diretor PhD Engenharia
Conselheiro Permanente IBRACON
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Presidente de honra ALCONPAT Internacional
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures

Fiesta Convention Center

06 de Agosto de 2014

Salvador/BA

1

Conceitos

**As estruturas devem ser idôneas
para seu uso durante sua vida útil:**

- ✓ Seguras e funcionais;
- ✓ Resistentes ao fogo (incêndio);
- ✓ Duráveis;
- ✓ Serem bonitas;
- ✓ Serem sustentáveis;

2

Avanços Recentes

- ✓ **ISO 16204:2012**. Durability: Service Life Design of Concrete Structures
- ✓ **fib** Model Code 2010. Concrete Structures
- ✓ **fib** Model Code for Service Life Design 2006.

Helland, Steinar. Design for Service Life: Implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204. Structural Concrete 14 (2013), n.1. p. 10-18

3

Avanços Recentes

ISO 16204. Existem 4 alternativas para verificar VU:

1. The full probabilistic method. *Método probabilista integral*
2. The partial factor method. *Método dos fatores parciais (característicos)*
3. The deemed-to-satisfy method. *Método prescritivo (a/c, recubrimientos, etc.)*
4. The avoidance-of-deterioration method. *Método baseado na proteção das estruturas*

4

Avanços Recentes

Combinar Durabilidade com Sustentabilidade:

Pedro Castro-Borges & Paulo Helene.

El enfoque filosófico y conceptual de vida de servicio de estructuras de concreto reforzado que se requiere para confrontar el cambio climático.

Paper de conferencia magistral, 12 p, Memorias do I Congresso Internacional Científico/Técnico de Engenharia (CICTI 2007), Maracaibo, Venezuela, 4-9 de Novembro de 2007.

5

Conceitos

- ✓ **Conhecer como envelhece**
- ✓ **Definir VU**
- ✓ **Quantificar VU**
- ✓ **Estabelecer Estados Limites**
- ✓ **Prever ou Estimar VU**
- ✓ **Especificar Manutenção**

6

Estruturas de Concreto Armado

Conceitos

- ✓ Envelhecimento natural *previsto; não incomoda*
- ✓ Envelhecimento precoce *não previsto; custoso*
- ✓ Durabilidade *vida útil*
- ✓ Projeto de manutenção *saber e realizar*

7

Conceitos

- ✓ **Conhecer como envelhece**
- ✓ **Definir VU**
- ✓ **Quantificar VU**
- ✓ **Estabelecer Estados Limites**
- ✓ **Prever ou Estimar VU**
- ✓ **Definir Manutenção**

8

Mecanismos de Deterioração e Envelhecimento

Armadura

- ✓ corrosão por carbonatação
- ✓ corrosão por cloretos

Concreto

- ✓ lixiviação → água, chuva ácida e ácidos
- ✓ expansão → sulfatos y AAR
- ✓ Poluição → fungos, fuligem, pó

Estrutura

- ✓ ações mecânicas, movimentos térmicos, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, ... fator humano

9

Armadura → Corrosão por carbonatação

- $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{pH} \geq 12$
(armadura passiva)

- $\text{CO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

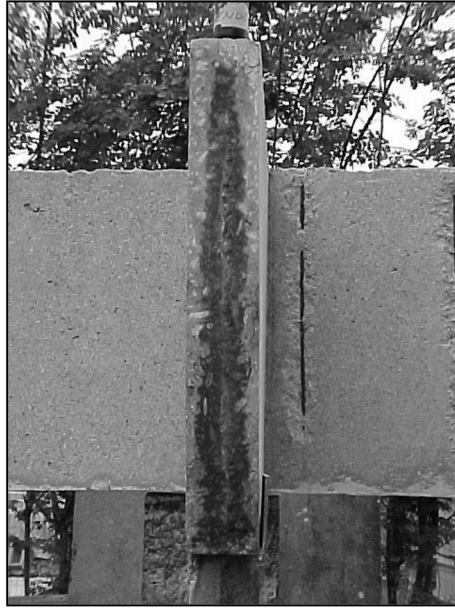
Mais
alcalino

Menos
alcalino



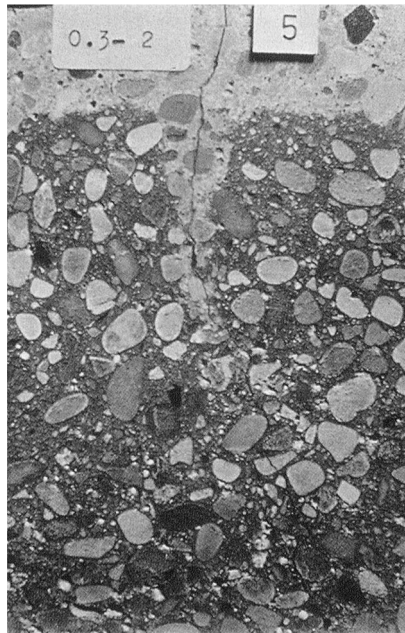
10

Armadura → *Corrosão por carbonatação*



11

Fissuras



Armadura → *Corrosão por carbonatação*

12

GHIOSSAURO

Mancha de lama invade a lagoa Rodrigo de Freitas, depois da chuva que atingiu o Rio durante a madrugada e a manhã de ontem

O desabamento ontem à tarde de duas marquises de um prédio no centro de São Caetano do Sul (SP) matou duas pessoas que passavam pela rua e deixou outras duas feridas. As causas do acidente ainda são desconhecidas. Laudo deverá ficar pronto em 15 dias.

No Rio, uma mulher morreu e três pessoas ficaram feridas no desabamento de duas casas

A chuva, que começou de madrugada, parou a cidade. Houve congestionamentos de até 20 km devido ao alagamen-

Para o prefeito Luiz Paulo Conde (PFL), que decretou estado de alerta, "os mesmos lugares que enchem enchiam há 180 anos". **São Paulo**

casas

FERNANDO RODRIGUES
da Sucursal de Brasília

O deputado Sérgio Naya (sem partido-MG) mudou de idéia e tentará voltar ao PPB. Advogados do convenceram de que sua expulsão foi irregular. Responsável pelo prédio que ruíu no Rio, ele é acusado de falta de decoro e pode ter o mandato cassado — processo contra o qual Naya também resolveu agir. Pág. 3-8

brasil

Opinião da Folha

Leia os editoriais "Difícil sintonia fina", sobre entrada de capitais; "Demagogia e justiça", sobre o caso do Palace; e "Piratas nas estradas", acerca de roubo de cargas. **Pág. 1-2**

Campanha começa com pichações

Pág. 1-8

[illegible]**■ ATMOSFERA**

Destroços das duas marquises de 30 metros de comprimento que desabaram da fachada de loja no centro de São Caetano do Sul

Reforma vai dar reajuste salarial aos 3 Poderes

O primeiro efeito da reforma administrativa, aprovada antontem, será o reajuste de até 59% para a cúpula de Executivo, Legislativo e Judiciário.

O novo teto salarial da administração federal deverá ficar em R\$ 12.720, segundo negociação em curso nos Três Poderes, da qual resultará um inédito projeto de lei de iniciativa conjunta. O aumento poderá ocorrer em abril. Pág. 1-9

GUIA DA FOLHA

▶ **186**
bares

▶ **300**
restaurantes

▶ **54**
fóruns

▶ **29**

7

FOLHA DE S. PAULO

sexta-feira, 13 de março de 1998

são paulo 3 3

PERIGO 2 Prefeitura diz que só vistoria prédios quando vai conceder Habite-se; polícia procura o proprietário do imóvel

Falta de ferragens pode ter causado queda



Área interditada em calçada do centro de São Castano com parte da marquise que desabou de prédio comercial, matando duas pessoas ontem

da Reportagem Local

nenhuma relação com o acidente. "As obras foram até úteis, pois se a avenida não estivesse parcialmente interditada, mais pessoas poderiam estar passando sob as marquises no momento do desabamento", disse.

