

Análise de Fatores que Influenciam na Variação do Grau de Saturação de Concreto Executado com Cimento de Alta Resistência Inicial

Joel M. Rodrigues¹, André. T. C. Guimarães², Humberto C. Piccoli³ & Ana Maria V.A. Silva⁴

¹*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS –*

jotaemat@hotmail.com

²*Escola de Engenharia – FURG, Rio Grande, RS –*

atcg@vetorial.net

³*Escola de Engenharia – FURG, Rio Grande, RS –*

humbertopiccoli@furg.br

⁴*Instituto de Matemática e Física – FURG, Rio Grande, RS –*

anamariaazambuja@hotmail.com

RESUMO: Estudos recentes comprovam a influência do Grau de Saturação (GS) na difusão de íons de cloreto em estruturas de concreto situadas em ambientes marítimos. Alguns pesquisadores encontraram grandes diferenças entre a profundidade de penetração do cloreto prevista por modelos determinísticos e o real valor encontrado em estruturas no sul do Brasil, quando não considerado o GS. Um método de medição do GS já foi estabelecido e verificado. A utilização desse método durante quatro anos, para 15 famílias de testemunhos de concreto e análise estatística referente às medidas do GS e medidas de alguns fatores naturais permitiu algumas conclusões sobre a influência desses fatores na variação do GS.

PALAVRAS-CHAVE: difusão, grau de saturação, modelos, fatores naturais.

ABSTRACT: Recent studies show the importance of considering the influence of the Saturation Degree (SD) in the diffusion of chloride ions in the concrete structures in marine environments. Some researchers have found large difference between the depth of penetration of chloride provided by deterministic models and real value found in the pier structures in southern Brazil. A method of measuring the SD has been established. The use of this method over four years, to 15 families of concrete evidence, statistical analysis and measures concerning the SD and measures of some natural factors enabled some conclusions about the influence of these factors change in the SD.

KEYWORDS: diffusion, saturation degree, models, natural factors.

1. INTRODUÇÃO

Muitos estudos têm sido realizados para o aperfeiçoamento de técnicas e materiais utilizados em construções utilizando concreto. Há alguns séculos atrás se acreditava que o concreto seria eterno, que uma obra construída com esse material jamais tombaria ou sofreria abalos da natureza. Porém essa ilusão logo teve fim quando os primeiros problemas relacionados à corrosão começaram a resultar em fissuras e problemas de deterioração que necessitaram de reparos ou até mesmo provocaram perda parcial ou total.

Desde então, engenheiros empenham-se em estudar esse processo de deterioração do concreto. Já se sabe que este problema, em parte, deve-se à corrosão por penetração de íons cloreto, principalmente para concreto armado e em se tratando de zona marítima, que é o ambiente em estudo conforme [4], [3], [12], [7], [8] e [12].

Com as pesquisas já realizadas, é possível prever com boa precisão, através de modelo derivado da segunda Lei de Fick [6], em quanto tempo a armadura de uma estrutura de concreto começará a ser atacada por íons cloretos e assim, poder utilizar métodos de prevenção que dificultem esse ataque.

Esse estudo trata de estruturas que se encontram em zona de névoa e, por esse motivo são atingidas pelo ataque de íons cloreto contido nas gotículas de água.

Para que se consigam melhores resultados no modelo citado acima, é necessário medir as variações sazonais do GS para relacioná-las com o coeficiente de difusão utilizado no modelo de [9], [5] e [12].

Dois trabalhos realizados tornaram possíveis essas medições e levantaram dados que possibilitaram os estudos em andamento sobre os fatores que influenciam na variação do GS. GUIMARÃES [9] desenvolveu um método de medição do grau de saturação em estruturas de concreto e [15] determinou, estatisticamente, a periodicidade mínima para as medições.

PERAÇA [14] desenvolveu modelos para estimativa do grau de saturação do concreto em função das variáveis ambientais para o cimento pozolânico.

O grau de saturação é um dos fatores mais decisivos na intensidade de penetração de íons cloreto em estruturas de concreto conforme [9].

2. OBJETIVOS

O objetivo geral dessa pesquisa é obter modelos que estimem o GS de estruturas de concreto situadas em zona de névoa, através de modelos estatísticos que utilizem como dados de entrada, variáveis ambientais pré-estabelecidas que influenciem no valor do GS, reduzindo assim, custos de materiais e de mão de obra nas medições manuais.

