

ESTUDO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE CERÂMICA ESMALTADA PULVERIZADO

ELIAS FERREIRA MARQUES JÚNIOR^{1*}; NATÁLIA ARAÚJO DA SILVA²;
KELVYA MARIA DE VASCONCELOS MOREIRA³;

¹Graduando em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, eliasfmj07@gmail.com;

²Graduada em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, natyaraújo0712@gmail.com;

³Mestrem Engenharia Civil, Prof.^a do Curso de Engenharia Civil da UVA, Sobral-CE, kelvyamoreira@gmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: Este trabalho objetivou analisar a viabilidade técnica do concreto autoadensável contendo resíduo de cerâmica esmaltada (RCE) pulverizado como adição mineral. A metodologia consistiu na produção de um concreto teste, baseado em estudos preliminares dos seus componentes, e realização dos ensaios *slump flow test*, caixa “L” e funil “V” para o concreto no estado fresco, e ensaio de resistência à compressão axial em corpos-de-prova de (100x200)mm aos 7 e 28 dias de produção dos concretos. Os resultados demonstraram que o uso deste resíduo como adição mineral é tecnicamente viável para a aplicação em obras correntes e com alta taxa de armaduras, sendo obtidos resultados satisfatórios nos quesitos de resistência à compressão axial.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo, cerâmica esmaltada, adição mineral, concreto autoadensável.

STUDY OF SELF-COMPACTING CONCRETE WITH ADDED RESIDUE OF PULVERIZED GLAZED CERAMIC

ABSTRACT: This work aimed to analyze the technical feasibility of self-compacting concrete containing residue of pulverized glazed ceramics (RCE) as mineral addition. The methodology consisted in producing a concrete test, based on preliminary studies of its components, and carrying out of the trials slump flow test, the "L" and "V" funnel for concrete in the fresh State, and test of resistance to axial compression in bodies-of-proof (100 x 200) mm to 7 and 28 days of production of concretes. The results showed that the use of this residue as mineral addition is technically feasible for implementation in current works and with high rate of armour, being obtained satisfactory results in questions of axial compressive strength.

KEYWORDS: residue, glazed ceramics, mineral additions, self-compacting concrete.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um espelho do desenvolvimento de um país, contudo ela se apresenta como uma das atividades de maior impacto ambiental, seja pela transformação do meio, pela grande demanda por matérias primas ou pelo grande volume de resíduos gerados. Dessa forma, de acordo com Pinto & González (2005), o desafio para o setor consiste em conciliar essas atividades com um desenvolvimento sustentável, consciente e menos agressivo ao meio ambiente.

Segundo a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 05 de julho de 2002, os resíduos cerâmicos, assim como a maior parte dos resíduos da construção civil, estão contidos na classe A, caracterizada pelos resíduos que podem ser reciclados na forma de agregados.

Conforme Tutikian & Dal Molin (2008), o concreto autoadensável (CAA) foi uma das grandes revoluções ocorridas na tecnologia do concreto. A fluidez, a coesão ao escoar entre barras e a resistência à segregação são as propriedades que caracterizam um CAA (EFNARC, 2002). Segundo Nakamura (2014), o emprego de aditivos químicos e adições minerais no CAA são responsáveis, em grande parte, pelos avanços na construção de estruturas de concreto, obtendo-se maiores resistências.

Observando-se o grande volume de resíduos de construção e demolição, onde estão inseridos os resíduos de cerâmica esmaltada, este trabalho objetivou verificar a viabilidade técnica de aplicação deste material como adição mineral em concretos autoadensáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo de cerâmica esmaltada (RCE) utilizado foi proveniente do processo de demolição de uma edificação unifamiliar, de forma que todo o material possuísse as mesmas características. Ele foi classificado, segundo o fabricante, como glazed (GL) e semi-poroso. Os únicos processos de beneficiamento aplicados ao RCE recolhido foram a moagem em moinho de bolas e o peneiramento em peneira de malha #100 (150µm).

