

# ANÁLISE COMPARATIVA DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SOB A AÇÃO DE ÍONS CLORETO UTILIZANDO SOFTWARES COMPUTACIONAIS

**Amâncio da Cruz Filgueira Filho<sup>1</sup>**

[amanciofilgueira@hotmail.com](mailto:amanciofilgueira@hotmail.com)

**Romilde Almeida de Oliveira<sup>2</sup>**

[romildealmeida@gmail.com](mailto:romildealmeida@gmail.com)

## ÁREA: MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO

### Resumo

Nos últimos anos o conceito de durabilidade de estruturas vem ganhando maior importância, principalmente com as atualizações da ABNT NBR 6118, bem como da quantificação de vida útil delimitada na norma de desempenho de edificações habitacionais, a ABNT NBR 15575:2013. O enfoque dado pela NBR 6118:2014 envolve as condições ambientais e o tempo de exposição, a espessura de cobertura, tipos de cimento, resistência à compressão e relação água/cimento. Fica evidenciado que o enfoque dado às classes de agressividade ambientais está ligado às manifestações patológicas devidas a ataques por cloreto. As estruturas situadas em ambiente marinho, principalmente em zonas de splash estão sujeitas a uma maior probabilidade de degradação, em especial à corrosão das armaduras causadas pelo ataque dos íons cloreto. Do ponto de vista econômico, as medidas de correção tomadas na fase de projeto são menos onerosas. O presente trabalho constitui de uma análise numérica exploratória de novas metodologias passíveis de serem aplicadas em fase de projeto para que a estrutura seja construída dentro de especificações que permitam atingir uma vida útil pré-estabelecida. Foram utilizados softwares comerciais para se obter os cobrimentos necessários para evitar a corrosão da armadura frente ao ataque por íons cloreto e efetuada análise comparativa dos resultados obtidos com aqueles especificados pelas normas da ABNT. Foram comparados os resultados aferidos nos softwares com resultados obtidos analiticamente, objetivando comprovar a consistência dos resultados.

Palavras-chave: Vida útil

Íons cloreto

Desempenho

Agressividade ao concreto

Softwares

---

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Civil na Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil.

<sup>2</sup> Professor Titular na Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil.



# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA VIDA ÚTIL DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO BAJO LA ACCIÓN DE IONES CLORURO UTILIZANDO SOFTWARES COMPUTACIONALES

**Amâncio da Cruz Filgueira Filho<sup>3</sup>**

[amanciofilgueira@hotmail.com](mailto:amanciofilgueira@hotmail.com)

**Romilde Almeida de Oliveira<sup>4</sup>**

[romildealmeida@gmail.com](mailto:romildealmeida@gmail.com)

## AREA: MANTENIMIENTO Y RESTAURACIÓN

### Resumen

En los últimos años el concepto de durabilidad de estructuras viene ganando mayor importancia, principalmente con las actualizaciones de la ABNT NBR 6118, así como de la cuantificación de vida útil delimitada en la norma de desempeño de edificaciones habitacionales, la ABNT NBR 15575:2013. El enfoque dado por la NBR 6118:2014 involucra las condiciones ambientales y el tiempo de exposición, el espesor de recubrimiento, tipos de cemento, resistencia a la compresión y relación agua/cemento. Se pone de manifiesto que el enfoque dado a las clases de agresividad ambiental está ligado a las manifestaciones patológicas debidas a ataques por cloruros. Las estructuras situadas en ambiente marino, principalmente en zonas de splash, están sujetas a una mayor probabilidad de degradación, en especial a la corrosión de las armaduras causadas por el ataque de los iones cloruro. Desde el punto de vista económico, las medidas de corrección tomadas en la fase de proyecto son menos costosas. El presente trabajo constituye un análisis numérico exploratorio de nuevas metodologías pasibles de ser aplicadas en fase de proyecto para que la estructura sea construida dentro de especificaciones que permitan alcanzar una vida útil preestablecida. Se utilizaron softwares comerciales para obtener los recubrimientos necesarios para evitar la corrosión de la armadura frente al ataque por iones cloruro y efectuado análisis comparativo de los resultados obtenidos con aquellos especificados por las normas de la ABNT. Se compararon los resultados obtenidos en los softwares con resultados obtenidos analíticamente, con el objetivo de comprobar la consistencia de los resultados.

