

INFLUÊNCIA DO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE NA MICROESTRUTURA DE UM CONCRETO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DE 40 MPa

Sandra M. F. Teixeira (1); Raquel Maria R. O. Menezes (2); Fabricio Carlos França (3); Augusto Cesar da S. Bezerra (4); Roberto B. Figueiredo (5) Maria Teresa P. Aguilar (5).

sandramoreirat@hotmail.com

(1) Mestra / UFMG

(2) Doutoranda / UFMG

(3) Mestre / LafargeHolcim

(4) Professora Doutora, CEFET/MG

(5) Professor Doutor, DEMC / UFMG

RESUMO

O concreto autoadensável apresenta elevada fluidez e deformabilidade. Estudos analisam o seu desempenho através da resistência mecânica à compressão, teor de argamassa e/ou fator água cimento, o que não permite a avaliação da influência de superplastificante na microestrutura destes concretos. Neste trabalho, avalia-se a influência do superplastificante comparando-se as fases presentes em um concreto autoadensável de 40 MPa e em um convencional de mesma resistência à compressão, mesma relação água/cimento e teor de argamassa. Para tanto, foram empregadas técnicas de varredura por microscópio eletrônico de baixo vácuo utilizando elétrons retroespalhados e análise térmica. Os resultados observados não mostram diferenças significativas na microestrutura dos dois compósitos, ou seja, o superplastificante não alterou a microestrutura do concreto autoadensável. No entanto, a análise térmica indica que o concreto autoadensável apresentaria um maior teor de hidróxido cálcio o que poderia sugerir um menor teor de cimento anidro nestes concretos.

Palavras-chave: Concreto autoadensável, microestrutura, fases de hidratação.

INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA) é definido como um concreto que pode ser “moldado in loco” sem vibração ou adensamento, pois possui fluidez suficiente para preencher a fôrma com seu peso próprio sem segregar e com coesão necessária para que a mistura escoe homogênea entre as barras de aço. Para se obter estas características especiais, utilizam-se aditivos superplastificantes e/ou modificadores de viscosidade na fabricação do CAA (1), um alto teor de finos e de cimento por metro cúbico de concreto. O CAA possui uma proporção maior de pasta de cimento/agregado do que o concreto convencional (CCV) (2). Suas propriedades no

estado fluido são avaliadas pelos ensaios de teste de espalhamento (3; 4), de Anel J (5), de Caixa "L" (6) e de Funil "V" (7).

O estudo da microestrutura do concreto é de extrema importância devido aos agregados, matriz da pasta de cimento e a interfase entre agregados / pasta de cimento TASCA (8). A homogeneidade da mistura é muito importante na microestrutura do CAA devido à utilização de alta quantidade de finos. (9). Segundo Mehta e Monteiro (10), a pasta de cimento hidratada apresenta vazios que são divididos em espaço inter lamelar no C-S-H muito pequenos da ordem de 5 a 25 Å, vazios capilares em espaços irregulares com dimensões entre 10 a 50 nm e regiões de ar incorporado em torno de 50 a 200 µm de diâmetro. Segundo os mesmos autores, a pasta apresenta diversas características em sua microestrutura: o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) que é a fase mais importante da hidratação do concreto e constituem de 50 a 60% do volume de sólidos em uma pasta de cimento na forma irregular ou dobrada em camadas; o hidróxido de cálcio (C-H) em forma de grandes cristais prismáticos hexagonais, que compõe de 20 a 25% da pasta de cimento; os sulfoaluminatos de cálcio que representam em torno de 15 a 20% e possuem um papel secundário na pasta de cimento (etringita) em forma de cristais prismáticos aciculares; grãos de clínquer não hidratados podem ser localizados na microestrutura da pasta de cimento dependendo da distribuição do tamanho das partículas do cimento anidro e seu grau de hidratação. Estes grãos se dissolvem e desaparecem à medida que a pasta se hidrata.

