

HAC2018 | V Congresso Ibero-americano sobre Betão Auto-compactável e Betões Especiais

Valência, 5 e 6 de Março de 2018

Comportamento mecânico de betão auto-compactável produzido com agregados reciclados provenientes da indústria de pré-fabricação

S. A. Santos ⁽¹⁾, P. R. da Silva ⁽²⁾ and J. de Brito ⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal.

⁽²⁾ CERIS-ICIST, Área Departamental de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal.

⁽³⁾ CERIS-ICIST, Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.ID.5299>

RESUMO

O presente artigo pretende avaliar a viabilidade de reintrodução de agregados reciclados (AR) de betão na indústria de pré-fabricação. Desse modo, foram avaliadas as propriedades mecânicas do betão auto-compactável (BAC) com incorporação de AR (grossos e finos - AGR e AFR) a partir de elementos pré-fabricados triturados. A intenção foi avaliar a capacidade de produção de BAC com um desempenho mínimo pré-estabelecido em termos de resistência mecânica, incorporando diferentes percentagens de AR (AFR/AGR%: 25/25%, 50/50%, 0/100%, 100/0% e 0%) produzidos a partir de betão pré-fabricado com desempenho alvo semelhante. Esta avaliação foi feita para duas classes de resistência (45 e 65 MPa), com a intenção de obter como resultado final betão com agregados reciclados cujas características fossem compatíveis com as de um BAC com agregados naturais, em termos de trabalhabilidade e resistência mecânica. Os resultados permitiram estabelecer conclusões sobre os BAC produzidos com agregados finos e grossos reciclados da indústria de pré-fabricação, com base nas suas propriedades mecânicas. As propriedades estudadas são fortemente afectadas pelo tipo e quantidade de agregados reciclados. É enfatizado o potencial demonstrado, principalmente no estado endurecido, pelo uso conjunto de agregados finos e grossos reciclados.

PALAVRAS-CHAVE: betão auto-compactável (BAC); resíduos; agregados finos reciclados (AFR); agregados grossos reciclados (AGR); comportamento mecânico.

1.- INTRODUÇÃO

A crescente consciencialização ambiental da Sociedade conduziu a uma maior preocupação com o elevado consumo de recursos naturais e com os resíduos originados pelas actividades levadas a cabo nas várias indústrias. Mais especificamente, a indústria da Construção con-

Comportamento mecânico de Betão auto-compactável produzido com agregados reciclados provenientes da indústria de pré-fabricação

HAC2018 / V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

some grande parte destes recursos e é, actualmente, a principal responsável pela produção de resíduos a nível europeu [1], cujo depósito e tratamento acarretam graves consequências ambientais e económicas.

Sendo o betão o material mais vulgarmente utilizado na actividade construtiva, constitui uma parcela significativa dos resíduos de construção e demolição (RCD). Em particular, a indústria de pré-fabricação, devido ao seu rigoroso controlo de qualidade, produz uma elevada quantidade de peças de betão rejeitadas que, dada a sua elevada qualidade, possuem um grande potencial de reciclagem para incorporação no fabrico de novos betões. Desta forma, reduz-se o consumo de recursos naturais, necessários à produção de betão, bem como a quantidade de resíduos depositados em aterro.

Desse modo, a tecnologia do betão requer uma nova abordagem, baseada essencialmente em três vectores: métodos de produção e colocação com menor consumo de energia, aumento da durabilidade das estruturas e maior taxa de reciclagem de materiais, nomeadamente através da sua reintrodução (reutilização) no processo de construção. O uso de betão auto-compactável (BAC) e a incorporação de agregados reciclados na produção de argamassas e de betão são soluções com grande potencial, particularmente para a indústria de pré-fabricação, na qual os requisitos do produto final são maiores. Por esta razão, os resíduos desta indústria são também aqueles com maior potencial para serem utilizados como agregados reciclados (AR) de alta qualidade na produção de novos elementos de betão.

O principal objectivo desta investigação é o de proporcionar à indústria de pré-fabricação uma forma inovadora de eliminação e recuperação de resíduos auto gerados, minimizando o consumo de recursos naturais e, consequentemente, reduzindo significativamente o seu impacto ambiental. Além dos aspectos ambientais, há também aspectos económicos associados, já que este procedimento reduz os custos de compra e transporte dos materiais.

