



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Uma abordagem probabilística sobre o teor crítico de cloretos em elementos de concreto armado ensaiados em laboratório

A probabilistic approach on the critical chloride content in reinforced concrete elements tested in the laboratory

Pablo Ramon Rodrigues Ferreira (1); Gibson Rocha Meira (2); Valdith Lopes Jerônimo (3)

(1) *Doutorando em Engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) - pablo.r06@hotmail.com*

(2) *Professor Doutor do Departamento de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) - gibsonmeira@yahoo.com*

(3) *Professora Doutora do Departamento de Meio Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) - valdithlopes@hotmail.com*

Resumo

A corrosão de armadura desencadeada por cloretos é um problema recorrente e oneroso na indústria da construção civil. Na análise desses casos, o teor crítico de cloretos (Clcr) tem papel fundamental. Dada a grande dispersão dos resultados já publicados, ainda não há, na literatura, um consenso sobre a faixa em que se enquadra desse parâmetro. Sendo assim, é dentro deste contexto que este trabalho se insere e analisa o comportamento do Clcr a partir de dados experimentais com um viés probabilístico. Para isto, foram moldados corpos de prova (CPs) de concreto armado de 80 x 80 x 80 mm com cimento CPV-ARI e fator água/cimento 0,55. Após cura úmida de 7 dias e disposição em ambiente de laboratório por até 180 dias, os CPs foram submetidos a ciclos de imersão e secagem em solução de NaCl 1M. Uma vez identificada a despassivação das armaduras, foram determinados o Clcr de cada CP. Após uma análise estatística, os resultados mostram que o teor crítico de cloretos livres tende para uma distribuição de probabilidade log-normal, o que corrobora com os poucos trabalhos já publicados, assumindo uma média de 0,70 e desvio padrão de 0,012.

Palavra-Chave: Corrosão, Teor crítico de cloretos, Análise probabilística.

Abstract

Rebar corrosion caused by chloride ions is a recurring and expensive problem in the construction industry. In the analysis of these cases, the critical chloride content (Clcr) has a fundamental function. Due to the wide dispersion of the published results, there is still no consensus in the literature on the range in which this parameter fits. Therefore, it is within this context that this work is inserted and analyzes the behavior of the Clcr from experimental data with a probabilistic study. For this, 80 x 80 x 80 mm reinforced concrete specimens (CPs) were made with CPV-ARI cement and a water / binder factor of 0.55. After a 7-day wet curing and in a laboratory environment until the 180th day, the specimens were subjected to wetting and drying cycles in a 1M sodium-chloride solution. After the depassivation of the reinforcements was identified, the Clcr of each CP was determined. After a statistical analysis, the results show that the critical chloride content approached a log-normal probability distribution, which is confirmed by the few studies already published, assuming an average of 0.706 and standard deviation of 0.012.

Keywords: Corrosion, Critical chloride content, Probabilistic analysis.



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

1 Introdução

As estruturas de concreto armado estão expostas nas mais variadas condições ambientais durante sua vida útil. Diversos fatores podem afetar significativamente desempenho dessas estruturas em serviço, dentre eles podemos destacar a corrosão de armaduras (BERTONLINI *et al.*, 2004). Atualmente a corrosão de armaduras é reconhecida como um dos maiores problemas da indústria da construção civil, com características de recorrência e onerosidade (FRANKOWSKI, 2018), custando à economia algo entorno de 4% do PIB nacional.

Estruturas de concreto armado expostas em ambiente marinho, como aquelas próximas a zona costeira, tendem a apresentar, após certo período, corrosão de armadura em decorrência da ação dos íons cloreto no entorno da armadura (COLE *et al.*, 2003; MEIRA *et al.*, 2010). Constatar a presença de íons cloreto na proximidade da armadura não é fato determinante para que a corrosão aconteça. Faz-se necessário, além de água e oxigênio, que os íons cloreto estejam presentes em quantidade suficiente para despassivar a armadura (BERTOLINI *et al.*, 2004; ANGST *et al.*, 2009). Essa quantidade de íons cloreto é conhecida como teor crítico de cloretos, concentração crítica ou limiar de cloretos (Cl_{cr}).

