



PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CONCRETOS E ARGAMASSAS COM DIFERENTES RELAÇÕES A/C LOCALIZADOS EM ZONA DE ATMOSFERA MARINHA

SILVESTRO, Laura (1); MOLIN, Denise Carpena Coitinho Dal (2)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, laurasilvestro@ymail.com

(2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dmolin@ufrgs.br

RESUMO

A problemática da degradação de estruturas de concreto armado devido à corrosão de armaduras desperta maior preocupação em regiões costeiras, em razão da elevada agressividade deste ambiente decorrente da presença de cloretos. Isto posto, destaca-se a carência de dados de concentração de cloretos de concretos em condição natural de exposição, principalmente no que se refere à zona de atmosfera marinha. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da zona de transição do agregado graúdo na penetração de cloretos em prismas de concreto e argamassa constituídos pelos mesmos materiais e relações a/c de 0,45, 0,55 e 0,65, que permaneceram expostos em zona de atmosfera marinha na cidade de Vitória – ES. Empregou-se a potenciometria direta para a determinação da concentração de cloretos e o equipamento utilizado foi o CL 3000 da NDT James Instruments. O perfil de cloretos para as configurações com relação a/c de 0,45 foi determinado nas idades de 1, 2 e 3 anos, para as configurações com a/c de 0,55, nas idades de 1, 1,6 e 2 anos e, para aquelas com relação a/c 0,65, nas idades de 0,3, 0,7 e 1 ano. Os resultados obtidos indicaram que, para as relações a/c de 0,45 e 0,55, os prismas de concreto apresentaram concentração de cloretos superior aos de argamassa, comportamento que pode ser atribuído à zona de transição decorrente da presença dos agregados graúdos, que tornam o concreto um material heterogêneo e aumentam consideravelmente a sua permeabilidade. Já para a relação a/c de 0,65 os prismas de argamassa apresentaram concentração superior aos de concreto, o que pode ser consequência da elevada porosidade dos concretos com relação a/c de 0,65 fazendo com que a influência da zona de transição não seja tão significativa nestes casos.

Palavras-chave: Corrosão de armaduras, penetração de cloretos, zona de atmosfera marinha.

ABSTRACT

The problem of the degradation of reinforced concrete structures due to the reinforcement corrosion arouses greater concern in coastal regions, due to the high aggressiveness of this environment caused by the presence of chlorides. Thus, the lack of data on the concentration of chlorides of concrete in natural conditions of exposure stands out, especially regarding the marine atmosphere zone. Thus, this work aimed to evaluate the influence of transition zone of coarse aggregate on the penetration of chloride blocks of concrete and mortar with the same constituent materials and w/c ratios of 0.45, 0.55 and 0.65, which remained exposed. in a marine atmosphere zone in the city of Vitória - ES. Direct potentiometry was used to determine chloride concentration and the equipment used was the NDT James Instruments CL 3000. The chloride profile for the w/c settings of 0.45 was determined at the ages of 1, 2 and 3 years for the w/c settings of 0.55 at the ages of 1, 1.6 and 2. and for those with a / c 0.65, at the ages of 0.3, 0.7 and 1 year. The results indicated that, for the w/c ratios of 0.45 and 0.55, the concrete prisms presented higher chloride concentration than the mortar, behavior that can be attributed to the existence of transition zone of coarse aggregates, which makes the concrete a

heterogeneous material and considerably increases its permeability. For the w / c ratio of 0.65, the opposite behavior was observed. The mortar prisms presented higher concentration than the concrete, which may be a consequence of the high porosity of the concrete with w/c of 0.65, making the influence of the transition zone not so important in these cases.

Keywords: Reinforcement corrosion, chloride penetration, marine atmosphere zone.

1 INTRODUÇÃO

Frente aos problemas de degradação observados no concreto, é crescente a preocupação mundial com a durabilidade e extensão da vida útil de estruturas constituídas por este material (SILVESTRO; DAL MOLIN, 2018). Isto ocorre porque os custos com reparos e substituições destas estruturas vem se tornando cada vez mais significativos. Neste contexto, países desenvolvidos investem cerca de 40% dos recursos aplicados na indústria da construção no reparo e manutenção de estruturas existentes (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Adicionalmente, as normativas (FIB 34, 2006; AS 4997, 2005; ABNT NBR 15575:2013) também definem parâmetros mínimos de desempenho ligados à durabilidade, usualmente mensurados através da vida útil, exigindo a construção de estruturas de concreto mais duráveis.