O CAA é um avanço na tecnologia do concreto na atualidade, pois é um compósito capaz de reunir desempenho, uniformidade e requisitos que não se podem alcançar com o CCV (11). Segundo Tutikian (12), no Brasil, o CAA é muito utilizado em indústrias de pré-fabricados e em algumas obras correntes e especiais. Alguns estudos se destacam nas áreas de propriedades mecânicas, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade e módulo de elasticidade (13; 14; 15; 16; 17; 18). Estes estudos avaliam o desempenho do CAA tanto no estado fresco como no endurecido, mas o avalia em relação a um concreto de referência de mesma resistência mecânica à compressão ou consumo de cimento, mas fabricado com teor de argamassa e/ou fator água cimento diferentes. Dessa forma não é possível avaliar isoladamente a influência do superplasticante no desempenho dos concretos e em sua microestrutura.

Neste trabalho, analisou-se a influência do superplastificante comparando-se as fases presentes em um concreto autoadensável de 40 MPa e em um concreto convencional de mesma resistência, mesma relação água/cimento e mesmo teor de argamassa, utilizando-se microscopia ótica de varredura. A influência do superplastificante na microestrutura do concreto, também, foi avaliada indiretamente por ensaios térmicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dois concretos analisados foram confeccionados com materiais típicos do estado de Minas Gerais, dosados com 442 kg de cimento CPV ARI Plus, relação água/cimento de 0,55, teor de argamassa de 69%, areias artificiais (gnaisse e quartzo), brita entre 4,8 a 12,5mm, e 0,617% de aditivo polifuncional Sikament® SA. Na produção do concreto autoadensável, também, foi utilizado adicionalmente 0,768% de aditivo superplastificante ViscoCrete 3535® CB. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os dados referentes às suas características no estado fresco e endurecido respectivamente (19; 20).

Tabela 1 - Resultados de ensaios de caracterização do concreto CCV e CAA no estado fresco (19; 20).

Ensaio		Unidade	CCV	CAA	Valores de Norma
Consistência	<i>slump</i>	mm	200,0	-	-
Teste de espalhamento	<i>slumpflow test</i> (d)	mm	-	700,0	660 a 750
	<i>slumpflow</i> T ₅₀₀	s	-	1"13"	< 2
Anel-J (<i>J-Ring test</i>)	H	cm	-	28,0	Entre 25,0 e 50
Funil "V"	T _{30s}	s	-	3"13"	< 9
	T _{35s}	s	-	2"97"	
Caixa "L"	T _L	s	-	1" 28"	-
	H ₁ (cm)	cm	-	7,2	-
	H ₂ (cm)	cm	-	6,7	-
	H ₂ /H ₁	-	-	0,93	> 0,80

Tabela 2 - Resultados de ensaios de caracterização do concreto CCV e CAA no estado endurecido (19; 20).

Ensaio	Unidade	CAA	CCV
Resistência à compressão axial	MPa	52,7 $\pm$ 2,0	53,7 $\pm$ 2,9
Módulo de elasticidade	GPa	29,7 $\pm$ 0,9	30,9 $\pm$ 1,3
Módulo de elasticidade	GPa	36,2 $\pm$ 0,8	36,9 $\pm$ 0,1
Resistência à tração na flexão	MPa	6,5 $\pm$ 0,2	6,2 $\pm$ 0,6

As amostras utilizadas na análise da microestrutura dos concretos CAA e CCV foram extraídas de corpos de prova submetidos a 100 dias de cura úmida à temperatura ambiente, e analisada em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca Hitachi, modelo TM3000 de baixo vácuo por meio de elétrons retroespalhados.

As amostras utilizadas na análise por termogravimetria (TGA) e por análise térmica diferencial (DTA) foram obtidas por moagem de pastas após 28 dias de sua confecção. As pastas foram confeccionadas com cimento CPV ARI PLUS (valor estabelecido pelo tamanho dos cadinhos do equipamento), água e aditivos polifuncional Sikament® SA e superplastificante ViscoCrete 3535® de acordo com as proporções utilizadas nos traços do concreto autoadensável e do convencional com fator água/cimento de 0,55. Elas foram colocadas no cadinho de alumina, aquecidos nos primeiros 3 min a uma taxa de 5°C até a temperatura de 40°C. Após atingir 40°C, continuou o aquecimento a uma taxa de 10°C/min até completar 700°C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da microestrutura dos concretos

A Figura 1 apresenta a microestrutura do CAA e do CCV obtida pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV). É possível identificar algumas imagens de vazios (na cor preta) entre as fases do cimento hidratado que sugere a presença de poros nos dois concretos (CAA e CCV). As dimensões desses vazios encontradas nas amostras são em torno de 124 a 623 nm para o concreto autoadensável, e poros com dimensões entre 663 a 1750 nm para o concreto convencional.

