

RECOMENDAÇÕES PARA A INCORPORAÇÃO DE AGREGADOS RESULTANTES DE RCD EM BETÕES DE LIGANTES HIDRÁULICOS – UM CONTRIBUTO

MIGUEL JOSÉ OLIVEIRA^{1*}, RUI LANÇA¹

1: Universidade do Algarve
Campus da Penha, Faro
mjolivei@ualg.pt
rlanca@ualg.pt

Palavras-chave: RCD, Agregados Reciclados, Betão com Agregados Reciclados, Recomendações

Resumo Neste artigo apresentam-se recomendações técnicas gerais, com base nos resultados obtidos no âmbito do projeto de investigação “30307 – MULTIVALOR RCD – Otimização do Processo de Valorização de Resíduos de Construção e Demolição por Caracterização Mecânica, Física, Química e Ambiental”. As recomendações aqui apresentadas são relativas às medidas necessárias para incorporar os agregados resultantes de RCD em betões de ligantes hidráulicos. Pretende-se contribuir para a criação de condições mais favoráveis para a produção de agregados reciclados comerciáveis, respeitando os requisitos da regulamentação europeia em vigor. Procura-se assim produzir agregados reciclados que conduzam a betões mais sustentáveis e que ao mesmo tempo apresentem características de estabilidade, deformabilidade e durabilidade aceitáveis.

O trabalho desenvolvido no âmbito do projeto permitiu identificar oportunidades de melhoria em todas as fases. Nomeadamente na fase de demolição, processamento e armazenamento, assim como na fase de produção do betão a partir das características intrínsecas dos agregados reciclados. São ainda apresentadas reflexões para a prescrição do betão com agregados reciclados em fase de projeto.

1. INTRODUÇÃO

Na realidade atual acentua-se a necessidade de criar uma construção mais sustentável nas vertentes ambiental, económica e social, o que pode ser alcançado através da incorporação de agregado reciclado (AR) em betões, camadas de pavimentos rodoviários e aterros, de forma a substituir o agregado natural (AN). No entanto os materiais produzidos com o agregado reciclado têm que apresentar parâmetros técnicos aceitáveis, em concordância com as exigências de utilização e com a regulamentação em vigor.

Ao nível ambiental, a utilização de AR reduz a extração de matéria-prima, a energia de produção e de transporte dos materiais e a deposição descontrolada de resíduos poluentes no meio ambiente.

Ao nível económico, os AR possibilitam a redução dos custos dos materiais de construção, da energia de produção e de transporte, assim como os custos de deposição de materiais obsoletos e consequentemente os custos globais de construção.

Em termos sociais, os AR permitem a redução dos níveis de ruído, de sujidade, de contaminação, da proliferação de doenças e do volume de resíduos em aterro. A redução dos custos de construção contribui para uma maior facilidade de aquisição de habitação por parte famílias com poucos recursos financeiros, ou a construção de estradas, melhorando desta forma os acessos.

A exploração intensiva de agregados naturais a partir de reservas localizadas perto das grandes cidades, provocou o seu esgotamento, conduzindo progressivamente a um afastamento das pedreiras dos centros urbanos. As consequências são maiores distâncias de transporte, aumento do consumo de energia, aumento do custo e dos níveis de poluição. A expansão dos centros urbanos conduziu à necessidade de atribuir utilizações mais nobres aos terrenos nas periferias das cidades. Um crescente controlo ambiental também fez aumentar o preço do AN. Nos países industrializados 40% do consumo de energia está associada à indústria da construção, desta energia cerca de 80% são consumidos na produção e transporte de materiais de construção [1]. A deposição descontrolada e a não reutilização dos RCD podem levar: ao esgotamento prematuro dos aterros; à obstrução dos sistemas de drenagem urbana de água, provocando riscos de inundações; à poluição visual nas cidades; à proliferação de espécies indesejáveis, que podem atuar como vetores de doenças; a custos ambientais com a limpeza dos locais e ao esgotamento prematuro das fontes de matérias primas não renováveis [2].

