

DESEMPENHO DO CIMENTO TIPO ARI-RS, COM RESISTÊNCIA DE 52,5 MPa, FRENTE AO ATAQUE DE CLORETOS EM CONCRETOS SATURADOS E NÃO SATURADOS

Jorge Luiz Saes Bandeira (Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Av. Itália, km 8, Rio Grande, RS, Brasil).

E-mail: jorgebandeira@furg.br

Jesús Manuel Bernal Camacho (Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela de Ingeniería de Mazatlán, Mazatlán, Sinaloa, México).

E-mail: jmbc@hotmail.com

André Tavares da Cunha Guimarães (Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Av. Itália, km 8, Rio Grande, RS, Brasil).

E-mail: atcg@vetorial.net

Resumo: A degradação das estruturas de concreto armado e protendido têm, como uma das suas principais causas, as ações resultantes da penetração de íons cloreto em sua rede porosa. Muitas vezes, essas estruturas, estão localizadas em ambiente marítimo, e em regiões sujeitas à neve onde são necessárias ações para degelo com a utilização do NaCl. Este estudo propôs a realização de ensaios de penetração de cloreto em amostras de concreto com diferentes graus de saturação, confeccionadas com cimento de fabricação espanhola do tipo alta resistência inicial e comparou aos estudos anteriores com cimento de características semelhantes de fabricação brasileira tendo como referência o cimento Portland pozolânico. Com os resultados obtidos e comparando-os, verificou-se que as amostras confeccionadas com cimento de alta resistência inicial, tanto de origem brasileira como espanhola, tiveram resultados de penetração de cloreto muito parecidos, principalmente no caso das amostras com adição de 20 % de escória de alto forno utilizando cimento espanhol e com cimento brasileiro adicionado de 12% de cinza volante. Nas amostras com cimento Portland pozolânico, mesmo sendo um concreto menos resistente, foram obtidos melhores resultados, o que demonstra a importância de estudos das características dos cimentos para que se obtenham concretos mais eficientes no seu uso.

Palavras-chave: Grau de saturação, Cloreto, Concreto, Durabilidade.

CEMENT PERFORMANCE TYPE ARI-RS, 52.5 MPa WITH RESISTANCE, FRONT CHLORIDE ATTACK ON CONCRETE SATURATED AND UNSATURATED

Abstract: The degradation of concrete structures reinforced and prestressed have as one of its main causes actions resulting from penetration of chloride ions in its porous network. Often these structures are located in a marine environment, and in regions subject to snow where actions to thaw with the use of NaCl are required. This study proposed the testing of chloride penetration into concrete specimens with different saturation, degree made with Spanish cement manufacturing high early strength type and compared to previous studies with similar characteristics of cement manufactured in Brazil by reference cement Portland pozzolan. With these results and comparing them, it was found that the samples prepared with high early strength cement, both from Brazil such as Spanish, results were very similar penetration of chloride, particularly in the case of the samples with addition of 20% blast furnace slag using Spanish and Brazilian cement with 12% fly ash cement. In Portland pozzolan cement samples with even less resistant concrete with better results, demonstrating the importance of studies of the characteristics of the cements order to obtain more efficient in practical use were obtained.

Keywords: Saturation degree, Chloride, Concrete, Durability.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de sua aparente simplicidade, o concreto possui uma estrutura altamente complexa, contendo uma distribuição heterogênea de diversos componentes sólidos, assim como vazios

de várias formas e tamanhos que podem estar completa ou parcialmente cheios de solução alcalina. (ACI, 1977).

O estudo da ação resultante do agente agressor e o concreto torna, por vezes, um trabalho deveras intrincado tais as variáveis envolvidas, como as diferentes propriedades e os efeitos causadores destes agentes e os variados tipos de cimentos que trazem diferentes propriedades aos concretos.

Os oceanos cobrem, aproximadamente, 80% da superfície terrestre (METHA, 1994), logo um grande número de estruturas são expostas à água do mar, direta ou indiretamente, já que ventos podem carregar névoa salina a alguns quilômetros para dentro do continente a partir da costa. Os íons cloreto, presentes nas águas do ambiente marinho e entornos e naquelas de degelo, contribuem de forma intensa para a corrosão da armadura presente no concreto armado ou protendido, desde que seja facilitada a sua penetração no interior da massa de concreto.

O grau de saturação (GS) para o concreto é considerado um fator importante durante o processo de penetração de íons cloreto. O nível de saturação da estrutura porosa determina caminhos para estes íons cloreto durante o processo de difusão. Além disto, as variações do grau de saturação geram movimento (convecção) da água contida na rede porosa, fazendo com que o fluxo seja tanto para dentro como para fora do concreto.

A influência do Grau de Saturação (GS) sobre a difusão de íons cloreto tem sido objeto de pesquisa nos últimos anos, sendo demonstrada a importância desse fator em modelos de análise da vida útil de estruturas de concreto armado. (GUIMARÃES e HELENE, 2000; CLIMENT et. al., 2002; NIELSEN e GEIKER, 2003).

Neste artigo investiga-se a influência do GS sobre a difusão dos íons cloretos utilizando amostras confeccionadas com cimento tipo ARI-RS, fabricado na Espanha e compara os resultados de estudos anteriores que utilizaram cimentos brasileiros.

2. INFLUÊNCIA DO GRAU DE SATURAÇÃO NA DIFUSÃO DE ÍONS CLORETO

As estruturas de concreto quando expostas em ambientes ricos em sais, como o ambiente marítimo, regiões que utilizam sais de degelo e outros locais que haja manuseio ou fabricação de produtos com componentes salinos, estão sujeitas à contaminação pelos íons que constituem esses sais.

Os íons cloreto, presentes em grandes concentrações nestes ambientes, devido à porosidade e a interligação dos poros do concreto, podem penetrar no seu interior e transportar-se desde a superfície exposta até camadas mais internas da massa cimentícia.