Palabras clave: Vida útil

Iones cloruro

Desempeño

Agresividad al hormigón

Softwares.

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia Civil na Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil.

<sup>4</sup> Professor Titular na Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil.

## Introdução

O conceito de construções mais duráveis vem sendo objeto de diversas pesquisas, o qual tem como principais objetivos o fator econômico, pois intervenções não previstas em projeto causarão despesas podendo ser até inviáveis, como também o bem estar social, para se evitar futuros transtornos em sua utilização.

Este conceito vem sendo utilizado tanto em pesquisas acadêmicas como na prática em projetos de estrutura de concreto armado.

Existem normas que têm como objetivo passar recomendações do projeto de durabilidade de estruturas de concreto, como no caso do Model Code for Service Life Desing e da Fédération Internationale du Béton (FIB). No Brasil o enfoque dado à este tema está na ABNT NBR 6118:2014 (1), onde são fornecidas recomendações sobre as ações ambientais de uma maneira qualitativa relativas ao local onde a estrutura está situada que definirão a relação água/cimento, a resistência característica do concreto e o cobrimento nominal da peça.

O intuito deste trabalho é fazer uma verificação utilizando softwares disponíveis no mercado para se efetuar uma análise de metodologias capazes de serem aplicadas em projetos de estruturas visando a durabilidade, levando em conta o ataque de íons cloreto. É dado enfoque para as prescrições normativas presentes no Brasil, para analisar a consistência dos resultados obtidos.

## 1. Descrição do problema

É de grande importância a capacidade do concreto em proteger suas armaduras, impedindo que o aço não tenha contato direto com o ambiente externo. Fornece proteção química pela qual confere a formação de uma camada passivadora devido ao seu elevado pH.

Segundo Figueiredo e Meira (2013) (3) a formação e estabilidade dessa película têm relação com a elevada alcalinidade da solução aquosa presente nos poros do concreto, esta alta alcalidade e um adequado potencial eletroquímico garantem a função protetora desta película.

A corrosão pode se iniciar quando esta película é rompida devido a agentes deletérios sejam a carbonatação do concreto ou presença de cloretos. Segundo Mehta e Monteiro (2014) (4) na presença de íons cloreto a camada passivadora pode ser destruída com valores de pH acima de 11.5, e que quando grandes quantidades de cloreto estão presentes, o concreto tende a conservar mais umidade, aumentando assim o risco da corrosão do aço pela diminuição da resistividade do elétrica do concreto.

As regiões do aço as quais estarão desprotegidas irão possuir um potencial eletroquímico negativo, formando regiões anódicas. Nas demais regiões a camada passivadora permanece intacta e atuarão como regiões catódicas. A taxa de corrosão será governada pela resistividade elétrica do concreto e pela presença de oxigênio, que se formará um sistema de células galvânicas que se desenvolverão ao longo das armaduras por fluxo de corrente (GJØRV, 2009) (5).

As principais fontes de íons cloretos são a penetração de soluções da água do mar, saís de degelo, a utilização descontrolada de aditivos aceleradores de pega e de agregados com presença de saís. Em estruturas situadas em ambientes de alta agressividade ambiental, a corrosão por ataque de cloretos é apenas uma questão de tempo, mesmo que estas recebam tratamentos adequados e elevados cobrimentos. Para este tipo de estrutura deve ser

necessário um projeto adequado de durabilidade, se projetando uma vida útil da mesma de acordo com a sua utilização e destino.

