

Avaliação do comportamento de concretos contendo cinza de casca de arroz frente à autocicatrização

Evaluation of the behavior of concretes containing rice husk ash in self-healing

Christian Candaten Oliveira(1); Francieli Tiecher(2)

1 Mestrando em Engenharia Civil, ATITUS Educação, Passo Fundo/ RS, Brasil.

E-mail: chriscandoli@gmail.com

2 Doutora em Engenharia Civil, ATITUS Educação, Passo Fundo/ RS, Brasil.

E-mail: francieli.bonsembiante@atitus.edu.br

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 12, n. 1, p. 121-129, janeiro-junho, 2023 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2023.v12i1.4955>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui!/click here!](#)

Resumo

A presente pesquisa tem como objetivo a análise do processo de autotricatização do concreto a partir da incorporação da Cinza de Casca de Arroz (CCA) substituindo parcialmente o cimento. O concreto é um material propenso à fissuração por diversos fatores e o processo de autotricatização visa colmatar fissuras no intuito de inibir a ocorrência de manifestações patológicas decorrentes da entrada de agentes agressivos nas estruturas de concreto armado, que levam à deterioração. O fenômeno de autotricatização autógena caracteriza-se pelas reações de hidratação em uma matriz cimentícia a partir de materiais pozzolânicos empregados em sua formulação, tais como a CCA. No presente estudo foi avaliada a incorporação de CCA (em um percentual de 15%). Para a avaliação do processo de autotricatização foram realizados pré-carregamentos em corpos de prova cilíndricos de concreto no intuito de promover sua fissuração. A resistência à compressão foi o parâmetro de avaliação da autotricatização no presente estudo, sendo averiguada aos 28, 56, 84 e 112 dias. Ao final do trabalho foi possível perceber indícios da ocorrência de autotricatização nas amostras de concreto.

Palavras-chave: Autotricatização; Concreto; Fissura; Cinza de Casca de Arroz.

Abstract

The present research aims to analyze the self-healing process of concrete through the incorporation of Rice Husk Ash (RHA), partially replacing the cement. Concrete is a material prone to cracking due to various factors, and the self-healing process aims to repair cracks in order to inhibit the occurrence of pathological manifestations resulting from the entry of aggressive agents into reinforced concrete structures, which leads to their deterioration and corrosion of the reinforcements. The phenomenon of autogenous self-healing is characterized by hydration reactions within a cementitious matrix using pozzolanic materials employed in its formulation, such as RHA. In this study, the incorporation of RHA (at a percentage of 15%) will be evaluated to assess its potential for self-healing purposes. To evaluate the self-healing process, pre-loading was applied to cylindrical concrete specimens to induce cracking. Compressive strength was the parameter used to evaluate self-healing in this study, and it was measured at 28, 56, 84, and 112 days. At the end of the work, there were indications of self-healing occurring in the concrete samples.

Keywords: Self-healing; Concrete; Fissure; Rice Husk Ash.

1 Introdução

O concreto é um material de construção empregado em ampla escala no meio construtivo, pois é facilmente manipulado e possui alta capacidade resistente, bem como um custo relativamente baixo quando comparado a outras opções.

As fissuras são parte integrante e inerente do concreto, mesmo que sejam tomadas todas as medidas preventivas, principalmente devido ao fenômeno de retração do cimento Portland. Porém, as fissuras levam à penetração mais rápida de agentes agressivos e, conseqüentemente, comprometimento das armaduras em relação aos processos corrosivos (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Por definição, a autotocicatrização é a habilidade dos materiais de reparar fissuras de forma autônoma, ou seja, sem intervenções externas GHOSH, 2009; DE BELIE (2013) explica que hidratação dos minerais de clínquer e a carbonatação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) levam à colmatação das fissuras. Neste sentido, a autotocicatrização está dividida em dois tipos: cicatrização autônoma e cicatrização autógena. A cicatrização autônoma ocorre devido a materiais que não estariam presentes no concreto caso não fossem adicionados na fase inicial da mistura. Enquanto a autógena advém dos próprios materiais constituintes do concreto (RILEM, 2013).