Neste contexto, a investigação desenvolvida procurou aprofundar o conhecimento das propriedades de agregados reciclados de betão (ARB) e de BAC incorporando os mesmos. O estudo incidiu na fracção fina (AFR) e/ou grossa (AGR) destes agregados, com várias taxas de incorporação, com origem em elementos de betão provenientes da indústria de pré-fabricação. Pretendeu-se, assim, aliar as vantagens do aproveitamento dos desperdícios do betão pré-fabricado de boa qualidade com as vantagens técnicas, económicas e ambientais da utilização de BAC.

Procurou-se demonstrar a aplicabilidade deste tipo de agregados no fabrico de BAC, testando-se a influência da taxa de incorporação de ARB no seu desempenho em termos mecânicos, tendo como critério a obtenção de betões com resistência à compressão semelhante à dos betões de origem (BO) dos ARB.

Através dos resultados obtidos, pretendeu-se analisar a possibilidade de utilização de taxas de incorporação de ARB superiores às estabelecidas nos diversos regulamentos existentes, tanto a nível nacional (LNEC E 471) como internacional [2]. Para esse efeito, produziu-se um total de 10 misturas auto-compactáveis: incorporando agregados reciclados em substi-

tuição dos agregados naturais, com diversas combinações AFR/AGR, nomeadamente: 25/25%, 50/50%, 0/100%, 100/0% e 0%. Esta avaliação foi feita para duas classes de resistência (45 e 65 MPa) do betão de origem, com a intenção de obter como resultado final betão com agregados reciclados cujas características fossem compatíveis com as de um BAC com agregados naturais, em termos de trabalhabilidade e resistência mecânica.

As referidas misturas foram avaliadas essencialmente em termos da resistência à compressão uniaxial em cubos e cilindros e do módulo de elasticidade secante.

2.- MATERIAIS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

2.1.- Materiais utilizados

Os materiais utilizados neste trabalho foram seleccionados tendo em consideração o betão em análise (BAC). Desse modo, foram utilizados os seguintes materiais: cimento segundo a NP EN 197-1 (CEM tipo I-42,5 R, com massa volúmica de 3140 kg/m^3); duas adições: cinzas volantes (CV) segundo as normas NP EN 450-1 e NP EN 450-2, com massa volúmica de 2300 kg/m^3 e filler calcário (FC) segundo a especificação LNEC E 466, com massa volúmica de 2720 kg/m^3 ; duas britas calcárias segundo a NP EN 12620, brita 1, com massa volúmica de 2640 kg/m^3 , D_{\max} de 11,2 mm e absorção de água de 1,60%, e brita 2 com massa volúmica de 2690 kg/m^3 , D_{\max} de 22,4 mm e absorção de água de 0,80%; duas areias siliciosas segundo a NP EN 12620, areia grossa (0/4) com massa volúmica de 2670 kg/m^3 , módulo de finura de 3,28 e absorção de água de 0,40% e areia fina (0/2) com massa volúmica de 2670 kg/m^3 , módulo de finura de 2,04 e absorção de água de 0,40%; os AR são provenientes da trituração de elementos de betão pré-fabricado com duas classes de resistência (45 e 65 MPa): AGR 65, com massa volúmica de 2490 kg/m^3 e uma absorção de água de 2,20%; AGR 45, com massa volúmica de 2600 kg/m^3 e uma absorção de água de 1,80%, AFR 65 com massa volúmica de 2450 kg/m^3 e absorção de água de 7,50% e um AFR 45 com massa volúmica de 2560 kg/m^3 e uma absorção de água de 5,00%; superplastificante de elevado desempenho, forte redutor de água, segundo as NP EN 934-1 e NP EN 934-2 (uma combinação de policarboxilatos modificados, em solução aquosa com massa volúmica de 1070 kg/m^3); água da rede pública segundo a NP EN 1008.

2.2.- Quantidades de amassadura

Com o objectivo de abranger as diferentes variações de quantidades de amassadura e respectiva avaliação das misturas PF 45 e PF 65, foram produzidas 10 amassaduras de BAC de acordo com a NP EN 206-9, que são apresentadas no Quadro 1. As quantidades de amassadura utilizadas foram obtidas segundo o método apresentado por Nepomuceno e Oliveira [3] e por Nepomuceno et al. [4], já utilizado em diversas aplicações [5, 6, 7].