A penetração do cloreto é facilitada ainda mais se existirem fissuras na estrutura de concreto, pois a principal barreira física que é a capa de concreto estará servindo como porta de entrada para o cloreto e demais agentes agressivos. Já para um concreto sem fissuras, a penetração ocorrerá por absorção capilar ou por difusão, na qual o concreto absorverá à água salgada em zonas de splash pelos processos de molhagem e secagem da maré e chuva, aumentando assim a concentração de sais no concreto. Estruturas situadas nestas condições ambientais tendem a gerar um teor de umidade muito alto na camada exterior do concreto, sendo assim passível de ocorrer o transporte de íons cloreto por difusão.

## 2. Parâmetros de entrada para o calculo do projeto de durabilidade

Segundo Ferreira (2006) (6), existem duas estratégias para a abordagem de um projeto de durabilidade. A primeira consistindo em isolar a agressividade ambiental do meio envolvente, tomando medidas como utilização de materiais não reativos, revestimentos apropriados, proteção catódica e incorporação de ar. A segunda estratégia é de tornar a estrutura mais resistente à agressividade do meio tomando procedimentos que tornem a superfície menos exposta aos agentes agressivos, que pode ser obtido dando qualidade adequada a composição do concreto como também a espessura de cobrimento, conforme mostrado na figura 1.

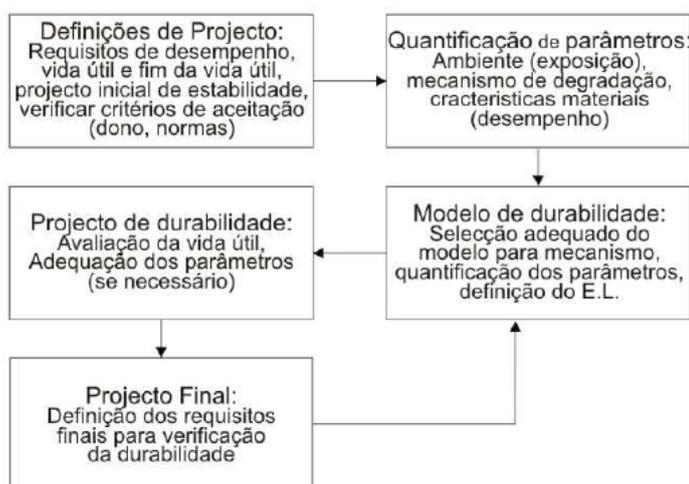


Figura 1: Metodologia de um modelo para a previsão da vida útil de componente de construção.

Fonte: Ferreira (2006)

Ferreira (2006) (6) ainda comenta que existe ainda pouco conhecimento prático sobre medidas protetoras e a eficiência que elas podem gerar, sendo assim mais recomendável se utilizar a segunda estratégia como modelação dos mecanismos de deterioração para um projeto de durabilidade. O mais coerente a se fazer é fazer uma otimização para a seleção dos materiais a serem empregados em conjunto de uma espessura de cobrimento adequada.

Existe uma dispersão dos parâmetros de entrada para se poder calcular a penetração de cloretos numa estrutura de concreto, como sua taxa de corrosão aceitável até o fim de sua vida útil. Devido a esta grande variabilidade existente nos parâmetros, é mais condizente

com a realidade se efetuar uma análise probabilística que levará em conta pelo menos parte dessa dispersão.

Os princípios serão os mesmos que utilizados no projeto estrutural, porém neste caso as solicitações (S) serão as ações dos íons cloreto combinados com a temperatura, e a resistência (R) será o efeito combinado do revestimento com a qualidade do concreto. Como descrito a seguir:

$$R \geq S \text{ ou } R - S \geq 0 \quad (1)$$

A probabilidade de ocorrer a corrosão das armaduras ( $p_f$ ) será dada pela equação (2). Segundo Gjrv (2009) (5) nas atuais normas é especificado um teto de 10 % para medidas de probabilidade de falha ( $p_0$ ) no estado-limite de serviço (ELS) sob o enfoque de vida útil. Este valor será adotado para o ELS correspondente à iniciação da corrosão.

$$p_f = p(R - S < 0) < p_0 \quad (2)$$

Segundo Gjrv (2009) (5) os parâmetros de entrada consistem em três grupos:

➤ **Ação ambiental:**

- concentração de cloreto,  $C_s$ ;
- idade de atuação do cloreto,  $t'$ ;
- temperatura,  $T$ .

