



Avaliação de indicadores de durabilidade de concretos contendo diferentes tipos de sílicas

Rita de Cássia Taveira de Oliveira¹*; Leonardo Ramos Wiprich Campos¹; Morgana Basso¹; Pietra Guasti Vande Meerssche¹; Tatiane Valente de Aragão¹; Gustavo Bosel Wally²; Fábio Costa Magalhães^{1,3}

Resumo: A utilização de resíduos de processos industriais na produção do concreto é uma prática crescente no setor da construção civil, como uma forma de reduzir os impactos ambientais gerados pelo setor. Dentre os materiais mais utilizados destacam-se os materiais pozolânicos, como a sílica ativa e a cinza da casca de arroz. O uso desses materiais proporciona um refinamento na microestrutura do concreto, reduzindo a porosidade e, conseqüentemente, aprimorando suas propriedades. Abordagens de projeto de durabilidade com base no desempenho utilizam os chamados indicadores de durabilidade, que podem ser definidos como propriedades mensuráveis do material, utilizados para avaliar a capacidade do concreto de resistir a ambientes agressivos. Este trabalho apresenta uma avaliação do potencial de durabilidade de misturas de concreto com substituição parcial de cimento Portland por cinza de casca de arroz, sílica ativa e sílica em suspensão. O conjunto de indicadores de durabilidade para avaliar o desempenho das misturas analisadas são o coeficiente de migração de cloretos, absorção de água por capilaridade, resistividade elétrica superficial e resistividade elétrica volumétrica. Os concretos produzidos com adições pozolânicas apresentaram melhor desempenho em termos de durabilidade em relação ao concreto de referência em praticamente todas as análises realizadas. Em relação ao concreto de referência, os traços RHS8 e SFS8 apresentaram 3,34% e 1,84% de aumento na resistência à compressão axial aos 7 dias, respectivamente, e o traço SF8 apresentou uma diminuição de 2,70%. Aos 28 dias, os traços RHS8 e SF8 apresentaram 2,02% e 3,89% de aumento na resistência à compressão axial aos 7 dias, respectivamente, e o traço SFS8 apresentou uma diminuição de 7,74% em relação ao concreto de referência.

Palavras-chave: Abordagem com base no desempenho; Indicadores de durabilidade; Sílica ativa; Cinza da casca de arroz; Penetração de cloretos.

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

² Universidade Católica de Pelotas – UCPel

³ Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção Civil - LEMCC, Instituto Federal do Rio Grande do Sul – IFRS.

* ritaoliveira@outlook.es

1 INTRODUÇÃO

O desempenho do concreto pode ser significativamente aprimorado com a incorporação de adições minerais, especialmente pozolanas. Estas adições não apenas contribuem para o preenchimento dos poros no concreto (Tutikian, Isaia e Helene, 2011), como também promovem a formação de compostos adicionais que melhoram tanto as propriedades mecânicas quanto a resistência do concreto a fatores de degradação, potencializando sua durabilidade (Ribeiro, 2018).

Durante a hidratação do concreto, as adições pozolânicas reagem com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), formando compostos C-S-H adicionais que preenchem os poros capilares, aumentando a densidade da matriz e reduzindo sua permeabilidade. (Neville *et al.*, 2016).

A sílica ativa (SA) é uma pozolana caracterizada por sua elevada finura e reatividade, frequentemente empregada como substituição parcial do cimento. Esse material possui alta concentração de dióxido de silício (SiO_2) em sua forma amorfa, o que contribui significativamente para suas propriedades reativas. Além disso, o uso da sílica ativa pode trazer benefícios tecnológicos ao concreto, contribuindo para o desenvolvimento de materiais de construção mais duráveis e ecologicamente corretos (Maria *et al.*, 2024).

A sílica em suspensão (SS), por sua vez, apresenta teores de SiO_2 que podem variar de 10% a 20% em relação à massa total da suspensão, implicando em uma menor reatividade em relação à SA. A SS pode, no entanto, melhorar a distribuição da sílica ativa na matriz do concreto, conferindo uma maior homogeneidade e durabilidade em relação ao concreto sem adição (Tecnosil, 2013).

