

Análise da durabilidade do concreto armado em cenário de mudança climática: **uma formulação 3D do MEF considerando efeito da temperatura**

WAGNER QUEIROZ SILVA - Dr. - <https://orcid.org/0000-0002-3148-2693> (wqs@ufam.edu.br) – UFAM
EDSON DENNER LEONEL - Dr. - <https://orcid.org/0000-0002-7842-0334> – EESC/USP

RESUMO

O PRESENTE TRABALHO CONSISTE NA PROPOSIÇÃO DE UM MODELO BASEADO NO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF) TRIDIMENSIONAL PARA ANÁLISE DA DIFUSÃO TRANSIENTE DE ÍONS DE CLORETO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, COM A CONSIDERAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA. REALIZA-SE A SIMULAÇÃO DE UMA VIGA DE CONCRETO ARMADO USUAL PARA ESTUDAR O SEU COMPORTAMENTO EM RELAÇÃO À DESPASSIVAÇÃO DAS ARMADURAS POR AÇÃO DE CLORETOS, CONSIDERANDO AINDA UM AUMENTO OTIMISTA DA TEMPERATURA MÉDIA DO AMBIENTE AO LONGO DOS ANOS. DEMONSTRA-SE, ASSIM, O POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO MODELO NA AVALIAÇÃO DE UM DOS MAIS RELEVANTES FENÔMENOS ASSOCIADOS A DETERIORAÇÃO DO CONCRETO ARMADO POR CORROSÃO, POSSIBILITANDO QUANTIFICAR A DURABILIDADE DE ESTRUTURAS EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. OS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO INDICAM QUE, PARA QUAISQUER CENÁRIOS COM PREVISÃO DE AUMENTO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS EM DECORRÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, HAVERÁ REDUÇÃO SIGNIFICATIVA DA VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO SUJEITAS AO ATAQUE DE ÍONS DE CLORETO.

PALAVRAS-CHAVE: DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO, VIDA ÚTIL ESTRUTURAL, DIFUSÃO DE CLORETOS, DESPASSIVAÇÃO DAS ARMADURAS, MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

1. INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, têm se intensificado os esforços envidados por pesquisadores na quantificação dos impactos das mudanças climáticas globais sobre a durabilidade de estruturas de concreto armado. Notadamente nos

últimos anos, este tema tornou-se sensível na sociedade devido à intensificação dos eventos climáticos extremos e suas consequências diretas sobre a integridade das construções. Estima-se, por exemplo, que o prejuízo econômico com a deterioração de pontes de concreto armado nos EUA em decorrência das mudanças climáticas pode chegar a mais de U\$ 200 milhões de dólares (Zhang e Ayyub, 2024).

O concreto armado, devido à sua microestrutura porosa, é afetado significativamente pelos fenômenos associados às mudanças climáticas. Em especial, o aumento das temperaturas, que acelera processos químicos que desencadeiam degradação mecânica, como aqueles associados à corrosão das armaduras, por exemplo. A deterioração prematura não só compromete a funcionalidade destas estruturas, mas também eleva os custos de manutenção e reparo, além de possíveis riscos para a segurança pública (IPCC, 2023).

Dentre os fenômenos que levam à redução da vida útil de estruturas de concreto armado, destaca-se a corrosão de armaduras. Além disso, o ingresso de cloretos nos poros do concreto é um dos principais agentes responsáveis pelo desencadeamento do fenômeno (Pellizzer, Leonel e Nogueira, 2018). Cloretos estão presentes em produtos químicos de limpeza e são recorrentes em ambientes de orlas marinhas. Os íons cloreto são transportados pelo ar por longas distâncias e depositam-se sobre as superfícies das construções, onde difundem-se, pre-

ponderantemente, nos poros do material ao longo do tempo. Portanto, para que procedimentos normativos recomendem parâmetros justos para a durabilidade de estruturas, modelos de previsão realistas tornam-se necessários. Encontram-se recomendações para que o período anterior à despassivação seja adotado como limite de vida útil (Helene, 1993 *apud* Silva, 2023, p. 34). No presente trabalho, o tempo de início da corrosão é adotado como vida útil estrutural.