➤ **Qualidade do concreto:**

- difusividade do cloreto,  $D$ ;
- coeficiente de influência da idade,  $n$ ;
- concentração inicial de cloretos no concreto  $C_i$ ;
- teor crítico de cloreto,  $C_{Cr}$ .

➤ **Cobrimento do concreto,  $X_c$**

Ainda segundo Gjrv (2009) (5) quando nada se sabe sobre a distribuição dos vários parâmetros de entrada, pode-se presumir uma distribuição normal com coeficiente de variação entre 0,1 e 0,2. No entanto, os valores dos parâmetros de entrada que dependem da qualidade da execução durante a concretagem, como no caso da difusão de cloretos e do revestimento, podem apresentar alta dispersão e variabilidade, podendo-se assim se tomar outras distribuições que se adequam melhor a estas situações.

### 3. Métodos de cálculo para projeto de durabilidade

Modelos relativos à entrada de íons cloreto podem ser utilizados para a avaliação da função do estado limite que levará em conta a despassivação do aço (equação 3), em que a concentração real de cloreto  $C(x,t)$  na profundidade “x” e no tempo “t” é comparada com a concentração crítica,  $C_{Cr}$ :

$$S(t_D) \geq S_{lim} \quad (3)$$

$S(t_D)$  são as ações previstas para uma vida útil de projeto e  $S_{lim}$  representa o estado limite de serviço. A vida útil de uma estrutura ( $t_s$ ) deve sempre atender ou exceder sempre a vida útil

prevista em projeto ( $t_D$ ). Daí é aconselhável usar um limite conservadoramente definido expresso pela equação 4, na qual  $t_i$  é o tempo de iniciação da degradação da estrutura.

$$t_S = t_i \quad (4)$$

Em situações as quais o componente estrutural a ser analisado possuir alguma proteção contra agentes agressivos (ex.: técnicas eletroquímicas, revestimentos, armaduras especiais, inibidores de corrosão),  $t_S$  pode ser considerada com a soma de mais um fator, o período de propagação  $t_p$ , conforme a equação 5.

$$t_S = t_i + t_p \quad (5)$$

Estes modelos podem ser expressos por métodos de cálculo relativamente simples que podem ser combinados com análises estatísticas. Para efeito deste tópico serão descritos de maneira sucinta apenas os modelos que são utilizados nos softwares estudados neste presente trabalho.

### 3.1. Modelo baseado na 2ª lei de difusão de Fick

Segundo Collepardi, Marcialis e Turriziani (1972) (7) a taxa de penetração do cloreto pode ser estimada utilizando solução analítica da segunda lei de difusão de Fick (equação 6), na qual erf é a função erro de Gauss. Calculando-se o perfil de cloreto em um meio poroso saturado. Como limitações presentes no modelo é a consideração de um coeficiente de difusão de cloreto  $D(t)$  constante e em ser um sistema unidimensional.

$$C(x, t) = C_i + (C_S - C_i) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{x_c}{\sqrt{4D(t)t}}\right) \quad (6)$$

Como observado na equação o coeficiente de difusão do cloreto é dependente do tempo, segundo Tang e Guilikers (2007) (8), os primeiros a estudar a relação entre o coeficiente de difusão de cloreto foram Takewaka e Matsumoto (1998) (9), os quais usaram uma equação empírica para descrever a diminuição do coeficiente de difusão com o tempo, isto é,  $D$  é proporcional a  $t^{-0,1}$ .

Tang e Guilikers (2007) (8) ainda correlacionam em seu trabalho à relação do coeficiente de difusão de cloreto dependente do tempo ( $D(t)$ ) conforme a equação 8 baseando-se no estudo de Tang e Nilsson (1992) (10) o qual é fundamentado na solução matemática de Crank para difusão (equação 7).

