

Durabilidade e Controle dos Agentes Agressivos

www.iliescu.com.br

iliescu@iliescu.com.br

Definição de Durabilidade

5.1.2.3 – “Consiste na capacidade da 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.”

A conservação da estrutura não deve necessitar de reparos de alto custo, ao longo de sua vida útil.

■ É associado aos outros dois, já conhecidos que são:

1. **Capacidade resistente**, que consiste na segurança à ruptura
2. **Desempenho em serviço**, que consiste na capacidade da estrutura manter-se em condições plenas de utilização, não devendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada

Qualidade e vida útil de uma construção

- ❑ Q é a sua capacidade de atender às necessidades dos usuários nas condições de uso para as quais foi projetada.
- ❑ Pode-se considerar as necessidades atendidas, de modo geral, se forem satisfeitos os requisitos relativos à segurança, ao bom desempenho em serviço, à durabilidade, ao conforto visual, acústico, tátil e térmico, à higiene e à economia, dentre outros.
- ❑ VU - “Entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como a execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.”

Controle e Garantia da Qualidade

- **Controle da Q** são as técnicas operacionais e atividades utilizadas para atender aos requisitos da qualidade, tanto para monitorar um processo, como para eliminar causas de desempenho insatisfatório, para atingir eficácia econômica (NBR ISO 8402, 1994).
- **Garantia da Q** é o conjunto de todas as ações planejadas e sistemáticas, incluindo-se as atividades relacionadas ao controle da qualidade, necessárias para prover confiança adequada de que um produto atende aos requisitos definidos da qualidade e satisfaz determinadas necessidades (NBR ISO 8402, 1994).

Medidas para Garantia da Qualidade

- **Projeto** deve ser realizado por pessoal qualificado e já experimentado e ser submetido ao controle de qualidade interno ou por pessoal competente, mas independente;
- **Materiais e componentes** devem ser produzidos, ensaiados e utilizados conforme estabelecido em normas, procedimentos e recomendações;
- **Construção** deve ser executada por pessoal experiente e qualificado e ser submetida a controle interno de qualidade ou por pessoal competente, mas independente;
- **Utilização** da estrutura deve ocorrer, durante a vida útil que lhe é prevista, conforme estabelecido no projeto e sob manutenção adequada.

Documentos de Referência e Não-conformidade

- São as referências na análise comparativa das informações do projeto.
- São eles: projeto arquitetônico e estrutural; projetos dos outros sistemas (elétrico, hidráulico, etc.); relatórios e perfis de sondagem; normas técnicas oficiais aplicáveis; informações do mesmo projeto, constantes de desenhos já examinados e em vigor; registros de práticas consagradas, recomendações e prescrições constantes da literatura técnica, mas não incorporadas, explicitamente, nas normas técnicas oficiais, entre outros.
- **Não-C** é o não-atendimento de um requisito especificado (NBR ISO 8402, 1994).
- As condições de **não-conformidade**, segundo o ACI 121R (1985), são aquelas que podem afetar, desfavoravelmente, o desempenho satisfatório ou a aparência da estrutura, se permanecerem sem correção.

Existência de não-conformidades em obras executadas

- Revisão do projeto para determinar se a estrutura pode ser aceita
- Havendo deficiência de resistência do C cf. NBR 12655 devem ser extraídos e ensaiados testemunhos, cf. NBR 7680
- Caso os ensaios não eliminem as não-conformidades optar-se-á pela prova de carga, desde que não haja risco de ruptura frágil
- Ensaio de aceitação visa confirmar que o desempenho global da estrutura está em conformidade com as prescrições do projeto
- Ensaio de resistência tem por objetivo mostrar que a estrutura ou o elemento estrutural tem, ao menos, a resistência adotada do projeto
- Determinar as restrições de uso da estrutura
- Providenciar projeto de reforço
- Decidir pela demolição parcial ou total

Manual de utilização, inspeção e manutenção

- Deve ser produzido, por profissional habilitado, um manual de utilização, inspeção e manutenção, com especificações claras e sucintas sobre os requisitos básicos de utilização e manutenção preventiva, necessários para garantir a vida útil prevista para a estrutura, cf. NBR 5674

Medidas para atender-se à Durabilidade

- Proteção contra deterioração prematura, tais como as referentes às exigências de cobrimento das armaduras, drenagem das águas, especificações de materiais e procedimentos adequados e medidas adequadas à agressividade ambiente;
- Atendimento à qualidade do detalhamento das armaduras, seja nas emendas, dobramentos, ancoragens, nós de pórtico, furos, entre outros, para evitar rupturas localizadas e favorecer o adensamento do concreto;
- Deve-se atentar aos procedimentos de composição do traço, lançamento, adensamento e cura do concreto