Segundo Tharompi, que integrou o prédio ontem, a prefeitura só vistoria as obras para conceder o Habite-se.

O diretor afirmou ainda que uma vistoria não avalia condições de segurança da estrutura. "Isso é de responsabilidade do engenheiro que faz a obra", afirmou. Pelo Código Civil, uma construtora é responsável nos cinco primeiros anos após a conclusão da obra.

O dono da loja, Omar Abdouni, disse que é inquilino do prédio há três anos e que ele nunca havia apresentado problemas nesse período. Abdouni não confirmou a informação da funcionária de que o prédio vivia com o trabalho das britadeiras. A polícia agora vai localizar o proprietário do prédio, JENYRABRAZ

Alguns vendedores e funcionários da loja suspeitam que as obras possam ter influido no acidente. "O prédio vibrava sempre que as britadeiras trabalhavam na rua", disse a balconista da Out-Let Miriam Dahan dos Santos.

O diretor de Obras da Prefeitura de São Castano, Ilomar Dierroqui, afirma que as obras não têm

Vítima não teve tempo de correr Delegado vai ouvir dono 2 vezes

da Reportagem Local

zinha Nakamoto também soube pela televisão. Terrenha era casada e tinha quatro filhos.

O edificador Aloizio da Silva escapou por pouco, segundo seu irmão Ivo da Silva, 40.

Aloizio sofreu apenas uma escoriação no braço. Após o acidente ele não quis ir ao hospital e voltou para o trabalho. "De tão assustado, ele chegou aqui tremendo e suando muito", disse o irmão.

O outro ferido, Samuel Cordeiro Bupe, teve escoriações na mão e nas costas. Ele foi levado ao PS Municipal de São Castano.

Uma mulher que também passava sob a marquise saiu ilhada por alguns milímetros. Segundo testemunhas, a mulher deu um passo para dentro da Out-Let e as marquises caíram na sua frente. OBI

da Reportagem Local

O delegado Marco Antônio Barreira, titular do 1º DP de São Castano do Sul, disse que vai aguardar o laudo do ICI para identificar os culpados pelo acidente na loja Out-Let.

"Se houve negligência, alguém irá responder por homicídio culposo (sem intenção)".

De acordo com o delegado, caso fique comprovado que os responsáveis já sofriam de problemas nas marquises, sem tomar providências, é possível que ocorra um indiciamento por homicídio doloso (com intenção).

Barreira deve consultar hoje o registro de imóveis para localizar os proprietários do prédio.

O delegado afirmou que, até o momento, o proprietário é o inquilino do imóvel pelo menos duas vezes antes e depois de receber o laudo do ICI.

O procurador-geral de Justiça de São Paulo, Luis Antônio Marry, designou, ontem, dois promotores para acompanhar o inquérito policial.

O dono da loja, Omar Abdouni, disse que o prédio pertence à família Zetun. Nenhum membro da família foi localizado ontem.

Segundo Abdouni, o edifício anteriormente havia sido alugado para uma espécie de shopping center, com várias lojas.

Com o tempo, os outros inquilinos foram saindo e o local acabou virando uma loja. A área construída do prédio é de aproximadamente 2.000 m². OBI



15

Armadura → Corrosão por cloretos



16

Armadura → *Corrosão por cloretos*

Os produtos da
corrosão são
muito solúveis



17



Armadura → *Corrosão por cloretos*

18



Armadura → Corrosão por cloretos

19

Armadura → Corrosão

- ◆ *Existem vários modelos matemáticos baseados na Lei de Fick*
- ◆ *Ainda não existe um critério único para o estado limite de durabilidade*
- ◆ *Existe prescrições profiláticas muito claras (espessura e qualidade do cobrimento)*
- ◆ *Sempre é necessário usar o bom senso*

20

Concreto → ***Lixiviação*** (água de chuva)



Cobertura do
Prédio da FAU-USP



Edifício da
Engenharia Civil
POLI.USP

21



Concreto → ***Lixiviação*** (água)

22



23



24



25



26

Concreto → *Lixiviação*

- ◆ *Ainda não existem modelos matemáticos*
- ◆ *Ainda não existe um critério único para o estado limite de durabilidade*
- ◆ *Existem prescrições profiláticas muito claras (relação a/c, tipo de cimento, cura)*
- ◆ *Sempre é necessário usar o bom senso*

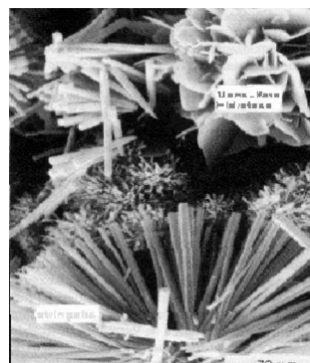
27

Concreto → **Expansão**

Sulfatos, SO_4^{-2}

Mecanismo:

Clínquer + gesso → Etringita Primária
Composto expansivo sem problemas



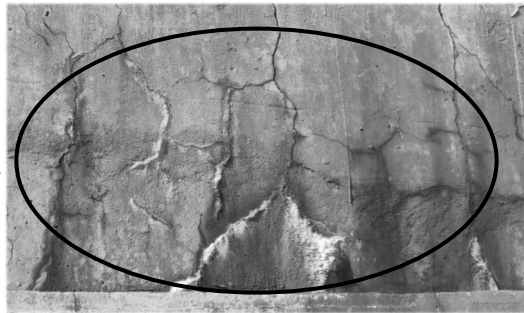
Compostos hidratados + Na_2SO_4 ; MgSO_4 e outros → Compostos expansivos secundários (*problemas*) DEF
└─→ Presente no solo agressivo, cloacas e água do mar

28

Concreto → ***Expansão por***
Reação Álcali-Agregado AAR

Manifestação:

- Fissuras aleatórias
- Presença de gel



29



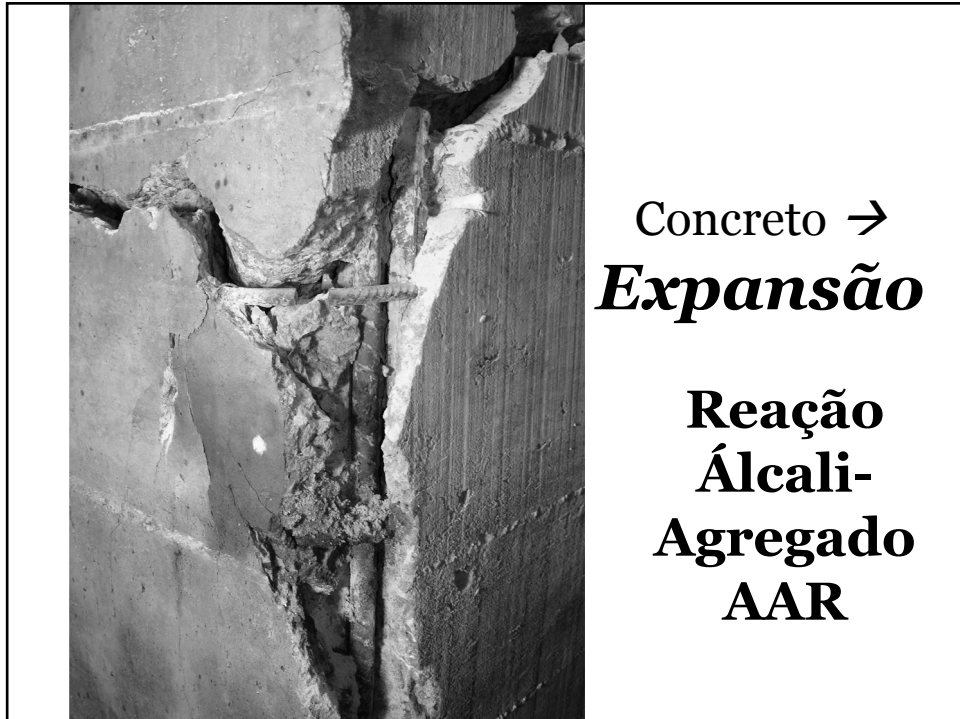
30



31



32



33



34

Concreto → ***Expansão***

- ◆ *Existem poucos modelos matemáticos*
- ◆ *Porém não existe um critério único para o estado limite de durabilidade*
- ◆ *Existem prescrições profiláticas muito claras (adições, ensaios prévios, etc.)*
- ◆ *Sempre é necessário usar o bom senso*