Varias revisões bibliográficas (MEIRA *et al.*, 2014; ALONSO e SANCHEZ, 2009; ANGST *et al.*, 2009; SONG *et al.*, 2009; ANN e SONG, 2007) avaliaram o comportamento do Cl_{cr} em relação ao tipo de aglomerante, dosagem de concreto, fator *a/c*, tipo de ensaio, etc. Contudo, os resultados mostraram-se amplamente dispersos numa faixa entre 0,14 a > 3% de cloretos livres em relação à massa de aglomerante. Esse comportamento induz que o mecanismo físico-químico da corrosão (MEIRA *et al.*, 2014) e as metodologias experimentais (ANGST, 2019; MEIRA *et al.*, 2014; ALONSO e SANCHEZ, 2009) parecem ter tanta influência nos valores de Cl_{cr} , quanto o grau de agressividade do ambiente e os fatores de dosagem e projeto (grau de hidratação, consumo de cimento, pH da solução do poro, tipo de aglomerante, uso de adições, cobrimento, etc.).

Diante da grande dispersão nos resultados já publicados, os estudos mais recentes propõem que Cl_{cr} seja avaliado de maneira probabilística, onde a média, o desvio-padrão e certo tipo de distribuição de probabilidade seriam os parâmetros adequados para expressar esta variável de maneira mais precisa e satisfatória, dada a natureza estocástica do processo de corrosão (ANGST, 2019; ALONSO e SANCHEZ, 2009; CEB Bulletin 37, 2006). Sabendo disso, confeccionou-se a Tabela 1, que mostra os valores estatísticos de Cl_{cr} reportados na literatura, obtidos a partir de ensaios de laboratório ou coletados de estruturas reais.

No geral, os resultados da referida tabela mostram certa predominância para a distribuição normal ou log-normal, com valores de media e desvio padrão ainda apresentando grande variação. Outro fato a ser observado é a divergência entre os

valores obtidos em laboratório e estruturas reais. Os resultados de Cl_{cr} em estruturas reais são sempre inferiores aos obtidos em laboratório, motivados pela possível presença de fissuração (ALONSO e SANCHEZ, 2009) e o efeito conjunto entre os cloretos e a carbonatação (MEIRA *et al.*, 2014).

Tabela 1 – Valores probabilísticos de teor crítico de cloretos livres obtidos na literatura.

Fonte	Tipo de estudo	Condições	Tipo de distribuição	Media	Desvio padrão
Angst e Elsener (2017)	Laboratório	Prismas de concreto, aço nervurado Ø10mm, a/c = 0,50	Log-normal	1,25	0,37
Angst <i>et al.</i> (2016)	Estrutura real	Cilindros de concreto, aço nervurado Ø12-14mm	Log-normal	0,85	0,68
Breit (2001)	Laboratório	Cilindros de argamassa, aço liso Ø10mm com polarização anódica, a/c = 0,50 a 0,60	Log-normal	0,50	0,22
Ferreira (2004)	Estrutura real/ Modelo	Extração de estruturas reais em porto no mar da Noruega.	Normal	0,45-0,50	0,08
Gao <i>et al.</i> (2019)	Laboratório	Prismático, aço liso Ø10mm, a/c = 0,45, ciclos de imersão e secagem	Gumbel	0,35	0,02
Gao <i>et al.</i> (2019)	Exposição natural	Prismático, aço liso Ø10mm, a/c = 0,45, disposto mar da China (deposição de 13g Cl por litro)	Log-normal	0,22	0,01
Izquierdo <i>et al.</i> (2004)	Laboratório	Prismas de argamassa, aço Ø6mm sem limpeza, a/c = 0,50	Normal	0,53	0,15
Josiline <i>et al.</i> (2016)	Laboratório	Cilindros de argamassa, aço com polarização anódica, a/c = 0,50 a 0,60	Normal	1,93	0,13
Markeset (2009)	Estrutura real	Ponte na Noruega, aço liso Ø10mm, a/c = 0,40 a 0,50	Log-normal	0,77	0,32
Polder (2009)	Laboratório	Prismático, aço Ø8mm, a/c = 0,55, ciclos de imersão e secagem	Log-normal	0,80	0,10
Trejo e pillai (2003)	Laboratório	Cilindros de argamassa, aço liso Ø19mm com polarização anódica, limpeza com álcool, a/c = 0,50	Log-normal	0,95*	0,50*
Zimmerma (2000)	Laboratório	Primas de argamassa, aço nervurado jateado de Ø8.0mm, a/c = 0,60	Log-normal	0,85	0,39

A unidade de media e desvio padrão são % de massa de cimento. * valores com base no consumo de 400Kg/m³ de cimento e/ou uma densidade do concreto de 2400kg/m³.

