

Avaliação de cimentos álcali ativados sujeitos à carbonatação natural

Evaluation of alkali activated cements under natural carbonation

Mariana Perardt

marianaperardt@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, Paraná, Brasil

Caroline Angulski da Luz

angulski@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Pato Branco, Paraná, Brasil

RESUMO

Cimentos álcali ativados (CAT's) são constituídos de minerais sílico-cálcico-aluminosos, como a escória de alto forno, ativados por uma solução alcalina e são uma alternativa ao grande impacto ambiental gerado cimento Portland (CP). Apesar de o material apresentar boas propriedades físicas e mecânicas, estudos sobre sua durabilidade, como, por exemplo, a carbonatação, ainda são reduzidos. No cimento Portland, a carbonatação ataca a portlandita (CH) e, no CAT, devido à ausência de CH, estudos vem mencionando o risco de carbonatação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H) associada à perda de resistência mecânica. Assim, o objetivo deste trabalho é de contribuir para o estudo de durabilidade dos CAT's, neste caso, a carbonatação. Para tanto, amostras de concreto e pastas à base de CAT foram moldadas e curadas por 28 dias e na sequência mantidas em ambiente externo, protegido da chuva. Medidas de carbonatação, de resistência à compressão e análise de compostos formados e/ou carbonatados foram realizados três e seis meses após a moldagem. Os resultados mostraram que, nesta primeira idade, houve ganho de resistência (de 28 dias para três meses), similar profundidade de carbonatação (comparada ao concreto Portland) e uma leve decomposição do CSH. Aos 180 dias, o CAT apresentou pequena perda de resistência, não comprometendo seu desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: Carbonatação. Durabilidade. Cimento álcali ativado.

ABSTRACT

Alkali activated cements (AAC) are composed of aluminosilicates and alkaline activators, and are seen as an alternative to the large environmental impact generated by Portland cement (CP). Although the material has good physical and mechanical properties, studies on its durability, such as carbonation, are still limited. In the PC, carbonation attacks portlandite and in AAC, due to the absence of portlandite (CH), studies have mentioned the risk of carbonation of calcium silicate hydrate (C-S-H) associated with loss of mechanical resistance. Thus, the objective of this work is to contribute to the study of the durability of AACs, in this case, carbonation. For this purpose, concrete samples and AAC-based slides were molded and cured for 28 days and then stored outdoors, protected from rain. Measurements of carbonation, compressive strength and analysis of formed and/or carbonated compounds were performed three and six months after the molding. The results showed that, at this early age, there was a gain of resistance (from 28 days to three months), a similar depth of carbonation (compared to Portland concrete) and a slight decomposition of CSH. At 180 days, AAC presented a small loss of resistance, not compromising its performance.

KEYWORDS: Carbonation. Durability. Alkali activated cement.

Recebido: 31 ago. 2018.

Aprovado: 4 out. 2018.

Direito autoral:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Cimentos alternativos vem sendo desenvolvidos para reduzir o impacto ambiental da produção de cimento Portland (CP). É o caso do cimento álcali ativado (CAT), constituído de minerais aluminossilicosos, como escória de alto forno, ativados por uma solução alcalina que, ao elevar o pH da mistura, dá início às reações de hidratação. Apesar de o CAT já ter apresentado boas propriedades físicas e mecânicas (MELO NETO, 2002), dados sobre a sua durabilidade (como quanto à carbonatação) são ainda reduzidos.

A carbonatação é o processo causado pela penetração de CO₂. Se inicia quando o CO₂ reage com a água gerando o ácido carbônico (H₂CO₃). No CP, esse ácido ataca primeiramente a portlandita (CH) e, quando esta é totalmente consumida, o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), composto que mais contribui com a resistência mecânica. Essas duas reações produzem carbonato de cálcio (CaCO₃) e água, que reduzem a basicidade do meio (TORGAL, 2012; BEHFARNIA & ROSTAMI, 2017). No CAT, não há formação de portlandita. Assim, o H₂CO₃ ataca diretamente o C-(A)-S-H (C-S-H com teor de Al, grande responsável pela resistência do CAT) (PUERTAS et al., 2006).

A concentração de CO₂ na atmosfera é baixa, por isso estudos realizam ensaios de carbonatação acelerada (CADORE, 2018; BERNAL, 2012; BAKHAREV, 2001; BEHFARNIA & ROSTAMI, 2017). No entanto, esse ensaio pode subestimar a vida de serviço, pois submete o material a condições muito extremas (BERNAL, 2012).

O presente trabalho procura avaliar o CAT de escória de alto forno quanto ao processo de carbonatação natural através de medidas de profundidade de carbonatação, resistência à compressão e análise da microestrutura, comparando seu desempenho com os resultados obtidos por Pereira (2018) para o CP de menor impacto ambiental (CP IV).