35

Concreto → ***Poluição*** *fungos, fuligem , pó*



36



37

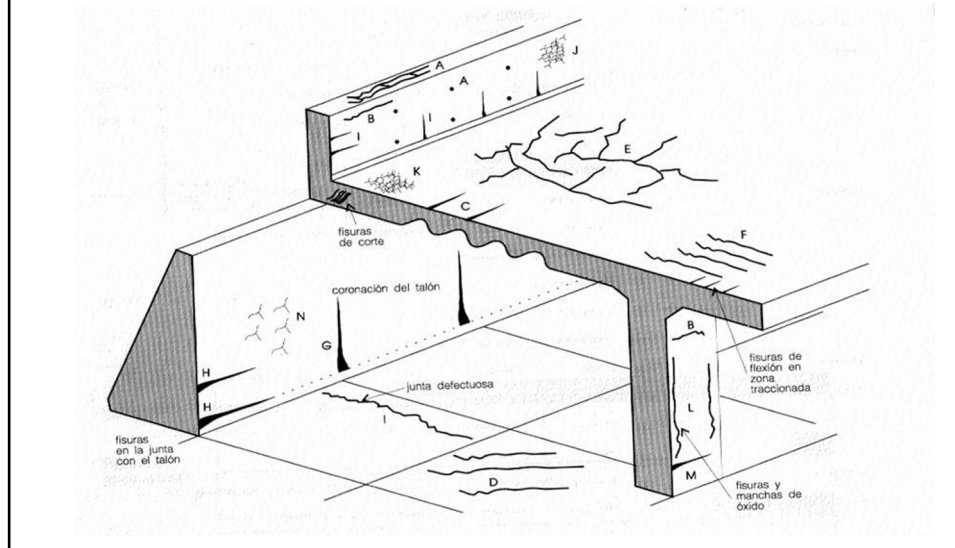
Concreto → Poluição

- ◆ *Não existem modelos matemáticos*
- ◆ *Não existe um critério único para o estado limite de durabilidade*
- ◆ *Não existem prescrições profiláticas muito claras*
- ◆ *Sempre é necessário usar o bom senso*

38

Estrutura

fissuras: térmicas, retração, ações, construtivas



39



40

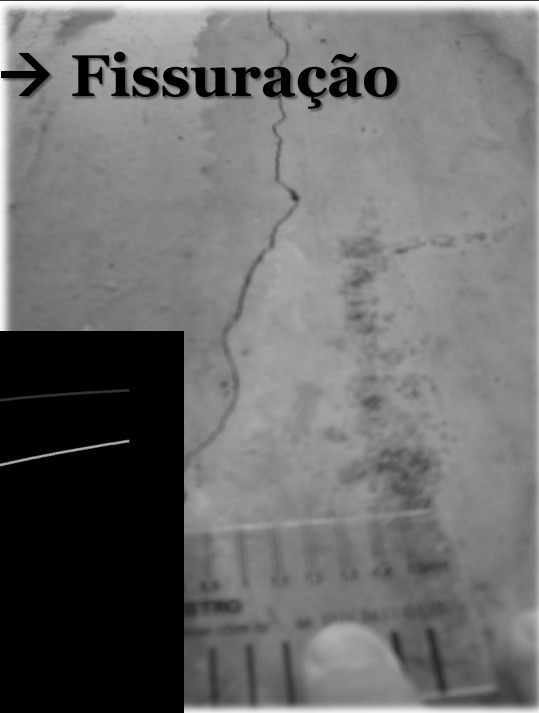
Estrutura → Fissuração

- Assentamento plástico
- Retração por secagem
- Origem térmica
- Deslocamentos excessivos
- Efeitos de carga (projeto)
- Recalque diferencial

41

Estrutura → Fissuração

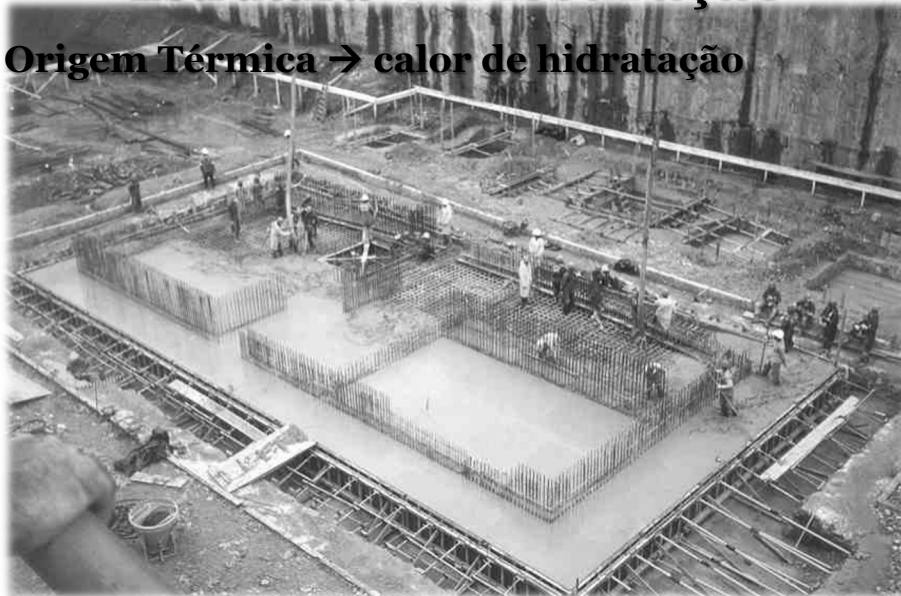
**Origem Térmica →
calor de hidratação**



42

Estrutura → Fissuração

Origem Térmica → calor de hidratação



43

Estrutura → Fissuração

Origem Térmica → ações ambientais



44

Estrutura → Fissuração

Origem Térmica → ações ambientais



45

Estrutura → Fissuração

Origem Térmica → ação do fogo



46

Estrutura → Fissuração

Origem Térmica → ação do fogo



47

Estrutura → Fissuração

- | | |
|------------------------------|------------------|
| ➤ Assentamento plástico | → não há modelos |
| ➤ Retração por secagem | → há modelos |
| ➤ Origem térmica | → há modelos |
| ➤ Deslocamentos excessivos | → há modelos |
| ➤ Efeitos de carga (projeto) | → há modelos |
| ➤ Recalque diferencial | → há modelos |

48

Conceitos

✓ **Conhecer como envelhece**

✓ **Definir VU**

✓ **Quantificar VU**

✓ **Estabelecer Estados Limites**

✓ **Prever ou Estimar VU**

✓ **Definir manutenção**

49

Vida Útil no Brasil

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.