Um objetivo mais específico é obter modelos capazes de prever o GS para concretos executados com cimento de alta resistência inicial e resistente a sulfatos (ARI-RS), para que este possa ser utilizado em modelos de estimativas de vida útil de estruturas localizadas na região sul do Brasil, obtendo resultados mais precisos nessas estimativas.

3. LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa esta sendo realizada no sul do Brasil, em zona de névoa, o que nos garante resultados locais ou em zonas similares, sendo necessário um novo estudo para que se possam utilizar os mesmos modelos noutras regiões.

4. GRAU DE SATURAÇÃO

O GS é uma medida relacionada ao teor de umidade do concreto. Conforme ocorrem variações climáticas, dá-se início a um processo de molhagem e secagem do concreto. A secagem ou a molhagem tem início em sua camada mais externa, evoluindo para seu interior. Pela camada externa do concreto, também penetram os agentes que o atacam, como o cloreto, por exemplo. Uma vez no interior do concreto, o cloreto tende a difundir-se até atingir a barra de aço, despassivando-a. A partir daí, começa o processo de deterioração do concreto.

Por definição, o grau de saturação é o percentual do volume de solução de poro em relação ao volume total de poros. Ainda pode ser definido como o percentual de teor de umidade da massa do corpo de prova em relação à absorção de água após imersão e fervura [9]. Seu cálculo pode ser realizado da seguinte forma:

$$GS = \frac{A_d}{A_{max}} \quad \text{Equação 1}$$

$$A_d = \frac{M_d - M_s}{N_s} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

$$A_d = \text{absorção diária} \quad \text{Equação 3}$$

$$A_{max} = \text{absorção máxima} \quad \text{Equação 4}$$

Visto que o GS é um fator decisivo no cálculo do coeficiente de difusão, é necessário que este seja medido ou estimado.

Por difusão entende-se o transporte de massas de moléculas individuais por uma barreira ou espaço livre, que ocorre segundo um processo aleatório, e que depende de um gradiente de concentração, no caso, o gradiente de concentração de íons cloreto. Já o coeficiente de difusão é a constante de proporcionalidade entre o fluxo de átomos e o gradiente de concentração.

O modelo apresentado a seguir, derivado da segunda Lei de Fick, é bastante utilizado para prever o avanço da frente de ataque de cloretos em estruturas de concreto, porém, a

dificuldade desse modelo é o conhecimento do $D_{const.cl}$ (coeficiente de difusão) para as

condições em que o concreto da estrutura analisada se encontra em seu ambiente natural.

CRANK [6] apresenta a seguinte solução para a segunda lei de Fick, considerando o coeficiente de difusão constante:

$$x = 2. (z) \sqrt{(D_{const.cl} \cdot t)} \quad \text{Equação. 5}$$

Onde:

x espessura em cm;

$D_{const.cl}$: coeficiente efetivo de difusão ou difusividade do concreto em questão, em cm^2/ano ;

t : vida útil, em anos;

z : valor da função erro de Gauss, sendo:

$$\text{erf}(z) = 1 - \frac{(c_x - c_0)}{(c_s - c_0)} \quad \text{Equação. 6}$$

C_x: concentração de cloretos na profundidade *x*, no tempo *t*;

C₀: concentração inicial de cloretos no interior do concreto do componente estrutural;

C_s: concentração de cloretos na superfície do componente estrutural de concreto, admitida

constante;

erf(z): função erro de Gauss

Um dos motivos porque ocorre erro na previsão feita pelo modelo dado na equação 5, é o fato de não serem considerados alguns dos fatores que influenciam no coeficiente de difusão.

Alguns fatores que influenciam na difusão de cloretos são: grau de hidratação do cimento, relação água/cimento, tipo de cimento, variação da temperatura, direção do vento, insolação e GS, sendo que o GS é pouco utilizado em modelos de vida útil.

Em sua tese, GUIMARÃES [9] considera a influência do tipo de cimento (**RC**), da temperatura média por estação do ano (**RT**), do grau de saturação (**RGS**) e da posição da superfície de ataque em relação à superfície de concretagem (**RSC**), sobre o coeficiente de difusão do cloreto.

