



V SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Rio Grande, 07 a 09 de Novembro de 2012

GRAU DE SATURAÇÃO (GS) DO CONCRETO: APLICAÇÃO DO MODELO DE SANTA POLA – ALICANTE – ESPANHA À RIO GRANDE – RS - BRASIL

Daniel Meireles Dias¹, André.T.C.Guimarães², Miguel Àngel Climent³, Carlos Antón Gil³, Eduardo Vílchez⁴
Ana Maria V. de Azambuja²

¹ Mestrando do curso de Engenharia Oceânica – Universidade Federal do Rio Grande - Furg
Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil
dm.dias@bol.com.br

² Universidade Federal do Rio Grande
Escola de Engenharia
Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil
atcg@vetorial.net

³ Universidade de Alicante, Alicante, Espanha
Departamento de Engenharia de Construção, Obras Públicas e Infra Estrutura Urbana
ma.climent@ua.es

⁴ Master em Ingenieria de los Materiales, Agua y Terreno, Universidade de Alicante, Alicante, Espanha
Departamento de Engenharia de Construção, Obras Públicas e Infra Estrutura Urbana
efvl@alu.ua.es

RESUMO

O grau de saturação (GS) é um dos principais fatores na intensidade de penetração do cloreto no concreto (Guimarães, 2000, 2005, 2007, Climent et al., 2002, Antón Gil, 2009). Peraça (2009) determinou modelos de GS em função de medições meteorológicas utilizando corpos de provas expostos em Rio Grande –RS- Brasil. Vilchez (2011), aproveitando alguns corpos de prova de Rio Grande, através do mesmo método, obteve modelos para Santa Pola – Alicante - Espanha. Os modelos de Peraça (2009) continham uma ou duas variáveis e, não se ajustaram bem para o ambiente de Santa Pola. Entretanto, os modelos de Vilchez (2011), são formados por duas ou três variáveis. Este trabalho teve o objetivo de verificar se os modelos de Santa Pola se ajustam bem à Rio Grande. Para isso foram utilizados os parâmetros meteorológicos de Rio Grande nos modelos de Santa Pola e comparados com os valores de GS obtidos em Rio Grande, por estação do ano. Para o concreto P1 e P2 foram obtidos estimativas razoáveis de GS (diferenças entre 11% e 25%). No entanto, o concreto P4, em comparação com os demais, mostrou grandes erros para todas as estações do ano (diferenças entre 31% e 42%); todos os testemunhos possuíram os percentuais mais elevados na primavera. Apesar disso, as diferenças encontradas, estão bem correlacionadas. Logo, na continuidade da Pós – Graduação de Dias, serão utilizados e reunidos dados de Rio Grande e de Santa Pola, a fim de que se possa obter um único modelo para os ambientes já mencionados; por conseguinte, a partir de dados meteorológicos e para um mesmo tipo de concreto é provável que se consiga um modelo de GS para outros ambientes.

Palavras-chave: grau de saturação, cloreto, concreto, ambiente marítimo, regressão linear múltipla

1. INTRODUÇÃO

Em ambientes marinhos, o ataque em estruturas de concreto, dá-se principalmente por meio dos íons cloreto. Assim, é importante prever a vida útil das armaduras, uma vez que o agente agressivo ao atacá-las, pode iniciar o processo de corrosão. Esse procedimento, compreende: água no interior do concreto (eletrólito), oxigênio, íons cloreto e uma diferença de potencial (ddp). Essa ddp pode ser devido a uma diferença de umidade, concentração salina, etc.

A difusão dos íons cloreto tem uma grande dependência do grau de saturação (GS) do concreto (Guimarães, 2000, 2005, 2007; Climent et al, 2002; Antón Gil, 2009). Estudos mostram que as variações meteorológicas, interferem no valor do GS e, por esse motivo, na estimativa de modelos.

Peraça (2009) determinou modelos de GS em função de medições meteorológicas utilizando corpos de provas expostos em Rio Grande –RS- Brasil. Vilchez (2011), aplicando o mesmo método para alguns testemunhos de Rio Grande, elaborou modelos para Santa Pola – Alicante - Espanha.

