

ESTUDO DE CONCRETO RECICLADO INCORPORANDO AGREGADO MIÚDO RECICLADO E SÍLICA ATIVA¹

FIGUEIREDO, M. C., Universidade Estadual de Feira de Santana, email: marcela_eng@yahoo.com.br; LEITE, M. B., Universidade Estadual de Feira de Santana, email: mleite.uefs@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the concrete behavior with recycled fine aggregate (RFA) in replacement of the natural fine aggregate (NFA), incorporating 3% of silica fume. Two water/cement ratios (0,48 and 0,61) were evaluated, and for each one were obtained a reference mixture and two other with 10 and 20% of RFA replacing the NFA. The workability of recycled mixtures was achieved adding superplasticizer. In the hardened state there was an improvement in compressive strength with the use of RFA and silica fume. Regarding the durability, all concretes studied were classified as normal concretes.

Keywords: Construction and demolition waste. Concrete. Recycled fine aggregate.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais consumidores de matéria-prima natural, consumindo anualmente, no mundo, 40% de pedra areia e cascalho e gerando cerca de 50% de resíduos sólidos (OIKONOMOU, 2005; JOSEPH; TRETSAKOVA-MCNALLY, 2010). No Brasil, dos resíduos coletados diariamente em 2016, 63,25% são representados pelo resíduo de construção e demolição (RCD)(ABRELP, 2016). Aplicar agregados reciclados (AR) de RCD em concretos é uma das formas de minimizar o impacto gerado por este rejeito. Entretanto, Rodrigues e Fucale (2014) afirmam que a heterogeneidade do RCD interfere na qualidade do concreto, fazendo variar seu comportamento.

Pedro, De Brito e Evangelista (2017) verificaram uma redução de 10% na resistência à compressão de concretos com 100% do agregado miúdo reciclado (AMR), que foram justificadas pela fração fina de RCD. Por sua vez, Vieira (2003) verificou que quanto maior o teor de AMR usado, maior foi a resistência observada, aumento justificado pela textura rugosa, granulometria mais contínua e alto teor de finos do AMR. Silva, Brito e Dhir (2015) apontam que independente do teor, tipo e qualidade do AR utilizado, os concretos obtidos tendem a exibir relações entre as propriedades similares às daquelas dos concretos convencionais.

Um dos principais problemas observados na aplicação do AR é sua alta taxa de absorção de água e, conseqüentemente, baixa trabalhabilidade das misturas de concreto. Segundo Figueirêdo Filho (2011), o concreto reciclado

¹ FIGUEIREDO, M. C., LEITE, M. B. Estudo de concreto reciclado incorporando agregado miúdo reciclado e sílica ativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

apresenta maior atrito e coesão e menor viscosidade, função da taxa de absorção, forma irregular e textura rugosa do AR. Soto (2017) justificou a alta absorção devido à quantidade de materiais porosos presentes no agregado. Leite (2001) e Vieira (2003), que utilizaram diferentes teores de AMR e agregado graúdo reciclado (AGR) variando de 0 a 100% realizaram compensação da taxa de absorção do AR para viabilizar sua aplicação. Porém, Malta, Silva e Gonçalves (2013) advertem que essa prática pode contribuir para a redução na resistência. Barbudo *et al.* (2013) sugerem o uso de aditivos superplastificantes para melhorar a trabalhabilidade, bem como, a hidratação do cimento, e também a compacidade dos concretos com AR. De fato, devido a elevada porosidade do AR, parte da água utilizada na mistura é absorvida pelo grão, de maneira que não há um controle efetivo sobre a quantidade de água livre e a água quimicamente combinada da mistura, influenciando assim as propriedades reológicas e também as propriedades mecânicas (MALTA; SILVA; GONÇALVES, 2013). Além disso, a elevada porosidade pode ser prejudicial sobre as propriedades relacionadas com a durabilidade dos concretos.