Uma amostra do pó obtido foi submetida ao ensaio de espectroscopia por fluorescência de raios X para conhecimento da composição química da adição, a qual pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do RCE.

Óxidos	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	TiO ₂	ZrO ₂	SO ₃	Outros
Quantidade (%)	42,16	17,26	6,00	26,51	3,92	1,70	0,69	0,57	1,19

Fonte: autores (2018).

O resíduo, segundo a norma ABNT NBR 12653(2014), pode ser classificado como uma pozolana de Classe E, pois a soma dos teores de óxido de silício (SiO₂), óxidos de ferro (Fe₂O₃) e óxido de alumínio (Al₂O₃) chegaram a 65,42%, superior ao mínimo exigido (50%), e diferindo das Classes N e C, que são, respectivamente, pozolanas naturais e cinza volante.

O cimento utilizado foi o CP II-E-32 que apresenta em sua composição uma adição entre 6% a 34%, em massa, de escória granulada de alto-forno, conferindo-lhe baixo calor de hidratação e maior resistência ao ataque dos sulfatos.

Foi empregado o aditivo químico superplastificante do tipo II (SP-II N) que, de acordo com as especificações do fabricante, é um aditivo de pega normal, líquido, composto por policarboxilatos, isento de cloretos, com densidade aproximada de 1,08 g/cm³ e teor de sólidos de 33%.

Os agregados utilizados foram britas de origem basáltica, com diâmetro máximo de 9,50mm, e granítica, com diâmetro máximo 12,50mm, e areia média quartzosa lavada de rio, com diâmetro máximo de 2,40mm. A Tabela 2 apresenta a caracterização física dos agregados, bem como as normas utilizadas para a execução dos ensaios.

Tabela 2. Caracterização física dos agregados.

Índice Físico	Agregado graúdo		Agregado Miúdo	Método de Ensaio
	9,5	12,5		
Diâmetro máximo (mm)	9,5	12,5	2,40	ABNT NBR NM 248 (2003)
Módulo de finura (adimensional)	-	-	2,84	
Massa específica (kg/dm ³)	2,68	2,78	-	ABNT NBR NM 53 (2009)
	-	-	2,54	ABNT NBR NM 52 (2009)
Massa unitária solta (kg/dm ³)	1,36	1,45	1,17	ABNT NBR NM 45 (2006)
Massa unitária compactada (kg/dm ³)	1,47	1,55	1,23	
Absorção (%)	1,38	0,33	-	ABNT NBR NM 53 (2009)
Material pulverulento (%)	0,99	0,54	-	ABNT NBR NM 46 (2003)

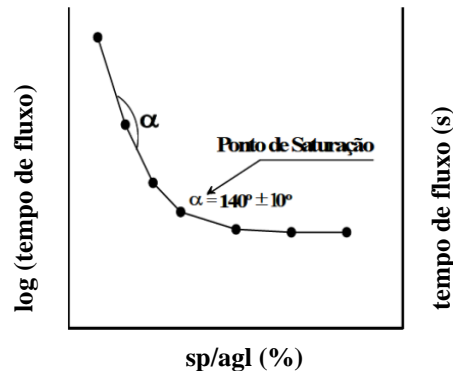
Fonte: autores (2018).

A água utilizada nesta pesquisa foi obtida a partir do sistema de abastecimento público da cidade de Sobral, Ceará.

O estudo de dosagem adotado para o concreto teste teve como base o método de Gomes (2002), o qual sugere o estudo separado da argamassa autoadensável (para determinação do ponto de saturação do superplastificante seco) e do esqueleto granular dos agregados secos. De posse dos dados necessários, estipula-se um volume de pasta acima do índice de vazios para garantir a fluidez da mistura.