Outra forma de sílica que pode ser utilizado como adição é a sílica de casca de arroz (SCA) com teor de sílica amorfa, normalmente superior a 70%, que pode ser melhorada pelo uso de combustão controlada (Solomon *et al.*, 2023). No entanto, a sensibilidade das condições de combustão é o principal motivo que limita o uso generalizado deste material como pozolana (Hu *et al.*, 2021).

A durabilidade do concreto em ambientes agressivos, como os marinhos, é seriamente comprometida pela penetração de cloretos, que podem causar corrosão nas armaduras e levar à deterioração estrutural. O uso de adições minerais como a sílica ativa (SA), a sílica em suspensão (SS) e a sílica de casca de arroz (SCA) tem demonstrado eficácia na redução do coeficiente de difusão de cloretos, estendendo a vida útil das estruturas expostas a esses ambientes (Mehta e Monteiro, 2014). No entanto, para otimizar os benefícios dessas adições, é fundamental adotar uma abordagem baseada no desempenho, que permite a avaliação da capacidade do concreto resistir à penetração de agentes agressivos, proporcionando uma avaliação mais precisa e confiável do potencial de das estruturas.

Nesse cenário, o presente trabalho visa avaliar a influência da adição da sílica ativa, da sílica de casca de arroz e da sílica em suspensão no potencial de durabilidade do

concreto. Os indicadores de durabilidade adotados são o coeficiente de migração de cloretos e a resistividade elétrica, medida através dos métodos superficial e volumétrico.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

Para produção dos concretos, utilizou-se Cimento Portland CPV-ARI, britas 0 e 1, areia média e aditivo plastificante. Adotou-se o abatimento de tronco de cone de 10 ± 2 cm e relação água/aglomerante de 0,54 para todos os traços produzidos. Foram produzidos quatro traços de concreto, sendo identificado como REF o concreto sem adições pozolânicas. Foram utilizadas substituições de 8 % do cimento por sílica de casca de arroz (RHS8), sílica ativa (SF8) e sílica ativa em suspensão (SFS8). Para cada traço foram produzidos 12 corpos de prova com diâmetro (d) igual a 100 mm, altura (h) de 200 mm. A Tabela 1 apresenta o consumo de materiais nos concretos produzidos.

Tabela 1: Composição dos concretos produzidos.

Composição [kg/m ³]	REF	RHS8	SF8	SFS8
Cimento Portland (CPV ARI)	375	345	345	345
Brita 0	454	454	454	454
Brita 1	555	555	555	555
Areia média	773	773	773	773
Água	203	203	203	203
Aditivo (0,60%)	2,25	2,07	2,07	2,07
Sílica de casca de arroz	-	30	-	-
Sílica ativa	-	-	30	-
Sílica ativa em suspensão (kg)	-	-	-	30

2.2 Métodos

Após a produção dos concretos, realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone (NBR 16889, 2020) para avaliação da consistência dos traços. Doze corpos de prova de cada concreto foram moldados e curados de acordo com as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2016).

2.2.1 Determinação de resistência à compressão dos concretos

A resistência à compressão dos concretos produzidos foi determinada aos 7 e 28 dias, de acordo com as prescrições da NBR 5739 (ABNT, 2018).

2.2.2 Determinação do coeficiente de migração de cloretos no regime não estacionário

Para a determinação dos coeficientes de migração de cloretos em regime não estacionário, foram utilizadas três amostras com diâmetro (d) igual a 100 mm e altura (h) de 50 mm, provenientes de um corpo de prova produzido de 100 x 200 mm. A determinação do coeficiente de migração no regime não estacionário seguiu as especificações da NT Build 492 (NORDTEST, 1999) e da Prática Recomendada de ensaios de difusão e migração de cloretos (IBRACON, 2021a). As amostras foram submetidas a uma tensão inicial de 30 V, a qual foi ajustada de acordo com a corrente medida, que também determina a duração do ensaio e pode variar de 6 a 96 h. Após serem submetidas à migração iônica, as amostras foram rompidas diametralmente e nelas foi aspergida solução de AgNO_3 a 0,1 M para verificação da profundidade de penetração de cloretos e o coeficiente de migração no regime não estacionário (D_{nssm}) foi calculado conforme a Equação (1).

