XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO REVESTIDAS COM ARGAMASSA

Evaluation of the useful life of reinforced concrete structures coated with mortar

BANDEIRA[1], PERCEGO[2], MORAES[3], TESSARO[4], MATTOS[5]
[1] Prof. Dr., Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande, jorgebandeira@furg.br
[2] Graduanda, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande, ingrid.telles.moraes@hotmail.com
[3] Graduanda, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande, anna_percego@hotmail.com
[4] Profª. Drª., Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande, alessandrabuss@gmail.com
[5] Profª. Dra., Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande, fcmattos@furg.br

RESUMO
Argamassas de revestimento de estruturas de concreto armado, localizadas em ambiente costeiro, não são consideradas no processo de retardar a frente de cloretos. Neste contexto, objetiva-se avaliar a vida útil de estruturas revestidas. Para isto, foram confeccionados corpos de prova de argamassa, concreto e concreto revestido, variando o grau de saturação e submissão a ensaios utilizando metodologia referenciada. A análise deu-se pela elaboração dos perfis de cloretos, coeficiente de difusão calculado e aplicação de modelo matemático determinando o tempo de despassivação da armadura. Concluiu-se, que a argamassa pode retardar a corrosão da armadura, no entanto, a utilizada neste estudo, obteve pouca eficácia comparando com argamassas de estudos anteriores. Logo, é necessário, que estudos sobre outras composições sejam efetuados para melhorar a eficiência das argamassas no acréscimo da vida útil das estruturas, contribuindo para soluções mais econômicas e sustentáveis.

Palavras-chave: Íons cloreto. Grau de saturação. Durabilidade. Argamassa industrializada.

ABSTRACT
Coating mortars for reinforced concrete structures located in coastal environments are not considered in the process of retarding the chloride front. In this context, the objective is to evaluate the service life of coated structures. For this purpose, test specimens of mortar, concrete and coated concrete were prepared, varying the degree of saturation and subjected to tests using a referenced methodology. The analysis was carried out by preparing chloride profiles, calculating the diffusion coefficient and applying a mathematical model to determine the depassivation time of the reinforcement. It was concluded that the mortar can retard corrosion of the reinforcement; however, the mortar used in this study had little effectiveness when compared to mortars from previous studies. Therefore, studies on other compositions are necessary to improve the efficiency of mortars in increasing the service life of structures, contributing to more economical and sustainable solutions.

Key-words: Chloride ions. Saturation degree. Durability. Industrialized mortar.

Como citar:
BANDEIRA, J. L.; PERCEGO, A. B.; MORAES, I.; TESSARO, A. B.; MATTOS, F. C.Avaliação da vida útil de estruturas de concreto armado revestidas com argamassa. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025

INTRODUÇÃO

A corrosão e deterioração de estruturas em concreto armado por íons cloreto tem se mostrado um grande problema para a indústria da construção. As estruturas encontradas em ambientes marítimos são as que mais sofrem, já que os cloretos, presentes neste ambiente, podem penetrar na estrutura chegando ao aço, causando danos que interferem na longevidade da estrutura [1].

Estima-se que 4% a 10% do PIB de diversos países são gastos na recuperação das estruturas de concreto devido aos problemas de corrosão, em valores referentes a 2016 [2]. Neste mesmo sentido, afirma-se que em torno de 50% das estruturas devem ser reparadas ao completarem 10 anos [3].

No Brasil, por ter uma imensa costa marítima, a preocupação com a vida útil das estruturas de concreto armado é significativa [4], pois especialmente nestas as mudanças climáticas podem elevar a temperatura e a umidade, o que tende a acelerar o processo de deterioração. Com o aumento projetado das temperaturas globais e da umidade, é urgente intensificar os estudos sobre o impacto desses fatores na integridade do concreto armado. Esse processo pode acelerar a degradação das infraestruturas urbanas e das construções em geral, gerando elevados custos econômicos para o país. Uma avaliação, por exemplo, das pontes de concreto armado nos Estados Unidos estima que o prejuízo econômico causado pela corrosão do aço pode ultrapassar US$ 200 milhões [5].

O grau de saturação do concreto (GS) é um importante fator para o processo de penetração de íons cloreto no seu interior. O nível de saturação da estrutura porosa interligada determina caminhos para os cloretos durante o processo de difusão. Além disso, as variações do GS geram movimento (convecção) da água contida na rede porosa, fazendo com que o fluxo seja tanto para dentro como para fora do concreto [6].

A influência do GS sobre a difusão de íons cloreto tem sido objeto de inúmeras pesquisas, sendo demonstrada a sua importância em modelos de análise de vida útil de estruturas de concreto armado. Dentre vários desses estudos, pode-se citar: [7]-[21], entre outros.

Em ambientes costeiros, é comum, nas edificações, o uso de revestimentos argamassados, que podem colaborar para a proteção contra agentes agressivos [22]. Em estudo utilizando argamassa virada em obra Bandeira *et al*. [23] verificou que mesmo a argamassa de uso mais comum quando utilizada como revestimento, pode trazer ganho na vida útil das estruturas de concreto armado.

As argamassas cimentícias que constituem o revestimento de inúmeras estruturas de concreto armado em edificações localizadas em ambientes costeiros, não são levadas em conta como elemento que pode retardar ou evitar a chegada dos cloretos na armadura e estudos neste sentido são poucos ou raros: Malheiros *et al*. [22] estudou a influência de argamassas executadas em obra do tipo industrializadas como revestimento de concreto saturado na presença de cloretos; Bandeira [24] determinou metodologia para avaliação da influência do revestimento argamassado em concretos saturados e não saturados, além de

verificar a extensão da vida útil ao considerar a argamassa, para estruturas localizadas em ambiente marítimo.

A presente pesquisa busca avaliar a contribuição do revestimento argamassado com argamassa industrializada na proteção de estruturas de concreto armado situadas em ambientes marítimos variando seu GS. A relevância prática deste estudo é significativa para a indústria da construção, pois proporciona dados sobre a eficiência dos revestimentos como uma solução econômica e eficaz para aumentar a vida útil das estruturas em ambientes agressivos.

PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E METODOLOGIA

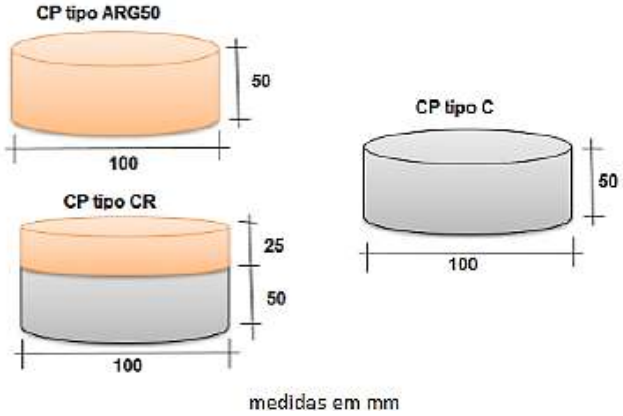
O programa experimental baseou-se na metodologia utilizada em pesquisas de, Guimarães e Helene [9], Guimarães *et al.* [14], Bandeira *et al.* [18], Bandeira [24] e Climent *et al.* [25]. Os procedimentos foram realizados no laboratório de Química dos Materiais de Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

MATERIAIS E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA (CPS)

Foram confeccionados cps de argamassa (ARG), de concreto (C) e de concreto com revestimento argamassado (CR). Para o concreto foi adotado o traço, em massa, 1:2,12:2,88 (cimento, areia e brita), relação a/c de 0,55 e consumo de cimento de 355kg/m³. Nos cps tipo CR a superfície a ser revestida, previamente foi chapiscada com argamassa de cimento e areia, traço 1:3, em massa.

Para os cps de argamassa e para o revestimento dos cps tipo CR, foi utilizada argamassa industrializada para revestimento de fabricante da região do RS e, segundo seu fabricante, tem em sua composição cimento Portland, cal hidratada e areia de quartzo classificada. Nos cps tipo (C) utilizou-se cimento Portland tipo CP-V-ARI-RS [26], areia, oriunda da cidade de Pelotas, RS, as britas, de origem graníticas, foram as nº1 e nº0 originárias da cidade de Capão do Leão, RS, e a água para amassamento dos concretos e da argamassa foi procedente da rede pública da cidade do Rio Grande, RS. Todos os materiais foram caracterizados por ensaios de acordo com as normas técnicas pertinentes. A Figura 1 apresenta desenho esquemático com formato, dimensões dos cps fabricados e nomenclatura utilizada. Os corpos de prova denominados de ARG50 são aqueles confeccionados com argamassa e com altura de 50mm; tipo CR, são aqueles confeccionados em concreto e revestidos posteriormente com argamassa; tipo C, são aqueles confeccionados com concreto.

Figura 1 – Secção típica do cps.



Fonte: Bandeira (2022) [24].

As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores dos ensaios de caracterização das matérias primas utilizadas, bem como dos materiais dos corpos de prova.

Tabela 1 – Caracterização das matérias primas.

Características	Cimento	Argamassa	Areia	Brita 0	Brita 1
Massa específica (g/cm³)	3,16	2,60	2,61	2,67	2,68
Massa unitária (g/cm³)	1,35	1,25	1,48	1,37	1,39
Módulo de finura	-	-	2,43		
Diametro máx (mm)	-	-	2,40	9,50	19,00
Resist. à compressão (MPa)	43,80	1,80	-	-	-

Fonte: Os autores (2025).

Tabela 2 – Caracterização dos Corpos de Prova.

Característica	Concreto (C)		Argamassa (ARG)		Concreto Revestido (CR)
	Estado Fresco	Estado Endurecido	Estado Fresco	Estado Endurecido	
Índice de consistência(mm)	110,00	-	272,00	-	-
Massa específica (kg/m³)	-	2284,00	-	2050,00	-
Absorção por imersão (%)	-	6,65	-	16,30	7,79
Índice de vazios (%)	-	14,66		29,23	-
Absorção por capilaridade (g/cm²)	-	1,44	-	3,11	-
Resistência à compressão 28dias (MPa)	-	40,9	-	8,01	-
Resistência à tração na flexão 28dias (MPa)	-	-	-	1,84	-

Fonte: Os autores (2025).

METODOLOGIA

DIFUSÃO

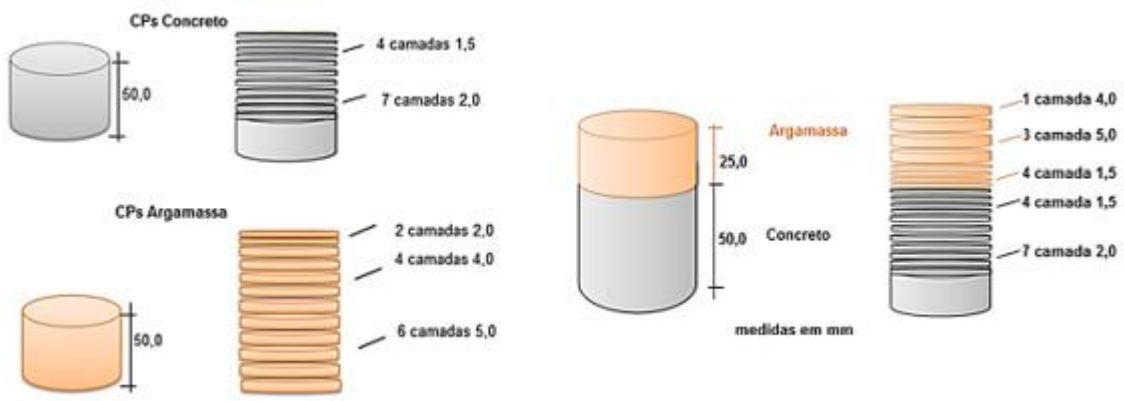
Para submeter os cps ao processo de difusão iônica adotou-se, os seguintes procedimentos preliminares: saturação dos CPs à vácuo, utilizando a mesma metodologia de Antón [13], norma brasileira NBR 9778 [27] e norma americana C-1202 [28]; dotar os cps com GS alvo, a qual neste estudo foi adotado 100%, 80% e 60%, definidos esses valores por serem aqueles mais predominantes nas estruturas situadas em regiões costeiras ou próximas segundo Meira [29] e Souza [30]; contaminação em uma das superfícies dos cps com 10g de NaCl (cloreto de sódio) e vedação desta superfície com fita adesiva e, por último, cada cps com seu respectivo GS, e contaminados, foram ensacados em três sacos plásticos utilizando sistema de vácuo [24].