Fazendo um balanço ambiental da indústria da construção civil verifica-se que na maioria dos casos existe um impacto negativo. Este impacto é provocado pela destruição da flora, da fauna e da paisagem, pelo consumo de recursos naturais e energéticos e pela poluição. Porém, a indústria de construção pode incorporar os resíduos provenientes da sua própria atividade ou os resíduos/subprodutos de outras indústrias na produção de novos materiais. Estes materiais podem ser incorporados em novas infraestruturas, provocando um impacto positivo na cadeia global e diminuindo o consumo de recursos naturais e energéticos [1].

Com base nos resultados obtidos no âmbito do projeto de investigação “30307 – MULTIVALOR RCD – Otimização do Processo de Valorização de Resíduos de Construção e Demolição por Caracterização Mecânica, Física, Química e Ambiental” apresentam-se algumas recomendações para a incorporação de agregados resultantes de RCD em betões de ligantes hidráulicos. Pretende-se contribuir para a criação de condições mais favoráveis para a produção de agregados reciclados comerciáveis, respeitando os requisitos da regulamentação europeia em vigor.

Neste artigo, além dos resultados gerais, são citados aspetos que podem resultar em oportunidades de melhoria em todas as fases, nomeadamente:

- Na fase de demolição, processamento e armazenamento;
- Na fase de produção do betão a partir das características intrínsecas dos agregados reciclados;
- Na fase de prescrição do betão com agregados reciclados (fase de projeto).

2. FASE DE DEMOLIÇÃO, PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO

Uma das maiores dificuldades inerentes à utilização do agregado reciclado persiste na heterogeneidade que está associada à origem dos RCD. Este problema pode ser ultrapassado através de uma demolição seletiva que permite agrupar os RCD por lotes com as características pretendidas. As desvantagens deste processo são os maiores custos e tempos de demolição das obras de engenharia, assim como uma maior complexidade logística. Muitas vezes a colocação de contentores em obra torna-se problemático, devido à falta de espaço, isto pode ser solucionado com a utilização de Big Bags, onde os vários tipos de resíduos serão armazenados separadamente, sendo posteriormente recolhidos quando existem quantidades consideráveis [2].

O processamento dos RCD, até poderem ser utilizados como agregados, passa normalmente por 4 etapas: 1 – triagem, 2 – redução primária, 3 – britagem e 4 – peneiração.

1 – Triagem: destina-se a eliminar componentes indesejáveis como gesso, plástico, borracha, madeira, cartão, papel, metal e matéria orgânica, que prejudicam as características técnicas e ambientais do produto reciclado. No caso de se recorrer à demolição seletiva esta etapa não é necessária;

2 – Redução primária: os escombros sofrem uma redução das suas dimensões e procede-se à remoção dos materiais metálicos e de outros indesejáveis que ainda estejam presentes;

3 – Britagem: procede-se a uma redução sucessiva das partículas que pode ser realizada em duas etapas (trituração primária e secundária) garantindo uma melhor forma das partículas;

4 – Peneiração: permite obter uma curva granulométrica desejada e a separação em diferentes frações granulométricas de acordo com a aplicação pretendida.

As instalações de processamento e armazenamento de RCD têm de reunir condições mínimas. Devem possuir um sistema de admissão de RCD, uma zona de armazenamento e triagem com cobertura e piso impermeável, dotada de sistema de drenagem de águas pluviais, limpeza de derramamentos, e quando apropriado, decantadores e separadores de óleos e gorduras. Devem existir contentores adequados devidamente identificados para o armazenamento seletivo de resíduos perigosos, incluindo resíduos de alcatrão e de derivados de alcatrão, e também para os resíduos de papel/cartão, madeiras, metais, plásticos, vidro, cerâmicos, equipamentos elétricos e eletrónicos, embalagens, betão, alvenaria, e de outros materiais destinados à reutilização, reciclagem ou outras formas de valorização.

