

## ESTUDO DOS MÉTODOS DE PREVISÃO DE VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO DE EDIFICAÇÕES EM NORMAS BRASILEIRAS E ESTRANGEIRAS

Tamiris Mello Zequim (PIC/UEM), Hugo Sefrian Peinado (Orientador), Romel Dias Vanderlei (Co-orientador). E-mail: hspeinado2@gmail.com

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

### Engenharia Civil: Estruturas de concreto

**Palavras-chave:** Durabilidade de estruturas em concreto armado, Desempenho de edificações, Agressividade Ambiental

### Resumo:

A durabilidade das estruturas em concreto armado se dá em função de uma série de fatores como: características da construção, propriedades dos materiais, condições de exposição ambientais e vida útil desejada. Para a previsão da vida útil existem diversos métodos que podem ser utilizados, tais como os de abordagem probabilística, determinística, com base em prescrições normativas, dentre outros. As normas brasileiras apresentam uma série de recomendações de caráter prescritivo necessária para atendimento da vida útil de projeto mínima de 50 anos para a estrutura da edificação estabelecida para ABNT NBR 15575:2013, a qual indica a consulta indispensável aos requisitos trazidos por normas estrangeiras de modo a complementar as normas nacionais. Nesse contexto, constitui-se como objetivo geral do presente trabalho analisar dois dos principais métodos de previsão de vida útil de estruturas em concreto armado no contexto internacional (ACI 318M-11 e NF EN 206-1 (Eurocode 2)) de modo a compará-los com o método prescritivo brasileiro. Sendo assim, procedeu-se a uma análise comparativa das normas brasileiras com as normas referenciadas. O estudo demonstrou que as normas brasileiras são as que permitem as maiores relações água/cimento em relação às normas estrangeiras, o que impacta negativamente na qualidade do concreto, aumentando sua permeabilidade, dentre outros fatores, que favorecem a entrada de mecanismos agressivos na estrutura em concreto. Além disso, a disparidade da classificação ambiental das normas internacionais perante as nacionais, demonstram como essas são tratadas de forma genérica, classificada em termos qualitativos, algo que gera interpretação subjetiva e não determina especificamente as condições e variáveis às quais a estrutura estará exposta de modo que não é possível a determinação com maior precisão da vida útil do sistema.

## Introdução

A durabilidade das estruturas em concreto se dá em função de diversos fatores: agressividade ambiental; relação água/cimento, tipo de cimento, consumo mínimo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto, espaçamento mínimo entre armaduras, cobrimento mínimo da armadura, procedimentos de execução e cuidados de manutenção na etapa de pós-obra da edificação.

A vida útil pode ser considerada como o tempo durante o qual a estrutura permanece com condições adequadas ao uso, sem necessidade de manutenções não previstas, respondendo ao escopo para qual foi projetada. A ABNT NBR 15575:2013 estabelece que, para a elaboração de um projeto de uma edificação residencial, deve-se estabelecer a Vida Útil de Projeto (VUP) mínima para a estrutura de 50 anos. Para atendimento dessa, a ABNT NBR 15575:2013 referencia o cumprimento dos parâmetros prescritivos trazidos pelas normas brasileiras, como a ABNT NBR 6118:2014 e a NBR 12655:2015, e também de normas internacionais, caso as nacionais não apresentem os parâmetros necessários. Para a previsão de vida útil das estruturas em concreto armado, além do método prescritivo empregado pelas normas brasileiras, existem os métodos determinísticos e probabilísticos. Nesse contexto, o presente trabalho é proposto a fim de analisar comparativamente o método prescritivo utilizado nas normas brasileiras com o método prescritivo apresentado na norma americana ACI 318M-11 e com o método semiprobabilístico empregado pela norma europeia NF EN 206-1 (Eurocode 2).

## Materiais e métodos

Para a presente avaliação, fez-se uma análise comparativa entre as normas brasileiras e as normas estrangeiras referenciadas, de forma a examinar os parâmetros semelhantes e divergentes referentes à resistência mínima a compressão, relação máxima de água/cimento para o concreto e consumo mínimo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto determinados para diferentes classes de agressividade ambiental à estrutura em concreto armado.

## Resultados e Discussão

Para analisar as normas abordadas no presente estudo, foram avaliados alguns fatores comuns entre elas. O critério de classificação dos ambientes agressivos à estrutura em concreto armado varia entre as normas, no entanto, a comparação apresentada na Tabela 1 foi possível uma vez que o agente agressivo presente no meio considerado é o mesmo.

**Tabela 1** – Comparação entre os parâmetros especificados pela ABNT NBR 6118:2014 e ABNT 12655:2015 e pela NF EN 206-1 (Eurocode 2)) e ACI 318M-11

	Brasil	NF EN 206-1							ACI 318M-11		
	Classe I	Classe X0							Classe C	Classe S	Classe P
									C0	S0	P0
R (Mpa)	20	12,6							17,9	17,9	17,9
a/c	≤ 0,65 CA	-							-	-	-
C (Kg/m³)	≥ 260	-							-	-	-
	Classe II	Classe XC				Classe XD			Classe C	Classe S	-
		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	C1	S1	-
R (Mpa)	25	21	21	31,6	31,6	31,6	31,6	36,8	17,9	29,5	-
a/c	≤ 0,60 (CA)	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,55	≤ 0,55	≤ 0,45	-	0,5	-
C (Kg/m³)	≥ 280	260	280	280	300	300	300	320	-	-	-
	Classe III	Classe XS						Classe P	Classe S	-	
		XS1		XS2		XS3		P1	S2	-	
R (Mpa)	30	31,6		36,8		36,8		29,5	32,6	-	
a/c	≤ 0,55 (CA)	≤ 0,50		≤ 0,45		≤ 0,45		0,50	0,45	-	
C (Kg/m³)	≥ 320	300		320		340		-	-	-	
	Classe IV	Classe XA						Classe C	Classe S	-	
		XA1		XA2		XA3		C2	S3	-	
R (Mpa)	40	31,6		31,6		36,8		36,8	32,6	-	
a/c	≤ 0,50 (CA)	≤ 0,55		≤ 0,50		≤ 0,45		0,40	0,45	-	
C (Kg/m³)	≥ 360	300		320		360		-	-	-	

Nota<sup>1</sup>: R: Resistência à compressão mínima (Mpa); a/c: Relação água/cimento do concreto; C: consumo mínimo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto (Kg/m<sup>3</sup>).