Após esses procedimentos preliminares, os cps foram submetidos à difusão e, para isto, foram acondicionados em recipientes hermeticamente vedados, separados por tipo e GS, com temperatura e umidade controladas. O tempo de permanência neste ambiente variou conforme o tipo e GS, sendo que, de forma geral, o procedimento de difusão variou de 20 a 65 dias.

EXTRAÇÃO

Este processo consiste em obter amostras em pó de cada camada previamente estabelecida de cada cps, a fim de, posteriormente, submetê-las ao ensaio de titulação potenciométrica. Espessuras e quantidade das camadas foram as mesmas adotadas por Bandeira [24]. A Figura 2 ilustra desenho esquemático das camadas para cada cps.

Figura 2 – Secção típica das camadas.



Fonte: Adaptada de Bandeira (2022) [24].

ENSAIOS DE TITULAÇÃO POTENCIOMÉTRICA

Através deste ensaio químico determina-se, por fim, as concentrações de cloretos em cada camada possibilitando, assim, a composição dos perfis e através do ajuste da curva, utilizando-se a Segunda Lei de Fick (1) e o método dos mínimos quadrados, obtém-se o valor do

coeficiente de difusão (D) de cada cps e da concentração superficial (Cs) dos cps de concreto e argamassa.

$$Cx = Cs \,.\, erfc\,\frac{x}{2\sqrt{D\,x\,t}} \tag{1}$$

Nesta equação (1) tem-se:

Cx é a concentração em uma profundidade *x* após um tempo *t*; *erfc* é a função erro de Gauss; *D* é o coeficiente de difusão (constante); *t* é o tempo do evento; *Cs* é a concentração superficial (constante)

Para a determinação dos valores de difusão e Cs nos cps revestidos, utiliza-se um modelo matemático [31] para dois materiais distintos, revestimento argamassado e concreto. Eis que, a difusão terá valores diferentes. Assim, tem-se D1 para valores de difusão no revestimento e D2 para o concreto. As equações (2), (3), (4) e (5) expressam esse modelo.

$$C_1 = C_s \sum_{n=0}^{\infty} a^n \left\{ erfc\cdot\frac{(2n+1)\cdot l+x}{2\sqrt{D_1 t}} - \alpha erfc\cdot\frac{(2n+1)\cdot l-x}{2\sqrt{D_1 t}} \right\} \tag{2}$$

$$C_2 = \frac{2kC_s}{k+1} \sum_{n=0}^{\infty} a^n erfc\cdot\frac{(2n+1)\cdot l+kx}{2\sqrt{D_1 t}} \tag{3}$$

$$k = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{4}$$

$$\alpha = \frac{1-k}{1+k} \tag{5}$$

Nas equações acima tem-se:

C_1 é a concentração no revestimento, C_2 é a concentração no concreto.

De forma suscinta, essa metodologia compõe-se de um tratamento preliminar do material em pó, o ensaio químico de potenciometria e, com a detecção do ponto de equivalência, determina-se o percentual de cloretos para cada camada de cada corpo de prova.

Previsão da Frente de Cloretos

A partir das equações (2), (3), (4) e (5), pode-se obter previsões da frente de cloretos para cada cps revestido e, assim, ter um prognóstico de vida útil para a estrutura. Para isto, é utilizada como condição de contorno a concentração superficial de cloreto (Cs), a qual mantém constante ao longo do tempo. Adota-se valores de Cs estabelecidos pela norma japonesa [32] e cujos valores são semelhantes àqueles de Nunes [33] e de Guimarães e Helene [9] em estruturas existentes.

Com o prognóstico obtido, compara-se para o mesmo ambiente (Classe de Agressividade Ambiental da NBR 6118) [34] a previsão de vida útil de uma estrutura de concreto armado

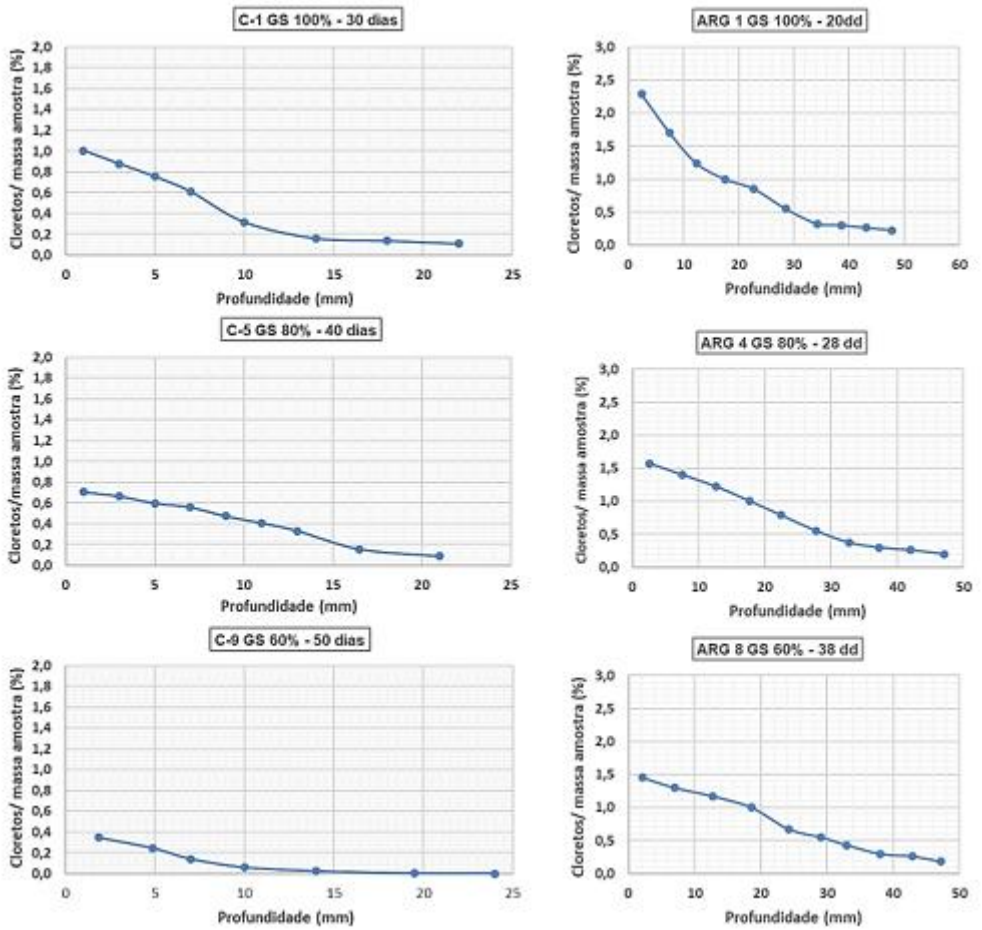
sem revestimento, utilizando-se a equação (1), o modelo D x GS obtido por Bandeira [24], Cs do local (JSCE nº 15) [32], concentração de cloretos (Cx), em relação à massa da amostra, cujo valor é 0,07% e o cobrimento mínimo para o local da estrutura (x), determinado pela NBR 6118 [34] e, assim, verificando o nível de contribuição do revestimento argamassado na durabilidade de uma estrutura de concreto armado em ambiente marítimo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

