cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Investigação do efeito de autocicatrização de fissuras em pastas com cimento, aditivo cristalino e materiais cimentícios suplementares

Rafaela Sebben Eckhardt[1]; Juliana Acordi[1]; Aires Fernando Fernandes Leite Camões de Azevedo[2]; Fabiano Raupp-Pereira[1].

1. Programa de Pós Gradução em Ciência e Engenharia dos Materiais (PPGCEM), Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), 88806-000, Criciúma, SC, Brasil; 2. Centre for Territory, Environment and Construction (CTAC), University of Minho, 4800-058, Guimarães, Portugal.

Introdução

A durabilidade e a sustentabilidade do concreto armado são fundamentais para a qualidade das estruturas. A primeira é diretamente afetada pelas fissuras, que funcionam como vias preferenciais para a entrada de agentes agressivos; a segunda, pela composição do cimento. Neste contexto, estudam-se aditivos cristalinos — que reagem na presença de água para promover a autocicatrização de fissuras — e materiais cimentícios suplementares (SCMs) provenientes de subprodutos industriais, como escória de alto-forno, pozolana e *filler* calcário.

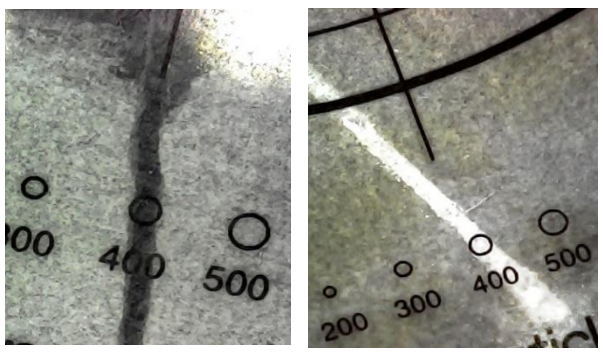


Figura 1. Autocicatrização de CP com *filler* e aditivo autocicatrizante (antes e depois da ativação).

Objetivos

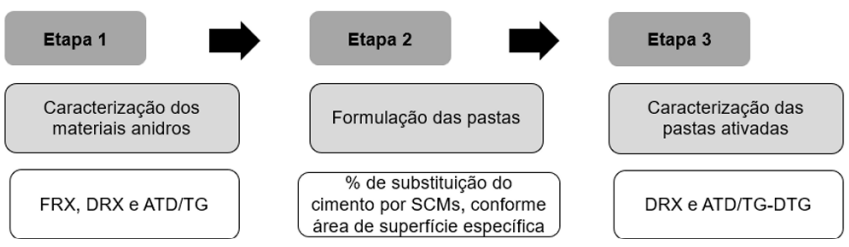
Estudar o efeito de autocicatrização pela ação do aditivo cristalino, em pastas cimentícias preparadas com cimento Portland CP-I e com materiais cimentícios suplementares de *filler* calcário, escória de alto-forno e pozolana.

Metodologia

Foi realizada a caracterização dos materiais anidros de forma individual (CP-I, aditivo autocicatrizante Penetron Admix, *filler* calcário, escória de alto-forno e pozolana) por meio de fluorescência de raios-X (FRX), difração de raios-X (DRX), termogravimetria (TG) e análise térmica diferencial (ATD).

Para a formulação das pastas e definição do teor de substituição do cimento, foi utilizado o cálculo de equivalência pelo ensaio de superfície específica por BET, pois a reatividade do cimento está vinculada ao tamanho de partícula e área de superfície específica.

Na etapa posterior, foi realizada a caracterização das pastas hidratadas e ativadas, por meio de ensaios de difração de raios-X (DRX) e análise térmica diferencial e termogravimétrica (ATD/TG), para avaliar as reações desencadeadas pelo aditivo com cada SCM e os produtos de autocicatrização após a hidratação das pastas.



Resultados

A caracterização química dos materiais anidros confirmou a presença predominante de CaO e SiO_2 no cimento e no aditivo, sendo que este potencializa as reações de hidratação por contribuírem para o aumento da nucleação e crescimento dos precipitados. Na escória e na pozolana é verificado o caráter amorfo reativo, e no *filler* uma natureza cristalina carbonática ($CaCO_3$). A substituição parcial de 15% do cimento por SCMs, equalizada pela área de superfície específica total de cada amostra de 42,90 m², objetivou a equivalência de reatividade inicial entre as misturas. Nas pastas hidratadas e ativadas por 56 dias com ciclos úmido/seco, as análises ilustram que a incorporação do aditivo aumentou o potencial de formulação de produtos de hidratação. Nos resultados de DRX foi observado que a posição dos picos se manteve igual em todas as amostras (com exceção da pozolana), ilustrando o processo de hidratação dos materiais cimentícios, alterando-se somente a intensidade do pico, com aumento nas amostras com o aditivo.