Apesar dos inúmeros estudos determinísticos e alguns poucos estudos probabilísticos realizados, ainda é observado uma ampla faixa de valores para essa variável, o que torna inviável a definição de um único valor representativo para esta variável. É neste contexto que este trabalho se insere, contribuindo para essa discussão e analisando o comportamento do Cl_{cr} . A sua quantificação confiável é considerada pré-requisito fundamental no cálculo do tempo de vida útil das estruturas de concreto armado em zonas de atmosfera marinha e realizar inferência sobre a qualidade da execução e dos materiais aplicados.

2 Programa experimental

2.1 Produção e caracterização dos corpos de prova

Foram moldados doze corpos de prova cúbicos de 80x80x80mm com cimento CPV-ARI, usando agregado miúdo e graúdo de origem granítica, com dimensão máxima característica de 4,80 e 9,50 mm e módulo de finura de 3,06 e 6,87mm, respectivamente. A Tabela 2 mostra as propriedades físicas e mecânicas dos concretos e as dosagens utilizadas na confecção dos corpos de prova.

Tabela 1 – Misturas do concreto e propriedades físicas.

Características analisadas		Traços (C: AR: BR: AG)	
Traços em massa		1:1,86:2,25:0,55	
Slump Test (mm) – NBR NM 67/98		210 ± 7	
Consumo de cimento (kg/m ³)		414,30	
Ph da água de equilíbrio (90 dias)		13,50	
Absorção total - NBR 9778/05	28 dias	M. esp. (g/cm ³)	2,58
		Ind. de vazios (%)	15,10
		Absorção (%)	6,87
	90 dias	M. esp. (g/cm ³)	2,58
		Ind. de vazios (%)	15,05
		Absorção (%)	6,87
Resistência Mecânica (MPa) – NBR 5738/03	28 dias	47,10	
	90 dias	52,20	

Duas barras de aço com bitola de 6,3 mm e cobrimento de 20 mm, foram embutidas no concreto. As barras tinham o comprimento de 100 mm, foram previamente limpas seguindo o procedimento recomendado pela ASTM G1 (2011) e, posteriormente, suas extremidades foram isoladas, expondo uma área de aproximadamente 600 mm².

Após 24 horas de moldados, os corpos de prova foram curados em câmara úmida (UR ≈ 95% e T = 25 ± 5°C) por 7 dias. Finalizado o período de cura, os corpos de prova foram dispostos em ambiente de laboratório até completarem 90 dias e depois tiveram quatro das seis faces pintadas com resina epóxi. Duas faces opostas permaneceram sem pintura com o objetivo de simular um fluxo unidirecional para a penetração de cloreto em concreto. Finalizada a fase de preparação dos corpos de prova, eles foram submetidos a ensaios de penetração de cloretos em laboratório.

2.2 Ensaio acelerado de penetração de cloretos

Os ensaios de exposição a cloretos foram realizados através de ciclos de umedecimento, em solução contendo 1M de NaCl por três dias, e secagem em estufa (T = 45 ± 5°C) por quatro dias. No final de cada ciclo, as barras eram monitoradas com a realização de medidas eletroquímicas (ver Item 2.3) até que fosse detectado o início da corrosão.

2.3 Medições eletroquímicas

As medidas eletroquímicas responsáveis pela verificação do início da corrosão nas barras foram o potencial de corrosão (E_{corr}) e a densidade instantânea de corrente de corrosão (i_{corr}). Um potenciostato de bancada, modelo Gill AC da ACM Instruments, foi usado para realizar as medidas eletroquímicas. Todas as medidas foram realizadas numa gaiola de Faraday para evitar interferência externa. Para as medidas de potencial de corrosão foi usado um eletrodo de referência de cobre-sulfato de cobre (ESC), operado em condição de circuito aberto. Já as medidas de resistência à polarização com compensação de queda ôhmica foram usadas para determinação da densidade de corrente de corrosão. As leituras eram realizadas sempre após as imersões em solução agressiva e foram realizadas até a detecção da despassivação da barra.