Ainda deve-se levar em conta a influencia do efeito da temperatura perante a taxa de penetração do cloreto. O que é considerado utilizando o coeficiente  $ke$  definido na equação 9, onde a temperatura  $T$  é a média anual.

$$D(t') = a(t')^{-n} \quad (7)$$

$$D(t) = \frac{D_0}{1-n} \left[ \left(1 + \frac{t'}{t}\right)^{1-n} - \left(\frac{t'}{t}\right)^{1-n} \right] \left(\frac{t_0}{t}\right)^n ke \quad (8)$$

$$ke = \exp \left[ \frac{Ea}{R} \left( \frac{1}{293} - \frac{1}{273+T} \right) \right] \quad (9)$$

Onde  $D_0$  é o coeficiente de difusão depois do tempo de referencia  $t_0$  e  $t'$  é a idade do concreto no momento da exposição ao cloreto. O coeficiente “a” descreve o produto constante

de  $D$  ( $t'$ ) e  $(t')^n$ . Ela é a energia para produzir a difusão de cloretos,  $R$  é a constante universal dos gases perfeitos e  $T$  é a temperatura.

### 3.2. Modelo proposto por Papadakis et al (1996)

Segundo Vorechovská et al. (2015) (11) muitos autores se baseiam no modelo com cálculos baseados na segunda lei de Fick de difusão, levando em conta que as observações indicam principalmente o controle do transporte por difusão de cloretos em concreto, a zona de convecção relativamente pequena, e que a solução de Crank pode ser aplicada.

A segunda lei de Fick de difusão é amplamente utilizada em aplicações práticas da engenharia devido principalmente este modelo utilizar de equações relativamente simples, porém para Vorechovská et al. (2015) (11) a imprecisão de ligações do cloreto é talvez a fraqueza destes modelos, e que o modelo proposto por Papadakis et al. (1996) (12) difere da segunda lei de Fick apenas na forma como é explicado o processo de absorção e ligação de cloretos no estado sólido.

O modelo de Papadakis et al. (1996) (12) permite a previsão da concentração de cloreto nas fases sólidas e líquidas do concreto  $[Cl^-(s)]$  (mol por  $m^3$  de concreto) e  $[Cl^-(aq)]$  (mol por  $m^3$  de água dos poros) respectivamente. O modelo pode ser simplificado em uma equação diferencial não linear para  $[Cl^-(aq)]$  e um algébrico para  $[Cl^-(s)]$  (equações 10 e 11 respectivamente):

$$\frac{\partial [Cl^-(aq)]}{\partial t} = \frac{\frac{De, Cl^-}{\varepsilon \cdot f} (1 + \varepsilon \cdot f \cdot Keq) [Cl^-(aq)]^2}{Keq \cdot C_{sat} + (1 + \varepsilon \cdot f \cdot Keq [Cl^-(aq)])^2} \cdot \frac{\partial^2 [Cl^-(aq)]}{\partial x^2} \quad (10)$$

$$[Cl^-(s)] = \frac{\varepsilon \cdot f \cdot Keq \cdot C_{sat} \cdot [Cl^-(aq)]}{1 + \varepsilon \cdot f \cdot Keq \cdot [Cl^-(aq)]} \quad (11)$$

Em que em condições iniciais  $[Cl^-(aq)] = C_i$  em  $t = 0$ , e  $x = 0$ . O  $De, Cl^-$  representa a difusividade efetiva do cloreto no concreto,  $Keq$  é a constante de equilíbrio para ligações de cloreto,  $C_{sat}$  é a concentração de saturação de cloretos no estado sólido,  $\varepsilon$  representa a porosidade do concreto e  $f$  é o grau de saturação com a água.

