

Durabilidade de concretos produzidos com agentes de cura interna submetidos à ação de cloretos

J. G. Berton^{1*}, L. C. P. Silva Filho¹

* Autor de Contato: berton_julia@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i3.665>

Recebido: 31/01/2023 | Correções recebidas: 21/08/2023 | Aceito: 31/08/2023 | Publicado: 01/08/2023

RESUMO

O procedimento para promover a cura interna é uma das estratégias para reduzir o processo de retração do concreto de alta resistência com baixa relação água/cimento. Vários materiais têm sido utilizados como agentes de cura, como materiais porosos, que devem atender aos requisitos mínimos definidos pela ASTM C1761. Esta pesquisa buscou contribuir para o desenvolvimento de novas formas de inibir a degradação de estruturas de concreto armado por meio da utilização de casca cerâmica e argila expandida, utilizadas como agente de cura interna em concretos submetidos a ação de cloretos. Com base nos resultados encontrados, é possível verificar que os agregados selecionados, principalmente a casca cerâmica, contribuíram para a melhoria das propriedades mecânicas e durabilidade dos concretos nas condições avaliadas.

Palavras-chave: cura interna; materiais porosos; ação de cloretos; durabilidade.

Citar como: Berton, J. G., Silva Filho, L. C. P. (2023), "*Durabilidade de concretos produzidos com agentes de cura interna submetidos à ação de cloretos*", Revista ALCONPAT, 13 (3), pp. 299 – 311, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i3.665>

¹ PPGEC – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho, o autor J. G. Berton contribuiu com a ideia original em 50%, redação do trabalho em 90%, experimentação em 90%, coleta de dados em 100% e discussão dos resultados em 75%. L. C. P. Silva Filho contribuiu com a ideia original em 50, redação do trabalho em 10%, experimentação em 10% e discussão dos resultados em 25%.

Licença Creative Commons

Copyright (2023) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2024, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2024.

Durability of concrete produced with proven internal curing agents subjected to the action of chloride

ABSTRACT

The procedure to promote internal curing is one of the strategies to reduce the shrinkage process of high strength concrete with low water/cement ratio. Various materials have been used as curing agents, such as porous materials, which must meet the minimum requirements defined by ASTM C1761. This research sought to contribute to the development of new ways to inhibit the degradation of reinforced concrete structures through the use of ceramic shell and expanded clay, used as an internal curing agent in concrete subjected to the action of chlorides. Based on the results found, it is possible to verify that the selected aggregates, mainly the ceramic shell, contributed to the improvement of the mechanical properties and durability of the concretes in the evaluated conditions.

Keywords: internal curing; porous materials; chlorides action; durability.

Durabilidad de hormigones elaborados con agentes de curado interno sometidos a la acción del cloruro

RESUMEN

El procedimiento para promover el curado interno es una de las estrategias para reducir el proceso de retracción del concreto de alta resistencia con baja relación agua/cemento. Se han utilizado varios materiales como agentes de curado, como materiales porosos, que deben cumplir con los requisitos mínimos definidos por la norma ASTM C1761. Esta investigación buscó contribuir al desarrollo de nuevas formas de inhibir la degradación de las estructuras de hormigón armado mediante el uso de caparazón cerámico y arcilla expandida, utilizados como agente de curado interno en hormigones sometidos a la acción de los cloruros. Con base en los resultados encontrados, es posible verificar que los agregados seleccionados, principalmente la cáscara cerámica, contribuyeron a la mejora de las propiedades mecánicas y durabilidad de los hormigones en las condiciones evaluadas.

Palabras clave: curado interno; materiales porosos; acción de cloruros; durabilidad.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade das estruturas de concreto armado pode ser definida como a capacidade das estruturas em resistir às influências ambientais previstas e definidas no início dos trabalhos de elaboração do projeto, ou seja, o resultado da interação entre a estrutura, o ambiente, as condições de uso e de manutenção das estruturas. Apesar de todo o desenvolvimento dos conceitos acerca de durabilidade e vida útil das estruturas e avanços ligados à tecnologia na construção civil, ainda é possível verificar a degradação precoce de estruturas, caracterizadas por manifestações patológicas.

Segundo Pereira da Costa (2015), às manifestações patológicas em estruturas de concreto decorrem devido a erros de projeto, execução inadequada, uso, mudanças no ambiente, materiais empregados, ou pode proceder de um conjunto destes fatores. Pesquisadores afirmam que grande parte destas manifestações são resultado de falhas de projeto e/ou execução, o que pode ser devido a desconsideração do meio no qual a estrutura estará inserida, negligência de ações ou até mesmo ao não conhecimento dos processos degenerativos existentes. Conforme Bolina, Tutikian e Helene (2019) o surgimento de manifestações patológicas em edificações pode provir de inúmeros fatores e de diversas fontes, sendo produzidos por meio de causas simples ou combinadas.