A cura autônoma representa as propriedades curativas que atuam nas fissuras, ou seja, o processo de cura ocorre devido a adições de concreto. Os aditivos são incorporados propositadamente na matriz cimentícia para selar fissuras em ambientes aquosos. Segundo esta definição, a utilização de aditivos com propriedades pozolânicas pode ser considerada um aspecto de cura autônoma, uma vez que a hidratação contínua desses aditivos apresenta alto potencial de cura no concreto. (OLIVEIRA, 2019, JCI – TC075B, 2009; MOREIRA, 2016).

A literatura cita com frequência as vantagens da adição de materiais pozolânicos, pois melhoram as características físicas e mecânicas do concreto e um dos motivos para isso se deve à finura do material, em função do preenchimento de vazios e, conseqüentemente, redução da porosidade. As adições pozolânicas também acabam formando C-S-H e esse é o principal motivo da melhora na durabilidade das estruturas. Neste sentido, muitos pesquisadores vêm estudando o fenômeno de autotocicatrização do concreto, como por exemplo Dafico (2001), Van Tittleboom e De Belie (2013), Bianchin (2018), Jogi e Lakshmi (2021), SU Y. *et al.* (2021), Wani *et al.* (2022) e Chen (2023).

O emprego de adições pozolânicas mostra-se eficiente no processo de autotocicatrização e, para exemplificar cita-se alguns estudos realizados no Brasil sobre o tema, tais como Tashima (2012) estudou a utilização de CCA, Pedroso (2019), que estudou a cinza volante, Cavalli (2020), que avaliou os efeitos de escória de alto-forno, Dias (2020), que avaliou o uso de vidro na formulação de concretos e Lampert (2022), que avaliou o uso de cinzas leves.

Uma adição pozolânica abundante no Rio Grande do Sul é a CCA. A casca de arroz é descartada por empresas beneficiadoras de arroz, muitas vezes de forma

inadequada, o que acaba por agredir o meio ambiente. Outras vezes, a casca do arroz é utilizada como combustível para a secagem do próprio grão ou em outras indústrias. Neste caso, o rejeito deste processo é a cinza da casca de arroz (CCA), que devido às suas propriedades físicas e químicas passou a ser estudado como um insumo para substituição parcial do clínquer. Sua utilização como material pozolânico vem sendo intensamente investigada desde a década de 70, principalmente na Índia e nos EUA. A partir da década de 80, com o desenvolvimento da tecnologia do concreto de alto desempenho e a preocupação em obter um máximo de pozolanicidade, a CCA se tornou mais conhecida (DAFICO, 2001).

A fim de contribuir com o conhecimento a respeito do fenômeno da autocicatrização, o presente trabalho busca avaliar o potencial de autocicatrização de concretos produzidos com o uso de CCA.

2 Programa Experimental

O presente estudo fez a avaliação da autocicatrização do concreto por meio do emprego de CCA. A autocicatrização foi testada através da avaliação resistência à compressão ao longo de 120 dias em concretos produzidos com o traço 1:2,36:2,64 (aglomerante: areia: brita, em massa), com consumo de cimento de 373 kg/m³.

2.1 Materiais

No presente estudo foi empregado cimento CP V-ARI, cujas características estão apresentadas na Tabela 1 (obtidas do fabricante).

Tabela 1. Características do cimento adotado

Cimento	Óxidos (%)						Resíduo Insolúvel (%)	Finura Blaine (m ² /kg)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃		
CP V-ARI	19.89	4.43	61.75	3.00	2.37	2.74	0.70	436

Fonte: <https://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=371>. Acesso em: 6 out. 2022.

A composição da CCA pode ser visualizada através da Tabela 2, onde observa-se predominância da sílica nessa adição. No presente estudo foi empregado 15% de CCA em substituição parcial ao cimento.

Tabela 2. Composição química da CCA

Propriedades Físico-Químicas	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Perda ao Fogo
Valor em massa	89,41%	-	1,04%	1,41%	0,52%	0,07%	2,34%	5,19%

Fonte: SOARES (2023).