MATERIAIS E MÉTODOS

A escória é granulada de alto forno a carvão vegetal, e foi triturada até atingir superfície específica de 4307 cm²/g. Sua massa específica é de 2,76 g/cm³ e segundo a relação CaO/SiO₂ é classificada como ácida (CaO/SiO₂=0,97. Os agregados empregados foram areia natural e brita basáltica na faixa de granulometria entre 6,30mm e 4,80mm.

O teor de ativador alcalino NaOH (hidróxido de sódio em pérolas da marca Enersoda 99) foi definido em 5% da massa de escória, baseado em Langaro (2016).

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para resistência à compressão, utilizou-se concreto em molde prismático de 4x4x16 cm. Para profundidade de carbonatação, corpos de prova também de concreto, de dimensões 10x20 cm. Ambos os traços foram de 1:2:3:0,5 (aglomerante: areia: brita: água). Para análise da microestrutura, uma pasta de relação água/aglomerante igual a 0,5 foi moldada em recipientes plásticos de 4x4cm.

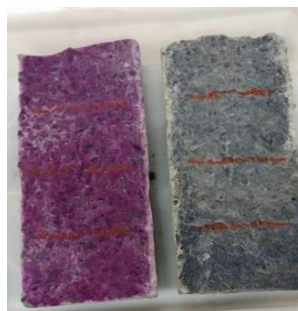
A cura para todas as amostras foi de 28 dias, em RH > 95% e 23 ± 2°C. Em seguida, foram condicionadas à carbonatação natural, posicionadas no estacionamento do bloco J1 da UTFPR – Campus Pato Branco para avaliação nas idades de 28, 90 e 180 dias.

PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

Após romper o corpo de prova à compressão diametral partindo-o ao meio, com um borrifador, aplicava-se uma solução de indicador ácido-base (fenolftaleína ou timolftaleína), preparada segundo prescrições do RILEM – CPC 18 (1998 *apud* ISAIA,

2011). Após estabilização do indicador na amostra, as medidas eram realizadas com um paquímetro em três pontos igualmente espaçados em cada lado da amostra (Figura 1).

Figura 1 –Medidas de profundidade de carbonatação



Fonte: Autoria Própria (2018).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os corpos de prova foram rompidos à flexão na primeira idade. Suas metades foram utilizadas para ensaio de resistência à compressão nas idades de 28, 90 e 180 dias.

ANÁLISE DA MICROESTRUTURA

A análise foi realizada pelo método de difração de raios X (DRX). Em cada idade, uma das amostras foi triturada até a granulometria passante na peneira 150 μ m após ser submetida ao processo de interrupção da hidratação por imersão em acetona segundo estudo de Langaro (2016). Os parâmetros do equipamento para realização dessa análise foram: comprimento de 1,54 Å; intervalo de leitura de 5° a 80° (2 θ); passo de 0,02° com tempo de 0,4 segundos para cada passo; radiação de Cu-K α e voltagem da corrente de 40kV.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

As medidas da frente de carbonatação (Figura 2) mostraram grande avanço da profundidade no CAT dos 28 dias (não carbonatado) aos 180 dias. Nas duas últimas idades, comparando com o CP IV (PEREIRA, 2018) exposto às mesmas condições, nota-se que o CAT mostrou profundidade carbonatada superior, sendo para o indicador fenolftaleína essa diferença mais significativa. Esse resultado foi obtido por outros trabalhos (BEHFARNIA & ROSTAMI, 2017; PUERTAS et al. 2006; BAKHAREV et al., 2001).

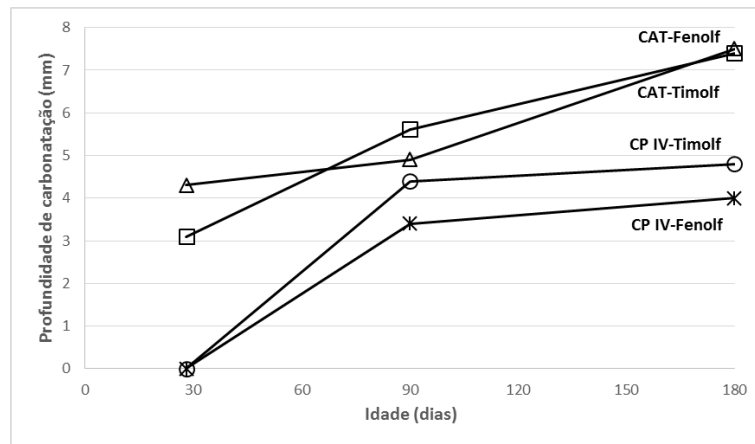
A menor velocidade de avanço da frente de carbonatação do CP IV, se deve, em tese, à barreira criada pela intensa precipitação de CaCO₃ nas camadas mais externas, impedindo maior penetração de CO₂ (BAKHAREV et al., 2001).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Aos 28 dias, ainda sob cura, o CAT mostrou superior resistência que o CP IV. No entanto, aos 90 dias (60 dias de exposição), a resistência do CP IV manteve-se crescendo significativamente (41,4%) superando o CAT. Este, por sua vez, nessa idade, apresentou