$$D_{nssm} = \frac{0,0239 \cdot (273 + T) \cdot L}{(U - 2) \cdot t} (x_D - 0,0238 \cdot \sqrt{\frac{(273 + T) \cdot L \cdot x_D}{U - 2}}) \quad (1)$$

Onde D_{nssm} é o coeficiente de migração em regime não estacionário [$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$], U é o valor absoluto da tensão aplicada [V], T é a média entre as temperaturas inicial e final medidas na solução anódica [$^\circ\text{C}$], L é a espessura da amostra [mm], x_D é o valor médio da penetração de cloretos [mm] e t é a duração do ensaio [h].

2.2.3 Determinação da resistividade elétrica (superficial e volumétrica)

Adotou-se o procedimento apresentado pela Prática Recomendada de determinação da resistividade elétrica em corpos de prova de concreto (IBRACON, 2021b) em que foram utilizados dois corpos de prova saturados de cada traço para a realização do ensaio. Inicialmente, duas esponjas umedecidas foram introduzidas entre os eletrodos de metal e uma massa de 2 kg foi posicionada acima do conjunto. Uma diferença de potencial elétrico é imposta ao sistema e a corrente gerada no sistema é medida. O mesmo procedimento foi realizado, dessa vez, com o corpo de prova posicionado entre as esponjas.

A resistência elétrica é calculada, de acordo com a Lei de Ohm, por meio da Equação (2).

$$R = V/I \quad (2)$$

Onde R é a resistência elétrica [Ω], V é a diferença de potencial entre os eletrodos [V] e I é a corrente elétrica que circula pelo circuito [A].

A resistência elétrica do concreto é obtida por meio da Equação (3).

$$R_c = R_{c+sp} - R_{sp} \quad (3)$$

Onde R_c é a resistência elétrica do concreto [Ω], R_{c+sp} é a resistência elétrica do concreto somada à das esponjas [Ω] e R_{sp} é a resistência elétrica das esponjas [Ω].

A resistividade elétrica do concreto pode então ser obtida a partir da Equação (4):

$$\rho_c = R_c \cdot S/L \quad (4)$$

Onde ρ_c é a resistividade elétrica do concreto [$\Omega \cdot m$], R_c é a resistência elétrica do concreto [Ω], S é a área da face da amostra em que a esponja está localizada [m^2] e L é a altura das amostras [m].

A resistividade elétrica volumétrica do concreto é expressa em números inteiros, representando uma média das duas medidas feitas em cada corpo de prova, de acordo com a equação (5).

$$\rho_{Vcon} = \underline{\rho_c} \cdot k_c \quad (5)$$

Onde ρ_{Vcon} é a resistividade elétrica volumétrica do concreto [$\Omega \cdot m$], ρ_c é a média das duas medidas feitas em cada corpo de prova [$\Omega \cdot m$] e k_c é o fator de cura, igual 1,1 para cura em imersão em água saturada de $Ca(OH)_2$.

O ensaio para determinação da resistividade elétrica superficial pelo método dos quatro pontos, também conhecido como método de Wenner, foi consolidado pela norma americana AASHTO T358-15 (AASHTO, 2015) e apresentado pela Prática Recomendada de determinação da resistividade elétrica em corpos de prova de concreto (IBRACON, 2021). Para realização do ensaio foram utilizados 2 corpos de prova cilíndricos de 100 x 200 mm de cada mistura já saturados. Os corpos de prova foram posicionados em um suporte para evitar a rotação da amostra e a sonda foi posicionada longitudinalmente a 0° , 90° , 180° e 360° . A resistividade elétrica superficial do concreto é representada pela média das quatro medidas feitas em cada corpo de prova, de acordo com a equação (6).

$$\rho_{Scon} = \underline{\rho_c} \cdot k_c \cdot k_f \quad (6)$$

Onde ρ_{Scon} é resistividade elétrica superficial do concreto [$\Omega \cdot m$], k_c é o fator de cura, igual a 1,1 para cura em imersão em água saturada de $Ca(OH)_2$, e k_f o fator de forma, igual a 0,571.