Lançamento - NBR 14931/03 - item 9.5.1

- É a colocação do concreto nas fôrmas. Deve-se evitar a chamada segregação do concreto, que consiste na separação dos materiais componentes, com o conseqüente aparecimento de “ninhos”. A segregação ocorre porque os materiais componentes têm massas específicas diferentes e com a queda ou lançamento tendem a se separar. O concreto deve ser lançado o mais próximo possível do seu local definitivo. Devem ser observados cuidados no lançamento quando a altura de queda livre for superior a dois metros. Neste caso recomenda-se o uso de funis, calhas ou trombas
- Em nenhuma hipótese o lançamento deve ocorrer após o início de pega do concreto. O lançamento deve ser feito de maneira uniforme nas fôrmas, evitando a concentração e deformação das mesmas;
- O lançamento nas fôrmas deve ser feito em camadas de altura compatível com o adensamento previsto.

Adensamento - NBR 14931/03 - item 9.6.1

- Operação para a retirada do ar presente na massa do concreto, com o objetivo de se reduzir a porosidade ao máximo. Obtém-se a melhoria da resistência mecânica, dificultando a entrada de agentes agressivos e o perfeito preenchimento das fôrmas. A forma usual de adensamento é a vibração. Evitar a vibração da armadura para não prejudicar a aderência com o concreto. No adensamento manual as camadas não podem ter alturas superiores a 20 cm. No adensamento mecânico com vibradores de imersão, a altura das camadas não deve ultrapassar $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha. O vibrador deve ser aplicado na posição vertical. Fazer a vibração no maior número possível de pontos da peça concretada. A retirada do vibrador deve ser lenta e mantendo-o sempre ligado;
- Não permitir que o vibrador entre em contato com as fôrmas para evitar o aparecimento de bolhas de ar;
- Para um bom adensamento é necessário estabelecer um plano de lançamento adequado às necessidades da peça concretada.

Cura (1)

- Está relacionada à água da mistura que atende duas necessidades básicas do concreto: **Trabalhabilidade e Reação de hidratação do cimento**. Isto significa que parte da água tem como objetivo permitir um adequado adensamento, ou seja, ela será utilizada neste momento inicial e depois sairá da massa por evaporação. É justamente esta evaporação que devemos controlar para que não aconteça com muita velocidade, pois isso ocasionará tensões internas e, como conseqüência, as indesejáveis fissuras. Estas, por sua vez, permitirão a entrada de agentes externos agressivos no concreto, reduzindo sua vida útil. Portanto, uma boa cura deve proporcionar uma lenta evaporação da água superficial e, principalmente, deve ser iniciada o quanto antes. Muitas vezes, o início da cura é feito tarde demais, quando a peça concretada já está fissurada.

Cura (2)

- O processo de cura deve começar assim que o acabamento for concluído, com cuidado e de tal forma que a umidade superficial seja mantida. Nestas primeiras horas é fundamental que se mantenha o processo, uma vez que o concreto ainda não tem resistência suficiente para resistir aos esforços que darão origem ao aparecimento das fissuras. Pode-se concluir, que em condições climáticas desfavoráveis, como alta temperatura, vento forte e baixa umidade relativa do ar, as precauções devem ser redobradas. Da mesma forma, quanto maior a área exposta do concreto maior o cuidado com a cura.
- Outra parcela da água do concreto é utilizada para a reação de hidratação do cimento. A cura também deve impedir que esta água evapore, pois, neste caso, a reação não será completada e a resistência diminuirá.

Cura (3)

- Qual o tempo durante o qual a cura deve ser mantida? A NBR 14931 determina que se deve fazer a cura em um concreto até que sua resistência atinja 15,0 MPa. A consideração é que o concreto, ao atingir esta resistência, já estará com seu grau de hidratação bem avançado e, portanto, a cura poderá ser interrompida, mas não menos que 7 dias como tempo mínimo de cura para qq tipo de concreto.
- Os métodos de cura mais usuais são aspersão ou borrifa-mento de água, revestimentos saturados (sacos de aniagem ou papel), cobrimento com areia ou serragem molhadas, películas químicas de cura ou, ainda, processos térmicos com vapor d' água ou outro qq;
- As horas iniciais são as mais importantes para evitar as fissuras e no caso de molhagem por aspersão, a continuidade é essencial para se fazer uma boa cura. O problema mais freqüente nas obras é a cura ser iniciada no dia seguinte ao da concretagem ou o concreto ser molhado apenas uma vez ao dia.
- É importante lembrar que mesmo no inverno, com temperaturas mais baixas, a cura deve ser feita da mesma forma, pois condições de ventos fortes e baixa umidade do ar também são desfavoráveis.