50

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 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**;

51

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.

52

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.

53

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)

54

Vida Útil nos Estados Unidos

ACI 365.1R-00 item 1.1:

Service life is the period of time after placement during which all the properties exceed the minimum acceptable values when routinely maintained.

55

Vida Útil na Europa

fib Model Code 2010:

For new structures the specified service life defines the period in which the structure has to satisfy the performance criteria agreed, when routinely maintained.

For existing structures the specified residual service life defines the period, in which the structures has to meet the performance criteria agreed, when routinely maintained.

56

Vida Útil no México DF

NTCC-2004 “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto”, Gaceta Oficial del Distrito Federal, octubre 2004.

Período de tempo em que as estruturas devem ser idôneas para seu uso, e deve ser, como mínimo, de 50 anos.

A durabilidade será tomada em conta no projeto, cumprindo com os seguintes requisitos:

- a) Qualidade e processo de cura do concreto, de acordo com as seções 4.3 a 4.6;
- b) Restrições nos conteúdos químicos, de acordo com a seção 4.8;
- c) Recobrimento, de acordo com a seção 4.9;
- d) Precauções contra a reação álcali – agregado, de acordo com a seção 4.10.

57

Conceitos

✓ **Conhecer como envelhece**

✓ **Definir VU**

✓ **Quantificar VU**

✓ **Estabelecer Estados Limites**

✓ **Prever ou Estimar VU**

✓ **Definir Manutenção**

58

Vida Útil no Brasil

ABNT NBR 6118 → 50anos

ABNT NBR 8681 → 50anos

59

Vida Útil na Inglaterra

BS 7543, 1992

Vida Útil	Tipos	Exemplos
< 10 anos	Temporárias	obras temporárias, divisórias, tapumes etc.
10 anos	Pequena Vida útil	construções usadas para processos industriais de curta duração
30 anos	Média Vida útil	a maiorias das construções industriais
60 anos	Vida útil normal	obras públicas, escolas, hospitais, casas, edifícios
120 anos	Vida útil longa	obras de grande responsabilidade como barragens, pontes, metros, ...
Guide to Durability of Buildings and Building Elements,Products and Components		

60

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

61

Vida útil e VUP

ABNT NBR 15575-1:2013 Anexo C

VUP

Mínima > 50anos

Intermediária > 63anos

Superior > 75anos

62

Conceitos

- ✓ **Conhecer como envelhece**
- ✓ **Definir VU**
- ✓ **Quantificar VU**
- ✓ **Estabelecer Estados Limites**
- ✓ **Prever ou Estimar VU**
- ✓ **Definir Manutenimento**

63



64

Dona-de-casa morre atingida por pedaço de reboco de prédio no Rio

Da Sucursal do Rio

A dona-de-casa Maria Borges Nascimento, 49, morreu ao ser atingida na cabeça por um pedaço de reboco do 12º andar de um prédio de apartamentos no centro da cidade, na av. Gomes Freire nº 740. A mulher morreu na hora, e teve a face desfigurada. O pedaço de reboco caiu, resvalou na marquise do prédio e acertou a dona-de-casa.

Maria estava voltando para casa com as compras feitas num supermercado da região. Ela morava sozinha com o filho, o estudante Nino André Borges Nascimento, 27. O síndico do prédio em que aconteceu o acidente, João Salvador, afirmou que a obra de recuperação da fachada já havia sido aprovada pelo condomínio, mas faltava orçar o serviço.

A Defesa Civil municipal interditou a área em torno do prédio, o que deve causar prejuízo aos estabelecimentos comerciais que funcionam no local. Segundo o diretor do Departamento de Engenharia do órgão municipal, Roberto Formiga Oberlaender, o local só será liberado após o condomínio contratar uma firma para retirar as partes da fachada que ofereçam risco de desabamento.

Na área térrea interditada funcionam uma padaria, uma distribuidora de bebidas. No prédio ao lado, em área também interditada, funcionam um pequeno hotel e um restaurante.



Corpo de Maria Borges coberto em frente ao prédio

Oberlaender afirmou que será dado ao condomínio um prazo para recuperação da fachada. Caso o prazo não seja cumprido, o condomínio terá que pagar multa. Muito abalado, o filho da dona-de-casa não quis comentar que providências legais tomará em relação ao caso.

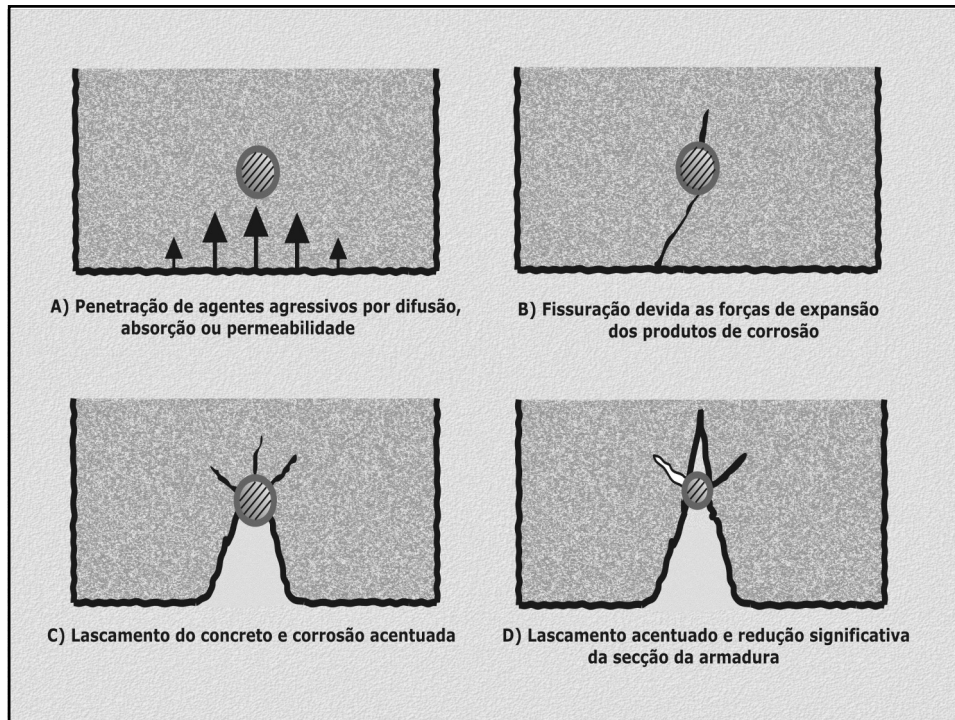
Oberlaender disse que um dos

problemas do centro são os prédios antigos em mau estado de conservação. Além da má conservação do reboco, as marquises velhas são problemas apontados pelo diretor da Defesa Civil.

Segundo ele, os proprietários são obrigados a realizar obras de recuperação, mas a fiscalização não cabe à Defesa Civil.