Para mitigar as questões relacionadas com a porosidade do AR, Tam, Gao e Tam (2005) propuseram uma alteração na sequência de mistura dos concretos, e assim a formação de uma fina camada de pasta na interface matriz-agregado e melhoria das propriedades reológicas e mecânicas. Tam e Tam (2008) e Li *et al.* (2009) recomendam, além disso, o uso de pequenos teores de adição mineral, de modo a densificar ainda mais essa interface. Figueirêdo Filho (2011) recomenda o ensaio de espalhamento como medida mais adequada da determinação da trabalhabilidade e ajuste da quantidade de água nesses concretos.

Assim, esse estudo tem como objetivo avaliar a influência da substituição do agregado miúdo natural (AMN) por AMR e do uso de 3% de sílica ativa no comportamento dos concretos produzidos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os aglomerantes utilizados para este trabalho foram o CPV-ARI, cuja massa específica é $3,04\text{kg/dm}^3$ e a sílica ativa, com massa específica de $2,18\text{kg/dm}^3$. O AR empregado foi o mesmo usado por Carneiro (2011), o AMN fino (AF) e médio (AM) foram utilizados na proporção de 25 e 75%, respectivamente. Na Tabela 1 estão apresentadas as características dos agregados utilizados. Foi utilizado um superplastificante (SP), com densidade $1,12\text{g/cm}^3$.

Foram produzidos dois concretos de referência, sem AMR, com relações a/c 0,48 e 0,61, cujos traços unitários (c:cv:af:am:p:a/c), em massa, e a identificação dos mesmos são apresentados a seguir:

- REF(0,48) - 0,97:0,03:1,10:0,37:2,57:0,48;
- REF(0,61) - 0,97:0,03:1,96:0,65:3,76:0,61.

Os concretos apresentaram teor de argamassa seca de 49%. Posteriormente,

para cada traço de referência foi realizada a substituição do AMN por AMR nos teores de 10% e 20%. Foi adotada a compensação do volume de agregados em cada um dos traços de concreto reciclado produzidos.

Para a execução de todos os concretos utilizou-se a sequência de mistura proposta por Tam, Gao e Tam (2005). Os concretos de referência foram produzidos para apresentar um abatimento do tronco de cone (NBR NM 67, ABNT 1998) de 100 ± 20 mm e, posteriormente, foi medido o espalhamento na mesa de Graff (NBR NM 68, ABNT 1998), e assim fixado o intervalo de 390 ± 5 mm de espalhamento. Os concretos com AMR foram produzidos para apresentar o espalhamento mencionado, ajustando a trabalhabilidade com o uso de SP. Somente para as misturas com relação a/c 0,61: REF(0,61), 10%AMR(0,61) e 20%AMR(0,61) foram utilizados 0,50%, 0,72% e 0,63% de SP, respectivamente.

Tabela 1 – Propriedades dos agregados

Propriedade		Brita granítica	Areia Fina quartzosa	Areia Média quartzosa	AMR misto (CARNEIRO, 2011)
Dimensão máxima característica (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	19,0	1,2	2,4	4,8
Módulo de finura		6,68	1,77	2,86	2,34
Massa específica (kg/dm ³)	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	-	2,61	2,61	2,44
	NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,79	-	-	-
Taxa de absorção de água (%)	NBR NM 30 (ABNT, 2001)		0,7	0,8	-
	NBR NM 53 (ABNT, 2009)	0,4	-	-	-
	Leite (2001)	-	-	-	13,32

Fonte: Os autores

Os concretos foram avaliados no estado endurecido quanto a resistência à compressão axial (NBR 5739, ABNT, 2007), aos 7 e 28 dias, e massa específica, absorção de água e índice vazios (NBR 9778, ABNT, 2005), aos 28 dias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram compatíveis com a trabalhabilidade pré-definida de 390 ± 5 mm (Tabela 2), enquanto o abatimento apresentou grande variabilidade. Meftteh *et al.* (2013), Qasrawi e Marie (2013) e Matias *et al.* (2013) afirmam que o abatimento do CR é mais baixo quando comparado ao valor do abatimento do concreto de referência. Leite (2001) explica que como CR apresenta maior aspereza, os índices de abatimento são mais variáveis, quando se compara ao concreto convencional (CC).