Dentre os fatores atrelados à ocorrência das manifestações patológicas, a porosidade do concreto está diretamente ligada ao transporte de agentes agressivos no concreto. A porosidade aberta refere-se a poros abertos e interligados, que permitem desta forma o transporte de agentes agressivos no material. De acordo com CEB (1992) e Metha e Monteiro (2014), os poros que afetam o transporte de agentes agressivos no concreto são os poros capilares, que são formados devido a evaporação de água durante os processos de hidratação e cura, e os macroporos. Para Silva (2011), a conexão entre estes poros e a tortuosidade são propriedades fundamentais para a determinação da sua estrutura, sendo que somente poros interconectados participam do processo de transporte de substâncias.

Cada vez mais buscam-se formas de reduzir a ocorrência de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Uma das formas estudadas para buscar concretos com maior durabilidade e resistência são as relacionadas a redução da relação água/cimento utilizadas na mistura, atrelada a técnica de cura interna que consiste em introduzir à mistura os chamados agentes de cura interna, que são materiais capazes de atuar como reservatórios de água, que atuam como reguladores a fim de manter a umidade relativa interna elevada, e por consequência podem prevenir ou até mesmo reduzir os efeitos causados pela auto dessecação. Esses agentes de cura interna, são normalmente materiais porosos com capacidade de armazenar e liberar água rapidamente (CAETANO, 2019). Os estudos realizados pela autora, mostraram a eficiência dos agentes de cura interna quanto a retração autógena e permeabilidade. Da mesma forma Cusson e Margeson (2010) e Thomas (2006), observaram em seus estudos uma redução na permeabilidade de cloretos e água de misturas com agentes de cura interna em comparação a concretos utilizando apenas agregados tradicionais.

Assim, a presente pesquisa busca avaliar a utilização de casca cerâmica e argila expandida como agentes de cura interna em concretos submetidos à ação direta de cloretos por meio de ensaios acelerados. Desta forma, além da utilização destes materiais como agentes de cura através de ensaios de estrutura de poros e desempenho mecânico, será avaliada sua eficácia quanto a durabilidade de concretos expostos a ambientes altamente agressivos, através da realização do ensaio de corrosão acelerada por imersão modificada e penetração de cloretos.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais, determinação do traço, moldagem e cura

Da mesma forma que realizado por Caetano (2019), utilizou-se como base para a produção dos concretos os estudos publicados por RILEM TC 255 – SAP Newsletter n°1 e da normativa ASTM C1761 (2015) que apresenta os requisitos que os materiais devem atender para assegurar o seu potencial como agentes de cura interna. Para esta pesquisa utilizou-se como agentes de cura interna o resíduo britado da casca cerâmica para microfusão, chamada apenas de casca cerâmica, e a argila expandida, conforme apresentado na Figura 1 a seguir. Utilizou-se o cimento CP-V ARI, dado seu elevado teor de clínquer. Como agregado miúdo utilizou-se areia fina.



Casca cerâmica

Argila expandida

Figura 1. Casca cerâmica e argila expandida utilizadas

Ambos os materiais, além da areia utilizada, foram ensaiados conforme os requisitos da ASTM C1761 (2015), apresentando conformidade parcial com os requisitos mínimos estabelecidos. A casca cerâmica encontra-se em desacordo quanto a granulometria, massa unitária e presença de impurezas orgânicas. Já a argila expandida as inconformidades encontradas são relacionadas a granulometria e impurezas orgânicas. A areia analisada encontra-se dentro das faixas estabelecidas para todos os parâmetros analisados.

O traço definido para a mistura, baseado em RILEM, conforme citado anteriormente, foi definido em 1:1914 de cimento e areia com relação água/cimento de 0,30 e uma adição de 10% em massa de sílica ativa. A proporção de água a ser reservada pelo agregado para ser utilizada no processo de hidratação do concreto foi determinada com base no modelo de Powers, sendo que para o traço utilizado é necessário adicionar 0,066 kg de água para cada 1 kg de cimento utilizado. A Tabela a seguir apresenta o quantitativo de materiais utilizados adaptado pelos autores com base em RILEM TC 255 – SAP Newsletter n°1.

Tabela 1. Quantitativo de materiais conforme RILEM 225 - SAP

Material	Quantitativo RILEM TC 225 -SAP (kg/m ³)
Cimento CEM I 42.5 R (Schwenk)	700
Sílica Ativa (Elkem, grade 917-U)	70
Água (a/c=0,3)	210
Agregado (areia (0/4))	1218
Areia de quartzo (0,06/0,2)	121,8
Superplastificante - 1,8% do cimento	12,6

Os agentes de cura interna foram utilizados como substitutos parciais da areia fina utilizada, sendo os valores teóricos utilizados com base nos estudos realizados por Caetano (2019), sendo em volume a substituição de 45% para a casca cerâmica e 67% para a argila expandida.