Os critérios adotados para aceitar o início de corrosão nas barras foram: potencial de corrosão inferior a -350 mV (ESC), seguindo as recomendações da ASTM C-876(2008), e densidade de corrente superiores a 0,1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, seguindo as recomendações de Cigna *et al.*(1997). Após detectado o início da corrosão os corpos de prova eram retirados de ensaio e mais duas leituras adicionais eram realizadas em dias diferentes para comprovar o início da corrosão.

2.4 Análise química

Comprovada a despassivação, uma amostra de concreto era extraída nas proximidades da armadura, com 2 mm de espessura. Esta amostra era pulverizada e preparada para determinação dos teores de cloretos totais e livres, seguindo as recomendações do RILEM TC 178-TMC. As titulações foram feitas usando um titulador potencimétrico automático da Metrohm, seguindo os procedimentos da ASTM C-114 (2011). O teor de cloretos na proximidade da armadura foi assumido como o limite crítico de cloretos para o início da corrosão da armadura (ANGST *et al.*, 2009).

3 Resultados e discussões

Os resultados de teor crítico de cloretos livres e totais (% de massa de cimento) para os corpos de prova despassivados estão apresentados na Figura 1 em função do potencial de corrosão (mV) e da densidade de corrente de corrosão ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$). Diante dos resultados não é possível evidenciar uma relação clara entre o potencial de corrosão no ato da despassivação e o teor crítico de cloretos livres ou totais. Por outro lado, percebe-se um aumento no teor crítico de cloretos à medida que a densidade de corrente aumenta, apesar de uma relevante dispersão dos dados.

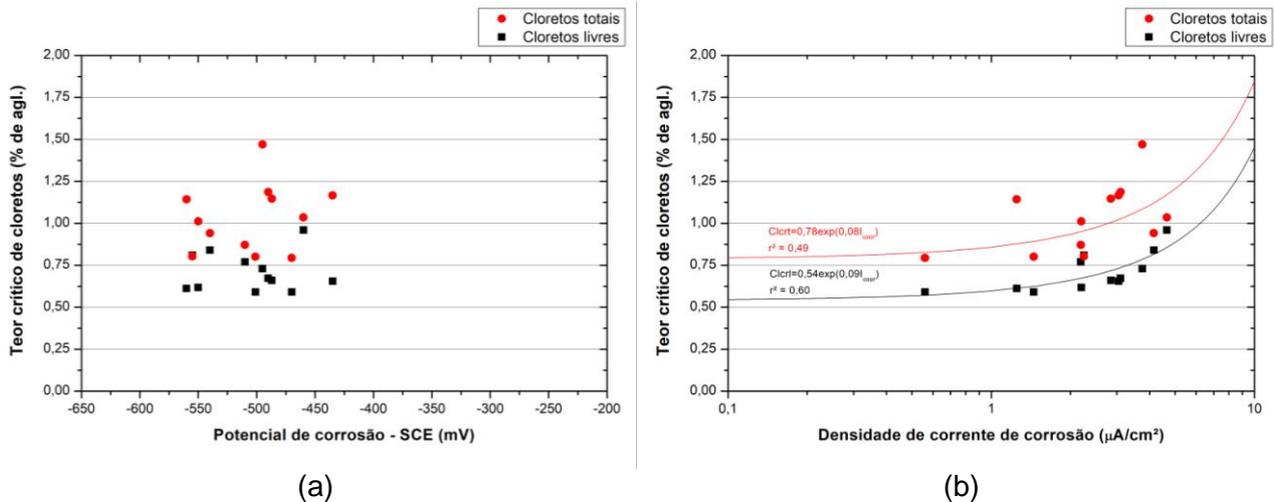


Figura 1 – Relação entre teor crítico de cloretos livres e totais e as variáveis eletroquímicas de potencial de corrosão (a) e densidade de corrente de corrosão (b).

A partir da Figura 1, é possível observar que um alto teor crítico de cloreto não significa necessariamente uma alta taxa de corrosão, mas uma alta taxa de corrosão deve ser causada por uma alta concentração de cloretos no entorno da armadura. Isso significa dizer que a medição de densidade de corrente de corrosão é um parâmetro mais confiável do que o potencial de corrosão na avaliação do estado de corrosão, este tipo de comportamento foi relatado por outros autores (ALONSO e SANCHEZ, 2009; ANGST *et al.*, 2009; BERTOLINI *et al.*, 2004).