Dentre os mecanismos de degradação que afetam a durabilidade das estruturas de concreto armado, o ataque e corrosão das armaduras é um dos mais frequentes (WEERDT et al., 2016) e causa a deterioração tanto da própria armadura, como do concreto, pois os produtos formados pela corrosão são expansivos e provocam tensões internas no material. Para avaliar o comportamento do concreto frente à ação dos cloretos, a maioria dos estudos utiliza ensaios acelerados, nos quais aplica-se correntes externas nos corpos de prova (SPIESZ; BROUWERS, 2013; OTIENO; BEUSHAUSEN; ALEXANDER, 2014) ou adiciona-se substâncias como o CaCl_2 ou o NaCl na mistura do concreto (XU et al., 2011; LIU et al., 2016), uma vez que não se dispõe do tempo necessário para que a penetração ocorra de forma natural. Estes ensaios, porém, não representam bem o que acontece na realidade, pois são muito mais agressivos do que o ambiente natural. Poucos são os estudos que, como esse, se propõem a analisar os efeitos decorrentes da situação real, principalmente devido ao grande tempo necessário para que o fenômeno ocorra naturalmente (DASAR et al., 2017; MARIC et al., 2017). Frente a isto, este trabalho teve por objetivo analisar a influência da existência da zona de transição do agregado graúdo na penetração de cloretos em matrizes cimentícias. Para isso foram moldados blocos de concreto e argamassa com os mesmos materiais e relações a/c de 0,45, 0,55 e 0,65, que foram expostos em zona de atmosfera marinha em Vitória – ES.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos materiais empregados

Nesta pesquisa foi utilizado o cimento Portland de alto forno (CP III). Como agregado miúdo foi utilizada uma areia quartzosa natural oriunda do Rio Jacuí, com distribuição granulométrica contínua, dimensão máxima característica de 4,8 mm, módulo de finura de 2,29 (NBR NM 248, 2003), massa específica de 2,61 Kg/dm³ e massa unitária 1,55 Kg/dm³ (NBR NM 52, 2009). Já o agregado graúdo utilizado foi uma pedra britada de origem basáltica, caracterizado por dimensão máxima característica de 25 mm, módulo de finura de 7,09 (NBR NM 248, 2003), índice de forma de 2,66 (NBR 7809, 2006), massa específica de 2,93 Kg/dm³ e massa unitária de 1,60 Kg/dm³ (NBR NM 45, 2006).

2.2 Matriz experimental

A caracterização dos materiais e a moldagem dos prismas de concreto e argamassa foram realizadas em Porto Alegre e, posteriormente, enviou-se os prismas para Vitória, para exposição em zona de atmosfera marinha. Foi utilizado o cimento CP III e relações a/c de 0,45, 0,55 e 0,65 para a moldagem dos prismas de concreto e argamassa. Para cada relação a/c foi moldado 1 prisma de concreto com dimensões de 10 x 10 x 36 cm e 1 prisma de argamassa 7 x 7 x 28 cm, os quais permaneceram expostos em local externo desprotegido da chuva. É importante destacar que tais prismas não estavam em contato direto com o solo, e que antes da exposição em ambiente natural, o topo e a base de todos os prismas foram selados com parafina/epóxi, a fim de permitir a penetração de íons cloretos somente pelas faces laterais (SILVESTRO, 2018; SILVESTRO et al., 2018).