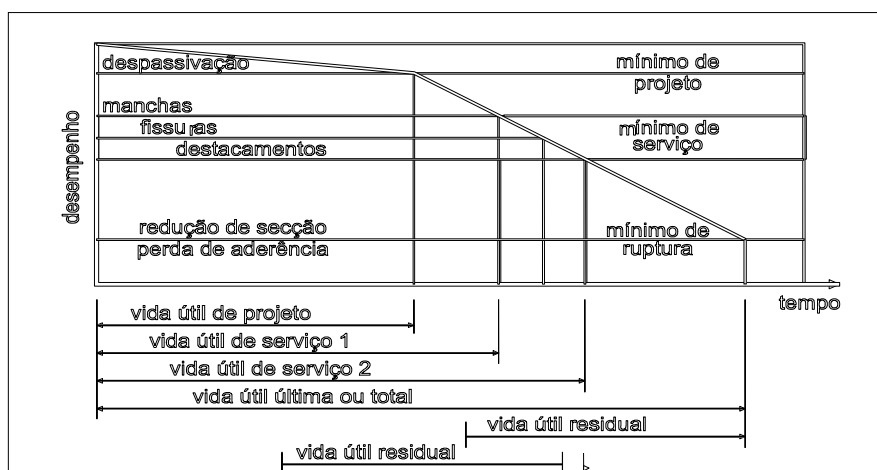
Algumas definições de Vida Útil

1. Vida Útil de serviço
2. Vida Útil de projeto
3. Vida Útil funcional
4. Vida Útil de ruptura
5. Vida Útil última o de colapso
6. Vida Útil nominal
7. Vida Útil residual
8. Vida Útil técnica
9. Vida Útil econômica



67

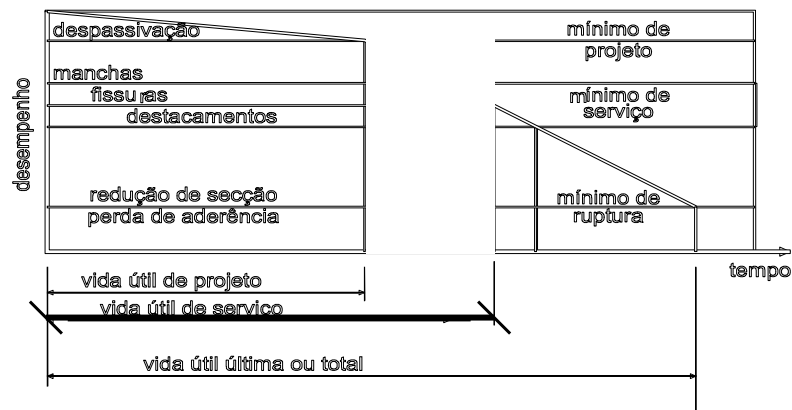
Modelo de Vida Útil para corrosão da armadura



68

ACI 318 → ACI 365

6 anos



$t \geq ???$ anos

69

Estados Limites - Modelos

- ✓ Corrosão → OK
- ✓ Fissuras devido a cargas → OK
- ✓ Lixiviação??? → nihil
- ✓ AAR ?? → nihil
- ✓ Sulfatos ??? → nihil
- ✓ Outras fissuras ??? → nihil

70

Conceitos

- ✓ **Conhecer como envelhece**
- ✓ **Definir VU**
- ✓ **Quantificar VU**
- ✓ **Estabelecer Estados Limites**
- ✓ **Prever ou Estimar VU**
- ✓ **Definir Manutenção**

71

MODELOS de PREVISÃO de VIDA ÚTIL

- **Prescritivo**
- **Mecanismos de transporte**
- **Estocásticos o probabilistas**
- **Ensaaios (+ *exatos*)**

72

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

73

National Association of Cement Users Philadelphia, USA, Feb.1910

STANDARD BUILDING REGULATIONS for the USE of REINFORCED CONCRETE

“the main reinforcement in column shall be protect by a minimum of two inches (> 5,0cm) of concrete cover, reinforcement in girders and beams by one and one-half inches (> 3,8cm) and floor slabs by one inch (> 2,5 cm).”

74

Vida Útil → Prescritiva

Não existe modelo matemático de previsão

É necessário utilizar caminhos indiretos:

- ✓ Eleger cimento, adições, áridos, água por m³;
- ✓ Fixar relação a/c e conteúdo de cimento;
- ✓ Fixar resistência e módulo;
- ✓ Fixar espessura de recobrimentos;
- ✓ Fixar abertura máxima de fissuras;
- ✓ Recomendar formas geométricas especiais;
- ✓ Adotar medidas de proteções especiais

75

Vida Útil → Prescritiva

Não existe modelo matemático de previsão

Norma Mexicana → exemplo

De acordo a la Tabela 4.1, letra b): →

Superfícies de membros que não estejam em contato com o terreno y expostos a ambientes exteriores ligeiramente agressivos (por exemplo atmosfera do DF), devem ser classificados como ambiente de agressividade B1.

76

Norma Mexicana → exemplo

Membros sujeitos a classificações de exposição B1 serão:

1. Em cura por 7 dias, no mínimo;
2. f'_c não menor de 20 MPa (200 kgf/cm²);
3. Recobrimento livre de acero de refuerzo:

$$f'_c = 20\text{MPa} \rightarrow 50\text{mm}$$

$$f'_c = 25\text{MPa} \rightarrow 40\text{mm}$$

$$f'_c = 30\text{MPa} \rightarrow 35\text{mm}$$

$$f'_c = 40\text{MPa} \rightarrow 30\text{mm}$$

$$f'_c = 50\text{MPa} \rightarrow 30\text{mm}$$

$$f'_c = 60\text{MPa} \rightarrow 25\text{mm}$$

$$f'_c = 70\text{MPa} \rightarrow 25\text{mm}$$

Pressupõe que k_{CO2} para a mesma VU de 50 anos seja:

$$k_{20} = 1,25k_{25} = 1,43k_{30} = 1,67k_{40} = 1,67k_{50} = 2,00k_{70} = 2,00k_{70}$$

77

Comparação de Requisitos de diferentes normas VU = 50 anos (carbonatação)

Membros sujeitos a classificações de exposições B1 = XC4
CEM 1, serão:

Recobrimento, livre de armadura:

Netherlands → $a/c < 0,5$ 25mm cover

Germany → $a/c < 0,60$ 25mm cover

México → $a/c < 0,40$? 25mm cover ($f'_c > 60\text{MPa}$)

Brasil → $a/c < 0,55$ 25mm cover ($f_{ck} > 30\text{MPa}$)

78

Vida Útil → Prescritiva → Limitações

Estrutura em São Paulo, ou seja, risco dos componentes estruturais externos apresentarem corrosão de armadura por carbonatação.

O que ocorre ao utilizar adições de sílica e de metacaulim?

O que ocorre ao utilizar cimento de alto forno, ou resistente a sulfatos, ou de alta resistência inicial?

O que ocorre ao utilizar aditivos inibidores de corrosão?

O que ocorre se o concreto tem 175 l/m^3 ou 210 l/m^3 de água de amassamento?

79

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.

80

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.;

81

Vida Útil

A situação ideal seria ter a possibilidade de definir uma mistura de concreto que pareça mais adequada e prová-la através de ensaios padronizados obtendo desses ensaios os parâmetros “reais” ou “efetivos”, ou ainda melhor, parâmetros mais prováveis de comportamento desse concreto na estrutura durante a sua vida útil.

O futuro aponta para isso, ou seja, normas de desempenho em substituição a normas prescritivas como as existentes hoje.