Essa movimentação dos íons cloreto pode-se dar por diversos mecanismos tais como absorção/adsorção, permeabilidade, migração e difusão. A absorção/adsorção dá-se pelo efeito de secagem /molhagem (zonas de marés ou respingo), a permeabilidade por diferença de pressão hidrostática, a migração por diferença de potencial na presença de um campo elétrico e a difusão por diferença de concentração da solução iônica (NUNES, 2006).

Quando um concreto em ambiente marítimo se encontra submerso, toda a rede de poros igualmente se encontra saturada de água, o transporte dos íons cloreto são devidos aos gradientes de concentração das camadas mais externas com mais concentração de íons cloreto para as camadas mais internas com menos concentração de íons cloreto (NUNES, 2006).

Por outro lado, quando se tem um concreto não totalmente saturado há uma combinação do mecanismo de transporte, isto é, absorção capilar e difusão. Isto se dá quando se tem uma das

superfícies do concreto em contato com uma solução iônica e a outra em contato com o ar com umidade relativa baixa (NUNES, 2006).

O grau de saturação (GS) do concreto e sua influência na difusão de íons cloreto é objeto de inúmeros estudos a nível mundial.

GUIMARÃES E HELENE (2001) desenvolveram método de ensaio para obtenção do coeficiente de difusão em concreto não saturado, chegando à conclusão nestes ensaios que há uma tendência de cessar a difusão quando o GS diminui até aproximadamente 40%.

GUIMARÃES E HELENE (2001), concluíram ainda que o GS é um fator mais relevante na penetração de íons cloreto que o teor de umidade assim como a interligação dos poros é mais importante que o teor de vazios.

CLIMENT E CARMEN ANDRADE (2002), concluíram que o coeficiente de difusão decresce cerca de duas ordens de grandeza quando a porcentagem de saturação do concreto diminui entre 80% a 30%, em ensaios com teores de água controlados.

GIL (2009) estudou três tipos de concreto e concluiu que os coeficientes de difusão diminuem aproximadamente de valores próximos a 10-11 m²/s a 10-13 m²/s ao decréscimo do grau de saturação desde 100% a 33% e em todos os casos os coeficientes de difusão crescem com o aumento da porosidade do concreto.

NIELSEN E GEIKER (2003), em seu trabalho propõem a criação de um modelo para avaliar a penetração de íons cloreto levando em conta que o coeficiente de difusão deverá ser dependente da quantidade de umidade disponível para a substância difusora.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Confeção das amostras de concreto

Foram confeccionadas 3 (três) misturas diferentes de concreto, sendo uma dosagem padrão e outras duas utilizando adições de sílica ativa e escórias de alto forno como substituição parcial do cimento.

Para a elaboração dos traços foram utilizados os métodos de dosagem de Peña y Bolomey, (CÂNOVAS, 2011) e as amostras com adições seguiram as recomendações da EHE (Instrucción de Hormigón Estructural), 2008. A produção do concreto, dimensões dos corpos de prova e o processo de cura por água foram realizadas segundo a Norma UNE-EN-12390-2-2010.

As amostras foram confeccionadas em dois tamanhos ($\phi = 15$ cm x 30 cm e $\phi = 10$ cm x 20 cm). As amostras maiores foram utilizadas para os ensaios de caracterização mecânica do concreto e as menores nos ensaios restantes.

3.2 Materiais utilizados

O cimento empregado é do tipo CEM I 52,5 R (UNE-EM 197-1, 2011), classificação da Norma Européia como sendo cimento portland de alta resistência inicial, cuja composição química é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química cimento espanhol

| Composição Química | |
|--------------------------------|--------------|
| Óxidos | CEM I 52,5 R |
| SiO ₂ | 19,2 |
| Al ₂ O ₃ | 6,07 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,7 |
| Ca O | 63,41 |
| MgO | 2,56 |
| K ₂ O | 0,82 |
| Na ₂ O | 0,33 |
| SO ₃ | 0 |

A dosagem de cada amostra é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Dosagem dos concretos utilizados no estudo experimental

| Materiais | Unidade | M1 | M2 | M3 |
|-----------------------------------|-------------------|------|--------|-------|
| | | CP | CPHS | CPEAH |
| Cimento Portland (c) | Kg/m ³ | 400 | 320 | 320 |
| Sílica Ativa (10% e K=2) | Kg/m ³ | 0 | 40 | 0 |
| Escória de alto forno (20% e K=1) | Kg/m ³ | 0 | 0 | 80 |
| Água | Kg/m ³ | 160 | 180 | 180 |
| Areia | Kg/m ³ | 846 | 861,08 | 846 |
| Brita 0 | Kg/m ³ | 432 | 463,76 | 432 |
| Brita 1 | Kg/m ³ | 538 | 551,97 | 538 |
| SP (%) * superplastificante | % | 1,5 | 1,5 | 1,1 |
| Fator água/cimento** | - | 0,40 | 0,45 | 0,45 |

(*): % referente ao peso do material cimentício.
(**): M1=a/c, M2 e M3= a/(c+KF), onde F=adição

3.3 Desenvolvimento experimental

3.3.1 Equilíbrio das amostras para diferentes graus de saturação

Consiste em estabelecer distintos graus de saturação (100% e aproximadamente 80%, 60% e 45%) nas amostras de concreto com dimensões de $\phi = 100$ mm e 50 mm de altura. O grau de saturação foi determinado com o emprego da seguinte fórmula:

$$GS = 100 \frac{m_{GS} - m_{seco}}{m_{seco}} \cdot \frac{100}{A} \quad (1)$$

Onde “GS” indica o grau de saturação (%), “m_{GS}” indica a massa da amostra para o GS estabelecido (g), “m_{seco}” indica a massa da amostra seca (g) e “A” indica a absorção de água da amostra depois de imersão e fervura (ensaio ASTM C 642) (%).