2.3.- Descrição dos ensaios e preparação dos provetes

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado segundo a norma NP EN 12390-3 em provetes cúbicos de 150 mm de aresta, sujeitos ao processo de cura húmida por imersão em água a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ até à idade de ensaio. Por amassadura de BAC, foram moldados três provetes em cada uma das quatro idades (7, 28 e 91 dias).

Comportamento mecânico de Betão auto-compactável produzido com agregados reciclados provenientes da indústria de pré-fabricação

HAC2018 / V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

Quadro 1. Quantidades de amassadura e propriedades no estado fresco

Quantidades de amassadura [kg/m³]	PF 45					PF 65					
	100% AN	25% AR	50% AR	100% AGR	100% AFR	100% AN	25% AR	50% AR	100% AGR	100% AFR	
CEM I 42.5 R			270					437			
Cinzas volantes			247					148			
Fíler calcário			59					29			
Superplastificante			3					4			
Água			187					188			
Areia 0/2 (AFN)	350	262	175	350	---	348	261	174	348	---	
Areia 0/4 (AFN)	348	261	174	348	---	347	260	173	347	---	
AFR	---	167	333	---	667	---	156	312	---	624	
Brita 1	389	292	195	---	389	389	292	195	---	389	
Brita 2	398	299	199	---	398	398	299	199	---	398	
AGR	---	193	385	770	---	---	184	369	737	---	
W/C			0,69					0,43			
W/MC			0,36					0,32			
W/MF			0,32					0,31			
Síntese das propriedades básicas no estado fresco											
Espalhamento (SF)	[mm]	733	690	688	698	685	765	760	700	718	683
T500	[s]	2,5	2,5	2,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,5	3,0	2,5
Funil V (T)	[s]	7,5	9,0	8,0	7,0	7,0	9,0	9,0	8,0	9,0	11,0
Caixa-L (PL)	[-]	0,80	0,80	0,80	0,83	0,80	0,81	0,84	0,90	0,80	0,80

A determinação do módulo de elasticidade secante foi realizada segundo a especificação LNEC E 397 em provetes cilíndricos com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, sujeitos ao processo de cura húmida por imersão em água a 20 ± 2 °C até à idade de ensaio. Por amassadura de BAC, foram moldados três provetes em cada uma de duas idades (28 e 91 dias). O procedimento de ensaio implicou, numa primeira fase, que os provetes fossem centrados nas placas da prensa, de modo a que, após um ciclo de carga - descarga, a variação da extensão, medida nos dois extensómetros, não diferisse mais de 10%. Após a referida verificação, procedeu-se à determinação do módulo de elasticidade secante, através da aplicação de ciclos de carga - descarga onde a tensão variou entre 0,5 a 1 MPa e 1/3 da tensão de rotura, tendo-se registado as extensões iniciais e finais obtidas.

3.- APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1.- Comportamento no estado fresco

Os ensaios no estado fresco foram realizados de modo a verificar a conformidade dos parâmetros obtidos com os exigidos pela NP EN 206-9 para BAC. Os referidos parâmetros de comportamento no estado fresco foram fixos *a priori* através do seu ajuste em composições de argamassas auto-compactáveis (os resultados obtidos no estado fresco são apresentados de forma resumida no Quadro 1).

Observou-se que, em geral, as variações registradas nos BAC com AR são devidas à maior absorção de água dos mesmos, influenciadas igualmente pela presença de argamassa aderida, bem como pela sua superfície mais rugosa quando comparada com a dos AN.

Concluiu-se que todas as misturas atingiram os parâmetros de trabalhabilidade, pelo que possuem as características necessárias para serem classificadas como BAC de acordo com o exigido pela NP EN 206-9.

3.2.- Compressão uniaxial

O ensaio de resistência à compressão em cubos foi realizado segundo a NP EN 12390-3, aos 7, 28 e 91 dias de idade. Os resultados obtidos para ambas as famílias de BAC são apresentados na Figura 1.