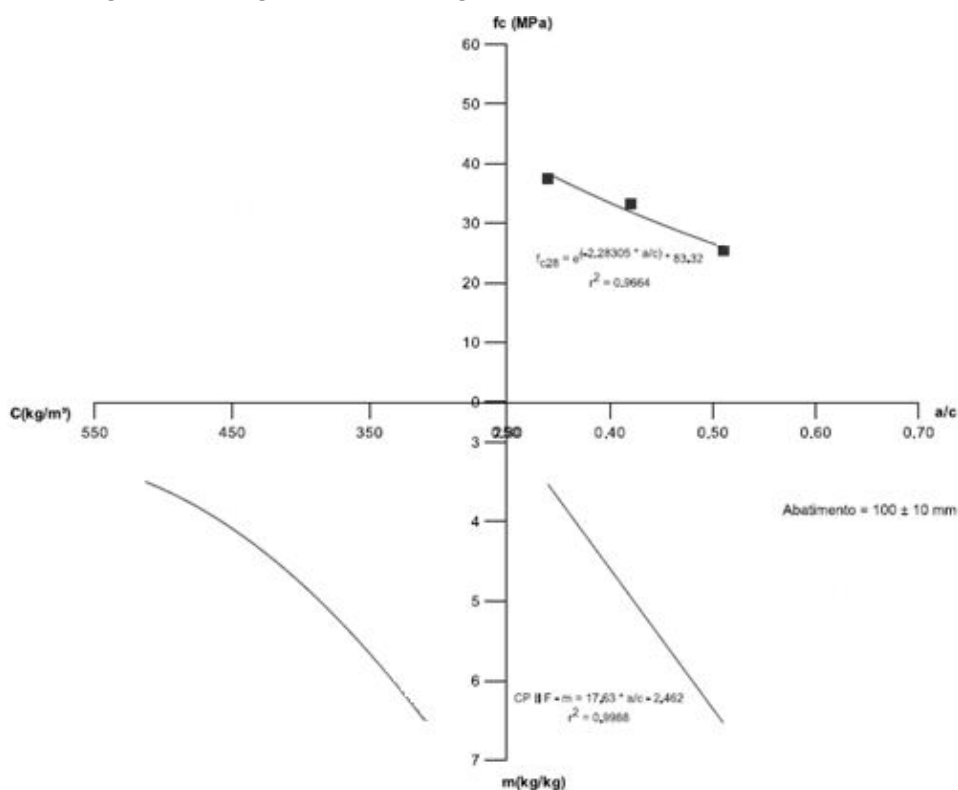
Em um estudo prévio a esta pesquisa foi determinada a profundidade de carbonatação destes prismas de concreto e argamassa (ANDRADE, 2013). Para a realização deste ensaio, os prismas foram quebrados na presa em fatias de espessura superior a 20 mm, para posterior aspensão de solução de fenolftaleína e medição da espessura de carbonatação com um paquímetro. Após a leitura da profundidade de carbonatação e da selagem do topo com parafina/epóxi, a parte remanescente do prisma era devidamente inserida na sua condição de exposição inicial, e a fatia retirada era embalada em saco plástico e devidamente identificada com as informações: relação a/c e data, para posterior realização dos ensaios para a determinação do perfil de concentração de cloretos. As fatias dos primas foram enviadas à Universidade Federal do Rio Grande do Sul em outubro/2017 para início da análise da concentração de cloretos. Como o intervalo de exposição das configurações com relação a/c de 0,45, 0,55 e 0,65 foram diferentes, foram avaliadas quando a penetração de cloretos as fatias correspondentes a um período de exposição de 1, 2 e 3 anos para as configurações com relação a/c de 0,45; 1, 1,6 e 2 anos para as

configurações com relação a/c de 0,55 e de 0,3, 0,7 e 1 ano para as configurações com relação a/c de 0,65 (SILVESTRO, 2018; SILVESTRO et al., 2018).

2.3 Dosagem dos concretos e argamassas

O proporcionamento dos materiais para a confecção dos concretos foi determinado a partir do método IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992). Partindo-se de um abatimento do tronco de cone estabelecido em 100 ± 20 mm, determinou-se para o traço 1:5 o teor de argamassa ideal, sendo este de 53%. Esse teor de argamassa foi mantido constante para os traços rico e pobre, de 1:3,5 e 1:6,5, respectivamente. Na Figura 1 é apresentado o diagrama final de dosagem dos concretos, considerando a idade de ruptura de 28 dias.