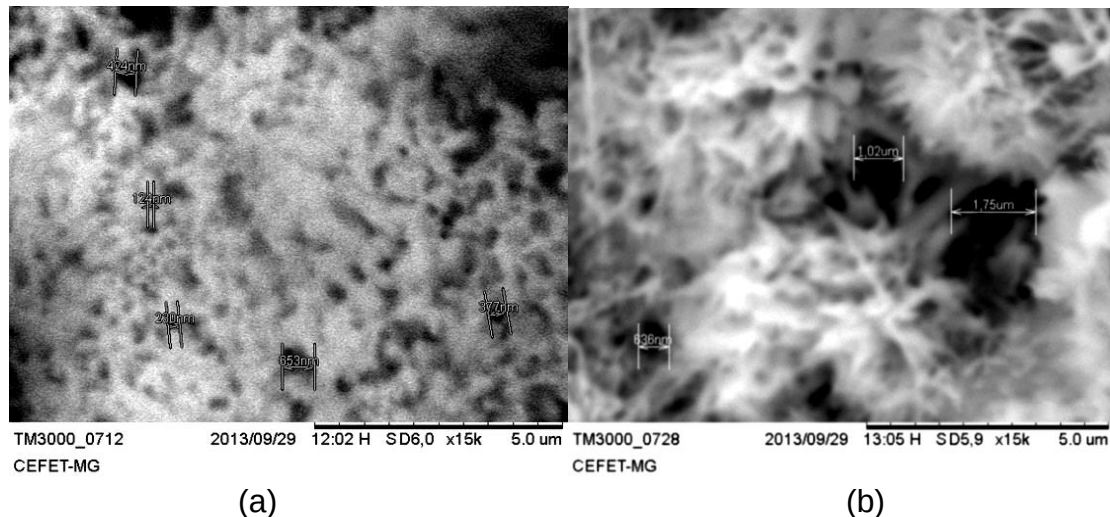


Figura 1: Microestrutura do concreto com presença de poros: (a) CAA; (b) CCV.

As Figuras 2 e 3 exibem a microestrutura do concreto autoadensável e do concreto convencional, respectivamente. A microestrutura de ambos os concretos são semelhantes. As imagens sugerem tanto para o CAA quanto para o CCV a presença das fases hidratadas do concreto: os hidróxidos de cálcio (C-H), que são grandes cristais prismáticos e os silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), que são pequenos cristais fibrosos. Não foi identificada a formação de etringita e monossulfato hidratado nos dois concretos.