Para estabelecer os distintos graus de saturação foi necessário saturar as amostras de concreto, submergindo-as em água e posteriormente fervendo-as durante 5 horas, obtendo assim um GS de 100%. Este procedimento foi realizado em todas as amostras para estimativa da massa seca, permitindo o controle do GS.

Os demais GS se obteve secando as amostras em estufa (50°C) até alcançar a massa correspondente. Uma vez determinado os GS de aproximadamente 80%, 60% e 45%, as amostras foram ensacadas em 3 (três) sacos plásticos fechados através de guilhotina térmica, colocando-os novamente em estufa por tempo mínimo de três dias ou pelo mesmo tempo que ficaram na estufa, anteriormente, para alcançar o peso correspondente ao grau de saturação. Este último procedimento tem a finalidade de equilibrar a distribuição de água no interior das amostras de concreto.

Na Figura 1 são detalhados os procedimentos efetuados para a obtenção do GS para cada amostra.

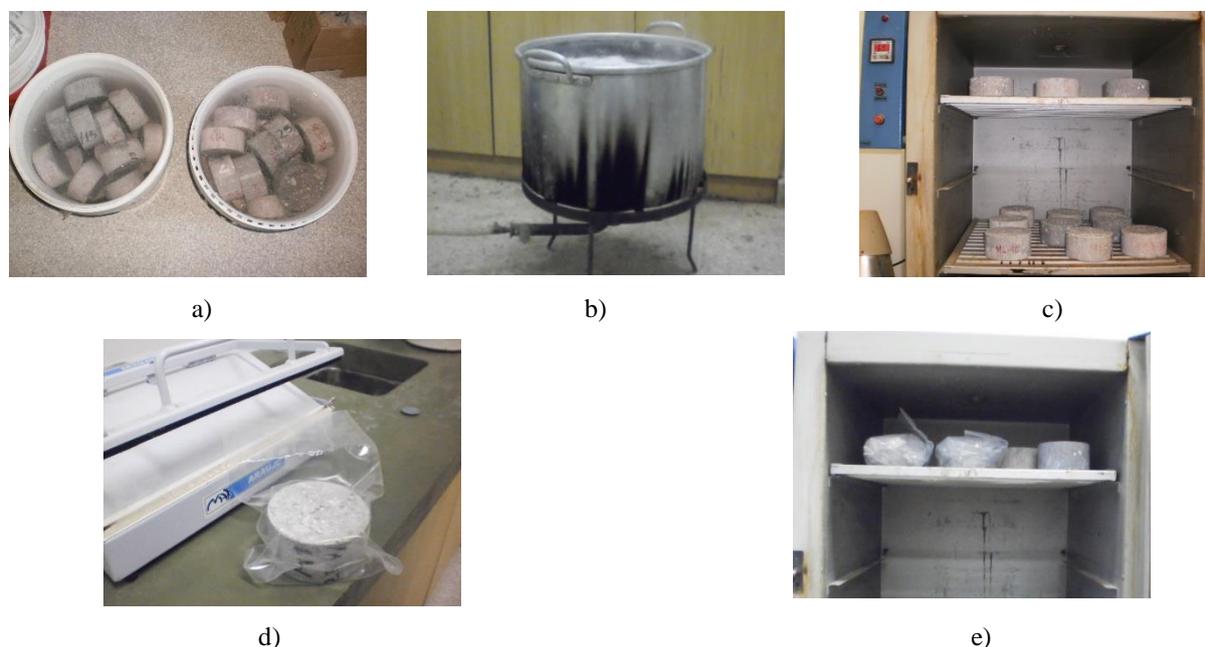


Figura1- Procedimentos realizados para estabelecer os diferentes graus de saturação das amostras de concreto: a) Saturação das amostras durante 24 horas antes de ferver; b) Amostras de concreto fervidas durante 5 horas; c) Secagem das amostras em estufa (50°C) até alcançar o peso definido para os diferentes GS; d) Fechamento hermético das amostras dentro de 3 (três) sacos plásticos; e) Distribuição homogênea da água no interior do concreto através da colocação de amostras na estufa (50°C).

3.3.2 Contaminação com NaCl e armazenamento das amostras

Após o período de estabilização, onde se considera o equilíbrio da distribuição de água no interior da rede porosa das amostras de concreto, foi realizado a contaminação através da colocação de 10 gramas de NaCl moído em peneira de malha de 0,149 mm de abertura.

A contaminação foi realizada sobre uma das faces planas da amostra deixando-se cerca de 1 cm de espaço entre o contaminante e a borda, com o objetivo de evitar escorrimento do agente contaminante que poderiam alterar a penetração de cloreto de forma unidirecional. Para fixar o sal na face da amostra se colocou uma fita tipo americana sobre o NaCl.

Para manter o GS adquirido para cada amostra, estas foram novamente ensacadas com os mesmos procedimentos citados no item anterior e armazenadas em caixas plásticas fechadas com controle da umidade relativa. Para as amostras com GS de 100% foi empregada somente água destilada, para as demais amostras com GS de 80%, 60% e 45% foi utilizada uma mistura de água com glicerol para manter uma umidade relativa de 93%, 73% e 67%, respectivamente. O objetivo de se manter as amostras neste ambiente foi de diminuir a diferença de umidade entre o ambiente externo e o interno dificultando a perda de água das amostras ensacadas.

A equação de Forney & Brands, (1992) mostra o critério utilizado para estabelecer as umidades relativas mediante solução glicerol-água. A Equação 2 define a massa específica da solução glicerol-água necessária para produzir uma determinada umidade relativa.

$$SG = [-0.189(RH) + 19.9]^{0.0806} \tag{2}$$

Onde “SG” indica a massa específica da solução glicerol-água (g/dm³) e “RH” indica a umidade relativa necessária (%).