A distância da superfície mais próxima à frente ao ataque de cloretos (a profundidade de cloração  $x_{Cl}$  [mm]) é dada pela equação 12, em que  $\psi$  é o fator de incerteza do modelo:

$$x_{Cl} = \psi 1000 \sqrt{\frac{3,1536 \times 2De, Cl^- \times Cs}{C_{sat}} t \times 10^7} \quad (12)$$

Em concreto completamente saturado e totalmente hidratado, a difusividade efetiva  $De, Cl^-$  é dada pela equação 13. Se a concentração crítica de cloreto necessária para despassivação do aço for atingida na fase aquosa, o tempo em anos para despassivação das barras será expresso na equação 14.

$$De, Cl^- = 0,15 \frac{1 + \frac{\rho c}{1000} \cdot \frac{w}{c}}{1 + \frac{\rho c}{1000} \cdot \frac{w}{c} + \frac{\rho c}{\rho a} \cdot \frac{a_{1,2,3}}{c}} \left[ \frac{\frac{\rho c}{1000} \cdot \frac{w}{c} - 0,85}{1 + \frac{\rho c}{1000} \cdot \frac{w}{c}} \right]^3 De, H_2O \quad (13)$$

$$t_i = 0,15 \frac{C_{sat} \left( \frac{X_c}{1000} \right)^2}{3,1536 \times 10^7 \times 2De, Cl^- \times Cs \left( 1 - \frac{C_{cr}}{Cs} \right)^2} \quad (14)$$

## 4. Metodologia

Neste trabalho foi feita uma análise numérica a ser aplicada na fase de projeto para que a estrutura seja construída dentro de especificações que permitam atingir uma vida útil mínima de 50 anos definida pela norma de desempenho de edificações, ABNT NBR 15575:2013 (2).

Para isso utilizou-se de um exemplo aplicado em uma zona de classe de agressividade ambiental definida como muito forte (Classe IV) pela ABNT NBR 6118:2014 (1), tratando-se de uma região com respingos de maré, a qual possui grande susceptibilidade de ataque por íons cloreto. Foram utilizados dos limites preestabelecidos pela norma: cobrimento, resistência à compressão e relação água/cimento.

Para obtenção dos resultados, foram utilizados quatro softwares comerciais, disponíveis em versões gratuitas. Os softwares possuem métodos de cálculo diferentes, e consequentemente entrada de dados distintas. Na Tabela 1 estão descritos os dados de entrada.

Alguns dos dados de entrada da tabela 1 foram baseados no trabalho de Thoft-Christensen (1998) (13), Gjrv (2009) (5), Andrade (2001) (14) e adaptados como descrito a seguir. O cimento a ser utilizado é o cimento composto CII-Z, bastante utilizado em construções brasileiras, tendo em sua composição 86% de clínquer + gesso e 14% de material pozolânico. Na mistura do concreto foi utilizado 10%, em massa, de adição de sílica ativa.

Tabela 1: Dados de entrada para o exemplo a ser estudado.

Variável	Sigla	Unidade	Média ( $\mu$ )	Desvio padrão ( $\sigma$ )	Distribuição
Espessura de cobrimento	C	cm	5,0	0,7	normal
Resistência à compressão do concreto	fc	MPa	30,0	6	normal
Relação água cimento	a/c	-	0,45	0,045	normal
Tipo de cimento	CII-Z	-	-	-	-
Coefficiente de difusão de cloretos	D(t)	m <sup>2</sup> /s	2,0E-12	0,4E-12	normal
Concentração superficial de cloretos	Cs	%	1,5	0,3	normal
Concentração inicial de cloretos	Ci	%	0,0	0,0	normal
Concentração crítica de cloretos	Ccr	%	0,4	0,05	normal
Taxa de aço	$\rho$	%	1,5	0,2	normal
Idade do concreto quando ensaiado	t <sub>0</sub>	dia	28	-	determinista
Idade de atuação do cloreto	t'	ano	0,5	-	determinista
Vida útil requerida	t	ano	50	-	determinista
Temperatura	T	°C	26	-	determinista
Coefficiente de influência da idade	$\alpha$	-	0,55	0,11	normal

O software A calcula a vida útil utilizando segunda Lei de difusão de Fick de maneira determinista utilizando valores de tabela da função erro de Gauss. O software B calcula a probabilidade de corrosão baseando-se também na segunda lei de Fick combinada com a simulação de Monte Carlo. O software C é utilizado de combinação da abordagem das

diferenças finitas de Crank-Nicolson na segunda lei de Fick onde os níveis futuros de cloretos no concreto são função do nível de cloreto atual.