5- EXPERIMENTO

No experimento são analisados 30 corpos de prova, onde cada par constitui uma família, totalizando 15 famílias, expostos em várias posições, como melhor pode-se verificar pela figura abaixo:

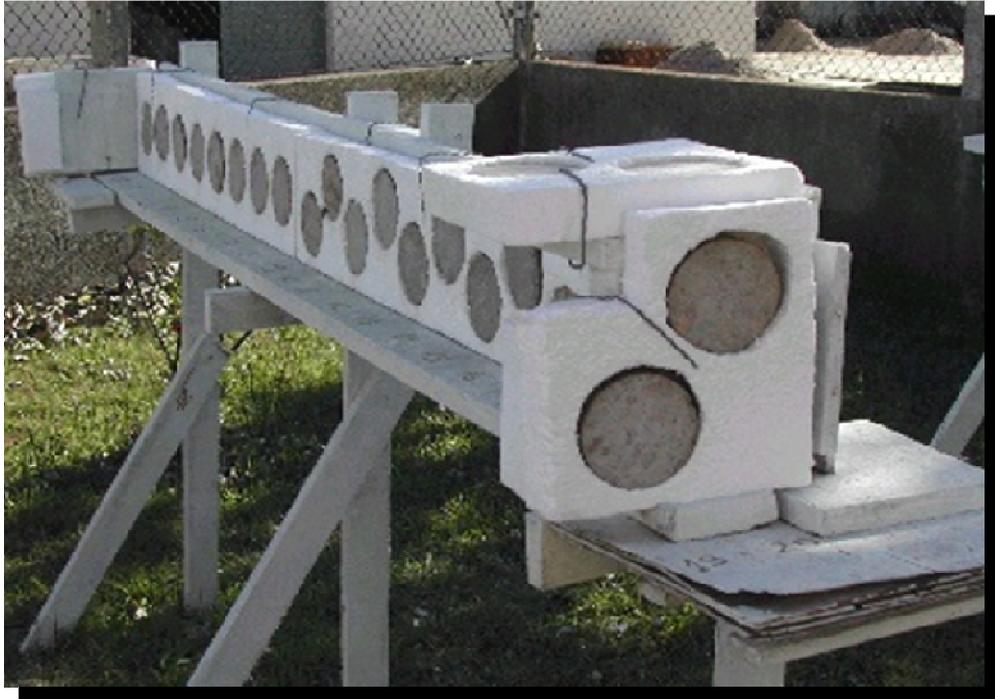


Figura 1 – Estação de medição de GS em concreto – Campus Carreiros – FURG – Rio Grande – RS

Durante um período de 4 anos, será medido, semanalmente, o GS de testemunhos extraídos de corpos de prova de concreto. Estes corpos de prova foram colocados no ano de 2007 por [9]. Essas medições são feitas em uma balança de precisão e esses valores são tabelados em uma planilha.

Antes da exposição, cada testemunho teve sua massa medida após secagem em estufa, a qual foi denominada massa seca (NBR 9778 ABNT, 1987). Ainda antes da exposição, foi calculada a absorção máxima de cada testemunho, saturando-o 100% e comparando a massa saturada com sua massa seca e obtendo a absorção máxima (NBR 9778 ABNT, 1987). Conforme podemos verificar melhor pelas figuras abaixo:



Figura 2: Pesagem dos corpos de prova

Tabela 1 – Planilha Eletrônica

Posição	S				
Testemunho	Denominação	Abs. Máx.	M. seca	M. silicone 1	M. silicone 2
2	1VCc	5,13	646,90	22,5	
Estação	Data	Massa dia	Abs. Dia	GS	
PRIMAVERA	28/9/2007	685,2	2,45	47,71	
	5/10/2007	685,1	2,43	47,41	
	11/10/2007	684,3	2,31	45,00	
	18/10/2007	684,2	2,29	44,70	
	27/10/2007	683,1	2,12	41,39	
	3/11/2007	682,6	2,05	39,88	
	10/11/2007	683,1	2,12	41,39	
	17/11/2007	682,5	2,03	39,58	
	23/11/2007	681,9	1,94	37,77	
	1/12/2007	681,9	1,94	37,77	
	7/12/2007	680,8	1,77	34,46	
	15/12/2007	680,2	1,68	32,65	

Estas medições são separadas por estação do ano e calculadas a média do GS por estação. Isso porque, normalmente há grandes diferenças climatológicas por estação do ano na região do extremo sul do Brasil, como na precipitação, temperatura, umidade relativa, etc, influenciando na variação do GS. Sendo assim, fica mais acessível comparar a média do GS por estações.