A relação de glicerol-água necessária para produzir a massa específica pode ser estimada pela Equação 3, mediante gráfico da Figura 2.

$$G_w = 383(SG) - 383 \tag{3}$$

Onde “G_w” indica a porcentagem de glicerol por peso de solução (%)

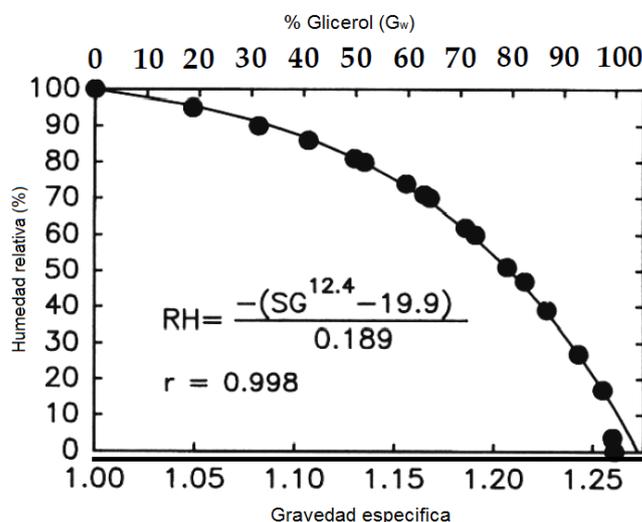


Figura 2 - Relação da massa específica e o conteúdo de glicerol da solução glicerol-água e umidades relativas em equilíbrio a 24 °C. Os pontos representam dados reais obtidos por Braun and Braun (Braun & Braun, 1958) e a linha representa um modelo derivado do emprego dos dados experimentais.

O cálculo do volume do glicerol e água necessários para preparar a solução podem ser calculados empregando a Equação 4.

$$G_v = (G_w W_T) / (100 \times 1.262) \quad (1)$$

Onde “ G_v ” indica o volume de glicerol (ml), “ W_T ” indica o peso total da solução (g) e 1,0 g/ml corresponde à densidade da água.

A Figura 3 a seguir, mostra a sequência dos passos na colocação do contaminante NaCl seguido do armazenamento das amostras.

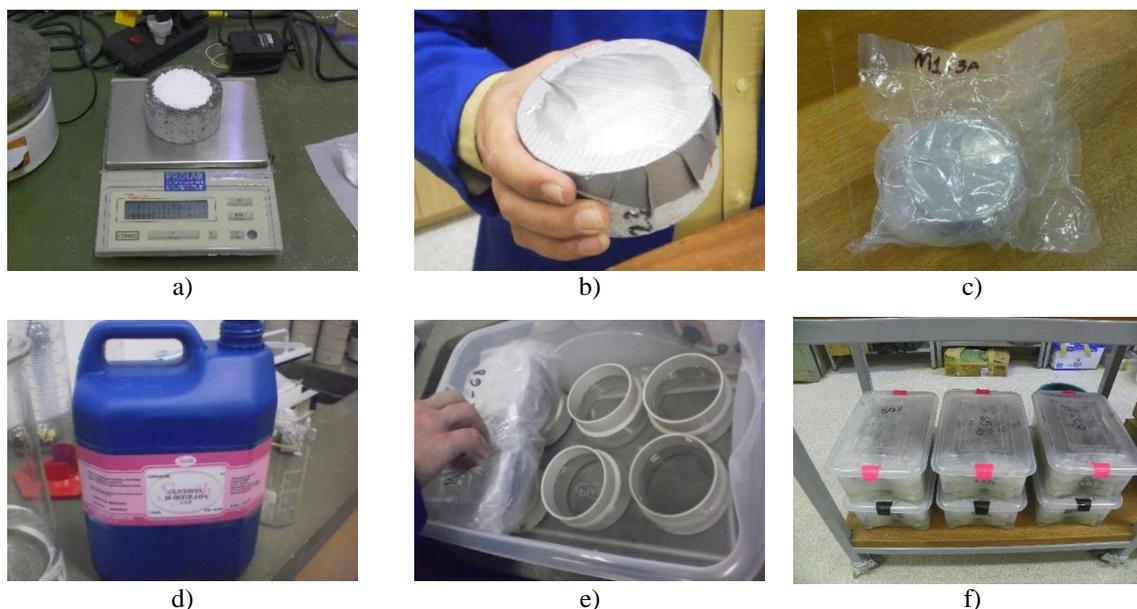


Figura 3 - Sequência de passos realizados: a) Contaminação com NaCl (10 g), deixando livre aproximadamente 1cm em relação a borda; b) Colocação de cinta sobre o NaCl; c) Fechamento da amostra no interior de 3 sacos fechados herméticamente; d) Preparação de solução glicerol-água para controle UR; e) Amostras sobre cilindros de PVC em cubos com solução glicerol-água; f) Armazenamento de amostras dentro de caixas (23°C).

3.3.4 Extração de material para elaboração dos perfis de penetração de cloreto

Após, efetivado o tempo de contaminação, se realizou a extração de material para a elaboração dos perfis de penetração de cloreto para cada amostra.

As amostras foram retiradas das caixas removendo-se a fita juntamente com o excesso de NaCl que permaneceu sobre a face contaminada. A amostra é pesada para determinação do GS final. A seguir a superfície contaminada é limpa através de lixamento, retirando-se o material contaminante excedente com uma escova de aço e como procedimento final de limpeza a aplicação de jato de ar comprimido para que na superfície e em alguns poros visíveis não fique nenhum excesso de NaCl. A finalidade desta limpeza é de evitar-se que por ocasião da extração das camadas, a concentração de cloreto na camada inicial tenha um valor fora da curva dos demais pontos de teor de cloreto causado por um resíduo superficial de NaCl.