3 RESULTADOS

3.1 Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão para os concretos produzidos com adições de sílica de casca de arroz (RHS8), sílica ativa (SF8) e sílica ativa em suspensão (SFS8) são apresentados na Figura 3.1. Observa-se que os traços apresentaram resultados muito semelhantes tanto aos 7 quanto aos 28 dias. Nota-se que, embora apresentem pouca diferença entre os seus valores de resistência à compressão, o traço SF8 apresentou a maior resistência à compressão aos 28 dias e também o maior incremento de resistência entre 7 e 28 dias – sendo essa da ordem de 31 %.

As outras amostras apresentaram menores aumentos na resistência em comparação à amostra de referência, que teve um incremento de aproximadamente 22 %. No concreto RHS8 observa-se um aumento de aproximadamente 21% enquanto o traço SFS8 apresentou o menor aumento de cerca de 11%.

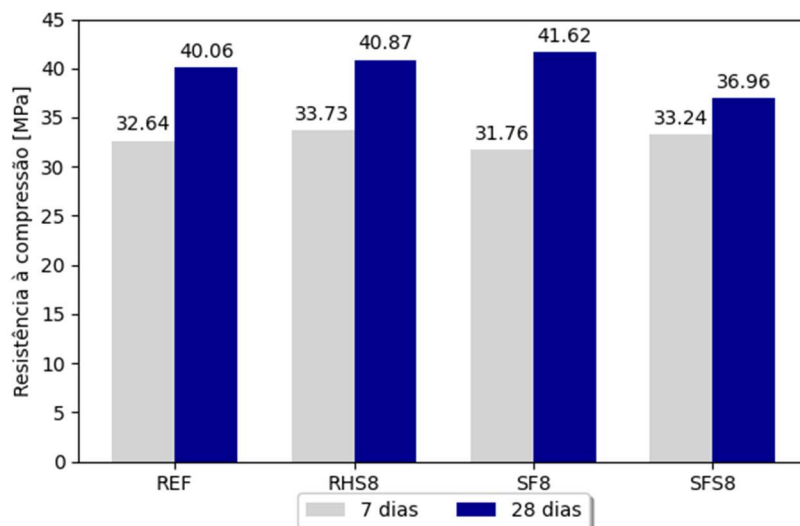


Figura 3.1: Resistência à compressão dos concretos produzidos.

3.2 Coeficiente de migração de cloretos

O coeficiente de migração de cloretos no regime não estacionário foi utilizado como um indicador de durabilidade do concreto. Os resultados são apresentados na Figura 3.2. Observa-se que as misturas contendo sílica de casca de arroz (RHS8), sílica ativa (SF8) e sílica ativa em suspensão (SFS8), apresentaram um desempenho significativamente superior em comparação ao traço de referência (REF). Além disso, a amostra SF8 destacou-se como a de melhor resultado entre todas as amostras. Em comparação com o

REF, o valor reduziu aproximadamente 83%. Os concretos RHS8 e SFS8, por sua vez, apresentaram diminuições de 49,3% e 67,3%, respectivamente, quando comparadas à amostra REF.

Esses resultados corroboram as observações de Sell Junior et al. (2021) e estão diretamente relacionados às características físicas e químicas da sílica ativa, que promovem melhorias significativas na microestrutura da matriz cimentícia. Esses benefícios decorrem principalmente da reação pozolânica, que gera produtos adicionais de hidratação, do refinamento da microestrutura, que aumenta a densidade da matriz, e da redução da porosidade capilar, que limita a penetração de agentes agressivos.