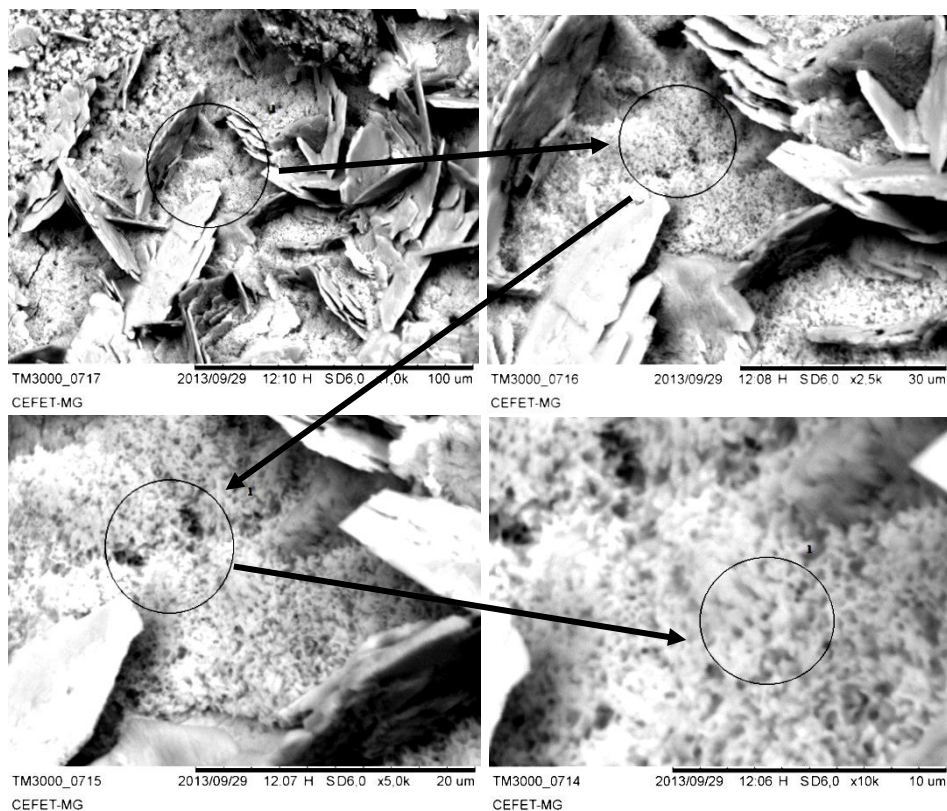


Figura 2: Representação da microestrutura do concreto autoadensável.

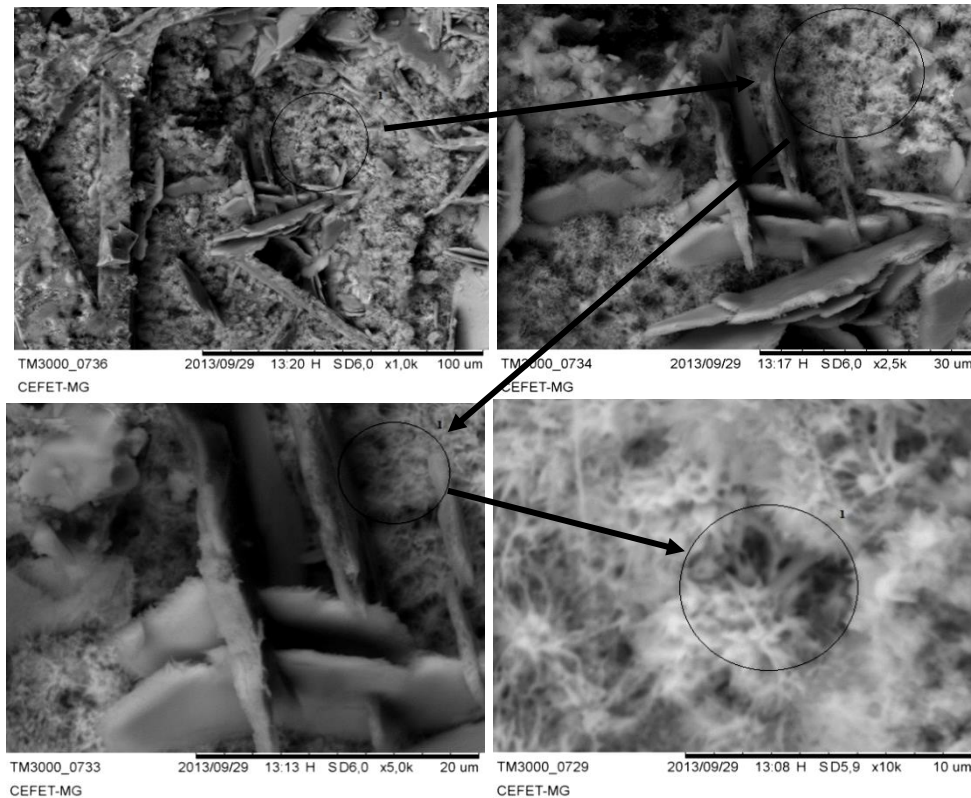


Figura 3: Representação da microestrutura do concreto convencional

As imagens obtidas da pasta de cimento, tanto do concreto autoadensável quanto do convencional, proporcionaram a identificação de partículas entre as fases do cimento hidratado, da distribuição e tamanho dos poros. Foi possível também identificar cristais prismáticos de hidróxido de cálcio e cristais fibrosos de silicatos de cálcio hidratado. Não foi identificada a formação de etringita e monossulfato hidratado nos dois concretos.