Previamente a realização da mistura dos materiais, os materiais porosos (casca cerâmica e argila expandida) foram imersos por 24 horas na quantidade total de água utilizada na mistura, levando a saturação do agregado. Após 24 horas realizou-se a moldagem dos corpos de prova pertencentes a cada um dos traços em argamassadeira de 20 L, conforme apresenta a Figura 2. Finalizada a moldagem todos os corpos de prova foram levados para a cura úmida por 28 dias.



Figura 2. Materiais e argamassadeira utilizadas

2.1 Absorção e índice de vazios

Para a determinação dos índices de vazios, da absorção e da massa específica dos microconcretos estudados foi utilizado os parâmetros descritos pela NBR 9778 (ABNT, 2005). Desta forma, moldou-se três corpos de prova de 10 x 20 cm (diâmetro x comprimento) de cada um dos traços estudados. Na Figura 4 apresenta-se duas etapas do ensaio, a primeira (a) consiste na determinação da massa do corpo de prova e em (b) a etapa na qual os corpos de prova são submersos e levados à fervura por um período de 5 horas.



Figura 3. Etapas de realização do ensaio de absorção e índice de vazios

2.2 Resistência à compressão

Para a análise da resistência à compressão dos concretos produzidos, adotou-se o descrito na NBR 12041 (ABNT, 2012) - Argamassa de alta resistência mecânica para pisos — Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral, visto que os microconcretos produzidos apresentam uma distribuição granulométrica reduzida similar a encontrada em argamassas, devido a não utilização de agregado graúdo.

Desta forma, foram moldados 4 corpos de prova de cada um dos traços para cada uma das idades ensaiadas, 3, 7 e 28 dias. Realizou-se também a ruptura de 4 corpos de prova aos 75 dias, idade de término dos ensaios de penetração de cloretos para fins de avaliação da resistência nesta data. A Figura 5 apresenta a execução do ensaio de resistência à compressão.

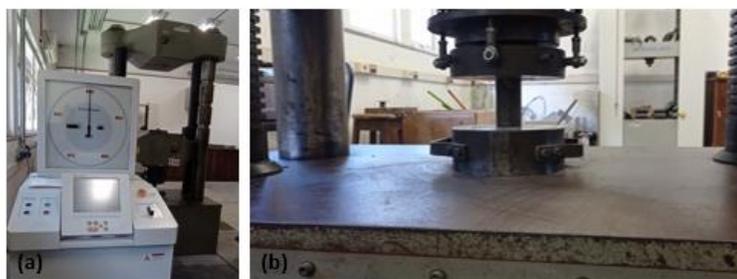


Figura 5. Ensaio de resistência à compressão

2.3 Módulo de elasticidade

Para a realização do ensaio de módulo de elasticidade do concreto seguiu-se os parâmetros expostos na NBR 8822 (ABNT, 2002). Neste ensaio cada um dos corpos de prova foi submetido a 4 ciclos de carregamento, sendo utilizado em cada ciclo como patamar superior de tensão 30% do valor correspondente ao maior resultado de resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados. Os deslocamentos entre as seções de controle foram medidos com o auxílio de LVDTs (*Linear Variable Differential Transformer*), que foram previamente posicionados nos corpos de prova, conforme mostra a Figura 6. Os valores referentes a carga e deslocamento são monitorados, adquiridos e armazenados com auxílio de um sistema de aquisição de dados do tipo QUANTUN, sendo utilizado o software CATMAN EASY para a visualização e controle de todo o ensaio realizado.



Figura 6. Ensaio de módulo de elasticidade

2.4 Penetração de cloretos

Para a realização do ensaio de penetração de íons cloretos, seguiu-se os parâmetros estabelecidos pela ASTM C1202 (2022). O ensaio utiliza amostras de concreto com dimensões de 9,5 cm de diâmetro por 5,1 cm de altura, submetido a aplicação de um estímulo elétrico de $60V \pm 0,1V$ durante 6 horas. Essas amostras cilíndricas foram acopladas em meias-células de acrílico, no qual as faces foram expostas a duas soluções distintas, em uma face hidróxido de sódio (NaOH) em concentração de 0,3N, enquanto a outra meia-célula recebe uma solução de cloreto de sódio (NaCl) com concentração de 3% em massa.