Figura 1 - Diagrama de dosagem para os concretos aos 28 dias

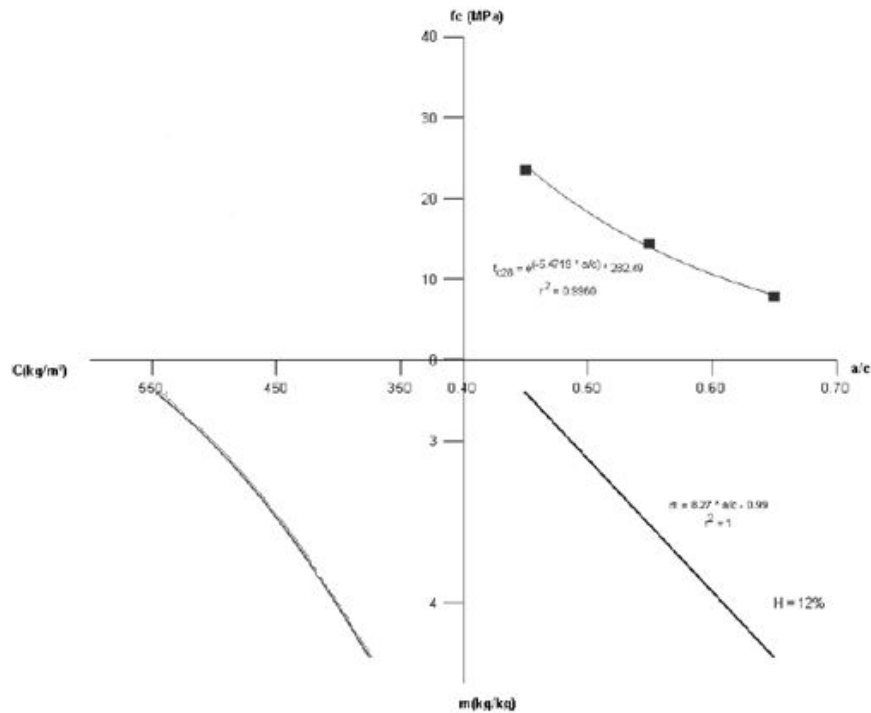


Fonte: ANDRADE (2013)

Para as argamassas, a quantidade de água (H) a ser utilizada nos traços foi determinada através da Lei de Lyse, de forma que não fosse necessário o emprego de aditivos. Fixando-se a quantidade de água, tem-se valores de trabalhabilidades (expressos pelo índice de consistência) semelhantes para os diversos traços. Após a realização de alguns estudos preliminares, a quantidade de água (H) foi fixada em 12,2%, sendo este valor mantido constante para todos os traços de argamassa produzidos. O índice de consistência obtido nos testes preliminares foi de 260 ± 20 mm. Adotando-se valores de a/c semelhantes aos dos traços de concreto de 0,45, 0,55 e

0,65, foram definidos, através da Equação de Lyse, três traços de argamassa com o valor de “H” fixo. Na Figura 2 é apresentado o diagrama final de dosagem das argamassas, considerando a idade de ruptura de 28 dias.

Figura 2 - Diagrama de dosagem para as argamassas aos 28 dias



Fonte: ANDRADE (2013)

Após determinado o proporcionamento dos materiais, passou-se à produção dos concretos e argamassas e moldagem dos prismas e corpos de prova. Para cada traço de concreto foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos para a determinação da resistência à compressão, em formas metálicas de 9,5 x 19 cm, e 1 prisma de concreto, em forma metálica de 10 x 10 x 36 cm. Já para os traços de argamassa foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos para a determinação da resistência à compressão, em formas metálicas de 5 x 10 cm, e 1 prisma de argamassa, em formas metálicas de 7 x 7 x 28 cm. O ensaio de resistência à compressão dos concretos foi realizado de acordo com o preconizado pela norma NBR 5739 (ABNT, 2007) e o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone seguindo a norma NBR NM 67 (ABNT, 1996). Para as argamassas, o ensaio de resistência à compressão e de consistência foram realizados de acordo com o preconizado pela norma NBR 7215 (ABNT, 1996). Posteriormente à moldagem, os corpos de prova e os prismas de concreto e argamassa foram mantidos cobertos por 24 horas no ambiente de laboratório e após isto foram desmoldados e mantidos em câmara úmida com umidade relativa superior a 98% e temperatura de 23 ± 2 °C até os 28 dias para o ensaio de resistência à

compressão e 91 dias para serem embalados e remetidos à Vitória, uma vez que foram produzidos em Porto Alegre.

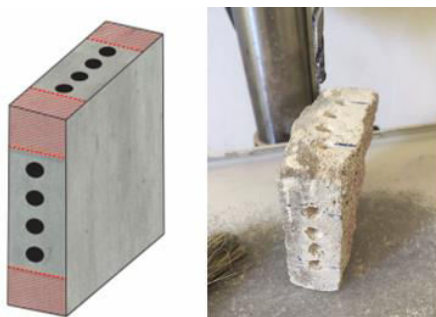
2.4 Caracterização ambiental

Os prismas de concreto e argamassa permaneceram expostos em zona de atmosfera marinha em uma estação de monitoramento situada na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Vitória, a uma distância de 1,8 km em relação ao mar. A latitude e longitude do local de exposição são, respectivamente, de 20° 16' 22'' S e 40° 18' 15'' W. Para a caracterização ambiental do local de exposição foram coletados os dados da Estação Meteorológica Gaturamo Observatório Astronômico (GOAMet) em função da proximidade do local de exposição dos prismas de concreto. A estação meteorológica está localizada na latitude de 20° 16' 43'' S e 40° 18' 28'' W.