O software D utiliza-se do modelo proposto por Papadakis et al (1996) (12). Vale salientar que na versão freeware a única distribuição estatística disponível para as variáveis é distribuição retangular.

## 5. Resultados e discussões

Foram efetuadas as análises nos softwares para um cobrimento de 5,0 cm, classe de agressividade ambiental IV definida na ABNT NBR 6118:2014 (1) e uma vida útil mínima de 50 anos definida pela ABNT NBR 15575:2013 (2). Os resultados foram comparados com as recomendações das normas citadas. Foi considerada uma probabilidade de falha (probabilidade de atingir o tempo inicial de corrosão) de 10% definida pela equação 2. A seguir, na figura 2, são apresentados os resultados da análise feita nos quatro softwares.

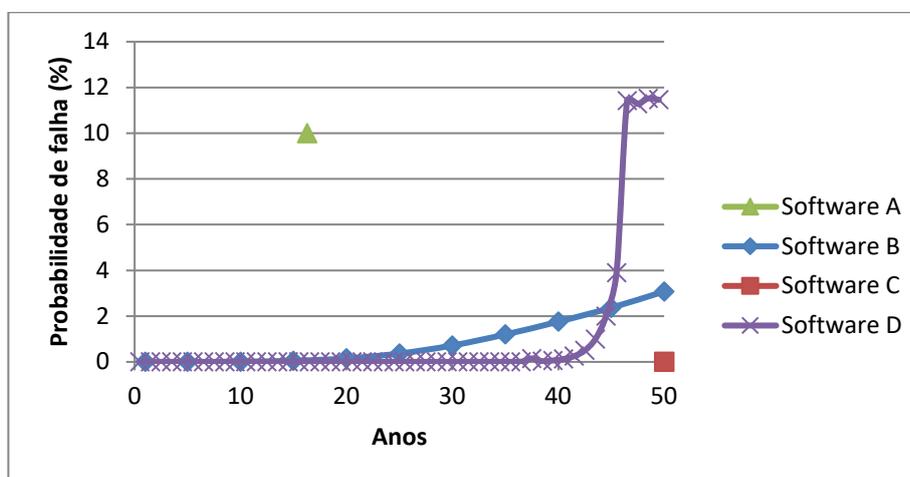


Figura 2: Resultados obtidos nos programas computacionais. Fonte: Autoria própria

Como pode se observar apenas os softwares B e C atenderam a estas prescrições. O software B chegou a uma probabilidade de corrosão de aproximadamente 3,1 % aos 50 anos de idade, cumprindo assim sua vida útil de projeto para estas condições ambientais e a qualidade dada a estrutura. O software C possui uma probabilidade muito baixa de corrosão até os 50 anos, sendo este apresentando probabilidades mais significativas só após a vida útil de projeto.

Os softwares A e D, não atenderam a vida útil mínima de projeto definida pela ABNT NBR 15575:2013 (2), isso se deve principalmente a maneira de como são feitos os cálculos nestes programas computacionais. O software A, de caráter determinístico tende a apresentar resultados mais conservadores, e nele é calculado a idade e a probabilidade de corrosão para determinadas concentrações. Nele se apresentou numa vida útil baixa em relação aos demais, do valor de aproximadamente 16 anos, o que tornaria as especificações da ABNT NBR 6118:2014 (1) inviáveis, tendo como solução tomar medidas de proteção severas como um considerável aumento da espessura de cobrimento.

Já o software D, atingiu uma probabilidade de falha superior aos 10% no valor de uma vida útil de aproximadamente 46 anos, medidas de proteção e manutenções preventivas poderiam ser implementadas, sendo estas consideradas como dados de entrada no software, e assim poder atingir uma vida útil superior aos 50 anos. Esta é uma metodologia mais

moderna para se calcular a vida útil, pois leva em conta a composição do concreto como também reações químicas presentes nele.