Desta forma, moldou-se corpos de prova de 10x20 cm que foram cortados e apenas a camada central com 5,1 cm de altura foi utilizada. Após o corte as fatias ainda passaram por um pré-condicionamento. A Figura 7 apresenta o esquema de realização do ensaio.



Figura 7. Ensaio de penetração de cloretos

Com as medições das correntes elétricas durante as 6 horas de realização do ensaio é possível analisar a carga total passante, que conforme a referida norma é determinada pela Equação a seguir, onde Q corresponde a carga total passante, em Coulombs, I_0 é a corrente medida imediatamente após a aplicação da tensão, em Amperes e I_t é a corrente medida nos intervalos “t” minutos, em Amperes.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} = 2I_{330} + 2I_{360}) \quad (1)$$

O valor correspondente a carga passante sofre ainda uma correção apresentada na equação a seguir, visto que as amostras têm diâmetro diferente de 95 mm.

$$Q_s = Q_x \left(\frac{95}{X}\right)^2 \quad (2)$$

Desta forma, com os resultados totais de carga passante é possível classificar o concreto quanto ao risco à penetração de íons cloretos, conforme os parâmetros descritos pela ASTM C1202 (2022), que estão expostos na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Classificação quanto ao risco de penetração de íons cloretos

Risco de penetração de íons cloretos	Carga Passante (Coulomb)
Alto	> 4000
Moderado	2000 a 4000
Baixo	1000 a 2000
Muito baixo	100 a 1000
Desprezível	<100

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os resultados de cada um dos ensaios realizados em conjunto com a sua análise e interpretação. Todos os dados exibidos nos tópicos a seguir foram tratados de forma a eliminar os valores espúrios com o auxílio do software Excel.

3.1 Absorção e índice de vazios

O ensaio de absorção conforme NBR 9778 (ABNT, 2005) é baseado no processo em que a água é transportada para o interior do concreto e tende a ocupar todos os espaços presentes em uma amostra, ou seja, é o processo em que a água ocupa os poros totais de uma amostra. Assim, a penetração de água é obrigada a dissipar-se em todas as direções permitindo avaliar a quantidade total de poros existente nos microconcretos que vem sendo analisados. Na Figura 8 é apresentado o gráfico com os valores médios de absorção e índice de vazios determinados com base nos parâmetros descritos pela normativa.

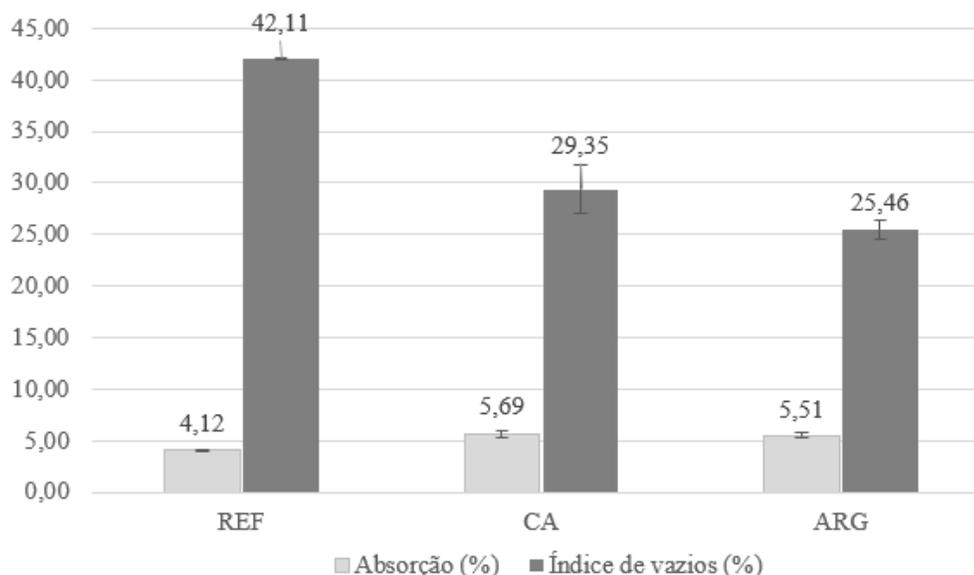


Figura 8. Valores médios de absorção e índice de vazios

Observando a Figura 8 nota-se que os microconcretos pertencentes ao traço referência apresentaram uma absorção de água menor e um índice de vazios maior ao comparado com os dois demais traços analisados. O microconcreto com casca cerâmica (CA) incorporada a mistura apresentou uma redução no índice de vazios de 30,30% em relação ao traço referência (REF), enquanto os concretos produzidos com argila expandida (ARG) apresentaram uma redução de 39,54% também em relação ao traço referência (REF). Conforme os resultados encontrados por estudos realizados por Kim et al. (2018), Caetano (2019) a diminuição do índice de vazios destes concretos pode ter sido dado pela liberação de água para a cura interna, gerando concretos com menor quantidade de poros e menor interconectividade de poros. Em contrapartida, os valores de absorção apresentaram leve aumento para ambos os traços analisados.