Conforme reportado na introdução deste trabalho, ainda são escassos os dados de teor crítico de cloretos expressos a partir de uma abordagem probabilística. Diante disto, os resultados de teor crítico de cloretos livres e totais foram ajustados a diversas distribuições de probabilidade (normal, log-normal, beta, gamma, Weibull, exponencial e uniforme) através de teste de aderência por Kolmogorov-Smirnov (K-S), Anderson-Darling (A-D) e Qui-quadrado (χ^2). Para cálculo dos ajustes foi utilizado o software MatLab R2013b.

A Tabela 2 mostra os resultados dos testes de aderência para as distribuições de probabilidade analisada, com intervalo de confiança de 95%. Tanto para o teor crítico de cloretos livres, quanto para totais, o melhor ajuste se deu a distribuição de probabilidade log-normal, com variação de faixa entre $0,70 \pm 0,012$ e $0,93 \pm 0,04$, respectivamente, ambos em relação à massa de cimento.

Este resultado corrobora com os dados apresentados na Tabela 1, onde a distribuição de probabilidade log-normal foi a mais empregada na representação do teor crítico de cloretos. Dadas às condições de dosagens, os métodos de ensaios e quantidade das amostras, peculiar de cada pesquisa, a faixa de valores do teor crítico de cloretos livres apresentado neste trabalho ($0,70 \pm 0,012$) e os coletados na literatura (entre $0,35 \pm 0,02$ e $1,93 \pm 0,13$) não foram tão próximos, uma variação de cerca de 270%. Porém, está divergência nas faixas de Cl_{cr} probabilístico não são nem de longe tão discrepantes

quanto os observados nos dados de Cl_{cr} determinísticos apresentados nas revisões bibliográficas de Angst *et al.* (2009), com uma variação perto de 210 vezes, e de Meira (2017), perto de 30 vezes.

Tabela 2 – Resultados dos ajustes de distribuição de probabilidade para várias curvas clássicas.

Dist. de probabilidade	Cloretos	K-S	A-D	X ²	Ranque
Normal	Livres	0,208	0,469	1,013	5
	Totais	0,148	0,312	0,129	4
Log-normal	Livres	0,194	0,409	0,323	1
	Totais	0,126	0,296	0,055	1
Beta	Livres	0,166	3,663	6,343e-8	2
	Totais	0,138	0,288	0,074	3
Gamma	Livres	0,189	0,388	1,066	4
	Totais	0,128	0,287	0,074	2
Weibull	Livres	0,187	0,889	0,608	3
	Totais	0,165	0,525	0,235	5
Exponencial	Livres	0,565	4,035	0,601	7
	Totais	0,481	3,888	1,294	7
Uniforme	Livres	0,204	3,911	N/A	6
	Totais	0,191	4,177	N/A	6

Por fim, apresenta-se a Figura 2, que mostra o ajuste dos dados experimentais à distribuição log-normal para o teor crítico de cloretos livres (a) e totais (b). Com base nos ajustes é possível inferir que 90% dos corpos de prova estará em processo de corrosão, quando a concentração de cloretos livres no entorno da armadura for próximo a 0,83. Esta mesma probabilidade de corrosão aconteceria com um teor crítico de cloretos totais de 1,17.