PERFIS DE CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS

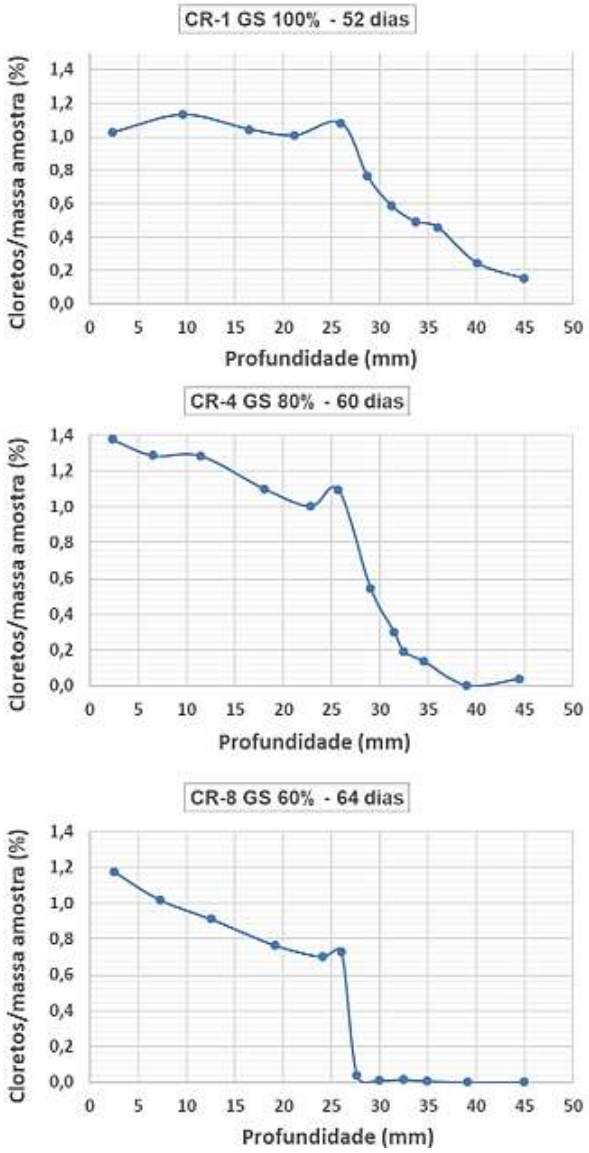
De modo geral, os perfis de concentração de cloretos de todos cps apresentaram comportamento semelhantes àqueles obtidos nas pesquisas de Bandeira [24] e de Malheiros *et al*. [22]. A Figura 3 expõe algum dos gráficos elaborados dos cps de concreto e de argamassa e a Figura 4, os gráficos para cps de concreto revestido.

Figura 3 – Perfis de Concentração de Cloretos, cps tipo C e tipo ARG.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 4 – Perfis de Concentração de Cloretos, cps tipo CR.

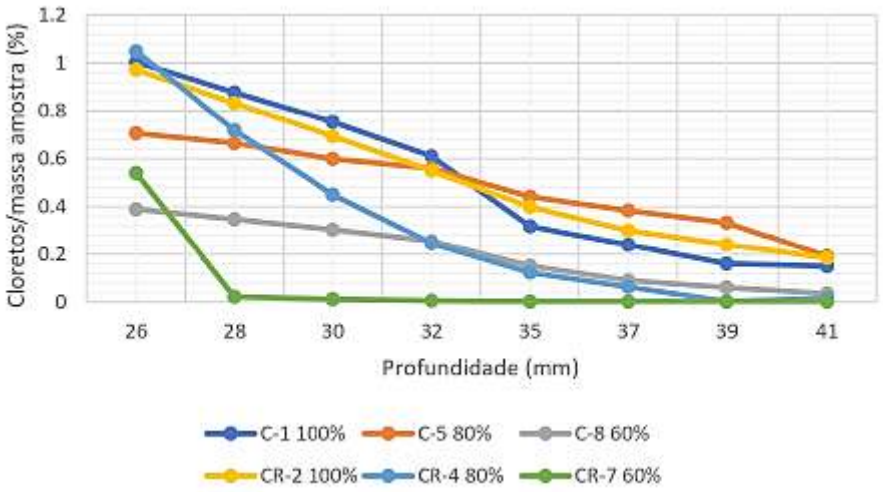


Fonte: Os autores (2025).

Nas Figuras 3 e 4, verifica-se que nos CPs tipo (CR) há uma afluência maior no revestimento e, principalmente, nas proximidades da zona de interface com o concreto. Essa maior concentração na argamassa deve-se a sua microestrutura de poros ser bem maior em relação ao concreto. Analisando os valores de índices de vazios e de absorção por imersão (Tabela 2), entre o concreto e a argamassa, observa-se essa ampla diferença. Em estudos de Miranda [1] com dois traços de argamassas para revestimento, um composto de cimento Portland, cal hidráulica, areia média e areia fina e outro de mesmo traço, porém com 10% de substituição do cimento por cinza proveniente da queima de carvão, obteve valores menores do índice de vazios e absorção por porosidade, em relação à argamassa deste estudo, mas, valores maiores em relação ao concreto.