## 6. Conclusão

Com este trabalho pode-se concluir que existem diversas maneiras de se levar a consideração da durabilidade em projetos de estruturas de concreto, e que quando dada sua devida importância, pode-se prever futuras manifestações patológicas na estrutura, podendo-se fazer intervenções ao longo de sua vida útil. Vale salientar que existem diversas maneiras de calcular a vida útil de uma estrutura e sua probabilidade de corrosão, neste trabalho foram apresentadas algumas metodologias em quatro softwares que forneceram resultados nem sempre parecidos e que nem sempre atendam as especificações de normas brasileiras.

Como conclusão se pode ter que apesar de alguns softwares estarem comatíveis com os valores prescritos na ABNT NBR 6118:2014 (1) para este caso em análise, seria importante estabelecer em normas brasileiras alguns dados que favoreçam uma maior explanação do usuário, como no caso levar em conta a incorporação de metodologias de cálculo para determinado problema (seja ataque por íons cloretos ou carbonatação), a influência do tipo de cimento e adições, mapear concentração de cloretos ao longo do território nacional, a influencia de medidas de proteção e a programação de manutenções preventivas.

## Bibliografia

- (1) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- (2) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- (3) FIGUEIREDO, E. J. P. e MEIRA, G. R. **Corrosión de armadura de estructuras de hormigón**. Boletín Técnico ALCONPAT, 2013.
- (4) METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. Pini, São Paulo, 2014.
- (5) GJØRV, O. E. **Projeto da durabilidade de estruturas de concreto em ambientes de severa agressividade**. Revisão técnica FIGUEIREDO, E. J. P. e HELENE, P. R. L. Oficina de Textos, São Paulo, 2009.
- (6) FERREIRA, R. M. **Optimização da vida útil das estruturas de betão armado**. 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, JPEE 2006. Portugal, 2006.
- (7) COLLEPARDI, M. MARCIALIS, A. and TURRIZIANI, R. **Penetration of Chloride Ions Into Cement Pastes and Concretes**. Journal, American Ceramic Society, v. 55, 1972.
- (8) TANG, L. and GULIKERS, J. **On the Mathematics of Time-Dependent Apparent Chloride Diffusion Coefficient in Concrete**. Cement and Concrete Research, 37(4), p. 589-595, 2007.
- (9) TAKEWAKA, K. and MATSTUMOTO, S. **Quality and cover thickness of concrete based on the estimation of chloride penetration in marine environments**, ACISP 109-17, American Concrete Institute, 381–400, 1998.
- (10) TANG, L. and NILSSON, O. **Chloride Diffusivity in High Strength Concrete at Different Ages**, Nordic Concrete Research, Publication, vol. 11, 1992, p. 162–171



- (11) VORECHOVSKÁA, D. ROVNANÍK, P. TEPLÝ, B. and CHROMÁ, M. **FReET-D Deterioration Module of the Multipurpose Probabilistic Software for Statistical, Sensitivity and Reliability Analysis FReET**. Distributor: Cervenka Consulting, 2015.
- (12) PAPADAKIS, V.G., ROUMELIOTIS, A.P., FARDIS, C.G. & VAGENAS, C.G. **Mathematical modeling of chloride effect on concrete durability and protection measures**. In Proc. of International Conference on Concrete in the Service of Mankind (Concrete Repair, Rehabilitation and Protection edited by Dhir, R.K. & Jones M.R.), Dundee, Scotland, UK, 165–174, 1996.
- (13) THOFT-CHRISTENSEN, P. **Assessment of the Reliability Profiles for Concrete Bridges**. Engineering Structures, n. 11, v. 20, p. 1004-1009, 1998.
- (14) ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à Previsão da Vida Útil das Estruturas de Concreto Armado Atacadas pela Corrosão de Armaduras: Iniciação de Cloretos**. Tese de Doutorado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.