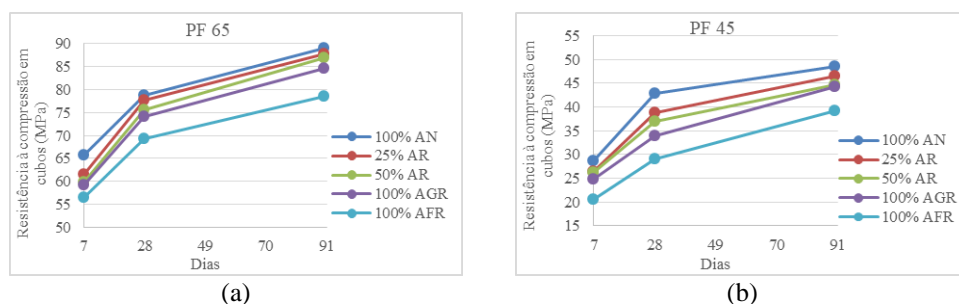


Figura 1. a) Resistência à compressão em cubos aos 7, 28 e 91 dias (PF 65); **b)** Resistência à compressão em cubos aos 7, 28 e 91 dias (PF 45)

Observando os resultados obtidos, verifica-se que a resistência à compressão aumenta com a idade (como expectável). Todos os BAC desenvolvem resistências de forma rápida até aos 7 dias de idade, atingindo em média 71% da resistência em relação aos 91 dias de idade para a família PF 65 e 57% para a família PF 45. Na família PF 45, a percentagem de substituição de cimento por adições foi de 60%, bastante superior à considerada para a família PF 65, que foi de 35%. Este facto poderá explicar o maior retardamento no desenvolvimento da resistência verificado na família PF 45.

Analisando a Figura 1, verifica-se que a substituição de AN por AR provoca uma redução da resistência, em relação ao BAC de referência (100% AN) de 2 a 14% para a família PF 65 e de 4 a 32% para a família PF 45. As perdas são semelhantes aos 7, 28 e 91 dias.

A redução de desempenho desta propriedade deve-se à forma achatada e angulosa do material reciclado e à argamassa aderida aos AR, que provoca um aumento da porosidade e fissuração dos agregados, tornando mais fracas as ligações na zona de transição entre o agregado reciclado e a nova pasta [8].

As mesmas tendências foram verificadas por Grdic et al. [9] e Pereira-de-Oliveira et al. [10]. Grdic et al. [9] e Pereira-de-Oliveira et al. [10] obtiveram reduções de 8 e 5%, respectivamente, comparando o BAC com 100% AN e o BAC com 100% AR (aos 28 dias). Pe-

Comportamento mecânico de Betão auto-compactável produzido com agregados reciclados provenientes da indústria de pré-fabricação

HAC2018 / V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

reira-de-Oliveira et al. [10] concluíram que os AR não influenciam significativamente o comportamento mecânico dado o elevado volume de pasta que envolve os mesmos.

Os resultados obtidos mostram que os BAC de referência (100% AN) apresentam a resistência à compressão mais elevada, atingindo 78 e 43 MPa aos 28 dias de idade, para as famílias PF 65 e PF 45, respectivamente. Os BAC com 100% AFR são os que apresentam menor resistência: 69 e 29 MPa, respectivamente para a família PF 65 e PF 45 (com reduções de 12 e 32% em relação ao BAC de referência). Conclui-se, portanto, que o objectivo de reproduzir a mesma resistência do betão de origem apenas foi atingido (e ultrapassado com bastante folga) na família PF 65.

Os resultados obtidos para resistência à compressão em cilindros para ambas as famílias de BAC são apresentados na Figura 2. É possível observar uma redução da resistência à compressão com a crescente substituição de AN por AR, tal como na resistência à compressão em cubos, sendo a justificação para esse facto idêntica. As variações ocorridas situam-se entre 3 e 12% para a família PF 65 e entre 3 e 24% para a família PF 45. Como seria expectável, verifica-se que a resistência à compressão aumenta com a idade.