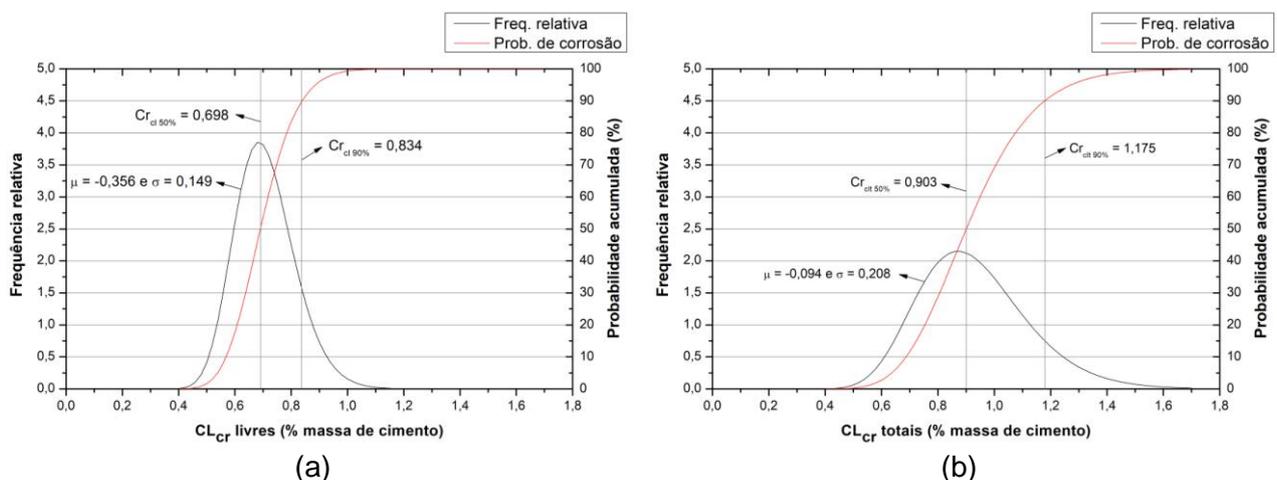


Figura 2 – Distribuição de probabilidade log-normal obtidos a partir dos ajustes aos dados experimentais de teor crítico de cloretos livres (a) e totais (b).



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Com base neste tipo de variável estocástica é possível fornecer dados mais refinados para modelos de vida útil de estrutura em determinada zona de atmosfera marinha, permitindo a inferência mais precisa do tempo necessário para iniciação à corrosão; como também pode-se definir parâmetros para aceitação ou reprovação de materiais e, assim, estabelecer padrões de qualidade para a execução e fornecimentos de materiais.

4 Conclusões

Considerando o comportamento e o tempo de vida útil de estruturas de concreto armado expostas a zonas de atmosfera marinha, a probabilidade de iniciação da corrosão é calculada de maneira mais confiável a partir de uma abordagem probabilística. Considerando esse cenário, as seguintes conclusões são apresentadas a partir do presente estudo:

- Um elevado teor crítico de cloretos não significa necessariamente uma alta taxa de corrosão, mas uma alta taxa de corrosão deve ser causada por uma elevada concentração de cloretos no entorno da armadura;
- Não só as condições de dosagem do concreto, os parâmetros de projeto e a agressividade ambiental são fatores preponderantes para determinar o teor crítico de cloretos. Outras variáveis associadas às peculiaridades de cada pesquisa, como os métodos de ensaios e número de repetições devem ser levadas em consideração nesta análise;
- O teor crítico de cloretos livres e totais apresenta forte tendência para distribuição de probabilidade log-normal, este tipo de comportamento corrobora com outros estudos já realizados, tanto para pesquisas em estruturas reais, quanto em laboratório;
- Uma análise probabilística do teor crítico de cloretos fornece ao usuário dados mais confiáveis para estimativa da vida útil da estrutura e parâmetros para estabelecer padrões mínimos de qualidade dos materiais empregados.



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Referências

ALONSO, M. C.; SANCHEZ, M. Analysis of the variability of chloride threshold values in the literature. **Materials and Corrosion**. V. 60 (8), p. 631-637, 2009.

ANGST, U. M.; Predicting the time to corrosion initiation in reinforced concrete structures exposed to chlorides. **Cement and Concrete Research**. V. 115, p. 559-567, 2019.

ANGST, U.; ELSENER, B. Elsener. The size effect in corrosion greatly influences the predicted life span of concrete infrastructures. **Science advances**. V. 39(8), p. 1-92017.

ANGST, U.; WAGNER, M.; ELSENER, B.; LEEMANN, A.; NYGAARD, P.V. **Method to Determine the Critical Chloride Content of Existing Reinforced Concrete Structures**. Swiss Federal Roads Office, Berne, Switzerland (2016)

ANGST, U. M.; ELSENER, B.; LARSEN, C. K.; VENNESLAND, Ø. Critical chloride content in reinforced concrete — A review. **Cement and Concrete Research**. V. 39 (12), p. 1122-1138, 2009.

ANN, K.Y.; SONG, H.W. Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete. **Corrosion Science**, V. 49 (11), p. 4113-4133, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 114: Standard test methods for chemical analysis of hydraulic cement**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1992.