No passo seguinte a amostra é colocada no equipamento especialmente projetado para este trabalho para que se efetue a extração de concreto em forma pulverulenta. A extração consistiu de 10 camadas de aproximadamente 2 mm, sendo que a espessura foi controlada através de paquímetro, realizando medições em três pontos ao longo do diâmetro da amostra para se obter a profundidade média da camada.

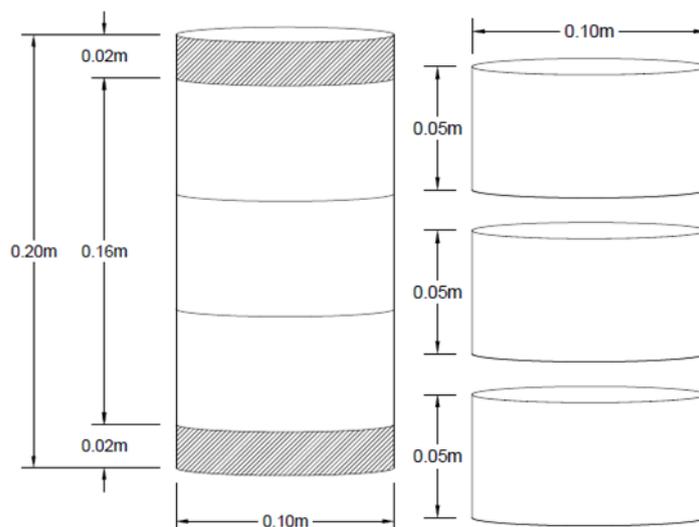


Figura 5 - Detalhamento do corte em fatias das amostras de concreto

A Figura 6 apresenta os perfis de penetração de cloreto por camada e para cada GS determinado, apenas para um tipo de concreto a título de ilustração do procedimento.

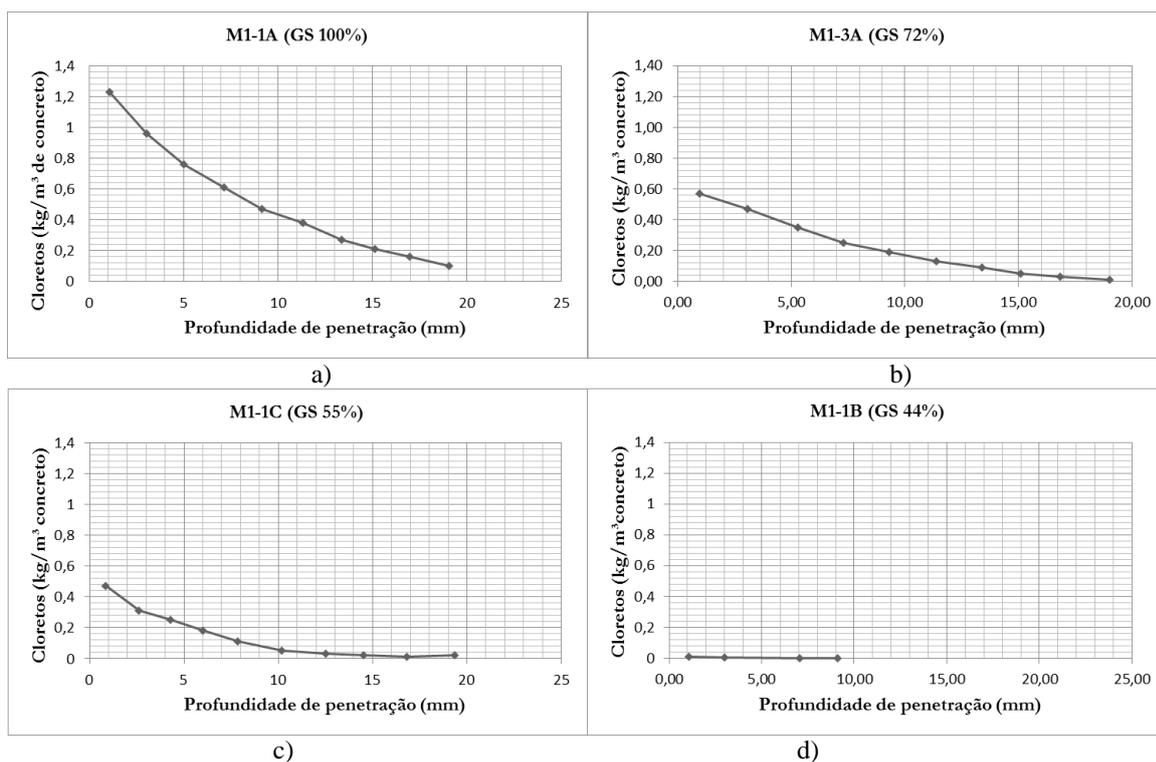


Figura 6 - Representação gráfica da penetração de cloreto por camada em amostras do tipo M1. a) Para GS 100%, b) Para GS 72%, c) Para GS 55% e d) Para GS 44%.

A Tabela 3 mostra os valores obtidos nos ensaios para coeficiente de difusão (D), grau de saturação GS para cada amostra, com estes dados se elaborou os gráficos relacionando D e GS, apresentados na Figura 7.