A Figura 5 apresenta gráfico onde compara os perfis de cloretos no concreto revestido, após a interface, e o não revestido, para cada GS.

Figura 5 – Gráfico dos perfis de cloretos no concreto para cps tipo CR e C, para cada GS.



Fonte: Os autores (2025).

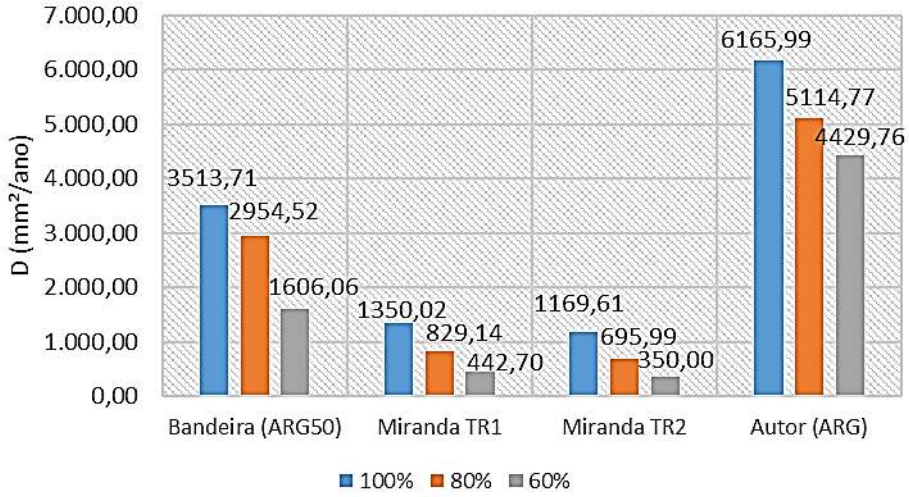
Observando-se o gráfico acima, evidencia-se a contribuição da argamassa na redução da concentração de cloretos no concreto, similarmente ao determinado por Bandeira *et al*. [23]. Também se evidencia a influência do GS na difusão dos íons cloreto, tal como os estudos de [1][14][18][23].

Coeficientes de Difusão (D) dos Cps Tipo (C) e Tipo (Arg)

Os coeficientes de difusão dos cps de concreto apresentaram valores semelhantes ao estudo de Bandeira [24], justifica-se tal fato por ser sido utilizado o mesmo traço e tipo de cimento. Os valores médios obtidos de D foram os seguintes: 156,69 mm²/ano com GS de 100%; 113,41 mm²/ano para GS de 80% e 75,63% de GS 60%. Verifica-se a coerência destes valores, não somente pela semelhança com o concreto de [24] como, também, pela confirmação de que quanto maior o GS, maior D.

Quanto aos valores de D para os cps de argamassa, estes se apresentaram muito maiores do que aqueles determinados em [24] e os determinados em [1]. A Figura 6 ilustra gráfico de comparação com os dados deste estudo e aqueles obtidos pelos estudos já citados acima.

Figura 6 – Gráfico com valores de D para cps de argamassa.



Fonte: Os autores (2025).

Observa-se, na Figura 6, a grande diferença do coeficiente de difusão da argamassa deste estudo, em comparação com as demais. Isso, inicialmente, pode ser justificado pelos valores de índices de vazios e absorção total (Tabela 2) que são superiores em relação à argamassa da pesquisa de Bandeira [24] e argamassas de Miranda [1]. Os valores deste estudo foram de 29,23% e 16,30% para índice de vazios e absorção total, respectivamente, já os valores obtidos por Bandeira [24] foram de 18,78% e 10,21%. Miranda, [1] obteve, para os dois traços de argamassa estudados, valores intermediários entre a argamassa de Bandeira [24] e desta pesquisa.

O menor coeficiente de difusão das argamassas de Miranda [1], em relação as demais, pode ser explicado pelo fato de que esse autor utilizou cal hidráulica, cimento Portland tipo CP-IV-32 [26], que tem aproximadamente 50% de cinza em sua composição além de cinza na substituição de 10% do cimento em um dos traços, mesmo com valores maiores de vazios e de absorção, na comparação com Bandeira [24].

A adição de cinza, tanto na substituição parcial do aglomerante, como, adicionada na fabricação do aglomerante, contribuem para o “empacotamento” da microestrutura dos compósitos cimentícios [35]. Logo, as argamassas estudadas por Miranda [1] possuem, muito provavelmente, uma rede de poros descontínua, determinando, por consequência, menores coeficientes de difusão (D). Na argamassa deste estudo, com valores maiores de D, além de possuir a maior porosidade, presumivelmente a rede porosa interconectada é maior em relação as demais.

Coeficientes de Difusão (D) dos Cps de Concreto Revestido (CR)

A partir do modelo apresentado pelas equações (2) a (5), foram determinados os coeficientes de difusão D1 do revestimento argamassado e D2 do concreto revestido para cada GS. A Tabela 3 apresenta esses valores.

Tabela 3 – Coeficientes de difusão CR.

Tipo de CP - GS	Concentração Superficial (Cs) (% massa amostra)	Coeficiente de Difusão Médio (Dm)	
		D1	D2
CR – 100%	1,25	7300,00	1000,00
CR – 80%	1,35	3090,00	116,50
CR – 60%	1,28	1555,00	42,00

Fonte: Os autores (2025).