82

Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Prescritiva
- ✓ Mecanismos de transporte (determinista)
- ✓ Estocásticos (probabilista)
- ✓ Ensaaios (*ideais*)

83

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 o densidade AI&G);*
- *Migração iônica (diferença de potencial AI&G).*

84

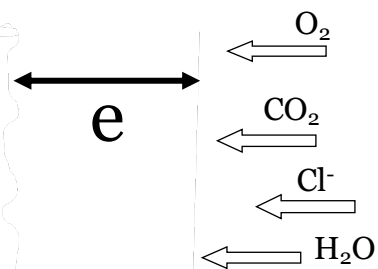
Modelos de Previsão de Vida Útil

Mecanismos de Transporte (determinísticos)

Generalização

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

acero



85

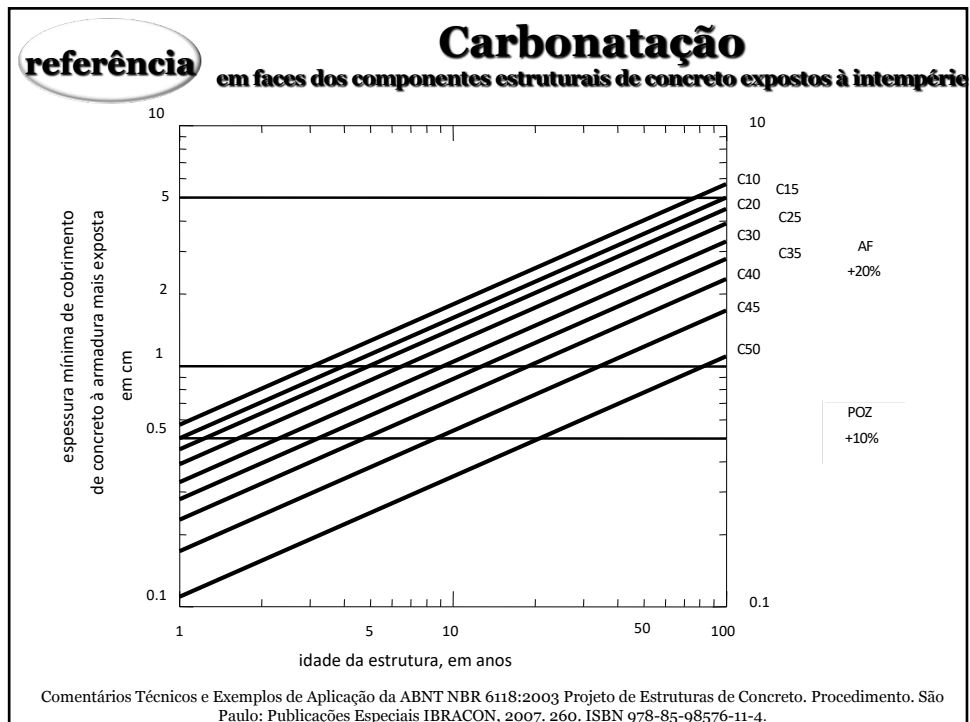
Carbonatação

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

➤ $e \rightarrow 10 \text{ a } 50 \text{ mm}$

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

86



87

Cloretos - difusão

$$t = \frac{e^2}{4 \cdot z^2 \cdot D_{ef,Cl}^{1/2}} \text{ (anos)}$$

$$e \rightarrow 10 \text{ a } 50\text{mm}$$

$$D_{ef,Cl} \rightarrow 0,15 \text{ a } 2,7 \text{ cm}^2/\text{ano}$$

88

Cloretos - difusão

$$e = 20\text{mm}$$

–

$$f_c = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 4 \text{ anos}$$

$$f_c = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$$

$$f_c = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 23 \text{ anos}$$

89

Vida Útil Mecanismo de Transporte *determinista* Limitações

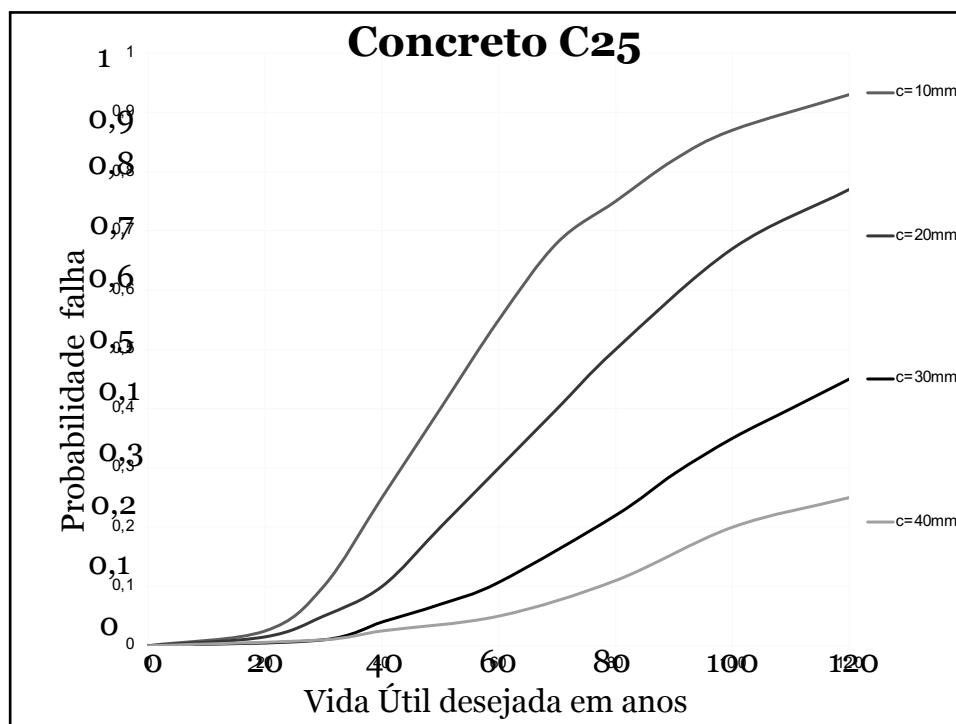
*O final da vida útil não ocorre
de forma repentina !*

90

Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Prescritiva
- ✓ Mecanismos de transporte (determinista)
- ✓ Estocásticos (probabilista)
- ✓ Ensaio (*ideais*)

91



92

Modelos de Previsão de Vida Útil

Apêndice da EH 2008

Carbonatação:

$$d = k_c * t^{1/2}$$

$$k_c = c_{env} * c_{air} * a * (f_{ck} + 8)^b$$

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| ✓ amb. externo | $c_{env} = 0,5$ |
| ✓ conteúdo de ar < 4,5% | $c_{air} = 1,0$ |
| ✓ cimento comum | $a = 1800$ |
| ✓ cimento comum | $b = -1,7$ |

93

Modelos de Previsão de Vida Útil

Apêndice da EH 2008

Carbonatação:

$$VU_d \text{ de calculo} = (VU_g \text{ de projeto}) * \gamma_t$$

VU_g = tempo até iniciação + tempo propagação até destacamentos

$$\gamma_t = 1,1 - 1,3$$

$$VU_g = (d/k_c)^2 + (80 * d) / (\phi * 3)$$

94

Modelos de Previsão de Vida Útil

Apêndice da EH 2008

Carbonatação:

$f_c = 20\text{MPa}$ com armadura de $\phi = 16\text{mm}$
Recobrimento $d = 30\text{mm}$