A despassivação pela ação de cloretos é prevista pela atual versão da norma brasileira de projeto de estruturas de concreto NBR 6118 (ABNT, 2024). Esta norma apresenta algumas diretrizes relacionadas à durabilidade, que são baseadas em uma classificação de agressividade ambiental. Observa-se que esta classificação foi implantada na versão de 2003 desta norma, ou seja, há pouco mais de 20 anos. Isso significa que para uma grande quantidade de construções com mais de 20 anos, foram empregadas considerações de projeto e de execução que hoje são consideradas insuficientes para garantir uma vida útil adequada. Percebe-se então a importância do desenvolvimento de modelos que permitam mensurar a durabilidade estrutural de construções existentes, principalmente modelos que incorporem os efeitos de mudanças climáticas, como em Stewart, Wang e Nguyen (2011), Pellizzer, Leonel e Nogueira (2018) e Zhang e Ayyub (2024), dentre outros.

Há, portanto, grande importância no desenvolvimento de técnicas que

permitam a quantificação da vida útil das construções existentes e futuras. Além da importância técnica, o desenvolvimento de modelos que permitam prever a durabilidade das estruturas de concreto possui relevância socioeconômica. Afinal, essas previsões podem auxiliar na melhoria das políticas públicas habitacionais, na otimização das técnicas de construção, reparo e intervenções, além de contribuir para questões referentes à sustentabilidade e economia das infraestruturas e de obras em geral.

O presente estudo avalia a durabilidade de estruturas de concreto armado por meio da aplicação de um modelo numérico baseado no método dos elementos finitos (MEF), assumindo hipóteses tridimensionais. Assume-se que a durabilidade seja afetada pela corrosão de armaduras desencadeada pela ação do ingresso de íons cloreto. Incorporou-se ao modelo numérico de difusão a influência dos efeitos de temperatura. Tal recurso permite a previsão da influência das mudanças climáticas, temperatura especialmente, na vida útil das construções. A formulação desenvolvida é aplicada a uma estrutura particular, onde dados climáticos da região sudeste são considerados no estabelecimento das mudanças nos cenários climáticos. Objetiva-se com este estudo fornecer informações e dados para que os procedimentos normativos incorporem de maneira justa os efeitos das mudanças climáticas.

2. DESENVOLVIMENTO DO MODELO NUMÉRICO

2.1 Modelo de difusão transiente 3D

O modelo é baseado na formulação do MEF para análise da difusão transiente em sólidos tridimensionais, como descrito, por exemplo, em Lewis *et al.* (2004). A difusão é por definição um fenômeno de transporte de matéria por movimento de partículas de uma região de maior concentração para uma região de menor concentração. Este fenômeno é governado por princípios físicos que podem ser expressos matematicamente pela equação diferencial indicada em (1).

$$[1] \quad \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = \rho \frac{\partial u}{\partial t}$$

Nesta expressão, q_x , q_y e q_z representam os fluxos em cada direção do espaço tridimensional, ρ é a constante do material e u é a concentração que varia no tempo t .

Para solucionar a equação (1), aplica-se o método dos resíduos ponderados e passa-se a escrever a concentração em função de valores nodais de uma malha de pontos discreta formada por elementos finitos. Assim, a concentração é aproximada pela expressão (2).

$$[2] \quad \sum_{j=1}^n N_j u_j$$

Nesta aproximação, N_j representa a ponderação, que são as funções interpoladoras de forma de um elemento finito; u_j são os valores potenciais nos nós j do elemento e n é o número de nós do elemento. Para uma dada região do problema, os valores de concentração já devem ser conhecidos, o que corresponde às condições de contorno essenciais da solução.