Agentes ambientais agressivos

- Temperatura
- Umidade
- Chuva
- Vento
- Salinidade
- Agressividade química e/ou biológica
- Elemento Principal : **ÁGUA**

Mecanismos de envelhecimento e deterioração

■ Relativos ao Concreto

1. Lixiviação por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e carreiam os compostos hidratados da pasta de cimento;
2. Expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado;
3. Expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos;
4. Reações deletérias superficiais de certos agregados, decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica.

Lixiviação

1. Provocada por águas puras, carbônicas ou ácidas
2. Sintomatologia básica é uma superfície arenosa ou com agregados expostos sem a pasta superficial, eflorescências de carbonato, elevada retenção de fuligem e risco de desenvolvimento de fungos, com conseqüente redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais.

Expansão por sulfatos e por RAA

- Expansão por sulfatos tem por sintomatologia básica superfície com fissuras aleatórias, esfoliação e redução significativa da dureza e da resistência superficial do concreto.
- Ocorrência se dá em águas do mar, águas servidas, águas industriais e solos úmidos e gessíferos, com formação de etringita e gesso secundário. O teor de sulfato depende do consumo de cimento e do teor de gesso primário.
- A expansão por RAA depende dos agregados reativos, tais como opala, calcedônia, sílicas amorfas e certos calcários.
- Sua sintomatologia básica é uma expansão geral do concreto com fissuras superficiais e profundas.
- Outras: Agregados com pirita podem acarretar manchas, cavidades e protuberâncias de superfícies de concreto.

Mecanismos de envelhecimento e deterioração

- Relativos à armadura:

1. Despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico (CO₂) da atmosfera;
2. Despassivação por elevado teor de íon cloro (cloreto);

- Relativos à estrutura propriamente dita:

São todos aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação

Despassivação por Carbonatação

- CO₂ penetra por difusão e reage com os hidróxidos alcalinos da solução dos poros do concreto, reduzindo o pH.
- Ocorre em ambientes com umidade relativa acima de 65% ou sujeitos a ciclos de molhagem e secagem.
- Fenômeno não é perceptível a olho nu, nem reduz a resistência do concreto e, até aumenta sua dureza superficial.

Despassivação por Íon Cloro

- Íon cloreto penetra por difusão, impregnação ou absorção capilar de águas contendo cloro
- Quando o teor de cloretos ultrapassa um certo limite em relação ao teor de hidroxilas ($[Cl^-]/[HO^-] > 0,6$), instabiliza-se o filme de passividade que recobre a armadura e inicia-se o processo de corrosão.
- Fenômeno não é perceptível a olho nu, nem reduz a resistência do concreto e nem altera seu aspecto superficial.

Agressividade do ambiente (1)

- Classe de agressividade

pH

I

pH > 5,9

II

5,9 > pH > 5,0

III

5,0 > pH > 4,5

IV

4,5 > pH

Agressividade do ambiente (2)

- Classe de agressividade

CO2 (mg/l)

I

< 20

II

20 a 30

III

30 a 100

IV

> 100

Agressividade do ambiente (3)

■ Classe de agressividade	Amônia NH_4^{+++} (mg/l)
I	< 100
II	100 a 150
III	150 a 250
IV	> 250

Agressividade do ambiente (4)

■ Classe de agressividade	Magnésia Mg ⁺⁺ (mg/l)
I	< 150
II	150 a 250
III	250 a 500
IV	> 500

Agressividade do ambiente (5)

■ Classe de agressividade	Sulfato SO_4^{--} (mg/l)
I	< 400
II	400 a 700
III	700 a 1500
IV	> 1500

Agressividade do ambiente (6)

■ Classe de agressividade Sólidos dissolv. (mg/l)

I	> 150
II	150 a 50
III	< 50
IV	< 50

Agressividade do ambiente (7)

■ CA Agress.	Ambiente	Risco Deterioração
I Fraca	Rural	Insignificante
I Fraca	Submersa	Insignificante
II Moderada	Urbana	Pequeno
III Forte	Marinha	Grande
III Forte	Industrial	Grande
IV Mto forte	Industrial	Elevado
IV Mto forte	Respingos de maré	Elevado