O ponto de saturação do aditivo químico superplastificante é obtido por meio do ensaio do cone de Marsh, no qual é adicionado 1 (um) litro da argamassa no recipiente umedecido e, com o auxílio de uma proveta graduada, medido o tempo necessário para que 500ml escoe pelo orifício. O teor ótimo de aditivo é determinado traçando-se o gráfico da relação entre a massa de aditivo seco e a massa dos aglomerantes *versus* o logaritmo do tempo de fluxo, buscando-se o ponto em que o ângulo interno possui $140^{\circ} \pm 10^{\circ}$, como indicado na Figura 1. A argamassa autoadensável testada possuía 20% de resíduo, em relação a massa do cimento; relação a/c (água/cimento) de 0,40; e uma relação aglomerante/areia de 1:1,8.

Figura 1. Curva para obtenção do ponto de saturação do superplastificante.



Fonte: adaptado de Cavalcanti (2006).

O esqueleto granular foi obtido por meio do ensaio de massa unitária solta (ABNT NBR NM 45, 2006), inicialmente, das misturas entre os agregados graúdos de 12,50mm e 9,50mm e, posteriormente, da mistura ótima dos agregados graúdos com o agregado miúdo. As proporções ótimas entre os agregados foi aquela que apresentou menor índice de vazios.

A sequência de adição dos materiais na betoneira e os tempos de mistura utilizados na produção do concreto seguiram as recomendações de Gomes (2002).

Logo após a produção do concreto executaram-se os ensaios *slump flow test*, funil “V” e caixa “L”, conforme a ABNT NBR 15823-4 (2017). O ensaio *slump flow test* consiste em posicionar o tronco de cone de Abrams sobre uma placa metálica com dois círculos concêntricos, o menor com 200 mm de diâmetro, utilizado para posicionar o tronco de cone, e o maior com 500mm de diâmetro, utilizado para medir o tempo em que o concreto despejado necessita para atingir este espalhamento. Outra medida realizada neste ensaio são os diâmetros finais do espalhamento, além da avaliação do índice de estabilidade visual (IEV). O ensaio com o funil “V” visa determinar a viscosidade do CAA por meio do tempo de escoamento de uma massa de concreto pelo funil, iniciado 10s após o seu preenchimento. O ensaio com a caixa “L” objetiva determinar a habilidade passante do concreto em fluxo, no qual se preenche uma câmara vertical e, após 60s, abre-se a portinhola para que o concreto passe entre barras circulares e preencha a câmara horizontal, sendo medidas as alturas do concreto no início e no fim desta câmara.

Após os ensaios com o concreto fresco, procedeu-se a moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos com dimensões (100x200)mm, os quais, decorrido um período de 24 horas, foram desmoldados e submetidos à cura úmida até as idades de ensaio, conforme recomenda a ABNT NBR 5738 (2015).

Nas idades de 7 dias e 28 dias foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial em dois corpos-de-prova por idade, baseando-se na ABNT NBR 5739 (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos ensaios realizados obteve-se um ponto de saturação do aditivo superplastificante de 0,275% e as proporções ótimas entre os agregados de 70/30 e 50/50, para a brita 12,50mm em relação à brita 9,50mm e para a mistura das britas em relação ao agregado miúdo, respectivamente, gerando um volume de vazios igual a 34,52%. Com base nestes dados, adotou-se, inicialmente, um

traço com 40% de pasta, contudo este não possuía consistência satisfatória, sendo corrigido para os valores apresentados na Tabela 3, o qual contém 38% de pasta e uma quantidade de aditivo abaixo do ponto de saturação.

Tabela 3. Traço unitário do concreto teste em massa.

Cimento	RCE	Areia	Brita 9,50mm	Brita 12,50mm	sp/agl	a/agl
1,00	0,20	1,73	0,52	1,21	0,00175	0,40

Fonte: autores (2018).

O espalhamento medido no *slump flow test* obteve, como média dos diâmetros, 740mm, o que segundo a ABNT NBR 15823-2 (2017), classifica o concreto como SF 2 (entre 660mm e 750mm), já próximo da classe SF 3, o que sugere um concreto adequado para a maioria das aplicações correntes, como paredes, vigas e pilares. Quanto ao tempo para atingir o espalhamento de 500mm, obteve-se um valor abaixo de 2s, sendo classificado, segundo a mesma norma, na classe de viscosidade plástica aparente sob fluxo VS 1. Imediatamente após o escoamento não foram visualizados sinais de segregação ou exsudação, sendo enquadrado, quanto ao índice de estabilidade visual (IEV), na classe IEV 0. A Figura 2 mostra o concreto logo após o ensaio.