Aplicando, então, o método dos resíduos ponderados na equação diferencial e com os devidos tratamentos matemáticos, obtém-se a equação (3) para o domínio Ω de elementos finitos.

$$[3] \quad \int_{\Omega} D \left[\frac{\partial N_j}{\partial x} \frac{\partial N_k}{\partial x} u_k + \frac{\partial N_j}{\partial y} \frac{\partial N_k}{\partial y} u_k + \frac{\partial N_j}{\partial z} \frac{\partial N_k}{\partial z} u_k + \frac{1}{D} N_j \frac{\partial N_k}{\partial t} u_k \right] d\Omega + \int_{\Gamma_q} N_j q d\Gamma_q = 0$$

Nesta última equação, D é o coeficiente de difusão do material e q o vetor fluxo normal à superfície Γ_q para a qual prescreve-se seu valor (condição de contorno natural). A equação (3) pode ser reescrita em forma matricial como apresentado na expressão (4).

$$[4] \quad \left\{ \int_{\Omega} [N]^T [N] d\Omega \right\} \cdot \left\{ \frac{\partial u}{\partial t} \right\} + \left\{ \int_{\Omega} D [B]^T [B] d\Omega \right\} \cdot \{u\} = \left\{ \int_{\Gamma_q} q [N]^T d\Gamma_q \right\}$$

Onde:

$$[5] \quad [B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_n}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \dots & \frac{\partial N_n}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1}{\partial z} & \frac{\partial N_2}{\partial z} & \dots & \frac{\partial N_n}{\partial z} \end{bmatrix}$$

A resolução numérica da equação (4) com a variação do tempo envolve a discretização da parcela diferencial $\{\partial u / \partial t\}$, o que pode ser realizado por uma técnica de diferenças finitas. Para isso, considera-se a variação da concentração entre dois intervalos de tempo consecutivos. O valor de concentração intermediário para um instante $(i + \phi)$ pode ser estimado aplicando-se séries de Taylor. Com os devidos tratamentos matemáticos, reescreve-se a equação (4) da seguinte maneira:

$$[6] \quad [\bar{D}] \{u\}_{i+\phi} = \{\bar{F}\}$$

Onde:

$$[7] \quad [\bar{D}] = \frac{[V]}{\Delta t} + \phi [D]$$

$$[8] \quad \{\bar{F}\} = \left(\frac{[V]}{\Delta t} - (1 - \phi) [D] \right) \{u\}_i + \phi \{f\}_{i+1} + (1 - \phi) \{f\}_i$$

A equação (6) permite calcular os valores de concentrações nodais em um instante $(i+1)$ a partir dos valores conhecidos no instante i . Realiza-se, então, um processo iterativo. O integrador temporal ϕ foi definido neste trabalho considerando-se as recomendações de diversos autores indicados por Silva (2023), sendo adotado o valor de $2/3$.

2.2 Incorporação do efeito da temperatura

No presente estudo, o coeficiente de difusividade D , na verdade, será substituído por um coeficiente de difusão efetivo, calculado conforme descreve a equação (9).

$$[9] \quad D_{ef} = D_0 \times f_T$$

Nesta expressão, D_0 corresponde ao valor de difusividade de referência, que normalmente é obtido em ensaios laboratoriais, mas pode também ser estimado por correlações empíricas. Já, o fator de ponderação f_T é o parâmetro que impõe o efeito da temperatura interna do material, sendo seu valor dado pela equação de Arrhenius (10).

$$[10] \quad f_T = e^{\left[\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T(t)} \right) \right]}$$

Sendo: E a energia de ativação do processo, R a constante dos gases, T_0 a temperatura de referência e $T(t)$ o valor da