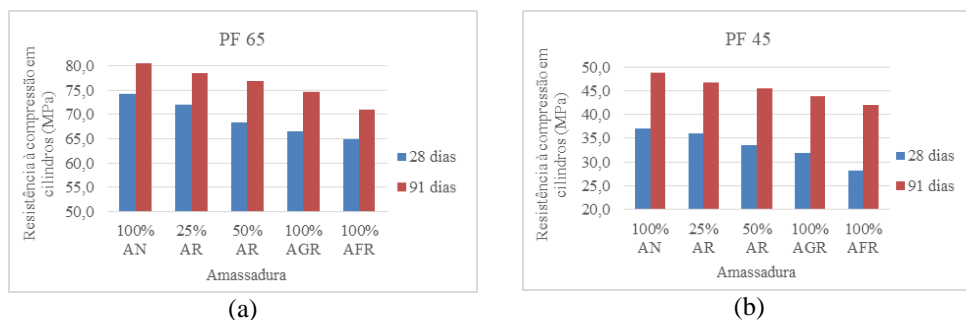


Figura 2. a) Resistência à compressão em cilindros aos 7, 28 e 91 dias (PF 65); **b)** Resistência à compressão em cilindros aos 7, 28 e 91 dias (PF 45)

No Quadro 2, apresenta-se o cálculo da relação entre a resistência à compressão em provetes cúbicos e cilíndricos, ou seja, o factor de conversão de cubos de 150 mm de aresta para cilindros de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura. Verifica-se que a tensão de rotura nos cilindros é, em média, 0,91 e 0,95 (para a família PF 65 e PF 45, respectivamente) da tensão de rotura dos cubos.

Na Figura 3, é possível observar a correlação elevada nos valores obtidos: $R^2 = 0,85$ e $R^2 = 0,94$ (PF 65) e $R^2 = 0,96$ e $R^2 = 0,92$ (PF 45). O referido factor de conversão está próximo dos valores apresentados no Quadro 7 da NP EN 206-1 que variam entre 0,80 (classe C8/10) e 0,87 (classe C100/115).

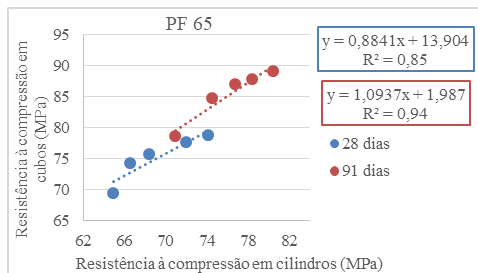
3.3.- Módulo de elasticidade

O ensaio de determinação do módulo de elasticidade foi realizado segundo a especificação

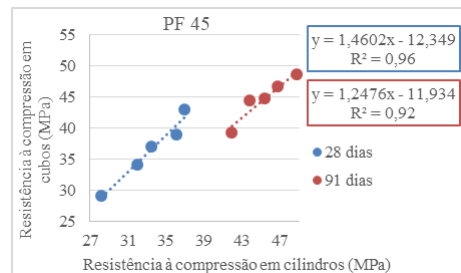
LNEC 397, aos 28 e 91 dias de idade. Os resultados obtidos para ambas as famílias de BAC são apresentados na Figura 4.

Quadro 2 - Relações das resistências obtidas aos 28 e 91 dias em cubos e cilindros (PF 65 e PF 45)

Amassadura	28 dias			91 dias		
	Resistências médias (MPa)		Resistência cilindro / cubo	Resistências médias (MPa)		Resistência cilindro / cubo
	Cubos	Cilindros		Cubos	Cilindros	
(PF 65) 100% AN	78,7	74,1	0,94	89,1	80,5	0,90
(PF 65) 25% AR	77,6	72,0	0,93	87,7	78,5	0,89
(PF 65) 50% AR	75,6	68,4	0,90	87,0	76,8	0,88
(PF 65) 100% AGR	74,2	66,5	0,90	84,6	74,6	0,88
(PF 65) 100% AFR	69,3	64,9	0,94	78,6	70,9	0,90
(PF 45) 100% AN	42,9	37,0	0,86	48,5	48,9	0,99
(PF 45) 25% AR	38,9	36,1	0,93	46,6	46,8	1,00
(PF 45) 50% AR	37,0	33,5	0,90	44,7	45,5	0,98
(PF 45) 100% AGR	34,0	32,0	0,94	44,3	43,9	0,99
(PF 45) 100% AFR	29,1	28,3	0,97	39,3	41,9	0,94

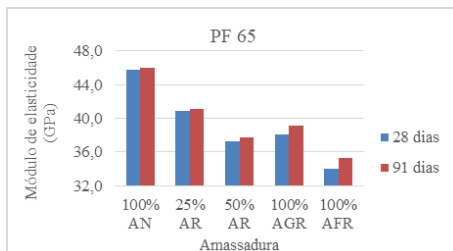


(a)