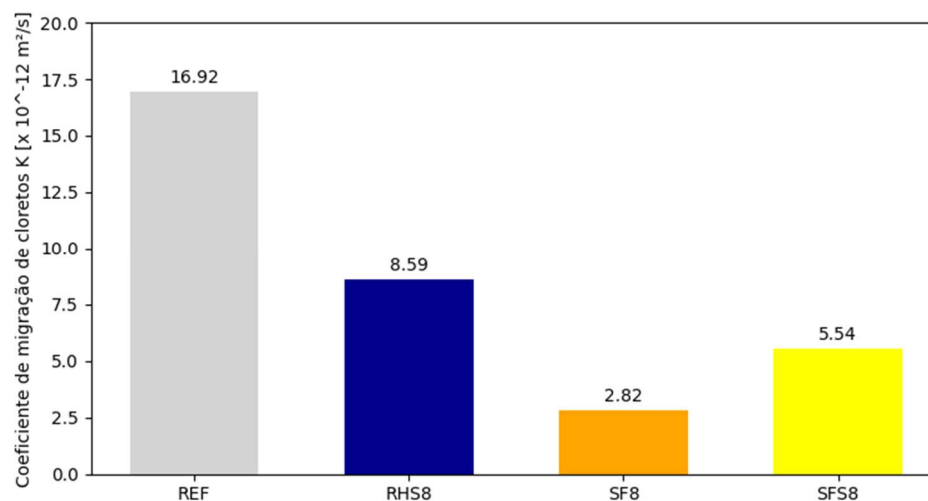


Figura 3.2: Coeficiente de migração de cloretos dos concretos produzidos.

3.3 Resistividade elétrica superficial e volumétrica

Os resultados dos ensaios de resistividade elétrica superficial e resistividade elétrica volumétrica para os concretos produzidos contendo as adições dos minerais sílica de casca de arroz (RHS8), sílica ativa (SF8) e sílica ativa em suspensão (SFS8), são apresentados, respectivamente, nas Figuras 3.3 e 3.4. Observa-se que em ambos os ensaios o traço que apresentou o melhor desempenho foi o SF8 e pior desempenho foi o REF. Todos os traços com adições minerais apresentaram incrementos significativos nos seus valores de resistividade, o que está relacionado com o refinamento da microestrutura proporcionado pelas adições, o que, conseqüentemente, reduz a interconectividade dos poros e a passagem de corrente pelas amostras.

Os melhores resultados obtidos em ambos os ensaios foram observados na amostra SF8. No ensaio de resistividade elétrica superficial, essa amostra apresentou um aumento significativo na resistividade, passando de 4,94 para 32,83, o que representa um acréscimo de aproximadamente 565,6% em comparação à amostra de referência (REF).

No ensaio de resistividade elétrica volumétrica, a resistividade da amostra SF8 aumentou de 4,32 para 23,38, correspondendo a um crescimento de cerca de 440,2%.

Os resultados do ensaio de resistividade elétrica superficial mostraram que a amostra RHS8 apresentou um aumento de 215,2% em relação à amostra REF, enquanto no ensaio de resistividade elétrica volumétrica, o aumento foi de 183,2%.