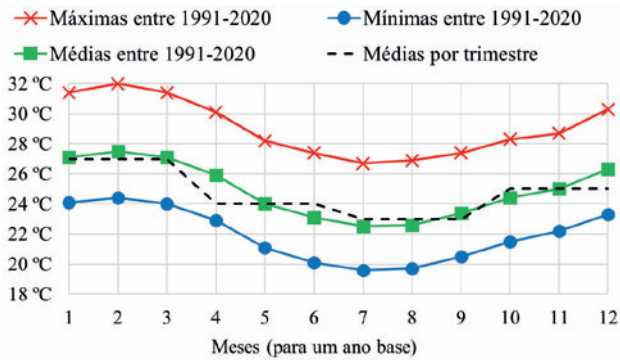


FIGURA 1
DADOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS COMO BASE PARA
MODELAGEM DO CLIMA

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, COM BASE EM DADOS DO INMET (2024)

temperatura interna do concreto variando com o tempo t . Neste estudo, adotam-se os valores indicados por Stewart, Wang e Nguyen (2011) para os três primeiros parâmetros, respectivamente 40 kJ/mol; 8,31 J/mol.K e 293 K. Em relação a temperatura interna, assume-se que a temperatura do concreto nas camadas de cobertura se mantenha igual à temperatura ambiente. Tal hipótese é realista como demonstrado em Silva (2003). Testes iniciais da formulação desenvolvida aplicada à análise da difusão térmica também confirmaram tal hipótese.

estações do ano. A Figura 1 exibe os dados considerados como base para a modelagem da variação de temperaturas ao longo de um ano.

É preciso definir um cenário futuro para a variação da temperatura. Para isso, optou-se pela aplicação de uma função periódica trimestral baseada nas médias por trimestre indicadas na Figura 1. Os dados foram tratados com a aplicação de uma distribuição uniforme, com uso de uma variável randômica para a consideração da aleatoriedade das

2.3 Modelagem do clima

Para a modelagem da variação de temperatura, foram considerados como base os dados disponíveis no portal do INMET (2024) correspondentes ao período de 1991 a 2020 para a região Sudeste do Brasil. Admite-se um padrão trimestral, que corresponderia às diferentes

temperaturas em torno dos valores médios, com uso de uma variação de $\pm 2^\circ\text{C}$ em torno dos valores médios aqui considerados.

Em relação às mudanças climáticas, diversos trabalhos tentam prever os mais diferentes cenários. Este é um problema complexo, pois envolve não apenas questões técnicas, mas fatores socioeconômicos e políticos. Na literatura técnica, é possível notar, de maneira geral, um consenso de que haverá nas próximas décadas um aumento significativo das temperaturas médias globais. Dentre os cenários apontados por muitos como mais prováveis, há previsões consideradas otimistas que sugerem aumentos de pelo menos $1,5^\circ\text{C}$, mas também se encontram previsões mais catastróficas com aumentos que podem chegar até 6°C em determinadas regiões do Brasil (Armani *et al.*, 2022).

O presente estudo tem como objetivo demonstrar o impacto destas mudanças futuras na durabilidade das construções de concreto armado. Assim, optou-se por considerar o cenário para o qual já se observa haver consenso entre pesquisadores, adotando-se um aumento das temperaturas médias de $1,5^\circ\text{C}$ em um período de 50 anos. Este aumento se