_____. **ASTM C-876: Standard test for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1999.

_____. **ASTM G-1. Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens**. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia/ EUA, 2011.

BERTOLINI, L.; ELSENER, B.; PEDEFERRI, P.; POLDER, R. B. **Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair**. 2ª Edição, Weinheim: Ed. Wiley-VCD, 2004. p. 21-39, 49, 64, 71-104, 193-208.



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

BREIT, W. Critical corrosion inducing chloride content – state of the art and new investigation results. **Betontechnische Berichte**. Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ), Düsseldorf, Germany (2001)

CIGNA, R.; ANDRADE, C.; NÜRNBERGER, U.; POLDER, R.; WEYDERT, E.; SEITZ, E. Corrosion and protection of metals in contact with concrete. **COST Action 509 – Final Report**. European Community: Luxembourg, 1997.

COLE, I. S.; PATERSON, D. A.; GANTHER, W. D. Holistic model for atmospheric corrosion. Part 1 - Theoretical framework for production, transportation and deposition of marine salts. **Journal Corrosion Engineering, Science and Technology**. V. 38 (2), p.129-134, 2003a.

COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON - CEB. **Model code for service life design**. Bulletin D'Information n° 34, Stuttgart, 2006.

FERREIRA, R. M. (2004) **Probability-based durability analysis of concrete structures in marine environment**. Thesis doctoral of University of Minho, 339p, 2004.

FRANKOWSKI, P. K. Corrosion Detection and Measurement Using Eddy Current Method. In: 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop, **Proceedings...**, Swinoujście: 18th IIPhDW; 2018. p. 398-400.

GAO, Y.; ZHENG, Y.; ZHANG, J.; WANG, J. ZHOU, X; ZHANG, Y. Randomness of critical chloride concentration of reinforcement corrosion in reinforced concrete flexural members in a tidal environment. **Ocean Engineering**. v. 172, p. 330–341, 2019.

IZQUIERDO, D.; ALONSO, C.; ANDRADE; C. CASTELLOTE. M. Potentiostatic determination of chloride threshold values for rebar depassivation Experimental and statistical study. **Electrochimica acta**. V. 49, p. 2731-2739, May, 2004.

JOSELINE, D.; KARUPPANASAMY, J.; DHANY, B. S.; PILLAI, R. G. Chloride Threshold of Prestressing Steel and Corrosion Initiation Time-Laboratory Tests and Case Study. In: NIGIS/CORCON, **Proceedings...**, New Delhi: CORCON; 2016. p. 1-9.

MARKESSET, G. Critical chloride content and its influence on service life predictions. **Materials and Corrosion**. V. 60 (8), p. 593-596, 2009.



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

MEIRA, G. R.; ANDRADE, C.; PADARATZ, I. J.; ALONSO, M. C.; BORBA Jr., J. C. Durability of concrete structures in marine atmosphere zones – The use of chloride deposition rate on the wet candle as an environmental indicator. **Cement and Concrete Composites**. V. 27, p. 667 – 676, 2010.

MEIRA, G. R.; ANDRADE, C.; VILAR, E. O.; NERY, K. D. Analysis of chloride threshold from laboratory and field experiments in marine atmosphere zone. **Construction and Building Materials**. V. 55, p. 289 -298, 2014.

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: Fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa; Ed. IFPB, 2017. p. 25-26, 31-42,49-74.

POLDER, R. B. Critical chloride content for reinforced concrete and its relationship to concrete resistivity. **Materials and corrosion**. V. 60 (8). p. 623-630, 2009.

RILEM TC 178: Testing and modelling chloride penetration in concrete. Analysis of water soluble chloride content in concrete. **Materials and Structures**, v. 35 p. 586-588, 2002.

SONG, H.; PACK, S.; ANN, K. Y. Probabilistic assessment to predict the time to corrosion of steel in reinforced concrete tunnel box exposed to sea water. **Construction and Building Materials**. V.23, p. 3270-3278, 2009.

TREJO, D.; PILLAI, R. G. Accelerated Chloride Threshold Testing: Part I - ASTM A 615 and A 706 Reinforcement. **ACI Materials Journal**. V 100. n 1. p. 519 – 527, 2003.

ZIMMERMANN, L. Korrosionsinitiiierender Chloridgehalt von Stahl in Beton. ETH Zurich, Switzerland (2000)