3.2 Resistência à compressão

A seguir, na Figura 9 são apresentados os valores relativos a resistência à compressão dos concretos produzidos conforme as idades ensaiadas.

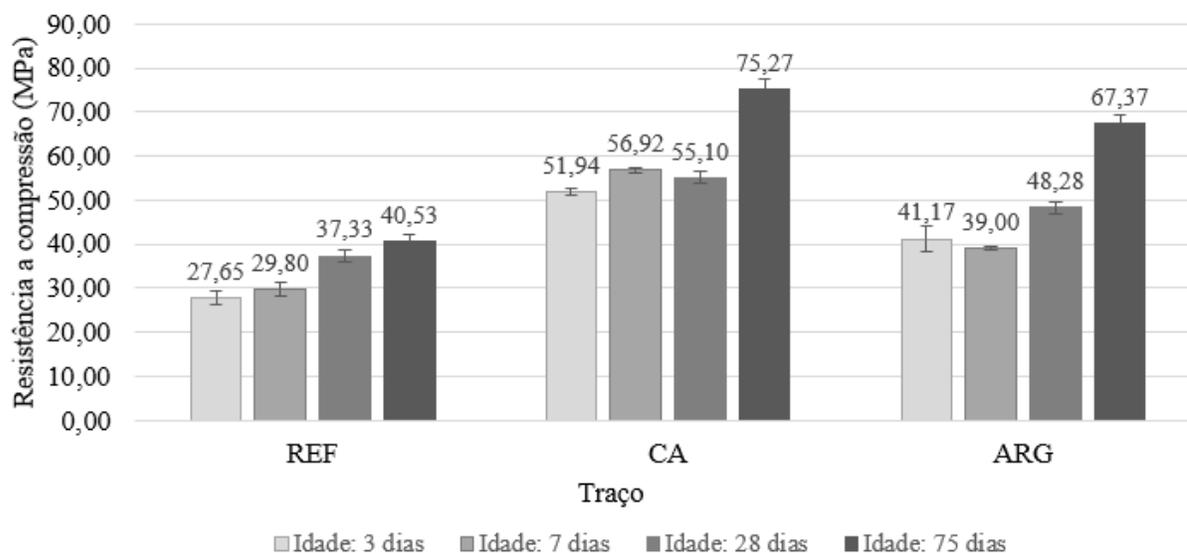


Figura 9. Resistência à compressão por idade

Com a análise da Figura 8 é possível perceber que as adições de casca cerâmica (CA) e argila expandida (ARG) conferiram um ganho de resistência em relação ao traço referência (REF). Acredita-se que essa melhoria de desempenho mecânico é dado pelo aumento das reações de hidratação do concreto devido a cura interna do mesmo proporcionada por estes materiais.

Neste trabalho percebe-se que o traço com casca cerâmica (CAR) apresentou um aumento na resistência na ordem de 40% para as idades de 3, 7 e 28 dias. Já o traço com adição de argila expandida (ARG) apresentou ganho de resistência ao comparado com o traço referência na ordem de 30%, 24,18% e 29,9% para as idades de 3, 7 e 28 dias, respectivamente. Ao realizar o comparativo de resistências entre os grupos com adição de casca cerâmica (CAR) e argila expandida (ARG), percebe-se que a casca cerâmica demonstrou melhores resultados, tendo a resistência maior que a argila expandida na ordem de 20,6%, 28,17% e 11,7% para as idades de 3, 7 e 28 dias, respectivamente.

Ao analisar o traço com adição de casca cerâmica (CA) e o traço com adição de argila expandida (ARG) percebe-se que na idade de 75 dias houve um aumento de 36,6% e de 39,54%, respectivamente, em relação a idade de 28 dias. Acredita-se que este comportamento tenha ocorrido devido a ocorrência de uma maior hidratação das matrizes cimentícias dadas pela cura interna conforme o trabalho realizado por De La Varga (2012) e Bayard, Schindler e Barnes (2010).

3.3 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é uma propriedade que reflete qual a capacidade de deformação dos corpos de prova moldados. O ensaio foi realizado de acordo com os padrões recomendados pela NBR 8522 (ABNT, 20008). Na Figura 10 é possível visualizar os resultados de módulo de elasticidade para cada um dos três grupos de microconcretos analisados.