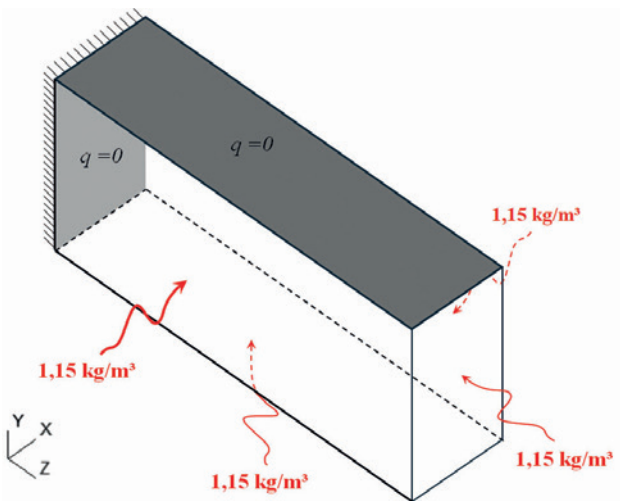


FIGURA 2
ESQUEMA DA VIGA EM BALANÇO PARA O EXEMPLO
DE APLICAÇÃO

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

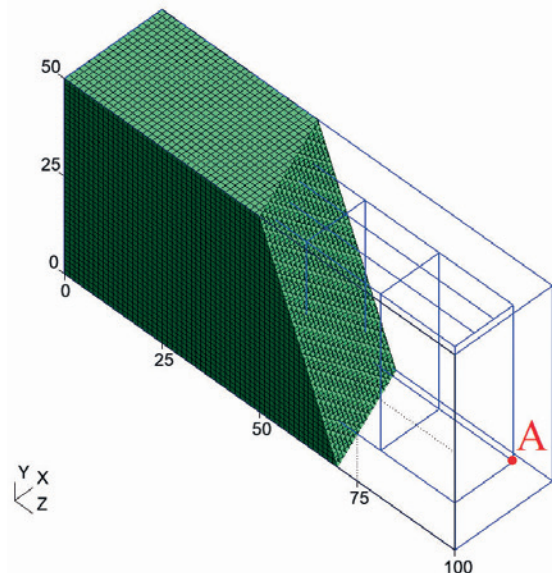


FIGURA 3
MODELO DISCRETO DA VIGA PARA O EXEMPLO DE APLICAÇÃO

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

dará a partir dos valores base admitidos para as temperaturas trimestrais que foram ilustradas na Figura 1.

3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Foi realizada uma simulação de uma viga exposta a uma concentração superficial de íons de cloreto durante 50 anos. O exemplo trata de uma viga em balanço com seção transversal retangular de 25 cm x 50 cm e 1,0 m de balanço, servindo de apoio para uma laje. Dessa maneira, considera-se haver fluxo de cloretos nas superfícies laterais, inferior e na seção de extremidade da viga, sendo a superfície superior isolada pela presença da laje, e a seção transversal de engaste isolada pelo vínculo com o pilar. A Figura 2 ilustra as condições de contorno consideradas na análise.

Adotou-se como cobertura o valor de 50 mm, correspondente ao mínimo cobertura para a classe de maior agressividade da atual versão da norma brasileira de estruturas de concreto, NBR 6118 (ABNT, 2024).

Para os parâmetros de difusão de cloretos em concretos, foram adotados os mesmos dados utilizados por Pellizzer, Leonel e Nogueira (2018) em suas análises. Assim, a concentração superficial é constante com valor de $1,15 \text{ kg/m}^3$, o que corresponde a um valor aproximado para obras localizadas a 100 metros do mar. Assume-se que esta concentração seja constante ao longo do tempo para que a influência exclusiva dos efeitos de temperatura seja quantificada. O coeficiente de difusão é de $0,67 \text{ cm}^2/\text{ano}$ referente a um fator água/cimento de 0,50. O teor limite para a despassivação da armadura foi considerado igual a $0,90 \text{ kg/m}^3$, que é a faixa superior de valores comumente indicados na literatura técnica.

Foram utilizados elementos finitos hexaédricos lineares, aplicando uma discretização a qual uma convergência de malha foi efetuada previamente. A Figura 3 ilustra o modelo discreto, com um corte inclinado dos elementos volumétricos para a visualização das armaduras, representadas pelas linhas azuis mais internas.

4. RESULTADOS

Avaliaram-se três cenários em relação às variações de temperatura: o primeiro cenário desconsidera a influ-