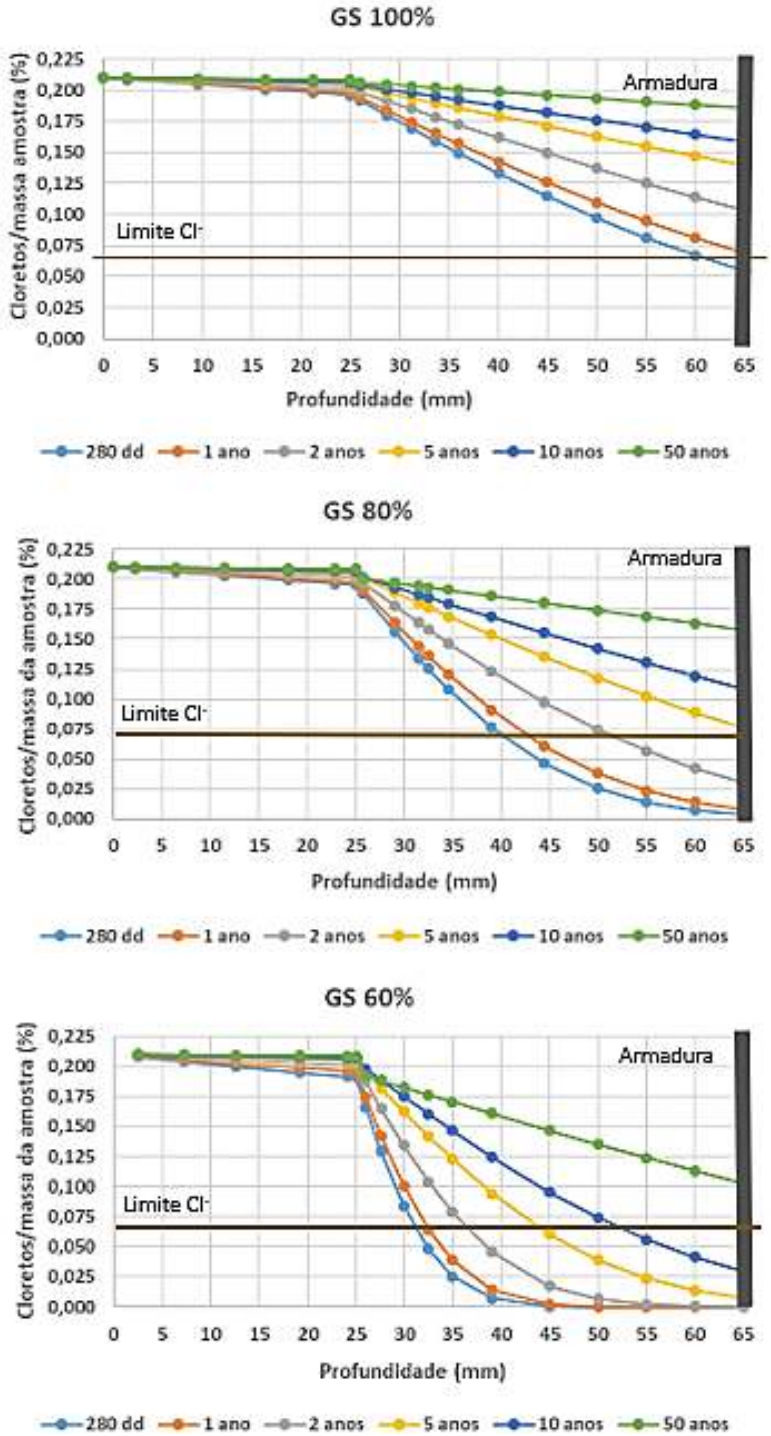
Pode-se observar pelos valores apresentados acima, que o coeficiente de difusão no revestimento (D1) é bem maior do que no concreto (D2). A relação D1/D2 para GS de 100% é de 7,3, no GS 80% D1/D2 é de 26,5 e para GS 60% é de 37,0. Bandeira [24] obteve relações de D1/D2 da ordem de 20,0 para 150 dias de difusão e cerca de 15,0 para 280 dias de difusão. Como neste estudo foi realizado com tempo menor de difusão, médio de 40 dias, isto pode levar a pouco tempo para que haja a maior fluência de cloretos pelo concreto, fazendo com que a relação D1/D2 seja maior.

Previsão da Frente de Cloretos

Para avaliar a aplicação como ferramenta de previsão da vida útil das estruturas de concreto revestido, foi iniciado, a partir do perfil obtido para as amostras, para 280 dias de difusão, mesmo tempo inicial utilizado por Bandeira [24]. Assim, foram estimados os perfis de cloretos até 50 anos, considerando diferentes valores de GS.

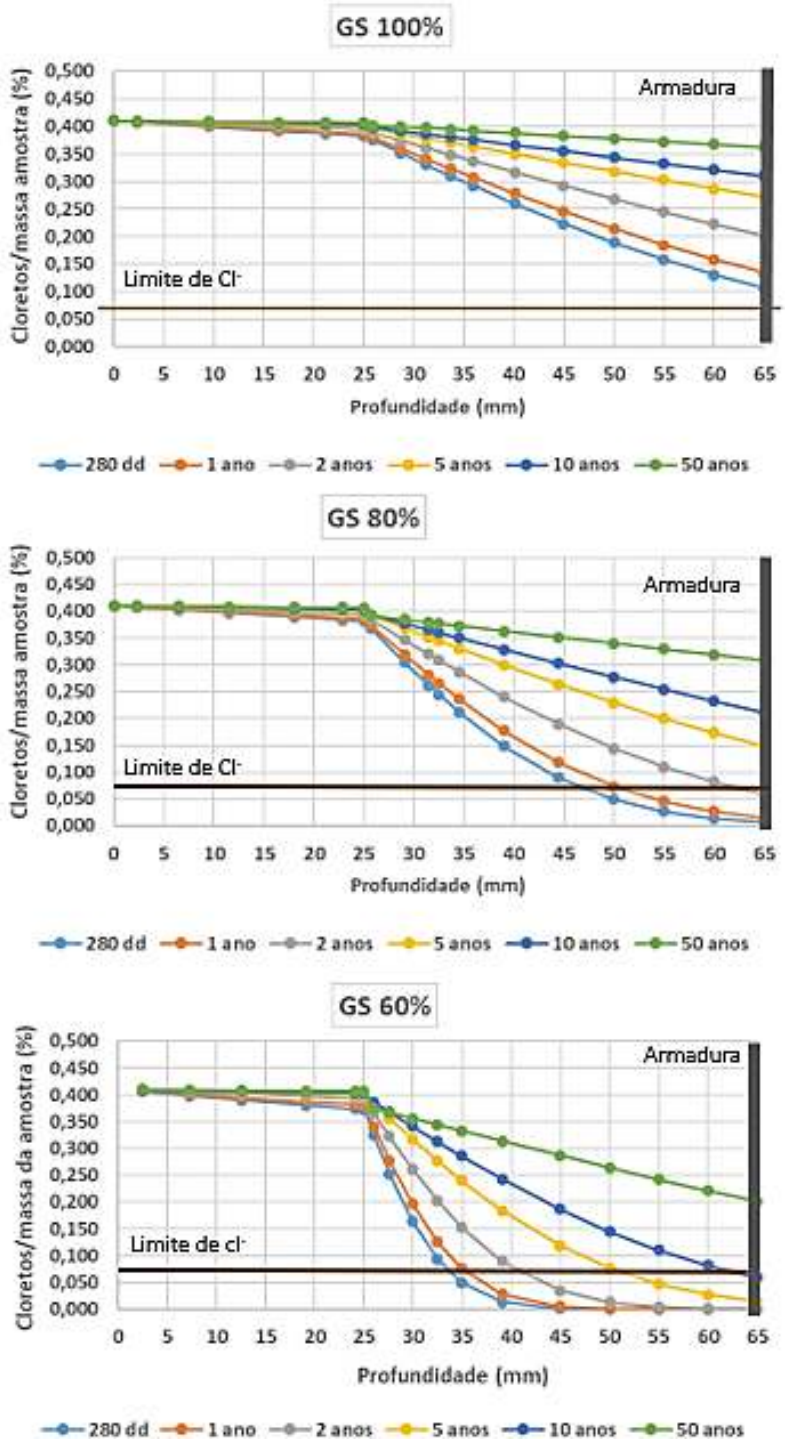
As Figuras 7 e 8 apresentam gráficos obtidos com a modelagem, considerando duas regiões para localização da estrutura: 100 metros da costa e à beira mar. A barra preta à direita do gráfico representa a armadura distante 40 mm da interface revestimento/concreto que é o cobrimento preconizado pela NBR6118 [34] para ambientes marítimos. A linha horizontal de cor marrom, representa a mínima concentração de teor de cloretos para o início da despassivação da armadura.