$$k_{c20} = 3,12 \text{ mm/ano}^{1/2}$$

$$Vu_g = 92 + 50 = 142 \text{ anos !}$$

95

Modelos de Previsão de Vida Útil

Apêndice da EH 2008

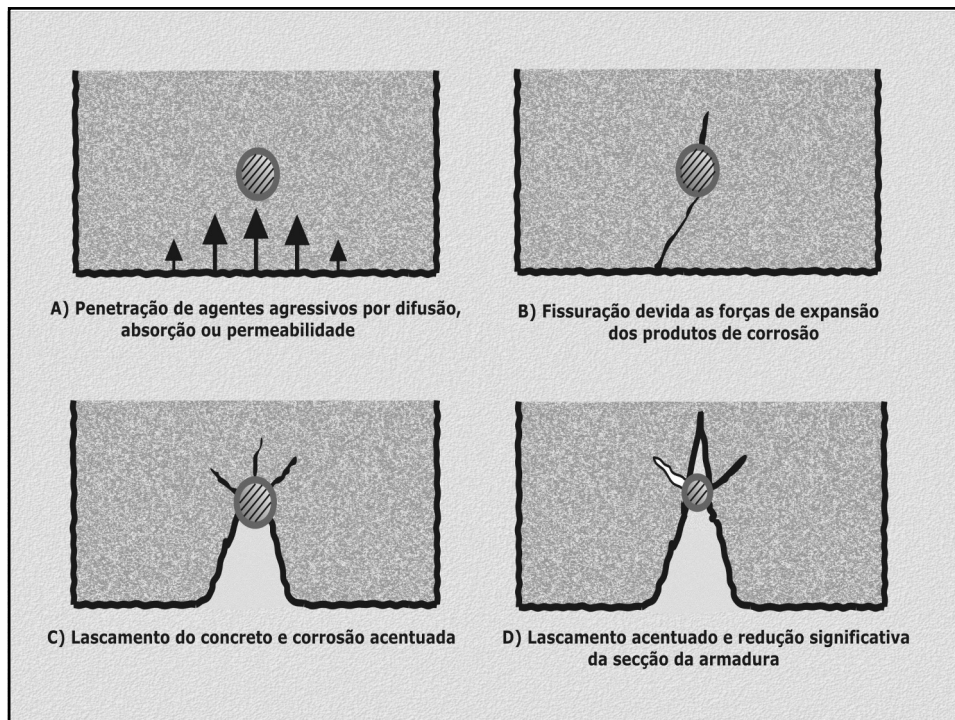
Carbonatação:

$f_c = 50\text{MPa}$ com armadura de $\phi = 16\text{mm}$
recobrimento $d = 30\text{mm}$

$$k_{c20} = 0,90 \text{ mm/ano}^{1/2}$$

$$Vu_g = 1100 + 50 = 1.150 \text{ anos !}$$

96



97

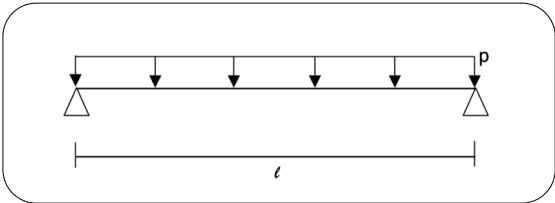
Comparação de duas vigas de concreto armado situadas em um ambiente marinho, correspondente a Classe de Agressividade Ambiental 4 da NBR-6118, e a região com risco de corrosão segundo o ACI 318.

98

Parâmetros de Durabilidade para Resistir “Splash Zone”			
a/cm W/Cm	kg / kg	NBR 6118 ≤ 0,45	ACI 318 ≤ 0,50
Consumo cimento Cement content	kg / m ³	no	no
f_{ck} f'_c	MPa	≥ 40	≥ 35
Cobrimento Concrete cover	mm	laje 45 viga/pilar 50	laje 50 viga/pilar 60
Cloretos Chlorides	kg / kg _c	no	0,15%

99

Cenário



■ Trata-se de uma viga simplesmente apoiada situada em ambiente marinho submetida ao seguinte carregamento:

- Carregamento permanente: 5 kN/m (DL)
- Carregamento accidental: 4,5 kN/m (LL)

100

Parâmetros iniciais

$b = 25,4 \text{ cm}$ (adotado)

Momento = 173 kN.m

$h = ???$

Armadura = ????

Aço CA-50 para NBR 6118

Aço CA-42 para ACI 318

101

Exigência das Normas

ACI 318

Para splash zone

- recobrimento*:
- 60 mm
- Classe de concreto:
- $f'_c = 35 \text{ MPa}$

NBR 6118

Para maré

- recobrimento:
- 50 mm
- Classe de concreto:
- $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

102

Dimensionamento
Vida Útil

35 MPa



60mm

ACI 318

40 MPa

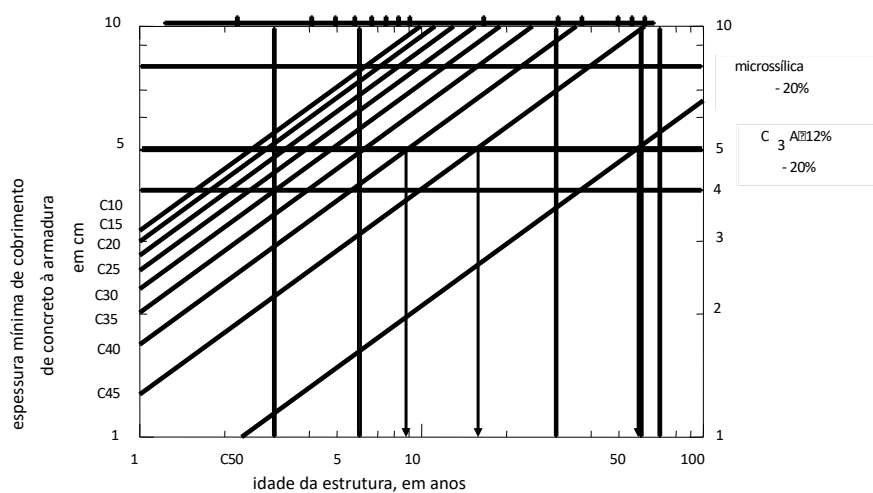


50mm

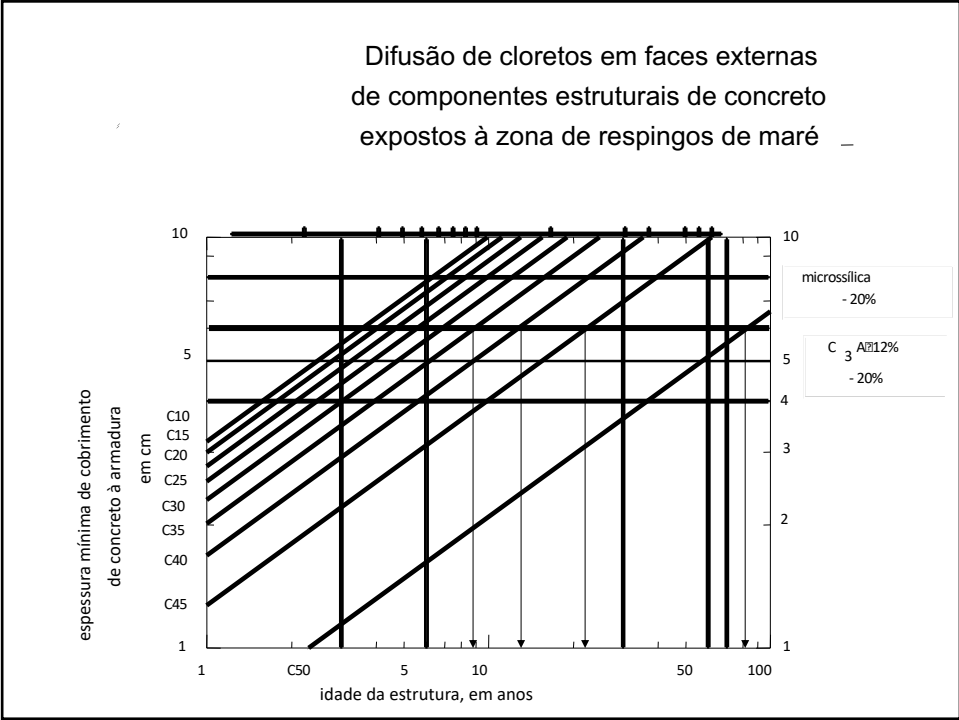
NBR 6118

103

Difusão de cloretos em faces externas
de componentes estruturais de concreto
expostos à zona de respingos de maré