Peraça (2009) e Vilchez (2011), consideraram em suas dissertações de mestrado, as seguintes variáveis ambientais: pressão atmosférica, temperatura, insolação, taxa de precipitação e umidade relativa. Outros fatores que influenciam nas médias sazonais do GS, são os distintos traços de concreto, superfície exposta dos testemunhos e o meio ambiente nos quais esses estão inseridos.

2. ESTAÇÃO DO BRASIL

A estação usada para avaliar o GS no Brasil, localiza-se em Rio Grande (RS) na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG (Fig.1).

Durante quatro anos (2004 – 2007), foram realizadas nesta estação, medições do GS para se obter modelos de estimativa do GS em função das variáveis ambientais. Os corpos de prova foram confeccionados com cimento pozolânico (Fig.2).

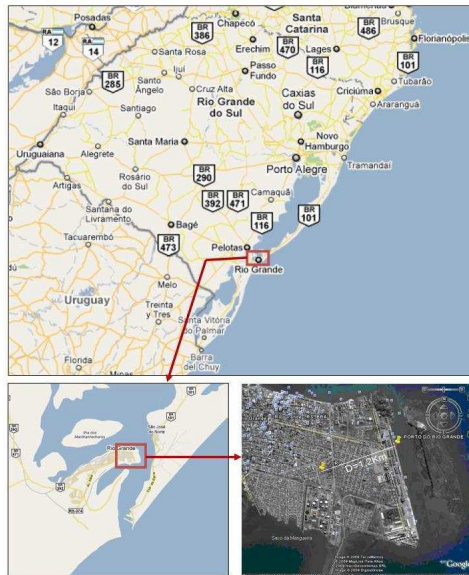


FIGURA 1 – Local da Estação de medição do GS – Universidade Federal do Rio Grande – Rio Grande (RS) – Brasil

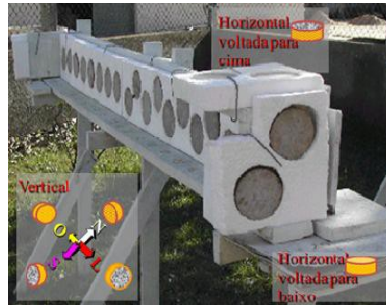


FIGURA 2 – Estação de medição de GS do Rio Grande –RS – Brasil

3. ESTAÇÃO DA ESPANHA

Na Espanha, o GS foi medido na Estação de Santa Pola, localizada em Alicante, no Centro de investigação CIMAR da Universidade de Alicante (Fig.3).

As duas Estações apresentam características similares, pois em ambas localidades, a água do mar fica disposta geograficamente à leste e possuem, também, igual distância em relação a linha do equador.



FIGURA 3 – Local da Estação de medição do GS em Santa Pola – Universidade de Alicante – Alicante

4. EXTRAÇÃO DOS TESTEMUNHOS DE CONCRETO

Para cada tipo de concreto, extraiu-se de dois cilindros, testemunhos da parte central (Vertical, Central). As dimensões desses corpos de prova, são: 10cm de diâmetro e 4cm de espessura (Fig.4).

Os traços dos testemunhos empregados na estação de Rio Grande e posteriormente levados para a estação de Santa Pola, são mostrados na Tabela 1.

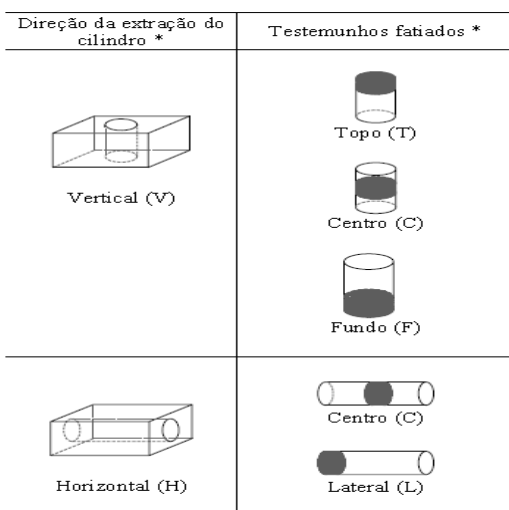


FIGURA 4 – Posição de extração dos testemunhos

TABELA 1 – Traços, abatimento de tronco cônico e massa específica do concreto fresco dos concretos P1, P2 e P4