2.5 Determinação do perfil de cloretos

Foram extraídas amostras das fatias dos prismas de concreto e argamassa sob a forma pulverulenta, utilizando uma furadeira com broca de 6 mm, de forma semelhante aos procedimentos utilizados em pesquisas prévias (THOMAS; MATTHEWS, 2004; ROMANO, 2009). Conforme ilustrado na Figura 3, estabeleceu-se uma área para a extração de amostras, definida por um reticulado com 4 pontos de perfuração em cada uma das faces, garantindo uma quantidade de material suficiente para a determinação do teor de cloretos (3 g de material para cada análise). A utilização deste reticulado também assegurou a obtenção de uma amostra representativa. Para evitar a sobreposição dos furos de faces adjacentes, evitou-se a perfuração na área hachurada, conforme destacado na Figura 3. O material foi coletado em quatro intervalos de profundidade entre: 0 – 5 mm, 5 – 10 mm, 10 – 15 mm e 15 – 20 mm, sendo acondicionado em saco plástico, devidamente lacrado e identificado (SILVESTRO, 2018; SILVESTRO et al., 2018).

Figura 3 - Pontos de perfuração das fatias dos prismas de concreto e argamassa



Fonte: SILVESTRO (2018)

Para a determinação do teor de cloretos solúveis das amostras coletadas foi empregada a potenciometria direta. Inicialmente foi realizada a calibração do equipamento CL – 3000 da NDT James Instruments

mediante a utilização dos frascos com líquidos para calibração fornecidos pelo fabricante, os quais apresentam concentração de cloretos de 0,005%, 0,010%, 0,050%, 0,100% e 0,300%. Isto posto, efetuou-se a determinação do teor de cloretos solúveis das amostras, através do procedimento descrito a seguir (SILVESTRO, 2018; SILVESTRO et al., 2018):

- pesagem de 3 g da amostra na forma pulverulenta;
- diluição da amostra de 3 g em 20 ml de água deionizada;
- mistura da solução por 1 minuto em um agitador magnético;
- inserção do eletrodo na solução, esperando um minuto para a realização da leitura;
- lavagem do eletrodo com água deionizada e secagem com papel toalha para a realização de novas leituras.

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Resistência à compressão uniaxial

Na Tabela 1 são apresentados os resultados de resistência à compressão aos 28 dias dos concretos e argamassas preparados com o cimento CP III e relações a/c de 0,45, 0,55 e 0,65.

Tabela 1 - Resistência à compressão dos concretos e argamassas aos 28 dias

Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)		
	Concreto	Argamassa	Diferença
0,45	37,5	34,0	9,3%
0,55	30,0	24,7	17,7%
0,65	22,5	17,0	24,4%

Fonte: ANDRADE (2013)

3.2 Caracterização ambiental

No período de exposição dos prismas, de julho/2012 a junho/2015, a temperatura mensal média foi de 24,1 °C, a temperatura mínima média de 18,4 °C e a temperatura máxima média de 32,4 °C. Já a umidade relativa mensal média foi de 81,7%. Em relação aos ventos, a velocidade mensal média foi de 2,9 m/s e a direção predominante a norte (N).

3.3 Perfis de cloretos

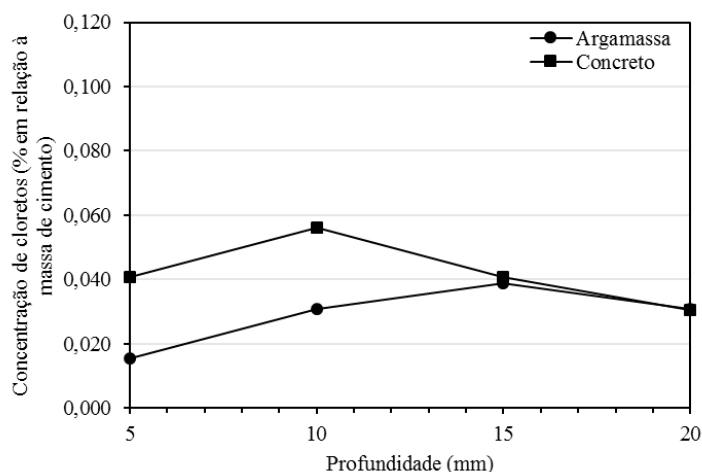
Cabe salientar que, por se tratar de uma pesquisa realizada em ambiente natural, o ingresso de cloretos para o interior dos prismas de concreto e argamassa se dá de forma mais lenta, o que justifica a baixa concentração encontrada em algumas configurações e o fato de que nenhuma das fatias atingiu a concentração crítica, adotada neste trabalho como 0,4% de cloretos em relação à massa de cimento. Além disso, as baixas concentrações também podem ser justificadas pela

distância dos prismas em relação ao mar (1,8 km) e pelo pequeno tempo de exposição dos mesmos.