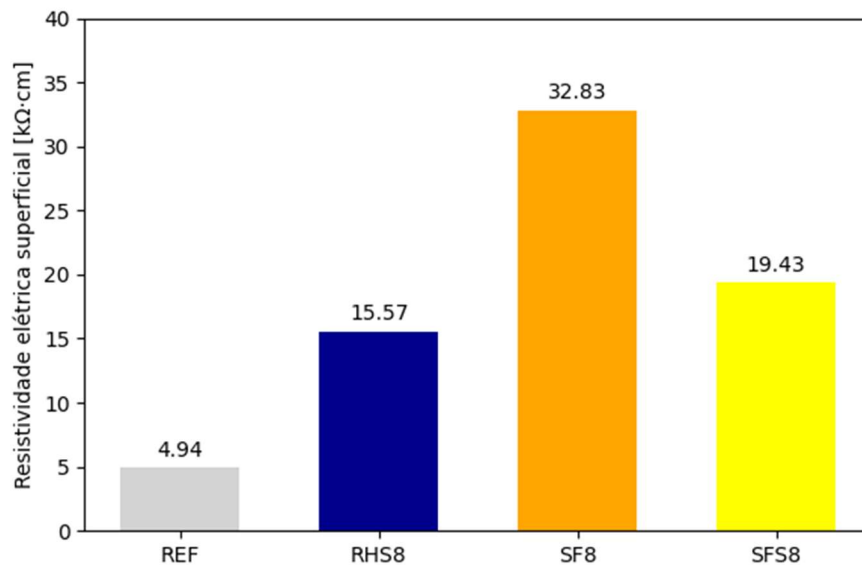


Figura 3.3: Resistividade elétrica superficial dos concretos produzidos.

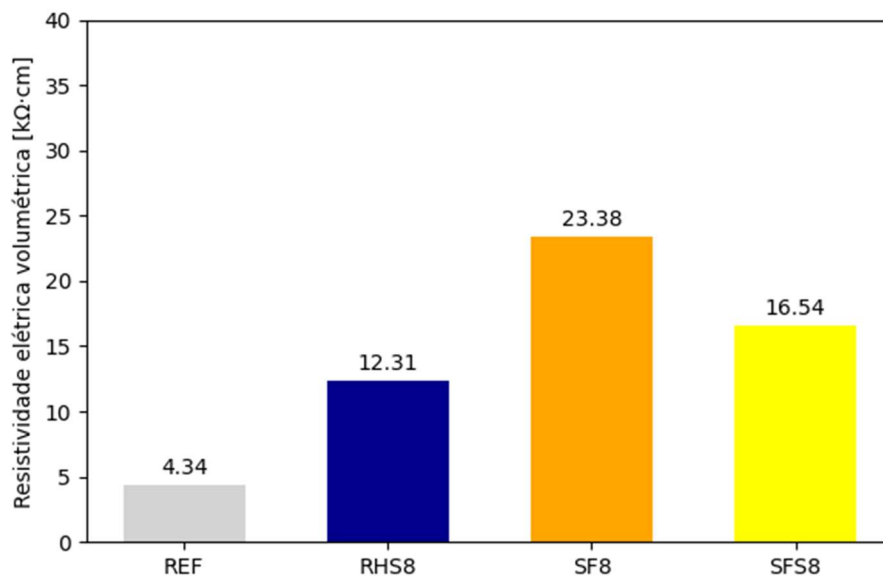


Figura 3.4: Resistividade elétrica volumétrica dos concretos produzidos.

Para a amostra SFS8, o ensaio de resistividade elétrica superficial indicou um aumento de 293,3% em comparação com a amostra REF, e o ensaio de resistividade elétrica volumétrica registrou um aumento de 281,6%.

É importante destacar que há uma relação entre a resistividade elétrica e o potencial de durabilidade do concreto; à medida que a resistividade elétrica aumenta, a resistência

à penetração de íons cloreto também tende a ser maior, conforme ilustrado na Figura 3.5. Isso sugere que concretos com alta resistividade elétrica tendem a apresentarem menores coeficientes de migração de cloretos, o que é capaz de indicar um maior potencial de durabilidade do concreto em ambientes de alta agressividade, como os expostos a íons de cloreto. Esse aumento da resistividade elétrica em misturas contendo adições de minerais também pode ser observado no estudo conduzido por Sasanipur, Aslani e Taherinezhada (2019).

A presença de sílica ativa melhora a interface entre os agregados e a pasta de cimento, cobrindo as superfícies porosas. Portanto a sílica ativa atua na melhora da zona de transição, preenchendo espaços porosos e aumentando a densidade dos materiais devido às suas propriedades pozolânicas (Duan *et al.*, 2013).

Na Figura 3.5, tanto para a resistividade superficial quanto para a volumétrica, o R^2 indica uma correlação forte entre os parâmetros, sugerindo que a resistividade elétrica é um bom preditor do Coeficiente D_{nssm} , sendo capaz de ser usada como uma ferramenta indireta para estimar a durabilidade do concreto.