No estudo foi empregada areia natural, oriunda do município de Porto União/SC, que se enquadra na zona utilizável, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019). O agregado graúdo empregado no estudo é de origem basáltica e é classificado como brita nº 1, sendo seu diâmetro máximo de 19 mm.

2.2 Produção dos concretos

A mistura dos materiais foi realizada em betoneira de eixo vertical, conforme NBR 12655 (2015). Após a mistura, foi avaliada a consistência dos concretos através do ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998). Foram moldados corpos de prova cilíndricos, de dimensão 10 x 20 cm (diâmetro x altura). Após a moldagem, os mesmos foram submetidos à cura úmida, por imersão em água saturada com cal.

2.3 Pré-carregamento

Para avaliação da autocicatrização foi necessário promover a ocorrência de fissuras nos CP's através de um processo de pré-carregamento. Este consistiu em aplicar uma carga pré-definida comprimindo as amostras, de forma que o CP não fosse levado à ruptura.

Seguindo parâmetros da literatura, como nos estudos feitos por Van Tittleboom e De Belie (2013), Ziegler (2020), que utilizaram o método de comparação das amostras através da resistência a compressão, para verificar a ocorrência da autocicatrização, a etapa de pré-carregamento consistiu na ruptura de 3 CP's para obtenção da resistência à compressão, onde adotou-se 30% do menor carregamento entre essas rupturas como parâmetro para pré-carregar os concretos utilizados para avaliação da autocicatrização. Sendo assim, como a carga mínima obtida foi de 24,1 MPa a carga empregada no pré-carregamento foi de 7,2 MPa.

Após o pré-carregamento os CP's retornaram à cura submersa até as respectivas idades para realização dos ensaios para avaliar o potencial de autocicatrização (28, 56, 84 e 112 dias).

2.4 Ensaio para avaliar o potencial de autocicatrização

A avaliação da autocicatrização dos concretos contendo CCA foi feita a partir de análise da resistência à compressão axial. O ensaio foi realizado nas idades de 28, 56, 84 e 112 dias. Para cada idade foram rompidos 6 CP's, destes, 3 correspondem às amostras sem pré-carregamento (referência) e os outros 3 CP's correspondem aos que foi aplicado o pré-carregamento.

3 Resultados e Discussões

Como já descrito, a resistência à compressão dos concretos foi determinada aos 28, 56, 84 e 112 dias. Os resultados médios obtidos podem ser visualizados na Tabela 3.

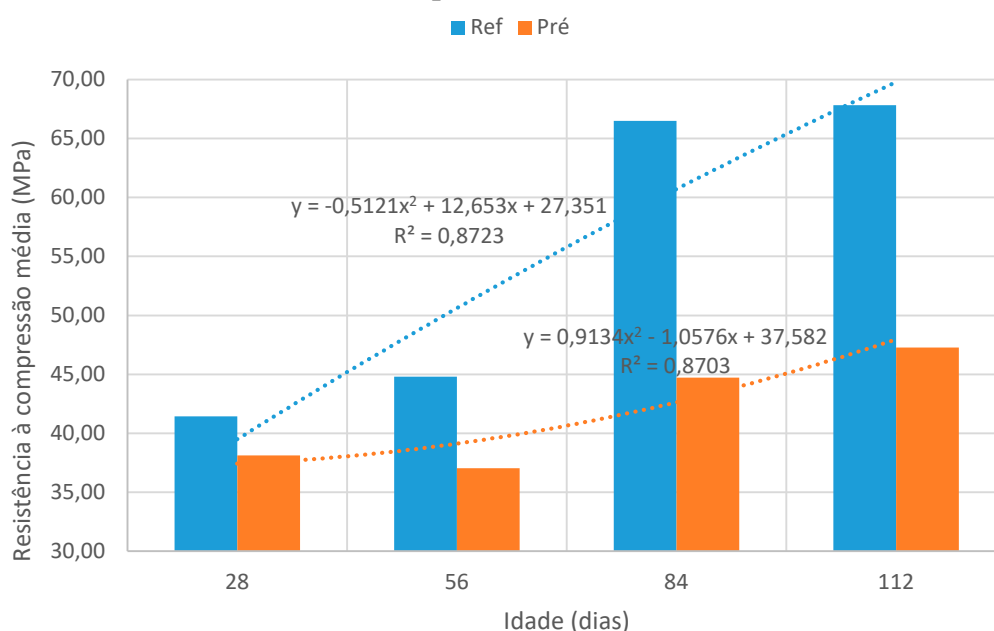
Tabela 3. Resultados médios de resistência à compressão