Tabela 3 - Cálculo do coeficiente de difusão (D), e grau de saturação (GS) das amostras.

| Concreto | Amostra | Idade dias | Cs | D | Dmédio | D/Dmáx | Gsmédio | |
|----------|---------|------------|-----------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------|---------|------|
| | | | %/m conc. | $\cdot 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{s}$ | $\cdot 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ | | % | |
| M1 | M1-1A | 28 | 1,27 | 21,90 | 23,90 | 1 | 100 | |
| | M1-2B | 34 | 1,12 | 25,89 | | | | |
| | M1-2A | 40 | 1,26 | 15,75 | | | | |
| | M1-3A | 61 | 0,62 | 7,14 | 8,73 | | 0,36514 | 71,4 |
| | M1-4B | 70 | 0,76 | 10,31 | | | | |
| | M1-4A | 103 | 0,54 | 3,08 | 2,56 | | 0,10714 | 54,6 |
| | M1-1C | 110 | 0,49 | 2,04 | | | | |
| | M1-1B | 140 | 0,010 | 0,79 | 0,79 | | 0,03285 | 43,2 |
| M1-6B | 212 | 0,03 | 0,78 | | | | | |
| M2 | M2-1A | 28 | 1,29 | 4,12 | 3,75 | 1 | 100 | |
| | M2-2B | 34 | 1,36 | 3,38 | | | | |
| | M2-2A | 40 | 1,22 | 3,38 | | | | |
| | M2-3A | 61 | 1,00 | 3,55 | 3,00 | | 0,79867 | 77,9 |
| | M2-4B | 70 | 0,93 | 2,44 | | | | |
| | M2-4A | 90 | 0,050 | 0,50 | 0,81 | | 0,21600 | 58,2 |
| | M2-1C | 148 | 0,18 | 1,12 | | | | |
| | M2-1B | 188 | 0,02 | 0,24 | 0,19 | | 0,04933 | 45,1 |
| M2-4C | 212 | 0,04 | 0,13 | | | | | |
| M3 | M3-1A | 29 | 1,26 | 8,08 | 8,53 | 1 | 100 | |
| | M3-2B | 35 | 1,48 | 8,97 | | | | |
| | M3-2A | 40 | 1,25 | 7,12 | | | | |
| | M3-3A | 61 | 1,03 | 6,34 | 5,88 | | 0,68974 | 77,9 |
| | M3-4B | 70 | 0,97 | 5,42 | | | | |
| | M3-4A | 104 | 0,73 | 2,11 | 1,74 | | 0,20411 | 57,6 |
| | M3-1C | 110 | 0,49 | 1,37 | | | | |
| | M3-1B | 182 | 0,02 | 0,19 | 0,20 | | 0,02287 | 44,2 |
| M3-6B | 211 | 0,17 | 0,20 | | | | | |

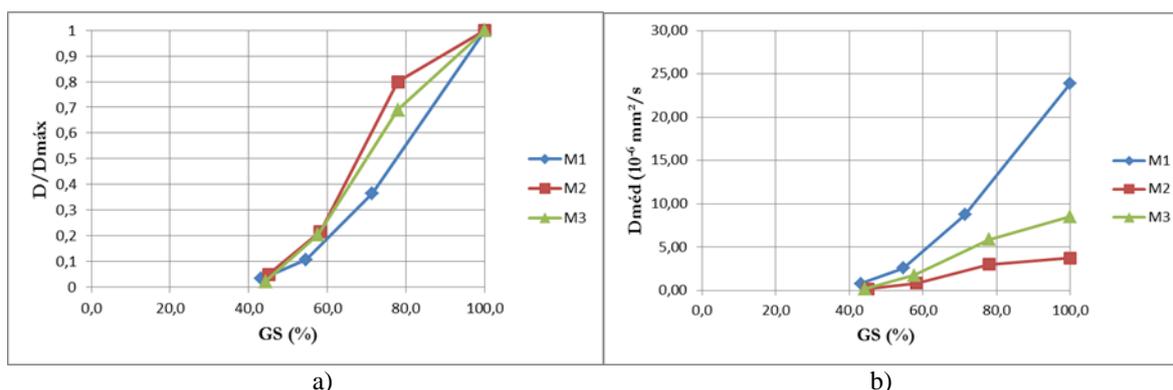


Figura 7 - Gráficos: a) Relação D/Dmáx. com o grau de saturação (GS) e b) Coeficiente de difusão médio (Dméd) em função do grau de saturação (GS).

Com os dados dos gráficos da Figura 7, verifica-se a influência do grau de saturação no coeficiente de difusão em todos os três tipos de concreto.

No gráfico Dméd x GS (b) para a amostra do concreto M1, concreto sem adição, a difusão para GS entre 100% e 80% é bem maior do que as amostras de concreto tipo M2 e M3, sendo que a partir de aproximadamente 60% a diferença diminui até praticamente convergir para GS aproximadamente igual a 45%.

Na comparação entre os concretos tipos M2 e M3, para GS entre 100% e 80% o coeficiente de difusão é um pouco inferior para M2, mas convergem em GS de 60% e 44%.

Verifica-se também que o coeficiente de difusão para valores de GS aproximadamente 40% o coeficiente de difusão tende a zero.

4.2 Resultados de outros estudos com concretos diferentes

RODRIGUES (2009) mediu a influência do GS no coeficiente de difusão em concreto com diferentes traços e consistência utilizando o cimento tipo CP V RS – ARI, cimento de alta resistência inicial e resistente a sulfatos com 12 % de cinza volante adicionada na sua fabricação e apresentando resistência aos 28 dias de 48 MPa.

O concreto desta pesquisa compara-se com os dados obtidos de RODRIGUES (2009) relacionado com o traço tipo H2 que possui relação a/c de 0,48 e consumo de cimento de 419 kg/m³, concreto de características semelhantes das amostras aqui pesquisadas. A resistência média à compressão aos 28 dias foi de 42,54 MPa.

A Tabela 4 apresenta os valores, obtidos por RODRIGUES (2009), do coeficiente de difusão (D) para cada GS determinado e os valores de D/D_{máx}, para o concreto denominado de H2.