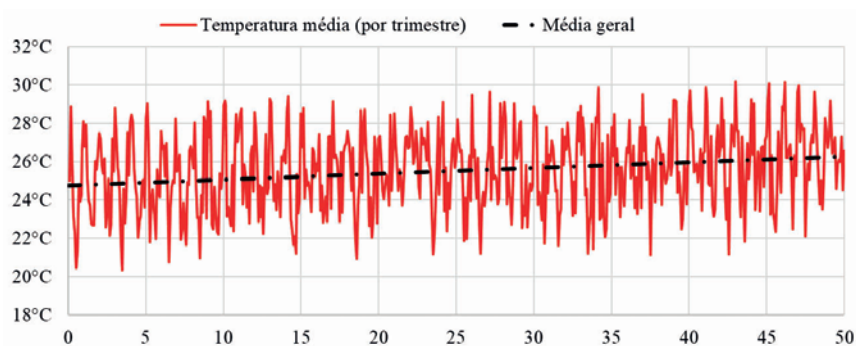


FIGURA 4

CENÁRIO SIMULADO COM AUMENTO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS EM 50 ANOS

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

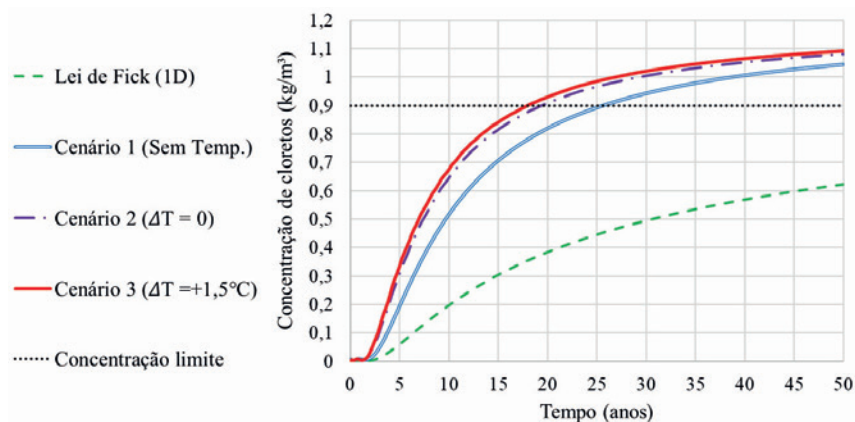


FIGURA 5

RESULTADOS DE CONCENTRAÇÃO NA ARMADURA AO LONGO DO TEMPO

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

ência da temperatura no processo difusivo, servindo como referência para os demais casos; o segundo cenário considera os efeitos de temperatura, mas sem aumento do valor médio, ou seja, mantendo-se o padrão estabelecido no ano-base ao longo dos 50 anos; o terceiro cenário prevê um aumento de $1,5^\circ\text{C}$ para a temperatura média durante este período. A Figura 4 apresenta o gráfico obtido com a aplicação da variável randômica para valores de temperaturas ao longo dos 50 anos, considerando assim uma aleatoriedade uniforme. A linha tracejada indica a média geral, sendo possível notar o incremento considerado.

Os resultados para as simulações medidos no ponto A (indicado na Figura 3) são apresentados na Figura 5, juntamente

com resultados obtidos para outra simulação de referência com uso da solução analítica baseada na 2ª Lei de Fick, que trata da difusão como um problema unidirecional.

Nota-se que o modelo analítico baseado na 2ª Lei de Fick se mostrou insuficiente para este caso, prevendo concentrações de íons de cloreto muito inferiores aos demais casos, e sequer atingindo o teor limite durante todo o período analisado. Isso significa que este modelo implicaria um valor bastante conservador para o tempo de despassivação da armadura. Este comportamento é esperado dada as limitações deste tipo de abordagem analítica.

O modelo no qual se ignora a temperatura (cenário 1) indica um tempo para a despassivação da armadura da