CONCRETO	TRAÇO (CIM:AREIA:BRITA:A/C)	ABAT. (cm)	MASSA ESP.FRESCA (Kg/m ³)	CONSUMO DE CIMENTO (Kg/m ³)
P1	1:2,12:2,88:0,54	11	2350	359
P2	1:1,60:2,40:0,45	11	2285	419
P4	1:1,60:2,40:0,54	22	2275	411

As medições do GS representam o percentual do volume total de poros cheios de água. Para controle do GS foram utilizadas as equações 1 e 2. Para determinar a massa seca dos testemunhos, esses foram colocados em estufa antes de ficarem expostos, sendo após determinada a sua absorção máxima.

$$GS = (A_d / A_{max}) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

A_d = Absorção medida no dia em %

A_{max} = absorção máxima em %, obtida conforme ASTM 642 (1990)

$$A_d = [(M_d - M_S - M_{Sil}) / M_S] \cdot 100 \quad (2)$$

M_d = massa do testemunho em g (medição semanal);

M_S = massa seca do testemunho em g;

M_{Sil} = massa de revestimento do testemunho em g.

5. APLICAÇÃO DOS MODELOS DE ALICANTE PARA O AMBIENTE DE RIO GRANDE

A seguir, serão mostrados os modelos obtidos para os concretos P1 (Eq.3), P2 (Eq.4) e P4 (Eq.5), os quais foram formulados por meio dos resultados da regressão linear múltipla feitos por Vilchez (2011). As Tab.2, Tab.3 e Tab.4, mostram as médias sazonais das variáveis ambientais e respectivas comparações dos valores dos GS encontrados em Rio Grande e dos GS adquiridos pelo modelo feito para Alicante, com 4 variáveis.

$$GS P1 = 10,681 + 0,6132UR + 0,6662PREC - 0,5535TM - 0,077SOL \quad (3)$$

A representação das siglas UR, TM, PREC e SOL, nos modelos, significam valores das variáveis ambientais, umidade relativa, temperatura máxima, precipitação (em mm) e insolação (em horas).

Tabela 2. Médias sazonais das variáveis ambientais e comparações dos GS do concreto P1

CONCRETO P1								
MÉDIAS SAZONAIS	ANO	TM	PREC	SOL	UR	GS MÉDIO RIO GRANDE	GS OBTIDO PELO MODELO DA ESPANHA	DIFERENÇA PERCENTUAL
VERÃO	2005	29,29	1,74	8,25	72,38	54,97	39,37	28,37
	2006	28,64	4,46	7,95	77,36	55,10	44,62	19,01
	2007	29,43	3,02	7,31	74,25	54,11	41,37	23,54
OUTONO	2005	23,71	4,91	4,58	82,65	59,73	51,15	14,36
	2006	22,68	2,24	6,21	82,07	57,11	49,46	13,40
	2007	21,96	5,42	5,56	81,93	59,86	51,94	13,23
INVERNO	2005	19,79	4,32	4,90	82,86	61,41	53,03	13,64
	2006	19,55	3,29	5,22	83,19	60,76	52,65	13,34
	2007	16,24	4,24	4,21	83,29	64,79	55,25	14,72
PRIMAVERA	2005	24,05	2,23	8,27	73,61	58,24	43,35	25,57
	2006	24,18	2,34	7,68	74,29	57,26	43,81	23,48
	2007	22,99	3,16	7,37	74,79	60,88	45,35	25,50

$$GS P2 = 19,835 + 0,4134UR + 0,9493PREC - 0,1975TM - 0,1620SOL \quad (4)$$

Tabela 3. Médias sazonais das variáveis ambientais e comparação dos GS do concreto P2