104



105

**Previsão de VU com
base a medidas efetivas**

106

Inspeções



Pacometria de colunas para posição de armadura

107

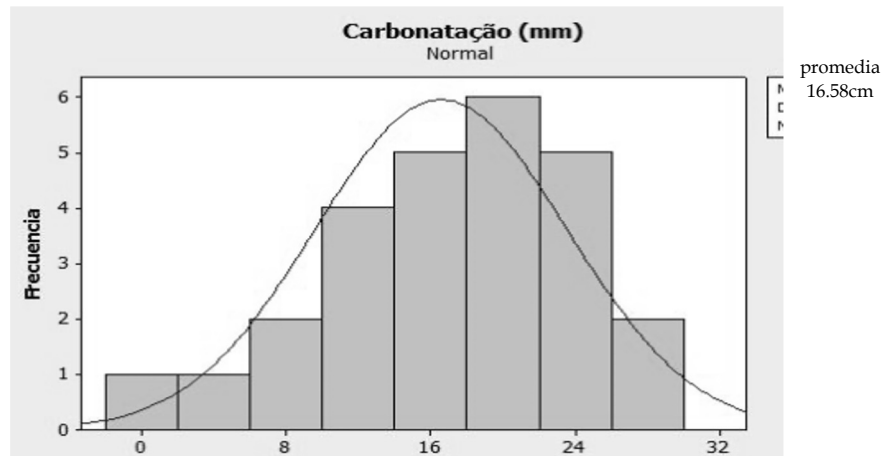
Inspeções



medida da profundidade de carbonatação

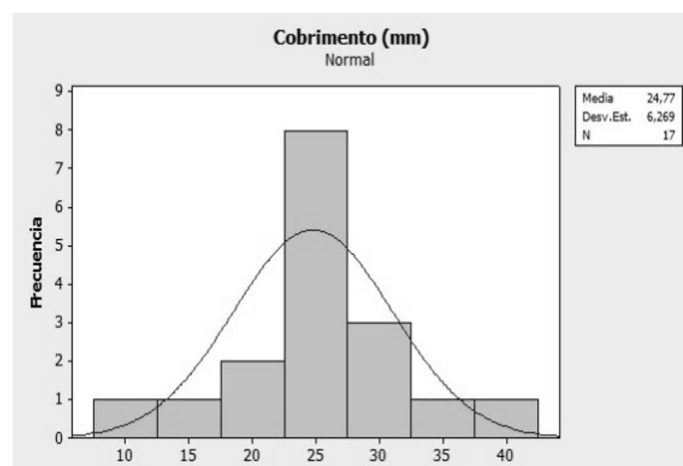
108

Carbonatação medida



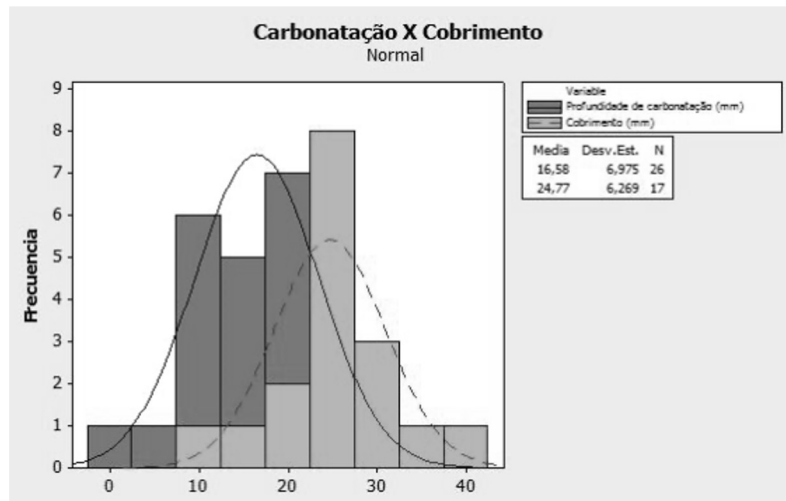
109

Recobrimento medido



110

Carbonatação versus Recobrimento



111

Recobrimento medio (c): 24.7cm
 Carbonatação médio (e_{CO_2}): 16.6cm
 Idade da estrutura: 20 anos

$$e_{CO_2} = k_{CO_2} * \sqrt{t}$$

$$16.6 = k_{CO_2} * \sqrt{20}$$

$$k_{CO_2} = 3.7 \text{ cm}/\sqrt{\text{ano}}$$

112

Quando vai despassivar?

$$e_{CO_2} = k_{CO_2} * \sqrt{t}$$

$$c_{CO_2} = 3.7 * \sqrt{t}$$

$$24.7 = 3.7 * \sqrt{t}$$

$$t = 44.5 \text{ anos}$$

A estrutura ainda tem 24.5 anos de vida residual

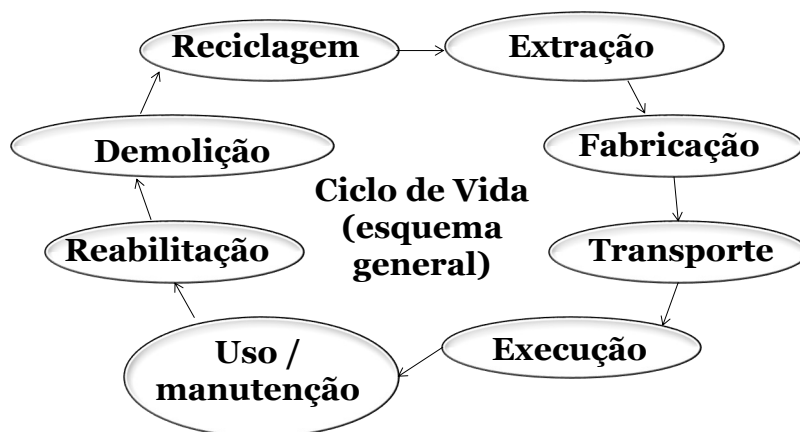
113

LCA (*Life Cycle Assessment*) (ACV)

EN 15804:2012

114

LCA (*Life Cycle Assessment*) **ACV**



115



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica



Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida-PBACV

Armando Caldeira-Pires
Coordenador do CT2-Inventários/PBACV (Prof. UnB)

OFICINA 02: GT CONSTRUÇÃO/CT2/PBACV
Inmetro, 21 de Junho de 2013

© Armando Caldeira-Pires - Projeto Brasileiro de ICV – Jun2013

116



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica



Projeto Brasileiro “ICV para a Competitividade da Indústria Brasileira” ICV Brasil

MCT, IBICT, FINEP, Inmetro, INT, UnB, USP, UTFPr,
CNI, SEBRAE, Petrobras, ABCV, Abipti, ABNT

Reuniões Preparatórias: de 2004 a 2006
Início Oficial: Novembro 2006

Coordenação: Instituto Brasileiro para Informação Científica e Tecnológica-IBICT/MCT
Apoio: MCT

Fim da Primeira Fase: 2010
Apoio para a 2a. Fase (2010-2012): MCT/MDIC

© Armando Caldeira-Pires - Projeto Brasileiro de ICV – Jun2013

117

Novas Siglas

- ✓ LCA → Life Cycle Assessment (ACV)
- ✓ LCI → Life Cycle Inventory Analysis (ICV)
- ✓ RSL → Reference Service Life (VU)
- ✓ EPD → Environmental Product Declaration
- ✓ LCIA → Life Cycle Impact Assessment
- ✓ ESL → Estimated Service Life (VUP)

118

Estruturas de Concreto

- É possível não ter problemas
- É durável, tem vida útil longa
- Necessita gerenciar a qualidade
 - Necessita ter visão sistêmica
 - É um trabalho de equipe
- Precisa conhecer e bem usar normas e documentos existentes

119

Comprometimento!

Do your best!

120



121