Análises termogravimétrica e térmica diferencial

As Figuras 4 e 5 mostram os resultados obtidos na análise termogravimétrica (TGA) e análise térmica diferencial (DTA), para as amostras confeccionadas com (CAA) e sem superplastificante (CCV), ou seja, Amostra 1 e Amostra 2, respectivamente, em aquecimento até temperatura de 700°C, a uma velocidade média de 10°C/min. Em cada figura, são mostradas as regiões em que ocorrem eventos térmicos associados a variações significativas de calor e massa, de forma a se evidenciar os principais pontos em que podem ocorrer alteração microestrutural e sua relação com a composição da amostra.

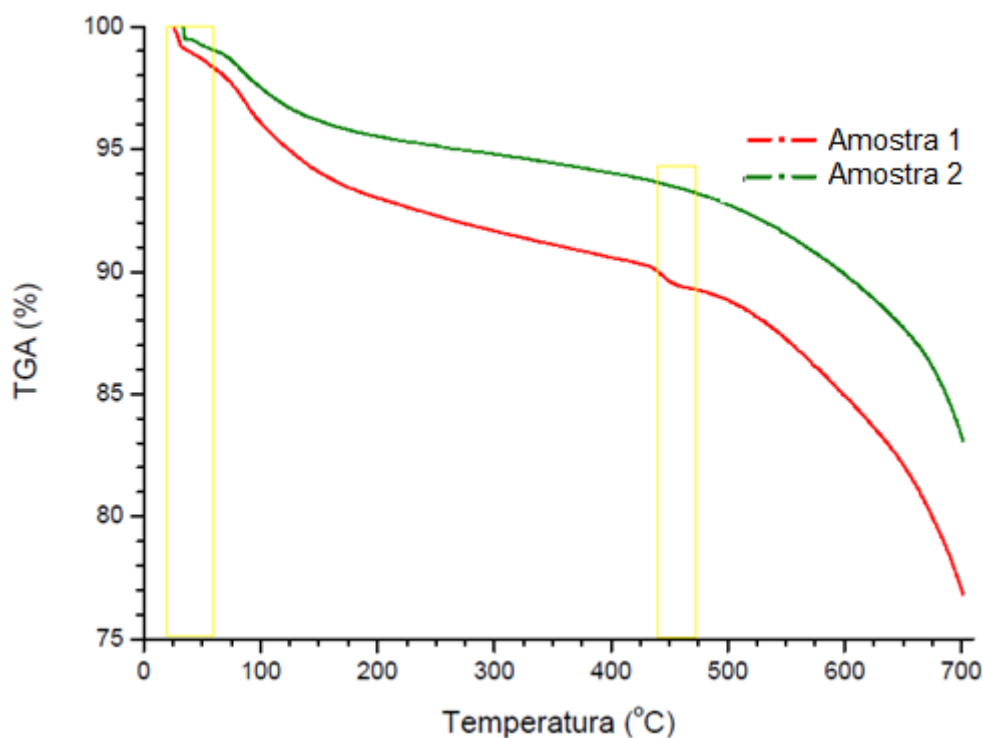


Figura 4: Resultados da Termogravimetria (TGA) para a Amostra 1 (CAA) e Amostra 2 (CCV).

