

Seminário de Iniciação Científica e Pesquisa do Litoral Norte

AVALIAÇÃO ELETROQUÍMICA DA PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO EM CONCRETO PELO MÉTODO NT-BUILD 492

LAIZA DOMINGOS DE SOUZA AURELIO¹, JOSÉ AMÉRICO A. SALVADOR FILHO²

¹Graduanda em Bacharelado em Engenharia Civil, Bolsista PIBIFSP, IFSP, campus Caraguatatuba, laiza.souza@aluno.ifsp.edu.br

²Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil, IFSP campus Caraguatatuba, coordenador do Centro de Pesquisa e Inovação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis CEPIN-CIS, jasalvador@ifsp.edu.br

Área de conhecimento: 3.0.1.0.1.0.1-8 Materiais e Componentes de Construção

RESUMO

Este trabalho descreve a preparação e execução do ensaio eletroquímico NT-BUILD 492 para avaliação da resistência à penetração de íons cloreto em amostras de concreto. Corpos de prova foram seccionados e submetidos a pré-condicionamento por saturação com solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sob vácuo. O ensaio envolveu a aplicação de corrente elétrica entre soluções de NaCl e NaOH, com registro da carga transferida. Após o teste, a profundidade de penetração foi determinada por métodos químicos, permitindo correlação entre carga elétrica e durabilidade do concreto frente à ação de cloretos.

Palavras-Chave: Penetração de íons cloreto, Ensaio eletroquímico, Durabilidade do concreto, Método NT-BUILD 492

ELECTROCHEMICAL ASSESSMENT OF CHLORIDE ION PENETRATION IN CONCRETE USING THE NT-BUILD 492 METHOD

ABSTRACT

This study presents the preparation and execution of the NT-BUILD 492 electrochemical test to assess chloride ion penetration resistance in concrete samples. Cylindrical specimens were sectioned and preconditioned via vacuum saturation with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution. The test involved applying an electric current between NaCl and NaOH solutions, with total charge recorded. After testing, chloride penetration depth was analyzed using chemical detection methods, enabling a direct correlation between electrical charge and concrete durability against chloride ingress.

Keywords: Chloride ion penetration, Electrochemical test, Concrete durability, NT-BUILD 492 method.

INTRODUÇÃO

A durabilidade do concreto armado tem recebido maior atenção devido ao aumento de problemas de deterioração, que geram perdas econômicas, estruturais e altos custos de reparo. Para garantir o desempenho e a vida útil das estruturas, é essencial compreender a interação do material com o ambiente e considerar esses fatores nos projetos, assegurando resistência e durabilidade (MAGALHÃES, 2019).

A penetração de íons cloreto no concreto é uma das principais causas do desencadeamento de processos corrosivos em estruturas de concreto armado. Isso ocorre porque, em determinadas condições, os íons cloreto podem migrar através da matriz de cimento e, ao alcançarem as armaduras, degradam sua camada passivadora, criando as condições necessárias para o início da corrosão. Dessa forma, a ocorrência desse fenômeno está diretamente associada às propriedades do concreto de cobertura das armaduras e ao grau de agressividade do ambiente em que a estrutura está exposta ao longo de sua vida útil (MAGALHÃES, 2019).

Atualmente, a produção de cimento Portland (CP) é responsável por aproximadamente 5-7% das emissões globais de CO₂, liberando entre 0,66 e 0,82 toneladas de CO₂ por tonelada de cimento Portland produzido. Segundo a International Energy Agency (IEA), estima-se que a produção de cimento alcance 4,4 bilhões de toneladas até 2050 (GARCIA-LODEIRO; PALOMO; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, 2015).

Desta forma, os concretos ativados alcalinamente (CAA) estão emergindo como alternativas ambientalmente amigáveis ao cimento Portland comum devido a suas propriedades mecânicas comparáveis e menor impacto ambiental.

A crescente utilização de concretos ativados alcalinamente (CAA) demanda a implementação de métodos rápidos e eficazes para avaliar a penetração de íons cloreto, fator determinante para a durabilidade de estruturas em ambientes marinhos. O ensaio de migração acelerada NT-BUILD 492 tem se mostrado uma ferramenta prática por fornecer resultados em menor tempo do que os métodos de difusão natural, embora tenha sido desenvolvido originalmente para concretos com cimento Portland. Nesse sentido, Noushini, Nguyen e Castel (2021, p. 3) destacam que o método NT Build 492, originalmente desenvolvido para concretos com cimento Portland, pode não refletir com precisão o transporte de cloretos em concretos ativados alcalinamente devido às diferenças na composição e microestrutura desses materiais. Além disso, conforme apontam Duży et al. (2022), ainda é reduzido o número de pesquisas que aplicam o NT-BUILD 492 em AAC, evidenciando a necessidade de estudos comparativos com concretos convencionais, de forma a calibrar o método e estabelecer critérios específicos de aceitação para esses novos materiais.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do ensaio NT Build 492 no estudo da penetração de íons cloreto em concretos ativados alcalinamente, verificando se este

método, originalmente consolidado para concretos convencionais, é adequado para caracterizar o desempenho desse material alternativo frente à agressividade ambiental.