3. FASE DE PRODUÇÃO DO BETÃO A PARTIR DAS CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DOS AGREGADOS RECICLADOS

3.1. Considerações gerais acerca dos agregados avaliados

Os RCD existentes em Portugal são maioritariamente constituídos por betão ou produtos de ligantes hidráulicos, materiais cerâmicos, agregados naturais não ligados e materiais betuminosos, sendo que os restantes constituintes surgem em percentagens reduzidas. Neste projeto, de modo a cobrir uma vasta gama de RCD foram escolhidas as seguintes amostras: “agregado de betão” designado ARB, “agregado cerâmico” designado ARC, “agregado não diferenciado” designado ARM e agregado natural designado AN. O último visa ter um termo de comparação entre agregados provenientes de RCD e agregados convencionais. O AN também simula a fração de pedras naturais não ligadas contidas nos RCD. Os betuminosos não podem ser utilizados para o fabrico de betões segundo a E 471 [3].

A avaliação dos constituintes segundo a NP EN 933-11 [4], permite aferir que:

ARB – classifica-se como ARB1, a melhor classe do Quadro 1 da E 471. No entanto a percentagem de X+Rg encontra-se no valor limite, devido ao elevado teor em solo;

ARC – cumpre todas as exigências da classe mais baixa do Quadro 1 da E 471, exceto a percentagem de X+Rg, devido ao elevado teor em solo;

ARM – cumpre todas as exigências da classe mais baixa do Quadro 1 da E 471 (ARC) exceto o volume de FL da classe ARC, o que se deve maioritariamente a partículas de argila expandida provenientes de betão leve.

A percentagem de solo prejudica a classificação dos agregados. Neste projeto observou-se que a contaminação dos agregados com solo provem essencialmente do local de armazenamento dos RCD e não da sua origem, pelo que deve ser considerado a implementação do indicado no ponto anterior.

O volume de flutuantes pode ser reduzido através de vários métodos: através de processos de imersão ou fluxo de ar; durante a demolição ou processo de triagem e misturar com materiais sem flutuantes.

Na realização do estudo, os RCD recebidos foram agrupados de modo a poderem ser classificados como ARB1, ARB2 ou ARC de acordo com a norma E 471. Para alcançar esta finalidade foram realizados ensaios de constituintes aos RCD recebidos, após o processo de triagem. Para este efeito, pode recorrer-se ao ensaio indicado na NP EN 933-11 ou a um procedimento simplificado. No caso de os RCD pesados não poderem ser separados de forma a cumprir os requisitos de constituintes da E 471, estes podem ser misturados com materiais mais nobres. Em relação à mistura de materiais, torna-se importante ter em consideração que os RCD cerâmicos, de uma forma generalizada, reduzem a qualidade dos agregados.

Para processar os RCD, recomenda-se a elaboração de uma planta da central de reciclagem, onde se identificam, com etiquetas, os diferentes tipos de agregado. Estas etiquetas devem estar associadas a uma base de dados que contém toda a informação sobre os constituintes e as propriedades dos agregados. A base de dados deve permitir simular a constituição de misturas de novas amostras recebidas com agregados já existentes. Isto possibilita o agrupamento dos agregados de forma a satisfazerem os requisitos das classes de constituintes ARB1, ARB2 e ARC definidos na norma E 471. Este processo permite otimizar a classificação dos agregados reciclados maximizando o seu valor económico e a sua aplicabilidade em obras de engenharia civil. Uma boa gestão dos RCD e otimização das misturas é essencial para alcançar o máximo aproveitamento económico dos RCD.

3.2. Avaliação das propriedades dos agregados estudados

Na tecnologia do betão geralmente são utilizados agregados grossos (brita) e agregados finos (areia). Uma vez que foi fornecido agregado de granulometria extensa, este foi dividido nas duas frações, fina e grossa, através do peneiro de 4 mm.

A Tabela 1 apresenta as classificações dos agregados grossos de acordo com a NP EN 12620+A1 – “Agregados para betão” [5]. Estas classificações devem ser utilizadas na elaboração de fichas técnicas dos agregados. As fichas técnicas fornecem informações aos consumidores acerca das propriedades dos produtos, modos e campos de aplicação e cuidados a ter.

A avaliação das propriedades segundo a NP EN 12620+A1 permitiu aferir que a amostra:

ARB – cumpre todos os requisitos do Quadro 2 da E 471;

ARC – considerando que é classificado como ARC, cumpre todos os requisitos do Quadro 2 da E 471, exceto a classe limite de finos (f_4);

ARM – considerando que é classificado como ARC, cumpre todos os requisitos do Quadro 2 da E 471.