Tabela 4 - Valores de GS (%), D (mm²/s), D/D_{máx} para traço H2 (RODRIGUES, 2009).

| Concreto Tipo H2 | | |
|------------------|------------------------|--------------------|
| GS (%) | D (mm ² /s) | D/D _{máx} |
| 100 | 9,13 E - 6 | 1 |
| 90,83 | 6,69 E - 6 | 0,73 |
| 76,15 | 3,35 E - 6 | 0,37 |
| 46,96 | 1,55 E - 6 | 0,17 |

GUIMARÃES (2005) mediu a influência do GS no coeficiente de difusão em concreto com diferentes traços e consistência, porém, diferentemente de RODRIGUES (2009), utilizou o cimento pozolânico tipo CP-IV-32, com 50% de cinza volante, adicionada em sua fabricação.

Para comparação entre este estudo e o de GUIMARÃES (2005) foi escolhido o concreto com traço denominado de T2 com relação água cimento de 0,45 e consumo de 419 kg/m³, com resistência à compressão média aos 28 dias de 30 MPa. Este concreto foi incluído neste trabalho como um concreto de referência, pois o cimento pozolânico apresenta boas condições para se obter um concreto durável em ambiente marítimo.

Na Tabela 5, estão os valores obtidos por GUIMARÃES (2005) do coeficiente de difusão (D) para cada GS determinado e os valores de D/D_{máx}, para o concreto denominado de T2.

Tabela 5 - Valores de GS (%), D (mm²/s), D/D_{máx} para traço T2 (GUIMARÃES, 2005).

| Concreto Tipo T2 | | |
|------------------|------------------------|--------------------|
| GS (%) | D (mm ² /s) | D/D _{máx} |
| 100 | 7,2 E - 6 | 1 |
| 85 | 1,8 E - 6 | 0,36 |
| 73 | 1,2 E - 6 | 0,21 |
| 49 | 0,45 E - 6 | 0,06 |

4.3 Comparação dos resultados

Na Figura 8. através dos gráficos D_xGS (a) e D/D_{máx}xGS, (b) estão os dados do três concretos estudados neste artigo e para efeito de comparação os concretos estudados anteriormente por RODRIGUES (2009) e GUIMARÃES (2005), que utilizaram concreto com cimento tipo CP V RS – ARI e CP IV 32, e denominados de H2 e T2, respectivamente.

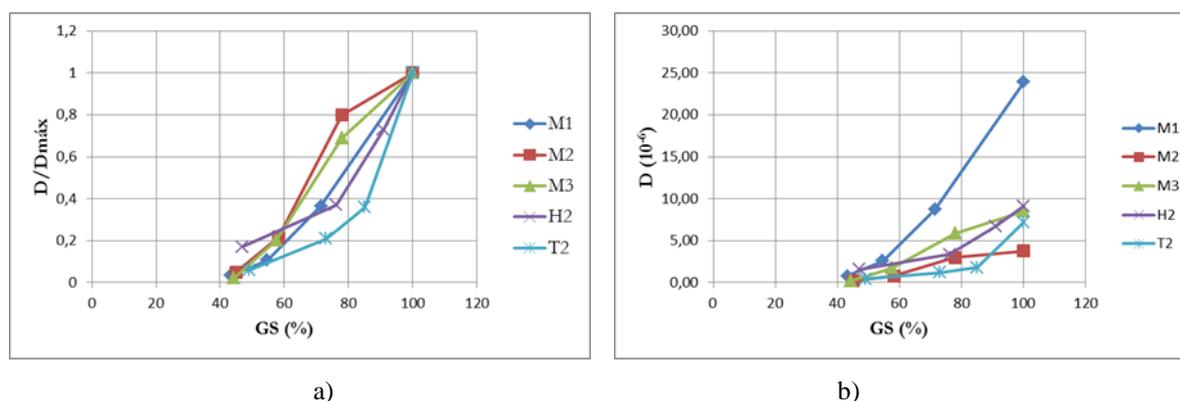


Figura 8 - Gráficos: a) D/D_{\max} x GS e b) D x GS, para comparação com concretos com outro tipo de cimento.

Na análise dos gráficos da Figura 8, verificou-se que o concreto tipo H2 (aglomerante com 12% cinza volante) teve melhor desempenho que o M1 e um comportamento próximo ao do concreto M3 (aglomerante com 20% de escória), sendo que o concreto tipo H2 tem resistência bem inferior ao tipo M1 e pouco inferior ao tipo M3. O comportamento similar de H2 e M3 pode ser explicado pela adição de materiais que normalmente incorporam o mesmo benefício ao cimento. O T2 apresentou pior desempenho somente para o M2, e mesmo assim, na faixa de GS de aproximadamente 100% a 90%, sendo que para valores menores que aproximadamente 90% o T2 apresenta melhor desempenho que todos os outros concretos.

O gráfico da Figura 8(a) apresenta as curvas D/D_{\max} em ordem contrária as da Figura 8(b), sendo que nas pesquisas de RODRIGUES (2009) e GUIMARÃES (2005) estas apresentavam a mesma ordem, ou seja, os melhores concretos apresentavam uma diminuição maior do coeficiente de difusão com a diminuição do GS. Salienta-se que nas pesquisas de RODRIGUES (2009) e GUIMARÃES (2005) os concretos foram executados com o mesmo aglomerante e nesta pesquisa os aglomerantes são diferentes. Isto pode ocorrer devido à distribuição de poros, sendo objeto de estudos na continuidade deste trabalho.

4. CONCLUSÕES

A influência do GS na difusão de íons cloreto nas estruturas de concreto pelos dados obtidos em estudos anteriores e comprovados neste é bem clara.