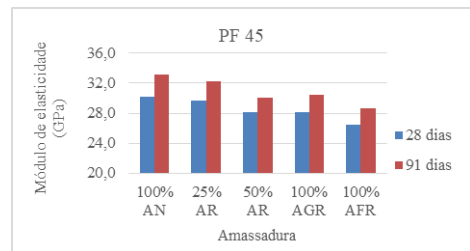


(b)

Figura 3. a) Relação entre a resistência à compressão em cubos e cilindros aos 28 e 91 dias (PF 65); **b)** Relação entre a resistência à compressão em cubos e cilindros aos 28 e 91 dias (PF 45)



(a)



(b)

Figura 4. a) Módulo de elasticidade aos 28 e 91 dias (PF 65); **b)** Módulo de elasticidade aos 28 e 91 dias (PF 45)

Analisando os resultados, verifica-se uma redução do módulo de elasticidade com o aumento da taxa de incorporação de AR, registando-se variações máximas de 26% e 23%, respectivamente aos 28 e 91 dias, para a família PF 65 e de 12% e 14% para a família PF 45. Pereira-de-Oliveira et al. [10] obtiveram uma redução de 5% para 100% AR, aos 28 dias, que é explicada pela menor rigidez dos AR (em comparação com os AN), dada a presença de argamassa antiga aderida aos agregados e com maior deformabilidade do que estes [10].

Na Figura 5, é possível observar uma correlação elevada entre o módulo de elasticidade e a resistência mecânica: $R^2 = 0,93$ e $R^2 = 0,90$ (28 e 91 dias) para a resistência à compressão em cubos e $R^2 = 0,96$ e $R^2 = 0,89$ para a resistência à compressão em cilindros, pelo que se conclui que há uma forte ligação entre estas duas propriedades. Devido à limitada extensão do artigo, optou-se por apresentar apenas os resultados relativos à família PF 45.

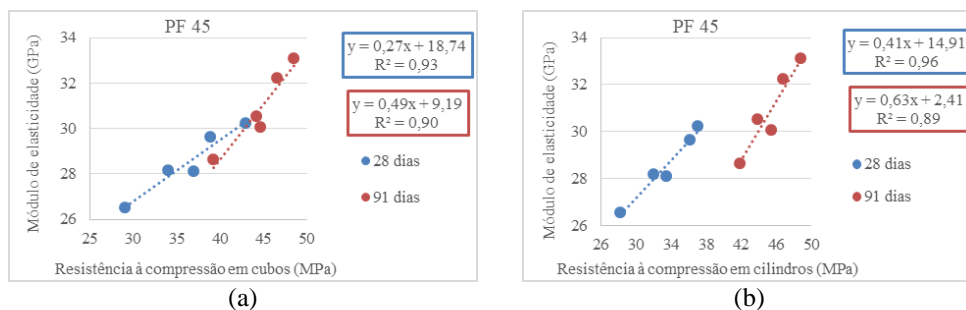


Figura 5. a) Relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão em cubos aos 28 e 91 dias (PF 45); **b)** Relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão em cilindros aos 28 e 91 dias (PF 45)

4.- CONCLUSÕES

No estado fresco, avaliou-se o tempo e diâmetro de espalhamento, o tempo de escoamento pelo funil V e o índice de capacidade de passagem na caixa L. Estes ensaios foram executados de modo a verificar a conformidade dos BAC com os parâmetros de trabalhabilidade requeridos pela NP EN 206-9. Assim, a trabalhabilidade dos betões foi um parâmetro “fixado” *a priori* através do acerto das composições, efectuado previamente em argamassas auto-compactáveis. Todas as amassaduras cumpriram os requisitos, concluindo-se que possuem as características exigidas aos BAC: fluidez; velocidade do escoamento quer na ausência, quer na presença de obstruções; capacidade de enchimento; capacidade de escoamento; e capacidade de passagem.

Em relação à resistência mecânica dos BAC, à compressão, concluiu-se que a substituição de AN por AR provoca uma redução de desempenho, explicada pela pior qualidade dos AR devido à argamassa aderida. A diminuição de resistência foi mais acentuada na família PF 45, em virtude da pior qualidade dos AR, provenientes de um BO de resistência inferior.