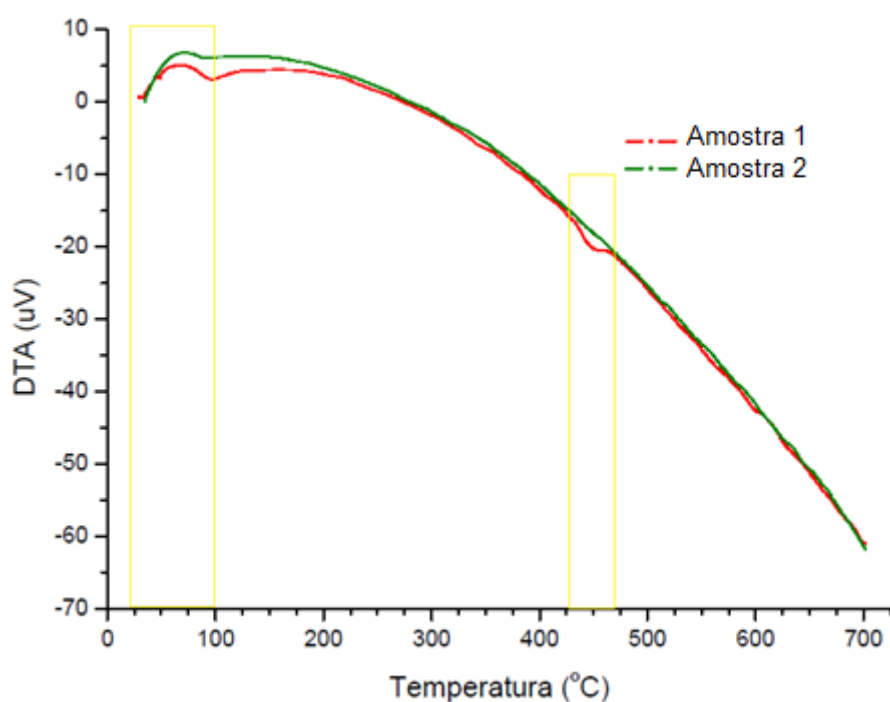


Figura 5: Resultados da Análise Térmica Diferencial (DTA) para a amostra 1 (CAA) e amostra 2 (CCV).

Os resultados da análise térmica nas regiões em que ocorrem os principais eventos de perda de massa (21) mostram que, sob mesmas condições de aquecimento, a amostra 1 (CAA) sofreu uma variação de massa de 23,2%, e a

amostra 2 (CCV) sofreu uma variação mássica de 16,9%. As duas amostras apresentaram um comportamento exotérmico semelhante na fase inicial do aquecimento (até 100°C), que pode estar relacionado à ocorrência de cristalizações, reação de decomposição (22) ou ainda, um pequeno ganho de massa durante o evento exotérmico até temperatura próxima de 100°C.

Na fase 2 (temperaturas 180 -240° C), nenhuma das amostras apresentou eventos térmicos significativos, descrevendo um comportamento constante de variação de massa, associados à desidratação de aluminato de cálcio e hidratos de alumínio associado ao aumento de temperatura.

Na transição da fase 2 para a fase 3 (temperaturas entre 400° C e 500°C), apenas a amostra 1 (CAA) apresentou uma variação significativa de massa em temperaturas próximas de 450°C, associada á processo endotérmico. Tal fato sugere que a amostra com adição de superplastificante em sua composição, pode estar sofrendo variação microestrutural relacionada à decomposição da portlandita. E indica que nessa composição, há presença de maior teor de CaO.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam que o uso de aditivo superplastificante ViscoCrete 3535®CB para obtenção de um concreto autoadensável não provoca diferenças significativas na microestrutura dos dois compósitos, ou seja, o superplastificante não alterou a microestrutura do concreto autoadensável. No entanto a análise térmica indica que o concreto autoadensável apresentaria um maior teor de hidróxido cálcio o que poderia sugerir um menor teor de cimento anidro nestes concretos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro, e á LAFARGEHOLCIM e SUPERMIX pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GOMES, Paulo César Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues de. Método de Dosagem de Concreto Autoadensável. - - São Paulo: Pini, 2009. 165p.
2. OKAMURA, Hajime; OUCHI Masahiro. Self-compacting high performance concrete. Progress in Structural Engineering and Materials. 1998. Vol. (4): 378-383.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15823-1. Concreto Autoadensável. Parte 1: Classificação, Controle e Aceitação no Estado Fresco. 2010a.
4. _____. NBR 15823-2. Concreto Autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento e do escoamento – Método do cone de Abrams. 2010b.
5. _____. NBR 15823-3. Concreto Auto Adensável. Parte 3: Determinação da Habilidade Passante – Método do anel J. 2010c.
6. _____. NBR 15823-4. Concreto Autoadensável. Parte 4: Determinação da Habilidade Passante. Método da caixa L. 2010d.
7. _____. NBR 15823-5. Concreto Autoadensável. Parte 5: Determinação da Viscosidade. Método do Funil V. 2010e.
8. TASCA, Maisson. Estudo da carbonatação natural de concretos com pozolanas: monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2012.
9. MELO, K. A. Proposição de método de dosagem de concreto autoadensável com adição de fíler calcáreo. Dissertação de mestrado, UFSC, 2005.
10. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J.M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.
11. SONEBI, M. Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans. Cement and Concrete research, 2004.
12. TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Proposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
13. SUN, J. K.; CHO, S. W.; YANG, C. C.; HUANG, R.. Effect of Sand Ratio on the Elastic Modulus of Self-Compacting Concrete. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 10, No. 1, pp. 8-13 (2002).
14. AGUILAR, Maria Teresa Paulino; ÂNGELO, Ana Margarida Vieira; FRANÇA, Fabrício Carlos; TEIXEIRA, Sandra Moreira Fernandes; COSTA, Rodrigo Moyses, RIBEIRO, Alexandre Batista. Estudo do módulo de elasticidade em concreto autoadensável com utilização de ensaios não destrutivos. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2011. IBRACON. Florianópolis/ SC. Novembro, 2011.
15. ALSADEY, Salahaldein. Influence of Superplasticizer on Strength of Concrete. In: Internacional Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET). Vol. 01, nº 03. Civil Engineering Department Beni Walid, Azzaytuna University, 2012. HAMEED, 2012.