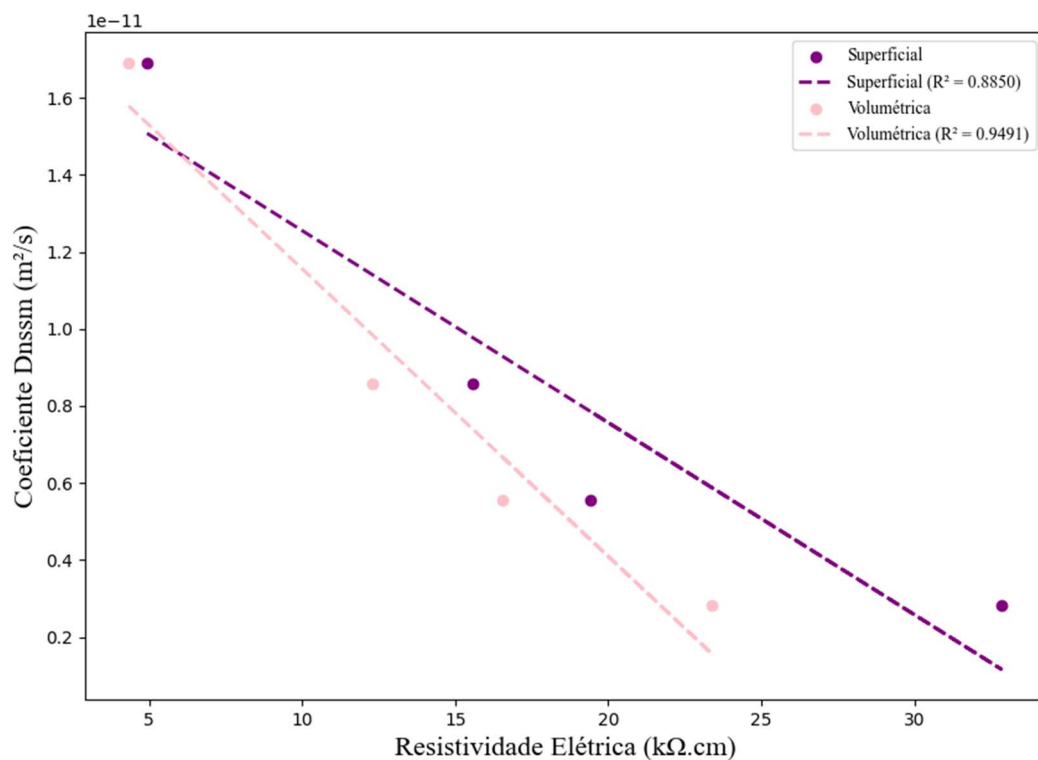


Figura 3.5: Correlação entre o coeficiente de migração de cloretos D_{nssm} e a resistividade elétrica volumétrica e superficial.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados os resultados da influência do uso de três diferentes tipos de sílica no potencial de durabilidade de concretos sujeitos à penetração de cloretos. Foi avaliado, então, o desempenho mecânico através do potencial de durabilidade dos materiais a partir de um conjunto de ensaios padronizados, dentre eles: resistência à compressão (7 e 28 dias), Coeficiente de migração de cloretos (NT Build 492) e resistividade elétrica (superficial e volumétrica).

Os resultados obtidos por meio dos ensaios de resistência à compressão dos quatro diferentes traços analisados apresentaram mínimas variações em ambas as idades do concreto (7 e 28 dias). Tal observação indica que o ensaio de compressão não apresenta grande sensibilidade às diferentes conformações microestruturais que podem ser apresentadas por concretos; não sendo, portanto, um indicador de durabilidade adequado.

Diferentemente do ensaio de resistência à compressão, o coeficiente de migração de cloretos em regime não estacionário (NT Build 492), bem como o ensaio de resistividade elétrica (superficial e volumétrica), apresentaram diferenças significativas entre os concretos produzidos sem, e com, o uso de adições, de forma que estes últimos demonstraram melhor desempenho em comparação ao concreto de referência.