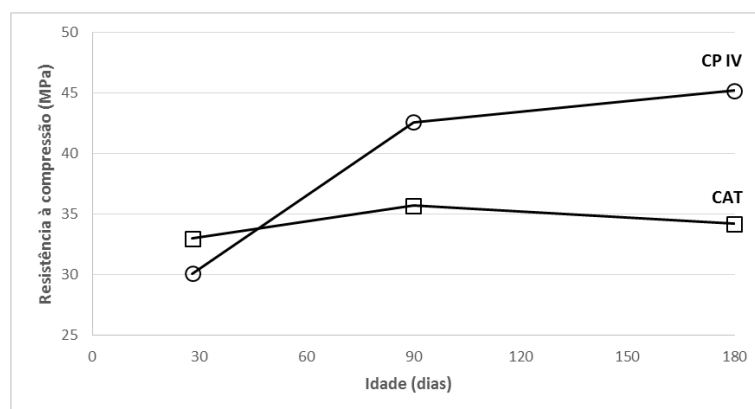
pouco desenvolvimento de resistência em comparação aos 28 dias (somente 8,3%), mas nenhum dos materiais perdeu resistência (Fig. 3).

Figura 2 - Profundidade de carbonatação do CAT e do CP IV (PEREIRA, 2018)



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 3 – Resistência à compressão do CAT e do CP IV (PEREIRA, 2018)



Fonte: Autoria Própria (2018).

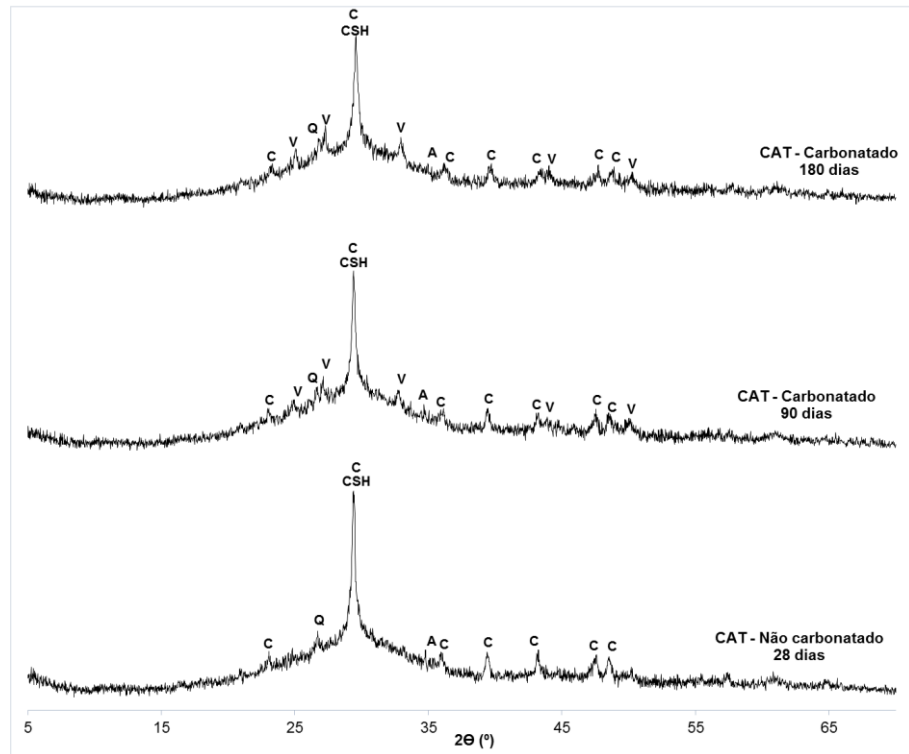
Aos 180 dias, o CAT perdeu resistência (4,2%). O CP IV, teve pequeno aumento de resistência (6,1%). Visivelmente, nenhum sinal de deterioração foi observado.