Nota<sup>2</sup>: As normas brasileiras ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 12655: 2015 trazem as seguintes classes de Agressividade para o Concreto: Classe I: Ambiente rural e submerso; Classe II: Ambiente urbano; Classe III: Ambiente marinho e industrial; Classe IV: Ambiente industrial e com respingos de maré.

Nota<sup>3</sup>: A norma europeia NF EN 206 -1 traz as seguintes classificações: Classe X0: Ambiente sem risco de corrosão ou ataque; Classe XC: Ambiente com risco de corrosão induzida por carbonatação, sendo XC1: ambiente seco ou permanentemente molhado, XC2: ambiente molhado, XC3: ambiente com umidade moderada e XC4: ambiente com ciclo de molhagem e secagem. Classe XD: Ambiente com risco de corrosão induzida por cloretos, sendo XD1: ambiente com umidade moderada, XD2: ambiente permanentemente molhado, raramente seco, XD3: ambiente com ciclo de molhagem e secagem. Classe XS: Ambiente com risco de corrosão induzida por cloretos da água do mar, sendo XS1: ambiente exposto ao sal no ar sem ser estruturas perto da costa marítima, XS2: ambiente submerso à água do mar permanentemente, XS3: ambiente sujeito à marés e respingos. Classe XA: Ambiente com risco de ataques químicos, sendo XA1: ambiente ligeiramente agressivo, XA2: ambiente moderadamente agressivo e XA3: ambiente altamente agressivo.

Nota<sup>4</sup>: A norma americana ACI318M-11 traz as seguintes classificações: Classe S: ambiente exposto à sulfato, sendo S0: ambiente com presença baixa de sulfato (<0,10 % solúvel em água) que não apresenta agressividade, S1: ambiente com presença de sulfato (entre 0,10 % e 0,20 % de sulfato solúvel em água) com agressividade moderada, S2: Ambiente com presença alta de sulfato (entre 0,20 % a 2 % de sulfato solúvel em água) com agressividade grave, S3: ambiente com presença muito alta de sulfato (> 2 % solúvel em água). Classe P: ambiente que exige baixa permeabilidade do concreto, sendo P0: ambiente em contato com a água onde não é necessária baixa permeabilidade e P1: ambiente em contato com a água onde é necessária baixa permeabilidade. Classe C: Ambiente com risco de corrosão da proteção do aço, sendo C0: ambiente seco (sem risco), C1: ambiente exposto à umidade, mas sem presença de cloretos (agressividade moderada), C2: ambiente exposto à umidade, cloretos, produtos químicos, sal, e respingos de maré (agressividade grave).

A partir da comparação dos parâmetros analisados, no que se refere à resistência mínima à compressão do concreto, verifica-se que a norma americana é a que define os valores mais baixos comparativamente, por essa pautar-se, principalmente, na composição dos materiais e não propriamente, na classe de resistência. Ela determina os tipos de adições e

a expansão máxima do cimento no concreto em cada classe. Em se tratando da relação água/cimento máxima para o concreto e ao consumo de cimento por m<sup>3</sup>, vê-se que as normas brasileiras são as que permitem as maiores relação a/c e os menores valores mínimos de cimento por m<sup>3</sup> em relação às normas estrangeiras, o que impacta negativamente na qualidade do concreto, aumentando sua permeabilidade, dentre outros fatores, que favorecem a entrada de mecanismos agressivos na estrutura em concreto.

Importa destacar ainda que, apesar da ABNT NBR 6118:2014 e a ABNT NBR 12655:2016 considerarem uma série de fatores impactantes na durabilidade da estrutura em concreto armado, tanto a ACI 318M-11, como NF EN 206-1 definem as classes ambientais de forma mais específica, considerando por tipo de agente agressor. Além disso, ambas consideram as adições minerais no concreto para a determinação da relação água/cimento, determinando a porcentagem permitida de outros materiais, bem como, possibilitando a utilização de valores inferiores de resistência à compressão e cobrimento de armadura pela utilização de adições na composição do cimento (desde que sejam realizados ensaios comprovando a eficiência na durabilidade final do concreto com adições). Por fim, a NF EN 206-1 ainda condiciona a durabilidade das estruturas em concreto aos procedimentos de execução, impondo exigências no controle da produção das estruturas.

## Conclusões

Pode-se concluir, a partir do estudo realizado, que apesar das normas estrangeiras citadas também considerarem uma abordagem prescritiva, método que apresenta lacunas para uma determinação mais elaborada da vida útil da estrutura, as normas nacionais apresentam valores mínimos para os parâmetros estudados inferiores às normas internacionais, em detrimento à durabilidade das estruturas. Ainda, não consideram condições específicas do meio e a variabilidade destas condições para a determinação da vida útil. Portanto, é necessária a revisão dos parâmetros levantados na norma, pautados não apenas nos exemplos normativos estrangeiros, como em ensaios e abordagens de desempenho que possam determinar a vida útil das estruturas de forma mais rigorosa.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655: Concreto de Cimento Portland** – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais** – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.