METODOLOGIA

A pesquisa foi iniciada com uma revisão das normas NT BUILD, focando na NT BUILD 492 para resistência à penetração de íons cloreto. Posteriormente, deu-se início à fase experimental, com a produção de corpos de prova de concreto ativado alcalinamente (CAA). O traço foi definido com base em Rodrigues (2024), utilizando pó de vidro como precursor e silicato de sódio como ativador alcalino. Foram moldados corpos de prova com o traço adaptado contendo 100% de vidro como aglomerante, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 – Traço adaptado para quinze corpos de prova.

Traços	Aglomerante					Agregados		Água da mistura
	Cimento	Precursor		Solução Ativadora		Areia	Brita 0	Água mistura
		Metacaulim	Vidro	Silicato de sódio	Água da solução			
100% vidro	0,0	0,0	4940,1	600,0	733,2	4050,8	8298,7	1572,0
Referência	5540,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4050,8	8298,7	2305,2

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

O processo de mistura foi realizado em um misturador mecânico. Primeiramente, os agregados secos foram adicionados e homogeneizados por um minuto. Em seguida, a água de mistura foi incorporada e homogeneizada por onze minutos. Após isso, o silicato de sódio puro foi acrescentado e misturado por mais um minuto. Por fim, a água da solução foi adicionada gradualmente, seguida de uma mistura final por oito minutos. Para fins de comparação, também foram moldados corpos de prova de concreto convencional (CC). Após a moldagem, todos os corpos de prova foram submetidos à cura úmida à temperatura ambiente.

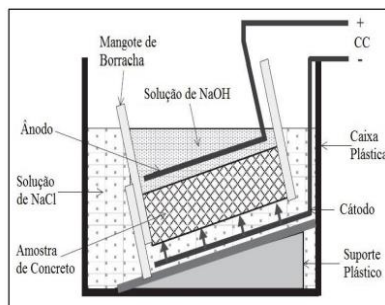
Os resultados de resistências média à compressão aos 28 dias dos concretos ativado alcalinamente (CAA) e convencional (CC) foram de 2,6 MPa e 68,5 MPa respectivamente.

Em seguida, foi realizada um teste visando a comparação do desempenho de concretos convencionais e ativados alcalinamente, usando dados de artigos científicos revisados por pares.

O método NT-BUILD-492 – *Chloride Migration Coefficient from Non-steady-State Migration Experiments* é um método de avaliação da migração acelerada de cloretos desenvolvido pelo Nordtest em 1999, sendo considerado um dos ensaios mais consolidados para avaliação da resistência do concreto à penetração de íons cloreto (NT-BUILD-492, 1999). Segundo Tang e Nilsson (1992), o ensaio se baseia na aplicação de um campo elétrico externo, promovendo a

migração acelerada de íons cloreto através dos poros da amostra de concreto, conforme apresentado na Figura 01.

Figura 01 – Esquema proposto pela norma NT BUILD 492.



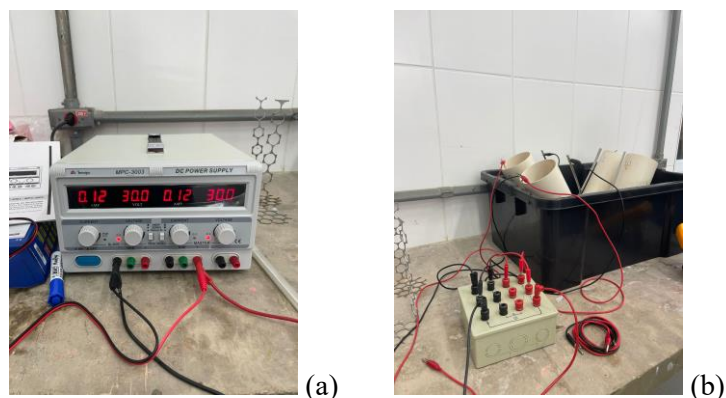
Fonte: Magalhães, 2019.

O princípio do método consiste em medir a profundidade de penetração do cloreto após o término do ensaio, utilizando solução de nitrato de prata (AgNO_3). A reação entre o nitrato de prata e os cloretos livres forma um precipitado branco, permitindo a identificação visual da frente de penetração. A partir dessa medição, calcula-se o coeficiente de migração não-estacionário de cloretos, parâmetro utilizado como indicador da durabilidade frente ao ingresso desses íons (TANG; NILSSON, 1992).