Obteve-se betões de classes de resistência C50/60 e C55/67, na família PF 65, e de classes C16/20 a C25/30, na família PF 45. Assim, conclui-se que o objectivo de reproduzir a resistência dos betões de origem dos AR apenas foi atingido na família PF 65. No entanto, na família PF 45, apesar de não se ter atingido este objectivo, todos os BAC, à excepção da mistura com 100% AFR, pertencem à classe de resistência C20/25 ou superior, pelo que têm aplicação como betão estrutural.

O módulo de elasticidade sofreu uma redução com o aumento da incorporação de AR, explicada pela menor rigidez dos AR e maior deformabilidade da argamassa aderida. Verificou-se que a amassadura com 100% AGR apresentou desempenho superior à da amassadura com 50% AR, pelo que se conclui que esta propriedade foi mais influenciada pela quantidade de AFR.

Finalmente, são apresentadas as seguintes conclusões gerais, baseadas nos resultados da campanha experimental efectuada:

- os agregados utilizados, provenientes de peças de betão da indústria de pré-fabricação, são de excelente qualidade, sendo o seu desempenho superior ao reportado em grande parte das investigações consultadas, relativamente às suas diversas propriedades;
- quanto às propriedades mecânicas, são viáveis as taxas de incorporação de 25% AR, 50% AR e 100% AGR;
- desta forma, considera-se que poderia existir um aumento das taxas limite de incorporação deste tipo de agregados contempladas nos regulamentos existentes, desde que comprovada a sua qualidade (como é o caso dos agregados provenientes de elementos de betão pré-fabricados).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do financiamento do projecto de investigação científica “Betão com agregados reciclados de elevado desempenho para a indústria da pré-fabricação (EXCELlentSUStainableCONcrete)”. Agradece-se de igual modo o apoio do centro de investigação CERIS - ICIST.

REFERÊNCIAS

- [1] EEA: European Environment Agency (2009) - EU as a recycling society: Present recycling levels of Municipal Waste and Construction & Demolition Waste in the EU, ETC/SCP working paper, Denmark, 73 p.
- [2] Gonçalves, P. (2007) - Betão com agregados reciclados: Análise comentada da legislação existente, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 132 p.
- [3] Nepomuceno M.; Oliveira L. (2008). Parameters for self-compacting concrete mortar phase, ACI Materials Journal, SP-253, July, pp. 323-340.
- [4] Nepomuceno, M., Oliveira, L. and Lopes, S. M. R. (2012) - Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral ad-

Comportamento mecânico de Betão auto-compactável produzido com agregados reciclados provenientes da indústria de pré-fabricação

HAC2018 / V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

- ditions in binary blends of powders, *Construction and Building Materials*, 26, pp. 317-326.
- [5] Silva P. R. and de Brito J. (2015) - Fresh-State Properties of Self-Compacting Mortar and Concrete with Combined Use of Limestone Filler and Fly Ash, *Materials Research, Ibero-American Journal of Materials*, Vol. 18, pp. 1097-1108.
 - [6] Silva P. M., de Brito J. and Costa, J. M. (2011) - Viability of two new mixture design methodologies for Self-Consolidating Concrete SCC, *ACI Materials Journal*, American Concrete Institute Vol. 108, No. 6, pp. 579-588.
 - [7] Bogas J., Gomes A. and M. Pereira (2012) - Self-compacting lightweight concrete produced with expanded clay aggregate, *Construction and Building Materials* 35, pp. 1013-1022.
 - [8] Tuyan, M., Mardani-Aghabaglou, A. and Ramyar, K. (2014) - Freeze-thaw resistance, mechanical and transport properties of SCC incorporating coarse recycled concrete aggregate, *Materials & Design*, Vol. 53, pp. 983-991.
 - [9] Grdic, Z. J., Toplicic-Curcic, G. A., Despotovic, I. M. and Ristic, N. S. (2010) - "Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate", *Construction and Building Materials*, Vol. 24, No. 7, pp. 1129-1133.
 - [10] Pereira-de-Oliveira, L. a., Nepomuceno, M. C. S., Castro-Gomes, J. P. and Vila, M. F. C. (2014) - Permeability properties of self-compacting concrete with coarse recycled aggregates, *Construction and Building Materials*, Vol. 51, pp. 113-120.