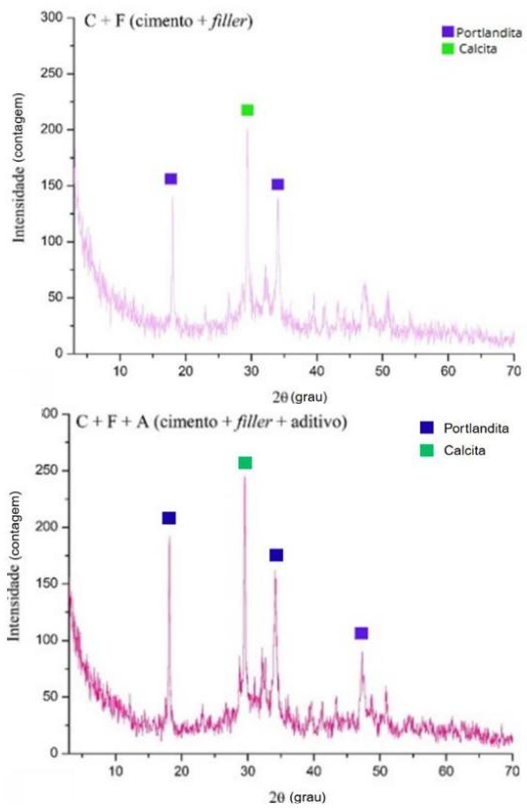


Figura 2. Difratograma de raios-X do aditivo cristalino.

Na análise térmica entre as pastas de cimento (C) e de cimento e aditivo (CA), foi observada uma maior formação de gel C-S-H (perda até 400 ºC) e de precipitação de $CaCO_3$ (descarbonatação entre 500 e 1000 ºC) em CA. Entre as pastas de cimento e aditivo (CA) e cimento com aditivo e *filler* (CAF), CA apresentou maior perda até 400 ºC, referente ao C-S-H e, de 500 a 1000 ºC, CAF teve a maior perda de massa, ilustrando a característica carbonática do *filler*. Com escória e pozolana a principal verificação foi redução no pico endotérmico entre 400 e 500 ºC, referente à desidroxilação de CH, decorrente das reações pozolânicas e pouquíssimo aumento das perdas de massa com a incorporação do aditivo.

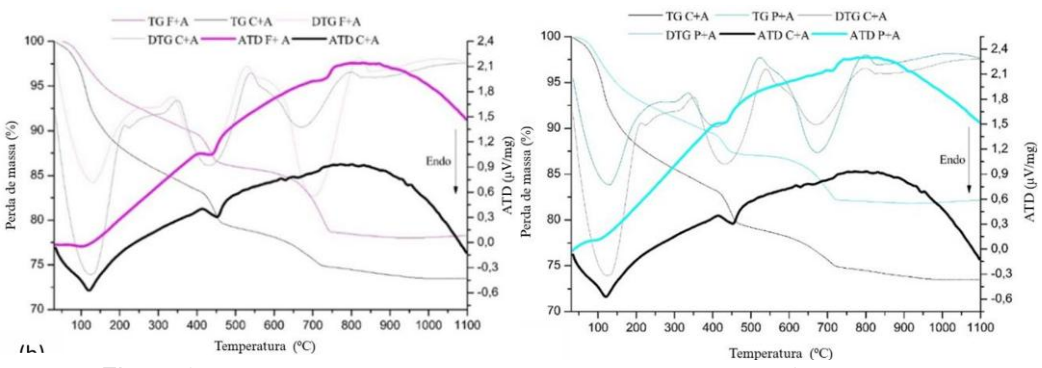


Figura 3. Análise térmica diferencial e termogravimétrica (ATD/TG-DTG) das pastas hidratadas com aditivo (preto) e com filler (rosa) e com pozolana (azul).

Conclusão

De forma pontual foi verificado o potencial reativo de cada componente anidro (como hidratação e carbonatação); a reatividade equivalente dos SCMs, obtida pelas propriedades de superfície dos materiais anidros; e a caracterização dos produtos hidratados indicou comportamento similar entre as misturas, destacando-se o aumento da cristalinidade nas amostras com aditivo, dada sua atuação como um catalisador/nucleador que intensifica a formação de C-S-H e $CaCO_3$, para a autocicatrização. O estudo comprova a viabilidade técnica da substituição parcial do CP-I por SCMs combinada ao aditivo autocicatrizante, para matrizes cimentícias de menor pegada de carbono e maior durabilidade.

Referências

CAPPELLESSO, V. G. *et al.* A review of the efficiency of self-healingconcrete Technologies for durable and sustainable concrete under realistic conditions. **Internacional Materials Reviews**, v. 68, n. 5, p. 556-603. 2023.

DE BELIE, N. et al. **A Review of Self-Healing Concrete for Damage Management of Structures**. Advanced Materials Interfaces, v. 1800074, p. 1–28, 2018.

OLIVEIRA, A. S. et al. **Crystalline admixture effects on crystal formation phenomena during cement pastes' hydration**. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 139, p. 3361–3375, 2020.

PACHECO, F. **Análise da eficácia dos mecanismos de autocicatrização do concreto**. 2020. 350 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Porto Alegre, 2020.