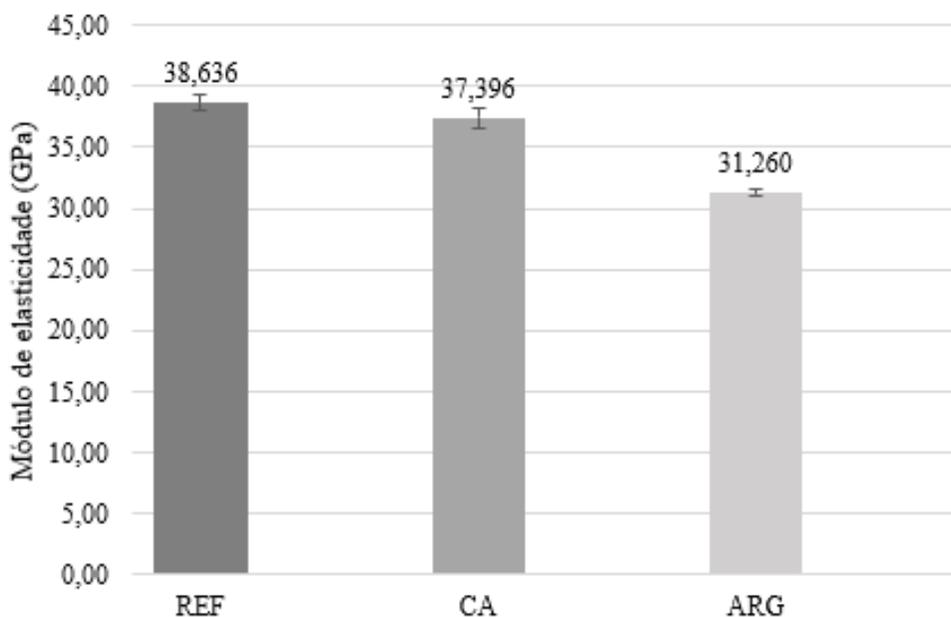


Figura 10. Resistência à compressão por idade

Com base nos resultados percebe-se que houve uma redução nos valores de módulo de elasticidade para os concretos com a adição de agregados leves para cura interna, como já era esperado. A presença de agregados porosos pode ter afetado negativamente o desempenho do módulo de elasticidade tanto para a argila expandida quanto para a casca cerâmica. Para o grupo com casca cerâmica a redução foi de 3,21% enquanto que para a argila expandida a redução registrada foi de 19%.

3.4 Penetração de cloretos

O ensaio de penetração de cloretos, é um ensaio do tipo acelerado, realizado de forma estacionária, onde monitora-se a passagem de corrente elétrica durante um período de 6 horas. Na data de realização do ensaio os corpos de prova apresentavam a idade de 75 dias.

Durante todo o ensaio a temperatura da solução presente em cada uma das meia-células de acrílico foi monitorada, não podendo chegar a temperatura de 90°C. entretanto o traço referência ao atingir 4 horas de ensaio apresentou superaquecimento, com as soluções chegando a temperaturas próximas a 90°C, fazendo com que o ensaio fosse finalizado. Diversos autores como Pereira da Costa (2015) perceberam o mesmo tipo de comportamento durante o ensaio, e acredita-se que isso ocorre devido a alta voltagem que é aplicada na mostra, que pode levar ao aumento da temperatura, resultando em um aumento na carga passante. Na Figura 11 é apresentado o gráfico com a carga passante nas misturas até as 4 horas de ensaio, permitindo assim uma melhor comparação entre os resultados alcançados.