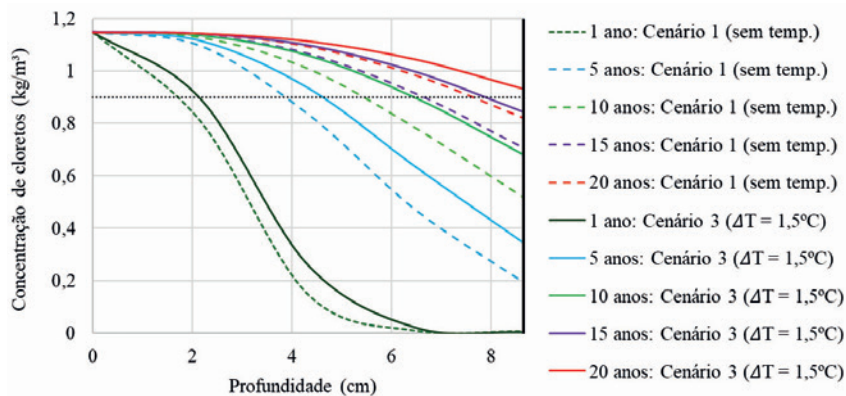


FIGURA 6

RESULTADOS DE CONCENTRAÇÃO AO LONGO DA PROFUNDIDADE

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

ordem de 26 anos. Ao se considerar o efeito da temperatura na difusividade, mas sem alteração dos valores médios (cenário 2), o período de iniciação é estimado em aproximadamente 19 anos. Portanto, a simples incorporação dos efeitos térmicos, sem acréscimo de temperatura média, prevê uma redução de aproximadamente 27% na vida útil estrutural.

Ao se considerar o incremento na temperatura média de 1,5°C em 50 anos (cenário 3, correspondente a um aquecimento global), o tempo de despassivação da armadura cai para aproxima-

damente 17 anos. Isso representa uma redução de aproximadamente 10% em relação a não ocorrência do incremento (cenário 2). Portanto, considerando um cenário otimista em relação aos efeitos das mudanças climáticas, observa-se já uma redução significativa da vida útil.

A Figura 6 exibe a variação de concentração de cloretos ao longo da profundidade inclinada até o ponto A (ver Figura 3), sendo a linha vertical mais espessa a armadura. É possível notar que, caso o elemento estrutural fosse construído com cobertura menor, a vida útil também se reduziria significativamente.

A Figura 7 exibe o modelo discreto com os resultados de concentração de íons de cloreto com um corte transversal feito na profundidade correspondente ao cobrimento, para o intervalo de 25 anos (300 meses) e considerando o cenário 1. Já, a Figura 8 exibe estes resultados considerando o cenário 3. É possível notar pelo diagrama de cores que, com o aumento das temperaturas, maiores concentrações de cloretos são alcançadas internamente para um mesmo intervalo de tempo.

Cabe ainda observar que esta simulação levou em conta apenas o efeito da temperatura no processo difusivo, não tendo sido considerados outros fatores que podem potencializar a difusividade, como, por exemplo, a umidade. Também foi assumido que o material se

manteve íntegro, isto é, livre de fissuras e danos mecânicos associados ao carregamento durante todo o período analisado.

5. CONCLUSÕES

A formulação desenvolvida permite a realização de análises numéricas do fenômeno de difusão transiente em sólidos isotrópicos, permitindo considerar fluxos multidirecionais. A simulação efetuada demonstrou seu potencial de aplicação para análise quantitativa da vida útil de estruturas de concreto expostas a íons de cloreto.

Em relação ao modelo de vida útil, que considera a fase de iniciação da corrosão, entende-se que este período é mais conveniente para projetos, uma vez que não se considera nos dimensionamentos estruturais a possibilidade de corrosão nas armaduras.

O aumento de 1,5°C nas temperaturas médias em um período de 50 anos é um cenário considerado otimista. Este cenário resultou em significativa redução da durabilidade estrutural. Assim, é possível afirmar que, qualquer que seja o aumento de temperaturas médias globais, as estruturas de concreto sofrerão uma redução considerável de suas vidas úteis. Ainda que se considere outros critérios, como o tempo de propagação da corrosão, o

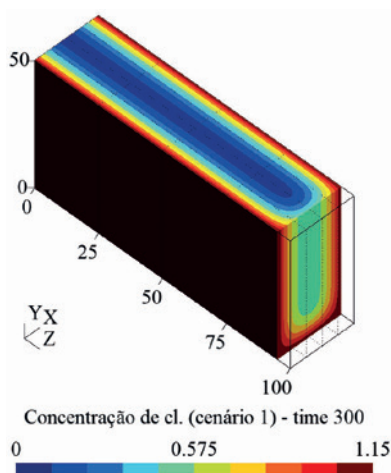


FIGURA 7

CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS EM 25 ANOS (CENÁRIO 1)