ANÁLISE DA MICROESTRUTURA

A DRX do CAT (Fig. 4) mostra que houve leve decréscimo no pico de C-S-H pelo H_2CO_3 e surgimento de picos de vaterita, já encontrada por outros autores (PUERTAS et al., 2006; BERNAL, 2012; CADORE, 2018). A redução no pico de C-S-H pode ser devida à sua amorfização, já observada por Song et al. (2014), onde o C-S-H se transformou em um gel de sílica amorfo. Não há variação significativa nos picos de calcita.

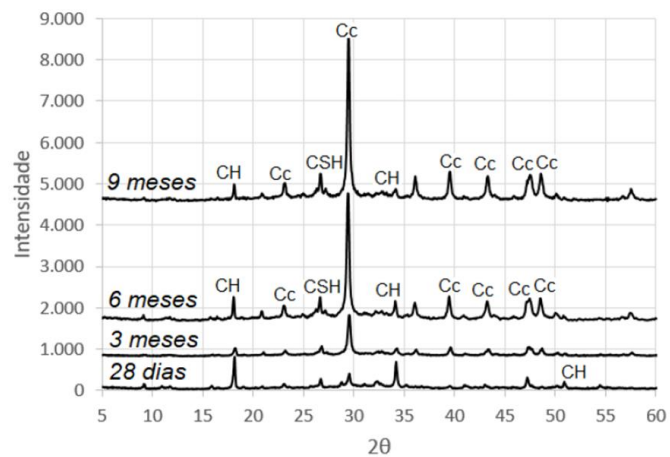
O CP IV (Fig. 5), com a carbonatação, continuou desenvolvendo C-S-H, o que corrobora o fato de a resistência ter aumentado apesar da condição de carbonatação. O desenvolvimento tardio de C-S-H pode ser devido às reações pozolânicas das adições presentes nesse cimento. Houve ainda aumento nos picos de calcita e redução nos picos de CH, confirmando que este é o produto mais consumido pelo H_2CO_3 .

Figura 4 – Difratoograma de pasta de CAT (C: calcita, V: vaterita, A: alita).



Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 5 – Difratoograma do CP IV (Cc: calcita, CH: portlandita)



Fonte: Pereira (2018)

CONCLUSÕES

O desempenho do CAT foi em geral inferior ao do CP IV, tanto à profundidade de carbonatação quanto à resistência à compressão. No entanto, a resistência manteve-se praticamente constante no CAT, ou seja, não afetou significativamente seu desempenho em uso. Este material mostra-se promissor a essa finalidade, mas são necessárias avaliações em idades mais avançadas.

REFERÊNCIAS

- BAKHAREV, Tanya; SANJAYAN, J. G.; CHENG, Y.-B. **Resistance of alkali-activated slag concrete to carbonation**. Cement and Concrete Research, v. 31, n. 9, p. 1277-1283, 2001.
- BEHFARNIA, Kiacher; ROSTAMI, Majid. **An assessment on parameters affecting the carbonation of alkali-activated slag concrete**. Journal of Cleaner Production, v. 157, p. 1-9, 2017.
- BERNAL, Susan A. et al. **Accelerated carbonation testing of alkali-activated binders significantly underestimates service life: the role of pore solution chemistry**. Cement and Concrete Research, v. 42, n. 10, p. 1317-1326, 2012.
- CADORE, D.E. **Durabilidade de concretos à base de cimento álcali-ativado: aspectos relacionados à carbonatação**. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. 2018.
- ISAIA, G.C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 931 p. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 1 v.
- LANGARO, E.A. **Cimento álcali ativado a partir da valorização da escória de alto forno a carvão vegetal**. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2016.
- LI, Ning; FARZADNIA, Nima; SHI, Caijun. **Microstructural changes in alkali-activated slag mortars induced by accelerated carbonation**. Cement and Concrete Research, v. 100, p. 214-226, 2017.
- MELO NETO, A.A. **Estudo da retração em argamassa com cimento de escória ativada**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- PEREIRA, H. L. B. **Análise da frente de carbonatação natural em concretos à base de cimentos Portland CP IV-32 e CP V-ARI RS**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2018.
- PUERTAS, F.; PALACIOS, M.; VÁZQUEZ, T. **Carbonation process of alkali-activated slag mortars**. Journal of Materials Science, v. 41, p. 3071-3082, 2006.
- SONG, Keum-II et al. **Carbonation characteristics of alkali-activated blast-furnace slag mortar**. Advances in Materials Science and Engineering, v. 2014, 2014.
- TORGAL, F. Pacheco et al. **An overview on concrete carbonation in the context of eco-efficient construction: Evaluation, use of SCMs and/or RAC**. Construction and Building Materials, v. 36, p. 141-150, 2012.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa, à professora orientadora Prof^a Dra. Caroline, pelo suporte e incentivo; e a todos os colegas do grupo de pesquisa.