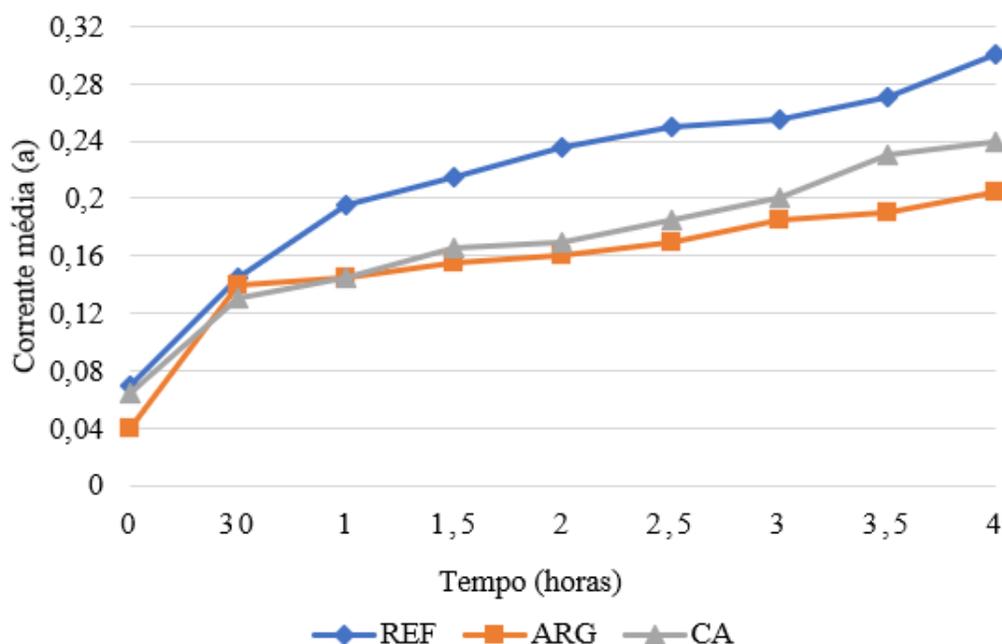


Figura 11. Correntes médias obtidas durante 4 horas de ensaio

Os resultados médios de carga passante, em Coulombs, permitem a verificação da penetrabilidade de íons cloretos no concreto através de tabela apresentada pela ASTM C1202 (2022). Assim, a Tabela 4, apresenta as cargas médias obtidas para cada um dos grupos ensaiados e a probabilidade de penetração de íons cloretos.

Tabela 4. Cargas médias passantes e classificação de penetrabilidade

Traço	Q média (Coulombs)	SD	CV %	Penetrabilidade de íons cloretos
Referência	308,66	66,05	4,67	Muito baixo
Argila expandida	222,56	75,24	2,96	Muito baixo
Casca cerâmica	243,27	74,09	3,28	Muito baixo

Com base na Figura 11 e na Tabela 4, percebe-se que durante as 4 horas de ensaio realizadas para todos os traços analisados os valores de carga passante apresentam-se baixos, sendo desta forma todos classificados como risco muito baixo de penetrabilidade de íons cloretos. Verifica-se também

que o traço com menor tendência a penetração de cloretos foi o traço com adição de argila expandida.

Conforme os resultados encontrados por Zhang e Gjorv (1991), Bentz (2009) e Thomas (2006), a adição de agregados leves que promovem a cura interna ao traço de concreto reduzem a permeabilidade da mistura. Os autores acreditam que este comportamento é dado devido a cura interna, que promove um aumento dos produtos de hidratação do cimento, tornando a matriz mais densa e conseqüentemente reduzindo a permeabilidade dos concretos. O comportamento condiz com o encontrado neste trabalho, ao comparar o tempo de ensaio realizado com todos os corpos de prova.

Entretanto, ao realizar uma análise com o tempo total de ensaio, apresentado na Figura 12 a seguir, analisando-se assim as 6 horas de ensaio, os resultados apresentados são distintos, sendo que para esta análise o traço com casca cerâmica (CAR) apresentou resultado 11,06% maior que o traço referência (REF) e 9,50% maior que o traço com adição de argila expandida (ARG). O mesmo desempenho foi verificado por Caetano (2019), no qual o traço com casca cerâmica apresentou resultado de carga passante 64% maior que ao comparado com o seu traço referência. Desta forma, é possível perceber que as pesquisas com agregados leves acrescentados ao concreto buscando promover a cura interna, apresentam em sua maioria um comportamento melhor ou próximo ao referencial quanto a penetração de íons cloretos no concreto. Acredita-se que a diferença tenha ocorrido devido a diferença de tempo de ensaio entre os traços analisados.