Figura 7 – Gráficos de previsão da frente de cloretos para 100 m da costa.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 8 – Gráficos de previsão da frente de cloretos para beira mar.



Fonte: Os autores (2025).

Na análise dos gráficos mostrados acima, de modo geral, verifica-se a influência do GS na difusão de cloretos, a influência da distância da costa, bem como a pouca contribuição da argamassa utilizada nesta pesquisa.

Considerando as duas situações de localização da estrutura e GS 100%, em menos de 1 ano a concentração de cloretos mínima para despassivação atinge a armadura. Há de considerar que o cimento utilizado neste estudo não é adequado ao ambiente marítimo, a não ser que seja adicionado algum material com propriedades pozolânicas.

Para o GS 80% a 100m da costa tem-se uma previsão de pouco menos de 5 anos e na beira mar em 2 anos para atingir o nível mínimo de concentração para a despassivação. Importante salientar que a beira mar, a estrutura, dependendo de sua altura pode ter zonas de respingo, zonas de variação da maré e zona de aerossol marinho, ou seja, vários cenários que podem influenciar a penetração de cloretos.

Na situação de GS 60% os dois cenários se apresentam com valores bem maiores que os anteriores, no entanto há de se considerar uma revisão neste aspecto eis que se obteve pouco mais de 20 anos para 100 m da costa e pouco mais de 10 para beira mar. São valores incompatíveis com aqueles obtidos pelo coeficiente de difusão do revestimento. Como provável causa desta discrepância pode-se relacionar a um tempo menor de difusão dos CPs de 60%, ou seja, deveria ser maior que os 65 dias aplicados. Em Bandeira [24], para 60% de GS, a concentração de cloretos mínima atingiu a armadura em aproximadamente 10 anos e considerando que a argamassa utilizada teve melhores índices do que a utilizada nesta pesquisa.

A Tabela 4 constam os valores da previsão de vida útil obtidos nos gráficos da Figuras 6 e 7 comparando com aqueles obtidos por Bandeira [24] e na situação da mesma estrutura sem revestimento situada no mesmo ambiente.

Tabela 4 – Previsões de vida útil para estrutura de concreto armado.

GS (%)	Tempo (anos)			Profundidade (m)
	Esta Pesquisa	Bandeira (2022)	Concreto sem revestimento	
		Beira mar Cs 0,41		
100	0,5	2,9	1,0	
80	2,3	3,6	1,8	65,0
60	11,5	7,8	5,0	
		100 m da costa Cs 0,21		
100	1,0	9,2	6,0	
80	4,5	7,7	6,9	65,0
60	23,4	10,0	9,0	

Fonte: Os autores (2025).

Na análise da Tabela 4 a contribuição desta argamassa para o aumento da vida útil da estrutura é muito pequena, há tão somente na condição de beira mar e GS 80% que a vida útil do concreto revestido é maior. A argamassa utilizada por Bandeira [24] que teve menores valores de coeficiente de difusão, menores índice de vazios e absorção e aumento da vida útil em todos GS e nas duas regiões.

CONCLUSÕES

O GS é um fator de influência na difusão de íons cloreto e esta pesquisa comprovou este fato. Logo, as pesquisas que envolvam compósitos cimentícios em ambiente marítimo a qual o processo de difusão é o meio principal de transporte dos cloretos para o interior da microestrutura devem utilizar a condição saturada e a não saturada.

Os revestimentos argamassados podem contribuir para o retardo da corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado, neste aspecto a argamassa industrializada, utilizada nesta pesquisa, demonstrou que isto é possível.

Não obstante, essa contribuição não teve a eficácia que se esperava. Isso pode ser explicado por tratar-se de uma argamassa comum sem nenhuma especificidade para um ambiente mais agressivo. Foi utilizada, pois na época de início desta pesquisa (2022), ainda era fabricada. Atualmente o fabricante produz tipos de argamassa mais resistentes.

Logo, para trabalhos futuros com adoção da mesma metodologia, deve-se utilizar outros tipos de argamassas sejam industrializadas ou preparadas em obra, a fim de se obter acréscimos da vida útil das estruturas através do revestimento argamassado, possibilitando ao fim que se diminua o cobrimento da armadura nessas condições, trazendo assim, um incremento nos aspectos econômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS

[1] MIRANDA, T.R.; BANDEIRA, J.L.S; TESSARO, A.B. Desempenho de argamassas para revestimento de estruturas de concreto armado situadas em ambientes marítimos**. E&S Engineering and Science**. v. 13, n. 1, p. 1–10, 2024.