Os diversos estudos com diferentes cimentos e traços de trabalhos realizados e descritos neste e adicionado aos três tipos de concretos analisados nesta pesquisa permitiu concluir que o concreto com cimento portland pozolânico com relação a/c 0,45 tem o melhor desempenho para ambiente marítimo que todos os demais analisados, notadamente nas zonas de maré, respingo ou névoa, onde o GS pode apresentar valores menores que 85%, conforme pesquisa de GUIMARÃES e HELENE (2000) e GUIMARÃES e HELENE (2007).

O concreto M3 apresentou comportamento similar ao H2 sendo que RODRIGUES (2009) demonstra que este concreto é inapropriado para ser utilizado em ambiente marítimo, mesmo atendendo as condições da norma NBR 6118-2014. Isto se deve ao fato da distribuição de poros do concreto H2 ser muito desfavorável em relação ao concreto T2 (referência), conforme observou RODRIGUES (2009), o que explica o fato do coeficiente de difusão do concreto H2 ser aproximadamente 5 vezes maior que do concreto T2 para GS menor que 90%. Sendo assim, a profundidade da frente de ataque de cloretos do concreto H2 será mais que o dobro do concreto tipo T2, para a mesma idade. O mesmo deve ocorrer com o concreto

M3, sendo que na continuidade desta pesquisa deverá ser analisada a distribuição de poros deste concreto. O concreto com cimento espanhol adicionado de sílica obteve o segundo melhor desempenho.

Outros teores das adições utilizadas nesta pesquisa, assim como combinações destas e até outros tipos de adições, devem ser experimentados em futuros trabalhos com cimento ARI-RS.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI), BUILDING, *Manual Americano del Hormigón*, 1977

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL (ASTM), *Standard Test Method for Specify Gravity, Absorption and Voids in Hardened Concrete American Society for Testing Materials*, (ASTM C.642-2006)

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR), *Ensayos de Hormigón Fresco, Parte 2, Ensayo de Assentamiento*, UNE-EN 12350-2, 2006; *Ensayos de Hormigón Endurecido, Parte 3, Determinación de la Resistência a Compresión de Probetas*, UNE-EN 12390-3, 2003; *Ensayos de Hormigón Endurecido, Determinación del Módulo de Elasticidad en Compresión*, UNE 83316, 1996; *Ensayos de Hormigón Endurecido, Parte 6, Resistência a Traccion Indirecta de Probetas*, UNE-EM 12350-6, 2001;

BRAUN, J. V; BRAUN, J. D, *A Simplified Method of Preparing Solutions of Glycerol and Water for Humidity Control Corrosion*, 14(3), 117-118.

CÁNOVAS, M. F., *Hormigón*, 9ª Ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales Y Puertos. Madrid 2011

CLIMENT, M. A; CARMEN ANDRADE; VERA, G.; LÓPEZ, JESÚS F; VIQUEIRA, ESTANISLAO, *A test method for measuring chloride diffusion coefficients through nonsaturated concrete, Part I. The instantaneous plane source diffusion case*, *Cement and Concrete Research*, 2002, p. 1113-1123

EHE - INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL, *Ministerio de Fomento*, Madrid, España, 2008.

FORNEY, C. F.; BRANDS, D. G, *Control of Humidity in Small Controlled Environment Chambers Using Glycerol-Water Solutions*, *Technology & Products Reports – Hort Technology*, 2(1), 52-54, 1992.

GIL, C. A., *Influencia del contenido de humedad del hormigón sobre la difusividade del ión cloruro*. Madrid, 2009, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Departamento de Química-Física Aplicada da Universidad Autónoma de Madrid, España, 251 p.

GUIMARÃES, A. T. C; HELENE, P. R. L., *Chloride Diffusion and the Influence of the Saturation Degree of the Concrete*, 2002, *Proceedings of the Third International RILEM Workshop*, 9-10 September 2002, Madrid, Spain, p. 237-256.

GUIMARÃES, A. T. C.; HELENE, P. R. L., *Grau de saturação do concreto: um importante fator na difusão de cloretos*, Teoria e Prática na Engenharia Civil, nº 2, p.55-64, Maio, 2001.

GUIMARÃES, A. T. C.; CLIMENT, M. A.; VERA, G. de; VICENTE, F. J.; RODRIGUES, F. T.; ANDRADE, C., *Determination of chloride diffusivity through partially saturated Portland cement concrete by a simplified procedure*, Construction and Building Materials 25, 2011, p.785-790

GUIMARÃES, A. T. C.; HELENE, P. 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*, Proceedings of the International RILEM Workshop on Integral Service Life Modelling of Concrete Structures, 5-6 November 2007, Guimarães, Portugal, p. 63-70.

GUIMARÃES, A. T. C.; HELENE, P. R. L.; *The Moisture Effect on the Diffusion of Chloride Ion in Hydrated Cement Paste. In: Symposium on Marine Corrosion in Tropical Environments*, 2000, Orlando. Marine Corrosion in Tropical Environments - ASTM STP 1399. Chelsea: S. W. Dean, G. H. Delgadillo, J. B. Bushman, Eds., 2000. p. 135-149.

GUIMARÃES, A. T. C., HELENE, P. R. L.; *Comportamento ao Longo do Tempo de um Perfil de Cloreto formando Pico*. Teoria e Prática na Engenharia Civil, v. 10, p. 39-45, 2007.

MEHTA, P. K., tradução de **MONTEIRO, PAULO J.M.**, *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*, 1994.

NIELSEN, E. P; GEIKER, M. R., *Chloride diffusion in partially saturated cementitious material*, Cement and Concrete Research, 2003, p. 133-138.

NUNES, J. L. O., *Intensidade de ataques por cloretos ao concreto em relação à distância da água do mar*, Rio Grande (2006). Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande.

RODRIGUES, F. T., *Medição do grau de saturação e a difusão de íons cloreto em concreto executados com cimento de alta resistência inicial*, Rio Grande (2009). Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande, RS, Brasil, 149 p.