Como a concentração de cloretos foi avaliada nas camadas superficiais dos concretos e argamassas (até 20 mm), é importante ressaltar que nessa região o transporte de cloretos usualmente é dominado pela absorção, em função da variação de umidade do ambiente e dos ciclos de molhagem e secagem. Isto justifica o fato de que os perfis encontrados na pesquisa não seguem o comportamento esperado de acordo com a difusão, mecanismo predominante no transporte de íons cloreto nas camadas mais internas da matriz cimentícia.

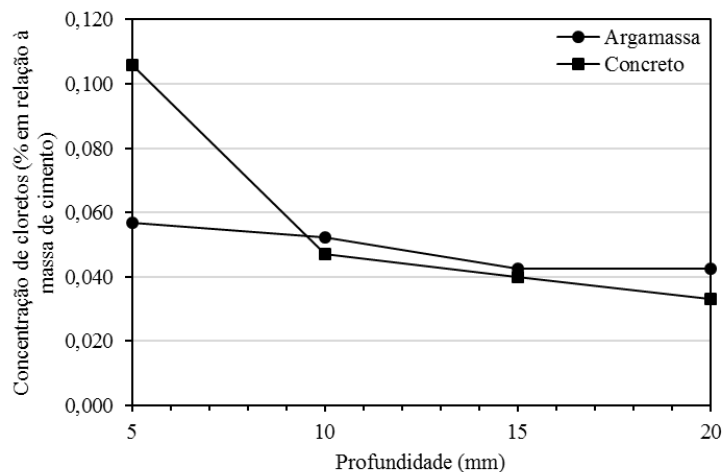
Nas Figuras 4, 5 e 6, são apresentados os perfis de cloretos dos concretos e argamassas moldados com cimento CP III e relações a/c de 0,45, 0,55 e 0,65 que permaneceram expostos por um período de 3, 2 e 1 ano, respectivamente.

Figura 4 - Perfis de cloretos de 3 anos do concreto e argamassa com relação a/c=0,45



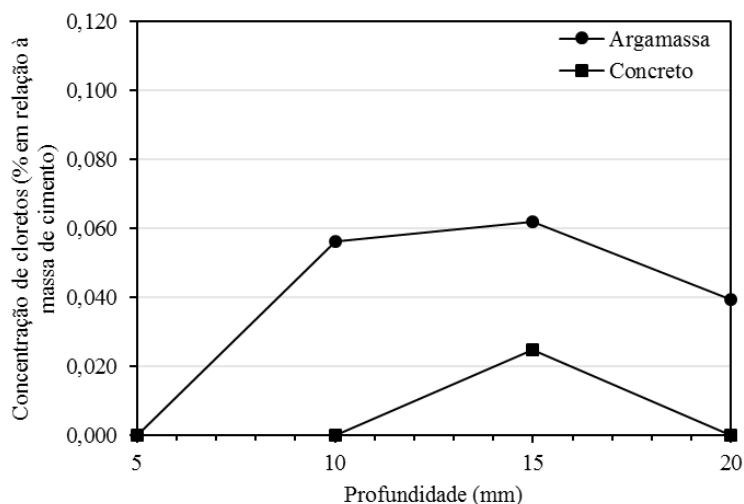
Fonte: SILVESTRO (2018)

Figura 5 - Perfis de cloretos de 2 anos do concreto e argamassa com relação a/c=0,55



Fonte: SILVESTRO (2018)

Figura 6 - Perfis de cloretos de 1 ano do concreto e argamassa com relação a/c=0,65



Fonte: SILVESTRO (2018)

Em relação às diferenças na penetração de cloretos em concretos e argamassas moldados com os mesmos materiais e relações a/c, os comportamentos gerais observados são os descritos a seguir:

- Os prismas de concreto apresentaram concentração de cloretos superior aos de argamassa para as configurações com relação a/c=0,45 e a/c=0,55;
- Os prismas de argamassa apresentaram concentração superior aos de concreto para as configurações com relação a/c=0,65.

Inicialmente é importante expor a constatação feita por Vidal, Castel e François (2007) em um estudo realizado em vigas de concreto que permaneceram expostas a íons cloretos por 28 anos em ambiente laboratorial. Os autores sugerem que a extração de amostras de concreto sob a forma pulverulenta através de furos de pequenos diâmetros, inferiores à dimensão máxima característica do agregado graúdo (DMC), pode gerar uma amostra não representativa quando a broca acidentalmente atinge um agregado, o que pode levar a uma subestimativa do teor de cloretos. Isto porque o concreto é um meio heterogêneo e que os agregados graúdos, diferentemente da matriz cimentícia, não possibilitam a passagem de cloretos (POULSEN; MEJLBRO, 2006). Vidal, Castel e François (2007) inicialmente utilizaram uma broca com diâmetro de 10 mm para extração das amostras, tamanho próximo

da DMC dos agregados graúdos utilizados na pesquisa. Após esta constatação, tais autores passaram a extrair um fino pó de concreto através da utilização de um disco com diâmetro de 30 mm, tamanho cerca de três vezes superior a maior dimensão do agregado graúdo utilizado.