CONCRETO P2								
MÉDIAS SAZONAIS	ANO	TM	PREC	SOL	UR	GS MÉDIO RIO GRANDE	GS OBTIDO PELO MODELO DA ESPANHA	DIFERENÇA PERCENTUAL
VERÃO	2005	29,29	1,74	8,25	72,38	56,07	44,27	21,04
	2006	28,64	4,46	7,95	77,36	55,92	49,08	12,23
	2007	29,43	3,02	7,31	74,25	55,78	46,38	16,85
OUTONO	2005	23,71	4,91	4,58	82,65	60,05	53,21	11,40
	2006	22,68	2,24	6,21	82,07	57,71	50,38	12,70
	2007	21,96	5,42	5,56	81,93	60,35	53,58	11,21
INVERNO	2005	19,79	4,32	4,90	82,86	61,51	53,46	13,08
	2006	19,55	3,29	5,22	83,19	60,68	52,61	13,30
	2007	16,24	4,24	4,21	83,29	64,70	54,37	15,96
PRIMAVERA	2005	24,05	2,23	8,27	73,61	58,62	46,27	21,06
	2006	24,18	2,34	7,68	74,29	58,31	46,72	19,87
	2007	22,99	3,16	7,37	74,79	61,67	48,00	22,17

$$GS P4 = 9,073 + 0,5103UR + 0,5136PREC - 0,3817TM - 0,1847SOL$$

(5)

Tabela 4. Médias sazonais das variáveis ambientais e comparações dos GS do concreto P4

CONCRETO P4								
MÉDIAS SAZONAIS	ANO	TM	PREC	SOL	UR	GS MÉDIO RIO GRANDE	GS OBTIDO PELO MODELO DA ESPANHA	DIFERENÇA PERCENTUAL
VERÃO	2005	29,29	1,74	8,25	72,38	59,09	34,20	42,13
	2006	28,64	4,46	7,95	77,36	59,91	38,44	35,83
	2007	29,43	3,02	7,31	74,25	59,96	35,93	40,07
OUTONO	2005	23,71	4,91	4,58	82,65	63,94	43,86	31,40
	2006	22,68	2,24	6,21	82,07	61,65	42,29	31,40
	2007	21,96	5,42	5,56	81,93	64,41	44,24	31,31
INVERNO	2005	19,79	4,32	4,90	82,86	65,76	45,10	31,41
	2006	19,55	3,29	5,22	83,19	65,10	44,77	31,22
	2007	16,24	4,24	4,21	83,29	69,95	46,76	33,15
PRIMAVERA	2005	24,05	2,23	8,27	73,61	62,92	37,07	41,08
	2006	24,18	2,34	7,68	74,29	63,03	37,53	40,45
	2007	22,99	3,16	7,37	74,79	66,32	38,72	41,61