Dito isto, pôde-se observar, ainda, um paralelo entre os resultados obtidos dos ensaios NT Build 492 e resistência elétrica. De tal forma que, em todos os ensaios, os traços seguiram um padrão de maior e menor resistência à ataque de agentes agressivos, sendo de maior para menor resistência, respectivamente: SF8, SFS8, RHS8 e REF.

De modo geral, dentre as sílicas utilizadas como adição pozolânica nos concretos avaliados neste trabalho, a adição de sílica ativa (SF8) demonstrou-se ser a mais eficaz, em comparação com os demais traços, propiciando a obtenção de concretos com maior resistência ao ingresso de agentes agressivos.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo auxílio financeiro (Edital PqG 07/2021).

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T358-15. *Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. Washington, AASHTO, 2015.

- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR).
UNE-83988-1: *Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica. Parte 1: Método directo (método de referencia)*. Madrid, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: *Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: *Cimento Portland - Determinação da Resistência à compressão*. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: *Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: *Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: *Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- DUAN, Ping; SHUI, Zhonghe; CHEN, Wei SHEN, Chunhua. *Effects of metakaolin, silica fume and slag on pore structure, interfacial transition zone and compressive strength of concrete*, *Constr. Construir*. Matéria 44, jul. 2013. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.075>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813002109?via%3Dihub>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- HU, L., ELE, Z., CAI, X., ZHANG, S. *Microstructure and properties of sustainable cement-based materials using combustion-treated rice husk ash*. *Constr. Construir. Mater*, 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. *Procedimento de ensaios de difusão e migração de cloretos, visando a estimativa de VUP em concretos*. 1ª ed. IBRACON: São Paulo, 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. *Procedimento de determinação da resistividade elétrica em corpos de prova e testemunhos de concreto*. 1ª ed. IBRACON: São Paulo, 2021.
- MARIA, M., NELLI, G, ROZA, S., AVETIK, A., MARINEA., RAFAYEL, R., MKRTICH, Y., DAVID, L., YEGHIAZAR V., YEEGHIAZAR, V. *Effect of silica fume concentration and water-cement ratio on the compressive strength of cement-based mortars*. *Build*, 2024.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. HASPARYK, N. P. (Ed. Trad.). 2ª Ed. São Paulo, Ibracon, 2014.
- NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. Trad.: Ruy Alberto Cremonini. Porto Alegre, Bookman, 2016.

- NORDTEST. NT BUILD 492: *Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments*. Espoo: NT BUILD, 1999.
- RIBEIRO, D. V. Estrutura dos poros e mecanismos de transporte no concreto. In: *Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto – Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção*. Rio de Janeiro, Elsevier, 2018.
- SASANIPUR, Hossein; ASLANI, Farhad; TAHERINEZHADA, Javad. *Effect of silica fume on durability of self-compacting concrete made with waste recycled concrete aggregates*. Construction and Building Materials, ago. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.324>. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095006181931997X>. Acesso em: 8 maio 2024.
- SELL JUNIOR, F. K., WALLY, G. B., TEIXEIRA, F. R., MAGALHÃES, F. C. Experimental assessment of accelerated test methods for determining chloride diffusion coefficient in concrete. *IBRACON Structures and Materials Journal*, 14, e14407, 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000400007> Disponível em: scielo.br/j/riem/a/4qsXnpqhkNQzmlD6H868CTn/?format=pdf&lang=en. Acesso em: 8 jul. 2024.
- SOLOMON, A., WOUBISHET, Z., DUY-HAI vo., MITIKU, D. *Rice Husk Ash in Concrete*. Sustainability, 2022.
- TECNOSIL. *Sílica Ativa*. Disponível em: <<http://www.tecnosilbr.cpm.br>>. Acesso em 2024.
- TUTIKIAN, Bernardo; ISAIA, Geraldo.; HELENE, Paulo. *Concreto de Alto e Ultra-alto Desempenho*. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: Editora IBRACON, 2011.