No presente estudo, realizado com os prismas de concreto e argamassa que permaneceram expostos em Vitória, foi utilizada uma broca com diâmetro de 6 mm em função da pequena dimensão das fatias de tais prismas. Já o agregado graúdo utilizado nos concretos possuía DMC de 25 mm, conforme previamente apresentado. Desta forma, em função do exposto anteriormente por Vidal, Castel e François (2007), o procedimento de retirada de amostras empregado nesta pesquisa pode não ter sido o mais adequado, em função da relação entre a dimensão da broca utilizada e do tamanho do agregado graúdo.

No que se refere aos resultados obtidos nessa pesquisa, para as configurações com relação a/c = 0,45 e 0,55, os exemplares de concreto apresentaram concentração superior aos de argamassa. Esse comportamento pode ser justificado pelo fato de que a inserção de agregados graúdos na pasta de cimento torna o concreto um material heterogêneo e que, conforme destacado por Mehta e Monteiro (2014), isto aumenta consideravelmente a sua permeabilidade, de forma que, quanto maior a dimensão do agregado, maior a zona de transição entre a pasta e o agregado e, conseqüentemente, maior a permeabilidade do concreto.

Nesse contexto, segundo Wang et al. (2018), o concreto pode ser considerado um material compósito heterogêneo, composto de três fases, denominadas de pasta de cimento, agregado e zona de transição. A zona de transição corresponde à região no entorno dos agregados, tanto do graúdo como do miúdo. Desta forma, a argamassa também é um material composto por pasta de cimento, agregado miúdo e a zona de transição. Contudo, no geral, é considerada como um meio de transporte homogêneo para os íons cloreto, devido ao pequeno tamanho dos poros e da dimensão do agregado miúdo em relação ao graúdo. Por isso, o efeito do agregado na difusão dos cloretos para o interior de estruturas de concreto pode ser atribuído ao agregado graúdo. Os autores ainda acrescentam que a zona de transição é caracterizada por uma alta concentração de cristais de hidróxido de cálcio e uma maior porosidade próxima à superfície das partículas do agregado, o que resulta numa maior difusividade dessa região em comparação com a fase de argamassa. Liao et al. (2004) verificaram, através da microscopia eletrônica de varredura, que a extensão da zona de transição do concreto, dependente fundamentalmente da dimensão máxima do agregado, corresponde a uma faixa de aproximadamente 100 µm entre a pasta e o agregado graúdo, sendo que a zona mais fraca fica dentro do intervalo de 0 – 15 µm em relação à borda do agregado, dado que os

poros se concentram nessa região. De acordo com Yang e Cho (2005), com base em resultados experimentais do ensaio de migração de cloretos, o coeficiente de migração da zona de transição é aproximadamente 37-40 vezes maior que o coeficiente da matriz de argamassa, para relações a/c entre 0,35-0,55, respectivamente. Liu (2015) observou que o coeficiente de difusão de cloretos da zona de transição é 35 vezes superior ao da argamassa, para uma relação a/c = 0,4 e fração de agregados graúdos de 0,4. As informações anteriormente expostas justificam os resultados encontrados nesta pesquisa para os concretos e argamassas com relação a/c = 0,45 e 0,55 moldados com os mesmos materiais.

Por fim, apresentando uma tendência oposta ao verificado nas as relações a/c de 0,45 e 0,55, para as configurações com relação a/c de 0,65 observou-se que os exemplares de argamassa apresentaram concentrações de cloretos superiores. Possivelmente este comportamento pode ser consequência da elevada porosidade dos concretos com relação a/c de 0,65, fazendo com que a influência da zona de transição não seja tão significativa nestes casos.