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O modelo de Santa Pola (Vilchez, 2011), apresentou, para o concreto P1, uma diferença média de 13,7% para as estações de outono e inverno e de 24,2% para o verão e primavera. O concreto P2, por sua vez, apresentou um erro percentual médio em torno de 14%, no verão, outono e inverno. Os valores do GS do concreto P4, não obtiveram uma boa aproximação, pois no outono e inverno, tivemos uma diferença média de 31,6% e de 40,1% para verão e primavera, respectivamente. Nos três anos considerados, a primavera foi a estação que gerou os maiores erros médios: 24,85% (concreto P1), 21,03% (concreto P2) e de 41,04% (concreto P4). As diferenças analisadas para todos os tipos de concreto, obtiveram uma boa correlação. Portanto, na continuidade do mestrado de Dias, serão empregados os dados de Rio Grande juntamente com os de Santa Pola. A importância desse trabalho, resulta, então, na busca de um modelo único para esses ambientes. Dessa forma, tem-se a expectativa de obter um modelo de GS para diversos ambientes, em função dos dados meteorológicos e para um mesmo tipo de concreto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTÓN GIL, C., Influencia Del contenido de humedad Del hormigón sobre La difusividad Del Íon Cloruro. Tese (Doutorado), Universidad Autonoma de Madrid, Ingenieria de Materiales, Del agua y Del terreno, 2009.
- BRETANHA, SÔNIA S.F., Variação do Grau de Saturação do Concreto em Ambiente Marítimo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), Universidade Federal do Rio Grande, FURG, 2004.
- CLIMENT, M.A.; VERA, G.; LÓPEZ, J.F.; VIQUEIRA, E.; ANDRADE, C. A Test Method For Measuring Chloride Diffusion Coefficients Through Non – Saturated Concret – Part I: The Instantaneous Plane Source Diffusion Case, Cem.Concr.Res., 32(7)(2002) 1113-1112. 2002.
- CLIMENT, M.A. Transport of Chlorides Through Non Saturated Concrete After na Initial Limited Chloride Suplly. Workshop of Rilem Testing and Modelling Chloride Ingress Into Concrete, Paris, 2002.
- GUIMARÃES, ANDRÉ T.C. Vida Útil de Estruturas de Concreto Armado em Ambiente Marítimo. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), USP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000

- GUIMARÃES, ANDRÉ T.C. “Grau de Saturação: Sua variação com o tipo de concreto e sua influência na difusão de íons cloreto. Monografia (Pós-Doutorado em Engenharia Civil), USP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- GUIMARÃES, ANDRÉ T.C. E HELENE, PAULO R.L.”Diffusion of Chloride Ions In Unsaturated Concrete: Forecast of service life in a wet-dry environment.In: Quality of Concrete Structures and Recent Advances In Concrete Materials and Testing ACI SP – 229.” Fourth International Conference. Farmington Hills: American Concrete Institute.Olinda,2005.
- GUIMARÃES, ANDRÉ T.C E HELENE, PAULO R.L.”Models of Variation of Chloride Ion Diffusion as a Function of Changes In the Saturation Degree (SD) of Concrete Mixes Prepared with Pozzolanic Cement.” International Rilem workshop on Integral Service Life Modelling of Concrete Structures, 2007.
- GUIMARÃES, ANDRÉ T.C., CASTRO, P. E NUNES, JORGE L.O. “Teor de Cloretos próximos a Superfície do Concreto em Ambientes Marítimos.” In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Bento Gonçalves. 49º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: IBRACON, 2007.
- HELENE, PAULO R.L. “Corrosão em Armaduras para Concreto Armado.” PINI/IPT, São Paulo. 1986
- PERAÇA, M.G.T. “Modelos para Estimativa do Grau de Saturação do Concreto Mediante Variáveis Ambientais que Influenciam na sua Variação”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande (RS), Brasil, 2009.
- PERAÇA, M.G.T., GUIMARÃES, A.T.C., PICCOLI, H.C. Contribuições dos Fatores Ambientais na Estimativa do Grau de Saturação do Concreto. In: 51º Congresso Brasileiro do Concreto, Curitiba. 51º Congresso do Concreto. São Paulo: IBRACON, v.1. 2009.
- PERAÇA, M.G.T., GUIMARÃES, A.T.C. Modelo para Estimativa do Grau de Saturação do Concreto. Ed. Pelotas: Editora. V.1.170p. 2009.
- SOUZA, KAREN. “Estudo Experimental e Probabilístico da Vida Útil de Estruturas de Concreto Armado Situadas em Ambiente Marítimo: Influência do Grau de Saturação do Concreto Sobre a Difusividade de Cloretos.”Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande (RS), Brasil, 2005.
- VÍLCHEZ, EDUARDO F. Estudio de La Influencia de Las Variables Meteorológicas en el Grado de Saturación en Hormigones Expuestos a un Ambiente Marino Atmosférico Mediterráneo. Dissertação (Master em Ingeniería de los Materiales), Universidade de Alicante, Espanha, 2011.