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

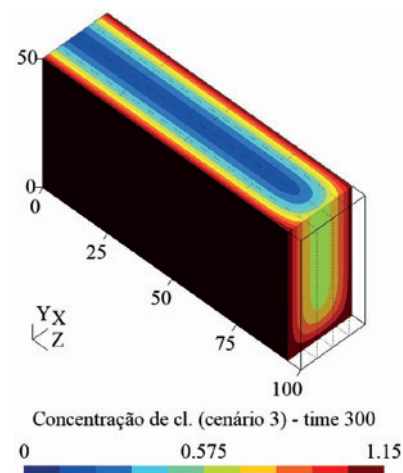


FIGURA 8

CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS EM 25 ANOS (CENÁRIO 3)

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

aumento das temperaturas globais ainda terá impacto significativo na durabilidade. Sugere-se que os procedimentos normativos incorporem em suas recomendações os efeitos das mudan-

ças climáticas, para que as estruturas construídas no presente sejam robustas e econômicas em um cenário ambiental diferente e mais agressivo no futuro próximo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas -FAPEAM pelo apoio financeiro (Edital 016/2023 PRODOC). 🇧🇷

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARMANI, G.; LIMA, N.G.B.; GARCIA, M.F.P.; CARVALHO, J.L. Projeções climáticas regionalizadas para o Estado de São Paulo, Brasil, no período 2020-2050. Derbyana, v.43, p.e773, 2022.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Projeto de estruturas de concreto - procedimento (NBR 6118) - Versão corrigida 2. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Normais Climatológicas (1991-2020). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 22 jul. 2024.
- [4] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report - Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023, Genebra, Suíça, pp. 1-34, 2023.
- [5] LEWIS, R.W.; NITHIARASU, P.; SEETHARAMU, K.N. Fundamentals of the finite element method for heat and fluid flow. 1.ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [6] PELLIZZER, G.P.; LEONEL, E.D.; NOGUEIRA, C.G. Numerical approach about the effect of the corrosion on the mechanical capacity of the reinforced concrete beams considering material nonlinear models. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 11, n. 1, p. 26-51, 2018.
- [7] SILVA, R.C.S. Análise tridimensional multifísica da difusão de cloretos em estruturas de concreto armado: uma abordagem pelo método dos elementos finitos. 2023. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.
- [8] SILVA, S.J.H. Vida útil e durabilidade das estruturas de concreto armado. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- [9] STEWART, M.G.; WANG, X.; NGUYEN, M.N. Climate change impact and risks of concrete infrastructure deterioration. Engineering Structures, Elsevier, v. 33, n. 4, p. 1326-1337, 2011.
- [10] ZHANG, Y.; AYYUB, B.M. Deterioration of concrete infrastructure due to climate change. Elsevier eBooks, p. 351-367, 2024.



Prática Recomendada IBRACON Concreto Autoadensável

COORDENADOR Bernardo Fonseca Tutikian
SECRETÁRIO Roberto Christ

Traz para a comunidade técnica os conceitos relacionados ao concreto autoadensável, as recomendações para seleção de materiais, os métodos de dosagem, os procedimentos de mistura, as recomendações para a aceitação do concreto no estado fresco e para seu transporte, lançamento e rastreamento

A obra é resultado do trabalho do Comitê Técnico IBRACON sobre Concreto Autoadensável (CT 202), voltando-se aos profissionais que lidam com a tecnologia do concreto autoadensável nos canteiros de obras, nas indústrias de pré-fabricados, nos laboratórios de controle tecnológico e nas universidades.

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-25-1

Edição: 1ª edição

Formato: Eletrônico

Páginas: 78

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2015

Patrocínio