Observa-se, também, que as resistências dos CRs aumentaram quando comparados a referência (Tabela 2). Aos 28 dias, o maior aumento de resistência (cerca de 20%) foi observado para mistura 10%AMR(0,61) em comparação a mistura REF(0,61). Para as demais misturas, o aumento foi de cerca de 10%. Esse crescimento de resistência do CR pode ser atribuído ao

método de mistura e uso da sílica ativa, que contribui para densificar a interface matriz-agregado, e ao uso do SP, que aumenta a dispersão nas misturas e auxilia na densificação da própria matriz. Além disso, devido a características do AMR como, rugosidade, que melhora a aderência; granulometria contínua e maior quantidade de finos, que diminuem a segregação, ajudam no fechamento de poros; maior aderência matriz-agregado, devido a maior absorção do AR, melhorando a zona de transição e o aumento da rigidez da matriz (LEITE, 2001; VIEIRA, 2003).

Tabela 2 – Resultados de trabalhabilidade e resistência

Mistura	Trabalhabilidade (mm)		f _c ±Sd(CV) - MPa±MPa(%)	
	Abatimento	Espalhamento	7 dias	28 dias
REF(0,61)	70	385	25,9±1,15(4,5)	33,7±1,68(5,0)
10%AMR(0,61)	45	395	29,7±1,18(4,0)	38,9±1,26(3,2)
20%AMR(0,61)	45	385	31,2±1,25(4,0)	36,5±1,35(3,7)
REF(0,48)	95	390	31,4±0,95(3,0)	38,8±1,18(3,0)
10%AMR(0,48)	100	395	34,6±1,82(5,3)	41,2±1,19(2,9)
20%AMR(0,48)	65	395	36,1±0,72(2,0)	42,4±1,47(3,5)

Fonte: Os autores

Os resultados da Tabela 3 mostram que o aumento do teor de AMR não influenciou nos resultados de massa específica, índice de vazios e taxa de absorção, em cada uma das relações a/c estudadas.

Tabela 3 – Absorção por imersão, índice de vazios e massa específica

Mistura	Massa específica	Absorção	Índice de vazios
	ME±Sd(CV)	A±sd(CV)	I _v ±sd(CV)
	kg/dm ³ ± kg/dm ³ (%)	% ±%(%)	% ±%(%)
REF(0,61)	2,56±0,01(0,4)	5,1±0,04(0,7)	11,6±0,11(1,0)
10%AMR(0,61)	2,56±0,01(0,2)	5,1±0,06(1,2)	11,6±0,13(1,1)
20%AMR(0,61)	2,57±0,01(0,3)	5,0±0,09(1,8)	11,3±0,20(1,8)
REF(0,48)	2,60±0,01(0,2)	5,6±0,14(2,4)	12,7±0,27(2,1)
10%AMR(0,48)	2,60±0,00(0,2)	5,7±0,15(2,6)	12,8±0,28(2,2)
20%AMR(0,48)	2,59±0,00(0,1)	5,8±0,08(1,4)	13,0±0,16(1,2)

Fonte: Os autores

Observa-se também que os concretos com relação a/c 0,61 apresentaram absorção e índice de vazios ligeiramente menores que as misturas com a/c 0,48. É possível que a baixa relação a/c e a alta taxa de absorção do AMR aja diminuição de água livre aumentando assim seus índices de absorção e vazios. Ainda assim, segundo a classificação proposta por Helene (1983) apud Levy (2001) de acordo com a porosidade e absorção de água que classifica o concreto em deficientes, normais e duráveis, todas as misturas estudadas foram classificadas como concretos normais, independente da relação a/c e/ou teor de AMR.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que:

- para menores valores de a/c (0,61) foi necessário o uso de SP em todos os concretos, para o alcance da trabalhabilidade desejada;
- o espalhamento na mesa de Graff mostrou-se como melhor parâmetro da avaliação da trabalhabilidade dos concretos estudados, apresentando menor variação dos resultados com o uso de AMR, do que o abatimento do tronco de cone, mesmo quando se utiliza SP ;
- o uso de AMR, associado a 3% de sílica ativa, promoveu um aumento das resistências à compressão, para as duas famílias de concreto produzidas;
- a massa específica, taxa de absorção de água e índice de vazios não sofreram grandes alterações com o aumento do teor de substituição de AMR, para as relações a/c estudadas. Com base nos resultados de absorção e índice de vazios as misturas foram classificadas como concretos normais.

AGRADECIMENTOS

A UEFS, PPGECEA e LABOTEC pela contribuição para o desenvolvimento do trabalho e a FAPESB pelo financiamento da bolsa de estudo. Os autores agradecem a VEDACIT pela doação do aditivo usado nesse estudo.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009..

_____. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 68**: Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016. São Paulo, 2016. 64 p.

BARBUDO, A.; DEBRITO, J.; EVANGELISTA, L.; BRAVO, M.; AGRELA, F. Influence of water-reducing admixtures on the mechanical performance of recycled concrete. **Journal of Cleaner Production**, v.59, p. 93-98, 15 Nov 2013.

CARNEIRO, J. A. **Uso de agregado reciclado e fibras de aço em concreto simples e concreto armado sob flexão**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

FIGUEIRÊDO FILHO, J. G. L. **Avaliação Da trabalhabilidade de concreto contendo agregado reciclado de argamassa**. Feira de Santana, 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana, 2011.

JOSEPH, P. TRETSAKOVA-MCNALLY, S. Sustainable Non-Metallic Building Materials. *Sustainability*, v. 2, p. 400 – 427, 2010.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290 f. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. 208 f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.

LI, J.; XIAO, H.; ZHOU, Y. Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolanic powder on properties of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v.23, n.3, p.1287-91, 2009.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v.1, n.2, p. 176-188, 2013.

MATIAS, D.; BRITO, J. DE; ROSA, A.; PEDRO, D. Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – influence of the use of superplasticizers. **Construction and Building Materials**, v.44, p.101-109, 2013.

MEFTEH, H.; KEBAILI, O.; OUCIEF, H.; BERREDJEM, L.; ARABI, N. Influence of moisture conditioning of recycled aggregates on the properties of fresh and hardened concrete. **Journal of Cleaner**, v.54, p.282-288, 2013.

OIKONOMOU, N. Recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites*, v.27, p.315–318, 2005.

PEDRO, D.; DE BRITO, J.; EVANGELISTA, L. Structural concrete with simultaneous incorporation of fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and long-term properties. **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 294 – 309, 2017.

QASRAWI, H.; MARIE, I. Towards better understanding of concrete containing recycled concrete aggregate. **Advances in Materials Science and Engineering**, 2013.

SILVA, R. V.; BRITO, J.; DHIR, R. K. Tensile strength behaviour of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v.83, p.108-118, 15 Mai 2015.

TAM, V. W. Y.; GAO, X. F.; TAM, C. M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. **Cement and Concrete Research**, v.35, n.6, p.1195-1203, 2005.

TAM, V.W.Y.; TAM, C.M. Diversifying two-stage mixing approach (T SMA) for recycled aggregate concrete: TSMAs and TSMAsc. **Construction and Building Materials**, v.22, n.10, p.2068-77, 2008.

RODRIGUES, C. R. S.; FUCALE, S. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-111, jan./mar. 2014.

SOTO, N. T. A. **Avaliação do uso de agregado de resíduo de construção civil nas propriedades do concreto no slump para fabricação de artefatos de concreto**. 2017. 172 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2003. 151 f. . Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.