CP's	Idade (dias)			
	28	56	84	112
15% CCA Ref.	41,42	44,81	66,50	67,84
15% CCA Pré	38,13	37,03	44,72	47,27

Fonte: própria autoria.

No gráfico 1 observa-se a evolução da resistência à compressão e percebe-se que os CP's de referência apresentam ganho de 63,78% de resistência entre 28 e 112 dias. Os CP's pré-fissurados apresentam uma pequena perda de capacidade de resistir a esforços de compressão aos 56 dias (queda de 2,88% da resistência) e, a partir de então, passam a ganhar resistência, o que indica a ocorrência de colmatação das fissuras, tendo, aos 112 dias, um ganho total de 23,97% de resistência à compressão.

Gráfico 1. Resistência à compressão dos concretos com 15% de CCA



Fonte: própria autoria.

O comportamento observado no gráfico 1 evidencia que com o pré-carregamento houve prejuízo na capacidade de carga do concreto, uma vez que as resistências reduziram aos 56 dias, ao passo que para os concretos referência isso não ocorreu. Entretanto, há indícios da efetividade de colmatação das fissuras por parte da CCA tendo em vista que após os 56 dias o concreto pré-carregado voltou a ganhar resistência, muito embora não tenha alcançado a resistência do concreto que não sofreu o pré-carregamento.

O estudo de Cordeiro, Filho e Feirbairn (2009) observou que em idades de 90 a 180 dias, amostras com 15% de cinza ultrafina de casca de arroz não apresentam diferenças de resistência. Os autores ainda complementam que concretos compostos com 20% da cinza apresentam resultados mais satisfatórios quanto ao ganho de resistência.

Houve uma limitação quanto à observação de resultados a longo prazo devido ao breve período da presente pesquisa, porém, de modo geral, com o que pôde ser observado, o uso de CCA mostrou-se viável no processo de produção de concreto e aparentemente de colmatação das fissuras. De todo modo, é importante salientar que as misturas contendo cimento Portland em conjunto com outras adições pozolânicas tendem a ganhar resistência de forma mais significativa em idades avançadas, independente da presença de microfissuras.

4 Conclusões

Através das avaliações feitas foi possível concluir que:

- ♦ O uso de CCA mostrou-se viável no processo de produção de concreto;
- ♦ A resistência à compressão dos concretos com CCA sem pré-fissuração foi superior durante o período de observação, e as amostras continuaram a ganhar resistência ao longo do tempo, evidenciando a eficácia da pozolana na mistura;
- ♦ As amostras pré-carregadas apresentaram maior ganho de resistência que as amostras de referência;
- ♦ Em relação à adição de CCA observou-se recuperação da resistência após uma queda inicial (quando a colmatação das fissuras ainda não havia ocorrido), indicando sua eficácia para este fim. O ganho de resistência entre 56 e 112 dias foi de 27,65%.

Por fim, os resultados obtidos nesta pesquisa apontam para a ocorrência de autocicatrização de fissuras a partir do emprego de cinza de casca de arroz em matrizes cimentícias.

Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação*. Rio de Janeiro, 2019.
- BIANCHIN, F. H. *Avaliação da autocicatrização em concretos produzidos com aditivos cristalizantes e fissurados nas primeiras idades*. Trabalho de Conclusão de curso, 2018.
- CAVALLI, E. *Estudo do uso de escória alto-forno e cinza de casca de arroz no efeito autocicatrizante em concretos submetidos à ação da água*. Poster, 2020.
- CHEN, W. *et al.* Self-healing properties of lightweight high-toughness cementitious composites under dry-wetting cycles. *Journal of Building Engineering*, v. 64, 1 April, 2023.
- CIMENTO ITAMBÉ. Disponível em <https://www.cimentoitambe.com.br/>. Acesso em: 20 out. 2022.
- CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, E. M. R. Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 99-107, out./dez. 2009.
- DAFICO, D. A. *Estudo da dosagem do concreto de alto desempenho utilizando pozolanas provenientes da casca de arroz*. Tese de doutorado. UFSC, 2001.
- DAL MOLIN, D. C. C. *Fissuras em estruturas de concreto armado*. Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado, 1988.
- DE BELIE, et al. A Review of Self-Healing Concrete for Damage Management of Structures. *Advanced Materials Interfaces*, p. 1800074, 2018.
- DIAS, V. M. *Uma análise da viabilidade da adição de vidro em concretos para construção civil*. Trabalho de conclusão de curso. USP, 2020.
- EMBRAPA Arroz e Feijão. *Estatísticas de produção*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 6 maio 2023.
- GOSH, S. K. (ed.). Self-healing materiais: fundamentals, design strategies and applications. In: *Self-healing materials: fundamentals, design strategies and applications*. p. 1-28. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.
- JCI - TC075B. State-of-the-art report of the JCI Technical committee TC-075B: Autogenous healing in cementitious materials. *Proceedings of 4th International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications, ConMat'09*. Nagoya, Japan: [s.n.]. 2009. p. Keynote Lecture, pp. 89-96.
- JOGI, P. K.; LAKSMI, V. Self healing concrete based on different bacteria: A review. *Materials Today: Proceedings*, v. 43, 1246-1252, 2021.
- LAMPERT V. *Propriedades físicas e mecânicas de concreto com utilização de cinzas leves*. Dissertação de mestrado. UFRGS, 2022.

- LIMA, M. S. *Estudo comparativo sobre os tipos de autocicatrização do concreto*. Trabalho de Conclusão de Curso, 2021.
- MOREIRA, M. M. (2016). *Efeito do aditivo redutor de permeabilidade em concretos com diferentes tipos de cimento Portland* – Contribuição aos processos de autocicatrização. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- OLIVEIRA, T. A. *Autocicatrização autônoma de concreto com adição de nanorreservatórios de sílica e LDHS de nitrito sujeitos à ação de íons cloreto ou sulfato*. Curitiba, 2019.
- PEDROSO, M. G. *Autocicatrização do concreto com diferentes tipos de cimentos em interação com catalisador cristalino*. Dissertação de mestrado. UTFPR, 2019.
- PERONDI, L. Z. *Estudo do ataque por sulfatos em matrizes cimentícias com diferentes cimentos pozolânicos*. Dissertação de mestrado. Faculdade IMED, 2022.
- RILEM - Internacional Union of Laboratories and Experts in Constrution Materials. Systems and Strutures. Disponível em: <https://www.rilem.net/groupe/221-shc-self-healingphenomena-in-cement-based-materials-228/page/presentation>. International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures, 2013.
- SOARES, A. *Avaliação de bioconcretos produzidos a partir de resíduos do arroz – uma análise comparativa entre o desempenho ao intemperismo natural e sob condições laboratoriais*. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Atitus Educação, Passo Fundo, 2023.
- SU Y. *et al.* Exploring the coupled mechanism of fibers and bacteria on self-healing concrete from bacterial extracellular polymeric substances (EPS). *Cement and Concrete Composites*, v. 116, February 2021.
- TASHIMA, M. M. *et al.* Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. *Ambiente Construído*, v. 12, n. 2, p. 151–163, abr. 2012. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000200010>
- VAN TITTELBOOM, K.; DE BELIE, N. Self-healing in cementitious materials - A review. *Materials*, n. 6, p. 2182-2217, 2013.
- WANI, S. *et.al.* Self-healing Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology* (IRJET), v. 09, Issue 06, Jun. 2022.
- ZIEGLER, F. *Avaliação da autocicatrização de fissuras em concreto com aditivos cristalizantes*. Dissertação de Pós-Graduação, UFRGS, 2020.