16. HAMEED, Ali Hussein. Effect of Superplasticizer dosage on workability of self compact concrete. In: Diyala Journal of Engineering Sciences. Vol. 05, Nº 02, pp. 66-81. Civil Engineering department - collage Engineering - Diyala University. December, 2012.
17. DINAKAR, P.; SETHY, Kali Prasanna; SAHOO, Umesh C. Design of self-compacting concrete with ground granulated blast furnace slag. School of Infrastructure, Indian Institute of Technology. India, 2013.
18. DHIMAN, Sandep; DEWANAn, Arvind; NAGPAL, Er. Iakhan; KUMAR, Sumit. Permeability Behavior of Self Compacting Concrete. Internacional Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). Vol. 02, nº 06. May, 2013.
19. TEIXEIRA, Sandra Moreira Fernandes, FRANÇA, Fabrício Carlos, BEZERRA, Augusto César da Silva, CORRÊA, Roberto Braga, CETLIN, Paulo Roberto, AGUILAR, Maria Teresa Paulino. Estudo da Influência do Superplastificante no Desempenho Mecânico do Concreto Autoadensável. Anais do 59º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Barra dos Coqueiros, 2015. p.1 – 11.
20. TEIXEIRA, Sandra Moreira Fernandes, FRANÇA, Fabrício Carlos, BEZERRA, Augusto César da Silva, CORRÊA, Roberto Braga, AGUILAR, Maria Teresa Paulino. INFLUÊNCIA DO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE NO DESEMPENHO DE UM CONCRETO AUTOADENSÁVEL DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DE 40 Mpa. Anais do 57º Congresso brasileiro de Concreto, Bonito, MS, 2015. p.1 _ 14.
21. RODRIGUES, M. S., MONZÓ, J.; BORRACHERO, M.V., PAYA, J; BERALDO, A.L., SAVASTANO JÚNIOR, H. Characterization and pozzolanic evaluation of sugar cane bagasse ashes. In IC-NOCMAT 2010- International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies. Cairo-Egypto, 1-9. 2010.
22. IONASHIRO, Massao. Fundamentos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial / Calorimetria Exploratória Diferencial. Araquara, 2004.

TITLE

INFLUENCE OF SUPERPLASTICIZER ON MICROSTRUCTURE OF A 40 MPa STRENGTH CONCRETE

ABSTRACT

The selfcompacting concrete has high fluidity and deformability. Studies analyze its performance through compressive strength, mortar content and / or water cement factor, which does not allow the evaluation of superplastificante influence the microstructure of these concretes. In this work, we evaluated the influence of

superplasticizer comparing the phases present in a self-compacting concrete 40 MPa and at a same conventional compressive strength, same water / cement and mortar content. Therefore, scanning techniques were employed by electron microscope low vacuum using backscattered electrons and thermal analysis. The observed results show no significant differences in the microstructure of the two composites, ie the superplasticizer does not alter the microstructure of the self-compacting concrete. However, thermal analysis indicates that the present self-compacting concrete greater calcium hydroxide content which may suggest a lower content of such dry cement concrete.

Keywords: selfcompacting concrete, microstructure, hydration phases.