A preparação das amostras para o ensaio segue critérios rigorosos quanto às dimensões e ao acabamento superficial. Inicialmente, corpos de prova cilíndricos de concreto com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura são seccionados em quatro fatias de 10 x 5 cm, sendo selecionadas as duas centrais para garantir maior homogeneidade estrutural. Antes do ensaio, as amostras passam por um processo de pré-condicionamento em câmara de vácuo, com pressão interna entre 1 e 5 kPa, visando à saturação dos poros com solução de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), o que assegura condições uniformes de transporte iônico durante o teste. O ensaio é conduzido conforme o método NT-BUILD 492, utilizando uma célula eletroquímica composta por eletrodos de aço inoxidável, fonte de corrente contínua e medidor de carga elétrica acumulada. A montagem experimental envolve o posicionamento das amostras em tubos plásticos selando as faces laterais das amostras com silicone ou um adesivo com base de poliuretano, permitindo contato apenas pelas superfícies superior e inferior, nos quais posteriormente se adiciona solução anódica de hidróxido de sódio (NaOH) 0,3 M, enquanto o recipiente externo é preenchido com solução catódica de cloreto de sódio (NaCl) a 10%. O sistema é conectado a uma fonte de energia, com o polo positivo ligado ao ânodo (solução de NaOH) e o negativo ao cátodo (solução de NaCl). Uma corrente de 30V é aplicada para acelerar a migração de íons cloreto (Cl^-) através das amostras. O tempo de ensaio e a tensão são ajustados conforme a corrente inicial. Finalizado o ensaio, as amostras são seccionadas transversalmente para análise da profundidade de penetração dos íons

cloreto, permitindo correlação direta entre a carga elétrica aplicada e a resistência à penetração de cloretos no concreto, conforme na Figura 02 abaixo.

Figura 02 – Ensaio de penetração de cloretos: a) fonte e b) caixa de distribuição de energia e corpos de prova.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Após o ensaio, as amostras são retiradas e fraturadas por compressão diametral. Para determinar a profundidade de penetração dos cloretos, a superfície fraturada é aspergida com uma solução 0,1 M de nitrato de prata (AgNO_3). A reação do AgNO_3 com os íons cloreto forma um precipitado branco de cloreto de prata (AgCl), indicando a área penetrada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a execução do ensaio NT BUILD 492 no concreto ativado alcalinamente (CAA), observou-se um comportamento distinto daquele esperado para concretos convencionais. Após a aplicação da solução de hidróxido de sódio (NaOH) no compartimento anódico, verificou-se que o líquido transpassou rapidamente o corpo de prova, atingindo a solução de cloreto de sódio (NaCl) no compartimento catódico, conforme ilustrado na Figura 03 abaixo.

Figura 03 - Percolação observada durante o ensaio.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

O fenômeno de percolação rápida inviabilizou o ensaio, pois comprometeu a aplicação uniforme do campo elétrico, princípio fundamental do método NT BUILD 492. Este resultado indica que a microestrutura do CAA testado, possivelmente com maior volume de poros interconectados ou

matriz menos densa, é fundamentalmente incompatível com as premissas do ensaio, que exige um meio denso e saturado. A falha, portanto, não está no método, mas na incompatibilidade com a elevada permeabilidade deste traço específico de CAA. A ausência de dados mensuráveis foi uma consequência direta da incapacidade de estabelecer as condições de contorno do ensaio, evidenciando que o NT BUILD 492 não é adequado para este CAA sem um aprimoramento prévio da dosagem para obter uma matriz mais compacta e menos permeável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou a aplicabilidade do ensaio NT BUILD 492 para estudar a penetração de cloretos em concretos ativados alcalinamente (CAA). Os resultados demonstraram que o método não é diretamente aplicável ao traço de CAA investigado, devido à sua elevada permeabilidade. Essa característica permitiu a percolação rápida da solução, inviabilizando o princípio de migração controlada de íons sob gradiente elétrico, que exige um meio denso e saturado.

Concluiu-se que a aplicação do método em CAA requer o desenvolvimento prévio de dosagens que resultem em uma matriz mais compacta e menos permeável. Apesar da incompatibilidade com o CAA, o trabalho comprovou a capacidade técnica e a viabilidade operacional do laboratório para a realização do ensaio, abrindo caminho para investigar outros materiais cimentícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUZY, Patrycja; CHOINSKA, Marta; HAGER, Izabela; AMIRI, Ouali; CLAVERIE, Jérôme. Mechanical Strength and Chloride Ions' Penetration of Alkali-Activated Concretes (AAC) with Blended Precursor. *Materials*, [S.L.], v. 15, n. 13, p. 4475-4475, 24 jun. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma15134475>.

GARCIA-LODEIRO, I.; PALOMO, A.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. An overview of the chemistry of alkali-activated cement-based binders. *Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes*, p. 19-47, 2015.

MAGALHÃES, Thiago Abdala. Análise da penetração de íons cloreto em compósitos cimentícios contendo diferentes teores de escória de alto-forno. 2019. 192 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

NORDTEST. NT BUILD 492: Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. Espoo, Nordtest, 1999. 8p.

NOUSHINI, A.; NGUYEN, Q. D.; CASTEL, A. Assessing alkali-activated concrete performance in chloride environments using NT Build 492. *Materials and Structures*, v. 54, p. 57, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01652-7>.

TANG, L.; NILSSON, L. O. Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electrical field. *ACI Materials Journal*, v. 89, n. 1, p. 49-53, 1992.