[2] INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO - IBRACON. **Revista Concreto & Construções.** Ed. 106 São Paulo, p. 28, 2022. Disponível em: www.ibracon.org.br.

[3] KRISHNAN, N. K. et al. Long-term performance and life-cycle-cost benefits of cathodic protection of concrete structures using galvanic anodes. **Journal of Building Engineering**. v. 42, p. 102467, United Kingdom, 2021.

[4] MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. Editora IFPB, 2017

[5] ZHANG, Y.; AYYUB, B. M. Deterioration of concrete infrastructure due to climate change**. Elsevier eBooks**, p. 351-367, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780443134708000162.

[6] BERNAL, J. M. C. **Evaluación de Parámetros que Influyen en el Transporte de Cloruros em Hormigón Parcialmente Saturado.** Madri 2014. Tesis Doctoral, Escuela Técnica de Superior de Inginieros de Caminos, Canales Y Puertos da Universidad Politécnica de Madrid. España. 374 p.

[7] MARTYS, N. S. Diffusion in Partially-Saturated Porous Materials. **Materials and Structures**, v. 32, p. 555-62, 1999.

[8] GUIMARÃES, A. T. C. **Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos.** São Paulo, 2000. 241 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, PCC/USP – Universidade de São Paulo. 2000.

[9] 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.

[10] CLIMENT, M. A; ANDRADE, C; DE VERA, G.; LÓPEZ, J. F.; VIQUEIRA, E. A test method for measuring chloride diffusion coefficients through nonsaturated concrete, Part I. The instantaneous plane source diffusion case. **Cement and Concrete Research**, v. 32, p. 1113-1123, 2002.

[11] CLIMENT, M. A.; DE VERA, G.; VIQUEIRA, E.; ANTÓN, C.; ANDRADE, C. A test method for measuring chloride diffusion coefficients through partially saturated concrete. Part II: The instantaneous plane source diffusion case with chloride binding consideration. **Cement and Concrete Research**, v. 37, p. 714-724, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.01.008. Acesso em: set. 2014.

[12] NIELSEN, E. P.; GEIKER, M. R. Chloride diffusion in partially saturated cementitious material. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 133-138, 2003.

[13] ANTÓN, C. G. **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.

[14] GUIMARÃES, A. T. C.; CLIMENT, M. A.; DE VERA, G.; 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**, n. 25, p. 785-790, 2011.

[15] GUIMARÃES, A. T. C.; BANDEIRA, J. L. S.; BERNAL, J. M. C. Grau de saturação nos modelos de durabilidade do concreto armado para ataque por cloretos. **Concreto & Construções.** São Paulo, ano 43, n. 79, p.110-115, jul. 2015.

[16] ZHANG, M.; XU, K.; HE, Y. JIVKOV, A. P. Pore-scale modelling of 3D moisture distribution and critical saturation in cementitious materials. **Construction and Building Materials**, v. 64, p. 222–230, 2014.

[17] BANDEIRA, J. L. S.; BERNAL, J. M. C.; GUIMARÃES, A. T. C. Influência do grau de saturação na penetração de cloretos em concretos executados com cimento de alta resistência inicial. In: Iº ENCONTRO LUSO-BRASILEIRO DE DEGRADAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO – DEGRADA 2014, Salvador, Bahia, Brasil, 06 a 09 de agosto de 2014. **Anais** [...]. p. 71-85.

[18] BANDEIRA, J. L. S. **Desempenho de concreto saturado e não saturado executado com cimento ARI-RS 52,5 MPa, com e sem adições, frente ao ataque de cloretos**. 2015.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, 2015.

[19] MORADLLO, M. K.; LEY, M. T. Quantitative measurement of de influence of degree of saturation on ion penetration in cement paste by using X-ray imaging. **Construction and Building Materials**, v. 141, p. 113-129, 2017.

[20] SAVOYE. S.; MACÉ, N.; LEFRÈVRE, S.; SPIR, G.; ROBINET, J.C. Mobility of chloride through cement-based materials under partially saturated conditions. **Applied Geochemistry** v. 96, p. 78-86, set. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.06.011. Acesso em: 18 jul. 2020

[21] ZHANG, Y.; YANG, Z.; YE, G. New insights into long-term chloride transport in unsaturated cementitious materials: Role of degree of water saturation. **Construction and Building Materials,** v. 238, mar. 2020.

[22] MALHEIRO, R.; MEIRA, G.; LIMA, M.; PERAZZO, N. Influence of mortar rendering on chloride penetration into concrete structures. **Cement & Concrete Composites**. v. 33, n. 2, p. 233-239, 2011.

[23] BANDEIRA, J.L.S.; GUIMARÃES, A.T.C.; GONÇALVES, M. R. F. Estruturas de concreto armado revestidas com argamassa: avaliação da difusão de íons cloreto na condição saturada e não saturada. **Anais do 64º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON**, 2023.

[24] BANDEIRA, J. L. S. **Desenvolvimento de um método para a avaliação da influência do revestimento argamassado no ataque de cloretos às estruturas de concreto saturado e não saturado**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

[25] CLIMENT, M. A.; VIQUEIRA, A; DE VERA, G. LÓPEZ-ATALAYA, M. M. Analysis of acid-soluble chloride in cement mortar, and concrete by potentiometric titration without filtration steps. **Cement and Concrete Research**, n. 29, p. 893-898, 1999

[26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT**. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

[27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos— Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[28] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 357 R-84**. Guia para projeto e construção de estruturas de concreto em ambiente marítimo. ACI, 1997.

[29] MEIRA, G. R. **Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto armado**. Florianópolis, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

[30] SOUZA, Karen N. **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. Rio Grande, RS. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). FURG - Universidade Federal do Rio Grande.

[31] CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**. 2ª ed., Oxford Univ. Press, Oxford, UK,1975.

[32] JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **JSCE nº 15**. Standard Specifications for Concrete Structures – 2007. JSCE, 2010.

[33] 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.

[34] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

[35] BANDEIRA, J. L. S.; GUIMARÃES, A. T. C.; NUNES, J. L. O. A influência das adições pozolânicas no desempenho do cimento tipo ARI-RS em concretos saturados e não saturados frente ao ataque de cloretos. In: II **Workshop em Ciência e Engenharia de Materiais** - UFPel – Pelotas, RS – 07 a 09 de novembro de 2016.