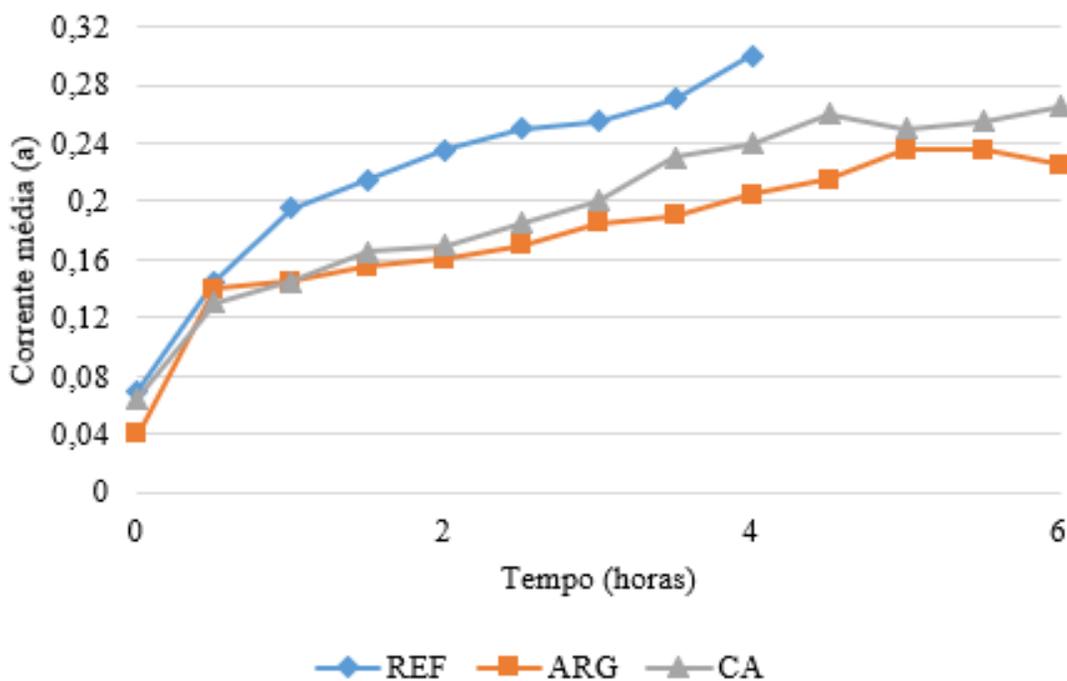


Figura 12. Correntes médias obtidas durante 6 horas de ensaio

4. CONCLUSÕES

A análise dos dados experimentais obtidos durante o desenvolvimento deste estudo percebe-se que tanto a casca cerâmica quanto a argila expandida apresentaram bons resultados relativos à durabilidade e ação de cloretos ao comparados com o traço referência, comprovando a eficácia do uso destes materiais como agentes de cura interna buscando uma maior durabilidade das estruturas. A utilização dos agentes de cura interna promoveu uma redução nos valores relativos ao índice de vazios, comprovando que ocorreu uma maior hidratação da matriz cimentícia, gerando concretos

com menor quantidade de poros e menor interconectividade de poros. Acredita-se que este fator levou a menor penetrabilidade de cloretos na mistura, em especial no traço com a adição de argila expandida. Verificou-se também um aumento na resistência à compressão do concreto com incorporação dos agregados leves, especialmente aos 75 dias. Acredita-se que o fato ocorreu devido às hidratações tardias do concreto sofrerem a influência positiva da cura interna. Entretanto, verificou-se uma leve redução no módulo de elasticidade do concreto. Os resultados apresentados vão de encontro aos verificados por Caetano (2019), na qual os agentes de cura interna apresentaram comportamento semelhante aos encontrados neste trabalho.

Desta forma, é possível confirmar que o uso de casca cerâmica proveniente da microfusão e argila expandida, em especial, apresentam uma elevada capacidade de atuarem como agentes de cura interna, melhorando tanto propriedades mecânicas quanto relacionadas à durabilidade dos concretos, nas condições avaliadas neste estudo.

5. REFERENCES

- American society for testing and materials. (2022). *ASTM C1202: Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration*. Philadelphia.
- American society for testing and materials. (2015). *ASTM C1761: Specification of lightweight aggregate for internal curing of concrete*. West Conshohocken.
- Associação brasileira de normas técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas. (2009). *NBR 9778: Argamassas e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas. (2012). *NBR 12041: Argamassas de alta resistência mecânica para pisos – Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral*. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas. (2021). *NBR 8522: Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e d deformação*. Rio de Janeiro.
- Bolina, Fabricio Longhi. (2019). *Patologia das estruturas*. In TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. HELENE, Paulo. Editora Oficina de Textos.
- Byard, B. E. and Chindler, A. K. (2010). *Cracking tendency of lightweight concrete*. Highway Research Center, Auburn: Auburn University.
- Caetano, L. F. (2019). *Avaliação do potencial de uso de materiais porosos como agregados para cura interna de concretos com reduzida relação a/c*. Tese (Doutorado em engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- De la Varga, I.; Castro, J.; Bentz, D. P.; Weiss, J. (2012) *Application os internal curing for mixtures containing high volumes of fly ash*. Cement and Concrete Composites. v. 34, n. 9. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.06.008>
- Kim, J. H. et al. (2018). *Influence of internal curing on the pore size distribution of high strength concrete*. Construction and Buildings Materials. v. 192. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.130>
- Mehta, P. K; Monteiro, P. J. M. (2014). *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2014.
- Pereira da costa, F. B. (2015). *Análise da Durabilidade de Compósitos Cimentícios de Elevada Capacidade de Deformação Reforçados com Fibras*. 169 f. Dissertacao (Mestrado em engenharia civil) - Programa de Pos-graduacao em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Silva, T. J. (2011). *Mecanismos de Transporte de Massa no Concreto*. In: ISAIA, G. C. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: IBRACON

Thomas, M. D. A. (2006). *Chloride Diffusion in High-Performance Lightweight Aggregate Concrete*. In: Malhotra, V.M. *7th CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute, p. 797-812. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.068>