. Classes de exposição referidas às condições ambientais

CEB-FIP Model Code 1990, 1993

- | Classes de exposição | Condições ambientais |
|--|---|
| ■ 1. Ambiente seco | interior de edifícios para habitação ou escritórios (1) |
| ■ 2. Ambiente úmido | a. interior de edifícios onde a umidade é alta (2) |
| ■ a. sem congelamento | a. elementos externos elementos em solo ou água não agressivos |
| ■ . | a. elementos internos onde a umidade é alta, expostos a congelamento |
| ■ b. com congelamento | b. elementos externos expostos a congelamento |
| ■ | b. elementos em solo ou água não-agressivos, expostos a congelamento |
| ■ 3. Amb úmido c/ congel e ag p/ degelo - elem int e ext expostos a congel e ag p/ degelo | |
| ■ 4. Ambiente marinho | a. elementos parcial imersos em água do mar ou na zona de arrebentação |
| ■ a. sem congelamento | a. elementos em ar saturado de sal, como na zona costeira |
| ■ b. com congelamento | b. elem parcial imersos em água do mar ou na zona de arrebentação e expostos a congelamento |
| ■ | b. elementos em ar saturado de sal e expostos a congelamento |
| ■ As classes seguintes podem ocorrer isoladas ou em combinação com as anteriores: | |
| ■ 5. Ambiente quimicamente agressivo | |
| ■ elementos em contato com solo, líquido ou gás, com baixa agressividade química | |
| ■ elementos em contato com solo, líquido ou gás, com moderada agressividade química | |
| ■ elementos em contato com solo, líquido ou gás, com alta agressividade química | |
- (1) Esta classe é válida desde que, durante a construção, a estrutura ou seus componentes não sejam expostos a condições mais severas, durante um período de muitos meses. (2) Por ex, em lavanderias comerciais.

Critérios de Projeto x Durabilidade

- Drenagem eficiente;
- Evitar formas arquitetônicas/estruturas inadequadas;
- Qualidade adequada do concreto, em especial nas superfícies;
- Cobrimentos compatíveis com a proteção das As;
- Detalhamentos adequados das armaduras;
- Controle da fissuração;
- Em ambientes muito agressivos: espessuras de sacrifício ou revestimentos protetores;
- Planos de inspeção e de manutenção

Drenagem

- Deve ser evitada a presença ou acúmulo de águas da chuva ou de limpeza e lavagem;
- Deve-se dispor de ralos e condutores em superfícies horizontais: garagens, estacionamentos e pátios;
- Deve-se selar as juntas de dilatação ou movimento;
- Deve-se proteger os topos de platibandas e paredes com chapins. Nos beirais, dispor de pingadeiras e rufos devem proteger encontros de diferentes níveis.

Qualidade do concreto de cobrimento (1)

- Depende da relação água/cimento e do grau de hidratação do concreto;
- São eles que regulam a absorção capilar, a permeabilidade por gradiente de pressão da água e dos gases, a difusividade da água e dos gases, a migração de íons;
- São eles também que regulam o módulo de elasticidade, resistência à compressão, à tração, fluência, relaxação e abrasão entre outras;
- Não é permitido o uso de aditivos com cloreto.

Qualidade do concreto de cobrimento (2)

■ Classe de	A/C	Concreto agressividade			
		CA	CP	CA	CP
I		<0,65	<0,60	C20	C25
II		<0,60	<0,55	C25	C30
III		<0,55	<0,50	C30	C35
IV		<0,45	<0,45	C40	C40

A qualidade é obtida pela resultante da mistura de um traço bem dosado, transporte, lançamento, adensamento, cura e desmoldagem.

Cobrimento nominal com $\hat{c} = 10 \text{ mm}$

■ Classe de agressividade	Cobrimento nominal		
	CA		CP
	Laje	Viga/Pilar	Todos
I	20	25	30
II	25	30	35
III	35	40	45
IV	45	50	55

O cobrimento está referido à armadura mais externa!

Medidas Especiais

- Hidrofugantes, vernizes de base acrílico ou base poliuretano alifático, renovados a cada 3 a 5 anos;
- Chapisco, emboço, reboco e pintura ou pastilha ou cerâmica; base asfalto; reforço com fibra de vidro ou poliéster; mantas de nylon;
- Revestimento de zinco galvanizado;
- Revestimento à base epóxi;
- Proteção catódica por anodo de sacrifício ou corrente impressa.

Literatura Técnica

- NBR-6118/03
- Comentários Técnicos do Ibracon
- Guia para Projetos de Estruturas de C duráveis – Boletim 183 – CEB
- Metha, P.K. – Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais, SP, Ed. Pini, 1994

Sessão encerrada
Obrigado a todos

Eng^o Marcelo Iliescu
iliescu@iliescu.com.br
www.iliescu.com.br