Serão analisadas estatisticamente, doze variáveis ambientais cujos dados foram cedidos pelo banco de dados meteorológicos da FURG. São elas: pressão atmosférica, temperatura do ar seco, temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, taxa de precipitação, taxa de evaporação interna (Pichê), temperatura de ar úmido, horas de insolação, nebulosidade, visibilidade e taxa de evaporação externa.

PERAÇA [14] através dos dados obtidos, conclui que os fatores que mais diretamente influenciam na variação do grau de saturação são: *temperatura do ar seco, temperatura máxima, taxa de evaporação e temperatura de ar úmido.*

6-ANDAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa sobre os fatores que influenciam na variação do GS ainda está em andamento e tem como objetivo desenvolver um modelo matemático para previsão do GS em concretos executados com cimento ARI-RS, bem como verificar se há uma correlação dos resultados obtidos nesta pesquisa e de [14] que pesquisou concretos executados com cimento pozolânico.

As medições irão até o primeiro semestre de 2011, quando se pretende concluir esta pesquisa.

7- REFERÊNCIAS

1. ALONSO, C. e ANDRADE, C. (1992), “Patologia de materiales. Problemas patológicos de los materiales hormigon y acero y su relacion com La durabilidad de La estructura.” Seminário S.4: Patologia estrutural em edficação: Diagnostico y soluciones de intervencion, XII CEMCO- 92, Instituto de Ciencias de La Construcción Torroja, Espanha.
2. ALONSO, C. e ANDRADE, C. (1992), “Patologia de materiales. Problemas patológicos de los materiales hormigon y acero y su relacion com La durabilidad de La estructura.” Seminário S.4: Patologia estrutural em edficação: Diagnostico y soluciones de intervencion, XII CEMCO- 92, Instituto de Ciencias de La Construcción Torroja, Espanha.
3. ANDRADE, J. J. Contribuição à Previsão da Vida Útil das Estruturas de Concreto Armado Atacadas pela Corrosão de Armaduras: Iniciação por Cloretos. Porto Alegre, 2001. 256
4. BICZÓK, I. Corrosion y proteccion Del hormigon. Trad. Emilio J. Dócon Asensi. Bilbao, Ediciones Urmo, 1972.
5. CLIMENT, M. A.; VERA, G.; LÓPEZ, J. F.; VIQUEIRA, E.; ANDRADE, C. A test method for measuring chloride diffusion coefficients through monsatuated concrete. Part I. The instantanecus plane scource diffusion case. Cement and Concrete Rasearch, v. 32, p. 1113 – 1123, 2002.
6. CRANK, J. The mathematics of diffusion. 2 ed. Oxford: Oxiord University Press, 1975.
7. DAL MOLIN, D. C. C. Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988.
8. GJØRV, O. E. Steel corrosion in concrete structures exposed to norwegian marine environment. In: P.K. Mehta symposiun on durability of concrete (Edited by Khayat and Aïctin, 1994: Nice-France). Proceedings... Nice, 1994. Pag. 243 – 261.
9. GUIMARÃES, A. T. C. *Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos*. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Engenharia Civil.
10. GUIMARÃES, A.T; HELENE P. *Difusão de cloretos e a influência do grau de saturação do concreto: ensaio em laboratório e medição de obra de uso*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2000.
11. GUIMARÃES, A.T; HELENE P. *Diffusion of chloride ions in unsaturated concrete: forecast of service life ina a wet-dry environment*. Quality of concrete structures and recent advances in concrete materials and testing – An international conference Honoring V. Mohan Malhotra. ACI, 2005.
12. HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. São Paulo, 1993. Tese, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil.
13. NIELSEN, E. P.; GEIKER, M. R. Chlcride diffusion in partially saturated comentitious material. Cement and Concrete Rasearch, v. 33, p. 133- 138, 2003.
14. PERAÇA, M.G.T. Modelos para Estimativa do Grau de Saturação do concreto em Função das Variáveis Ambientais. Rio Grande, 2009. Tese (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande.
15. SOUZA, K. N. DE ; GUIMARÃES, A. T. C. ; ALMEIDA, T. L. ; HELENE, P. R.L. Avaliação do método de medição do grau de saturação em concreto. In: 47 Congresso Brasileiro do Concreto, 2005, Olinda. *Anais*. 47º Congresso Brasileiro do Concreto. Olinda: IBRACON, 2005. v. CD. p. 169-181.