4 CONCLUSÕES

Os perfis de cloretos dos prismas de concreto e argamassa moldados com os mesmos materiais e relações a/c de 0,45, 0,55 e 0,65 indicaram que:

- Os prismas de concreto apresentaram concentração de cloretos superior aos de argamassa para as configurações com relação a/c=0,45 e a/c=0,55. Esse comportamento pode ser justificado pelo fato de que a inserção de agregados graúdos na pasta de cimento torna o concreto um material heterogêneo e isso aumenta consideravelmente a sua permeabilidade, de forma que, quanto maior a dimensão do agregado, maior a zona de transição entre a pasta e o agregado e, conseqüentemente, maior a permeabilidade do concreto.
- Os prismas de argamassa apresentaram concentração superior aos de concreto para as configurações com relação a/c=0,65. Este comportamento pode ser consequência da elevada porosidade dos concretos com relação a/c de 0,65, fazendo com que a influência da zona de transição não seja tão significativa nestes casos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. J. O. **Análise de desempenho e previsão de vida útil de concretos carbonatados**. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2013. 106 p. Relatório de pesquisa do Programa Pesquisador Gaúcho (PqG 2010), 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazio. Rio de Janeiro, 2006.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: Cimento Portland de Alto Forno. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809**: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Parte 1: Desempenho de Edifícios Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.
- AUSTRALIA STANDARDS. **AS 4997** - Guidelines for the Design of Maritime Structures, Australia, 2005.
- DASAR, A.; et al. Deterioration progress and performance reduction of 40-years-old reinforced concrete beams in natural corrosion environments. **Construction and Building Materials**, v. 149, p. 690 – 704, 2017.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349 p.
- INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE. **FIB Bulletin 34**: Model Code for Service Life Design, 2006.
- LIAO, K.; et al. A study on characteristics of interfacial transition zone in concrete. **Cement and Concrete Research**, v.34, p. 977-989, 2004.
- LIU, H. **Research on experiment of chloride diffusion in concrete considering the effects of coarse aggregate**, Tianjin University, Tianjin, China, 2015.
- LIU, J.; et al. Effects of chlorides ions on carbonation rate of hardened cement paste by X-ray CT techniques. **Construction and Building Materials**, v.122, p. 619-627, 2016.
- MARIC, M. K.; et al. Service life prediction of concrete structures in marine environment – case study: Maslenica Motorway Bridge. 1st International **Conference on Construction Materials for Sustainable Future**. Zadar, p. 1–10, 2017.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Concrete: Microstructures, Properties, and Materials**. McGraw-Hill, 2014.

- OTIENO, M.; BEUSHAUSEN, H.; ALEXANDER, M. Effect of chemical composition of slag on chloride penetration resistance of concrete. **Cement & Concrete Composites**, v. 46, p. 56 – 64, 2014.
- POULSEN, E.; MEJLBRO, L. **Diffusion of chloride in concrete: Theory and Application**, 1. ed., Abingdon, Taylor & Francis, 2006.
- ROMANO, F.S. **Estudo do ingresso de cloretos em estruturas de concreto no Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. 2009. 153 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- SILVESTRO, L. **Validação de modelo para a previsão de vida útil de estruturas de concreto armado: iniciação da corrosão por cloretos**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- SILVESTRO, L.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação de modelos para a previsão de vida útil de estruturas de concreto armado localizadas em ambientes com cloretos. **6ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios (PATORREB)**, Rio de Janeiro, 2018.
- SILVESTRO, L.; VIER, L. A.; PIETZSCH, A. C. C.; DAL MOLIN, D. C. C. Influência da condição de exposição na penetração de cloretos em concretos em zona de atmosfera marinha. **60º Congresso Brasileiro do Concreto**, Foz do Iguaçu, 2018.
- SPIESZ, P.; BROUWERS, H. J. H. The apparent and effective chloride migration coefficients obtained in migration tests. **Cement and Concrete Research**, v. 48, p. 116-127, 2013.
- THOMAS, M. D. A.; MATTHEWS, J. D. Performance of pfa concrete in marine environment – 10 year results. **Cement and Concrete Composites**, v. 26, p. 5-20, 2004.
- VIDAL, T.; CASTEL, A.; FRANÇOIS, R. Corrosion process and structural performance of a 17-year-old reinforced concrete beam stored in chloride environment. **Cement and Concrete Research**, v. 37, p. 1551-1561, 2007.
- WANG, Y.; et al. Prediction model of long-term chloride diffusion into plain concrete considering the effect of the heterogeneity of materials exposed to marine tidal zone. **Construction and Building Materials**, v. 159, p. 297-315, 2018.
- WEERDT, K.; et al. Towards the understanding of chloride profiles in marine exposed concrete, impact of leaching and moisture content. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 418 – 431, 2016.
- XU, J.; et al. Influence of CaCl₂ and NaCl from different sources on chloride threshold value for the corrosion of steel reinforcement in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 663 – 669, 2011.
- YANG, C. C.; CHO, S. W. Approximate migration coefficient of percolated interfacial transition zone by using the accelerated chloride migration test. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 344 – 350, 2005.