Figura 2. Vista superior do espalhamento do concreto após o ensaio *slump flow test*.



Fonte: autores (2018).

O tempo obtido no ensaio do funil “V” foi de 5,08s, o que posiciona o concreto na classe de viscosidade plástica aparente sob fluxo confinado VF 1 ($t < 9,00s$), conforme estabelecido na ABNT NBR 15823-5 (2017), e em conformidade com a classificação VS 1 encontrada anteriormente. Estas classificações sugerem que o concreto pode ser utilizado em elementos com alta densidade de armadura, como as paredes-diafragma, os pilares-parede, aqueles produzidos na indústria de pré-moldados e em estruturas de concreto aparente.

O resultado da habilidade passante utilizando a caixa “L” apresentou um valor para a relação H1/H2 (altura no fim da câmara horizontal sobre a altura no início da câmara horizontal) igual a 0,68, inferior ao mínimo recomendado pela ABNT NBR 15823-4 (2017), que é de 0,80. Contudo, a incoerência com os demais dados obtidos indica possível falha na execução do ensaio, como erro no nivelamento do equipamento e/ou demora excessiva para sua execução (identificou-se pontos da caixa não umedecidos).

Na idade de 7 dias, o concreto atingiu uma resistência à compressão de 35,28MPa, evoluindo para 45,42 MPa aos 28 dias, sendo classificado, segundo a ABNT NBR 8953 (2015), como C45, classe que pertence ao Grupo I.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a adição do resíduo de cerâmica esmaltada pulverizado em concretos autoadensáveis é uma alternativa tecnicamente viável para a destinação deste material, apresentando propriedades satisfatórias para este tipo de concreto, sendo possível sua aplicação na maioria das obras correntes, atendendo as exigências para as classes de agressividade mais severas.

AGRADECIMENTOS

À Viapol pelo fornecimento do aditivo, à UVA, à UFC e ao IFCE pelo apoio nos ensaios.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Versão corrigida, 2015. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **ABNT NBR 15823-1**: Concreto auto-adensável. Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **ABNT NBR 15823-2**: Concreto auto-adensável. Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **ABNT NBR 15823-4**: Concreto auto-adensável. Parte 4: Determinação da habilidade passante - Método da caixa L. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **ABNT NBR 15823-5**: Concreto auto-adensável. Parte 5: Determinação da viscosidade - Método do funil V. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **ABNT NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **ABNT NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **ABNT NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **ABNT NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **ABNT NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **ABNT NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **ABNT NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **ABNT NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 307, de 05 de Julho de 2002. Brasília. Diário Oficial da União, n. 136, 17 jul. 2002, p. 95-96.
- CAVALCANTI, D. J. de H. Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: estruturas)
- EFNARC. European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. Specification and guidelines for self-compacting concrete. In: EFNARC. Reino Unido: 2002.
- GOMES, P.C.C. Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Barcelona, 2002. (Tese de doutorado)
- NAKAMURA, J. Uso de aditivos e adições para o concreto cresce junto com a demanda por estruturas mais resistentes, duráveis e com características especiais. Construção Mercado - Negócios de Incorporação e Construção Civil. São Paulo: PINI, ed. 155, jun. 2014.
- PINTO, T.P.; GONZÁLES, J.L.R. (Coord.) Manejo e gestão de resíduos da construção civil. Manual de orientação 1. Como implantar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios. Parceria Técnica entre o Ministério das Cidades, Ministérios do Meio Ambiente e Caixa Econômica Federal. Brasília: CAIXA, 2005.
- TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. Concreto auto-adensável. São Paulo: PINI, 2008.