A contaminação com solo pode aumentar a percentagem de finos do ARC e deve ser evitada. Ainda é possível recorrer a um processo de lavagem deste agregado, após o processo de crivagem. No entanto observou-se que a maioria dos finos provém da trituração das partículas cerâmicas que são constituídas por argila. Isto torna difícil controlar o seu teor, pois o manuseamento dos agregados provoca o choque entre as partículas origina ao aumento do teor de finos. Verificou-se ainda que os finos do ARC são de baixa qualidade. Assim este agregado não deve ser comercializado para o fabrico de betões, podendo eventualmente ser misturado em pequenas quantidades com outras amostras.

Tabela 1. Classificação do agregado grosso: NP EN 12620+A1

Categoria/Agregado	ARB	ARC	ARM
d/D	4/20	4/20	6.3/31.5
<i>f</i>	<i>f</i> ₄	<i>f</i> ₆	<i>f</i> _{1,5}
<i>G</i>	<i>G</i> _{c90/15}	<i>G</i> _{c90/15}	<i>G</i> _{c90/15}
<i>G</i> _T	<i>G</i> _{T17,5}	<i>G</i> _{T17,5}	<i>G</i> _{T15}
<i>FI</i>	<i>FI</i> ₁₅	<i>FI</i> ₃₅	<i>FI</i> ₃₅
<i>SI</i>	<i>SI</i> ₁₅	<i>SI</i> ₄₀	<i>SI</i> ₄₀
<i>LA</i>	<i>LA</i> ₅₀	<i>LA</i> ₅₀	<i>LA</i> ₅₃
<i>Rc</i>	<i>Rc</i> ₇₀	<i>Rc</i> ₃₇	<i>Rc</i> ₅₀
<i>Rcu</i>	<i>Rcu</i> ₉₀	<i>Rcu</i> ₇₀	<i>Rcu</i> ₅₀
<i>Rb</i>	<i>Rb</i> ₁₀₋	<i>Rb</i> ₅₀₋	<i>Rb</i> ₅₀₋
<i>Ra</i>	<i>Ra</i> ₁₋	<i>Ra</i> ₁₋	<i>Ra</i> ₁₋
<i>XRg</i>	<i>XRg</i> _{0,5-}	<i>XRg</i> _{2,4-}	<i>XRg</i> _{0,5-}
<i>FL</i>	<i>FI</i> ₂₋	<i>FI</i> ₂₋	<i>FI</i> _{7,1-}
% <i>WS</i>	0,031	0,035	0,043
% <i>WA</i>	5,88	7,83	8,41
<i>Mg/m</i> ³ <i>seca</i>	2,29	2,16	2,10
<i>Mg/m</i> ³ <i>saturada</i>	2,42	2,33	2,27
<i>Mg/m</i> ³ <i>do material impermeável</i>	2,64	2,60	2,55

A Tabela 2 apresenta as classes das propriedades dos agregados finos, segundo a classificação da NP EN 12620+A1 – “Agregados para betão” e a NP EN 13139 – “Agregados para argamassas” [5] e [6], respetivamente.

Tabela 2. Classificação do agregado de acordo com a NP EN 12620+A1 e NP EN 13139

Categoria/Agregado	ARB	ARC	ARM
d/D	0/4	0/4	0/4
<i>f</i>	<i>f</i> ₁₀	<i>f</i> ₁₀	<i>f</i> ₃
<i>MB</i> *	<i>MB</i> ₂	<i>MB</i> ₇	<i>MB</i> ₂
<i>MB</i> _{0/D} *	<i>MB</i> _{0/D} 1	<i>MB</i> _{0/D} 4.3	<i>MB</i> _{0/D} 1.2
<i>SE</i> **	<i>SE</i> ₃₅	<i>SE</i> ₂₄	<i>SE</i> ₄₀
<i>G</i>	<i>G</i> _{F85}	<i>G</i> _{F85}	<i>G</i> _{F85}
<i>P</i>	<i>CP</i>	<i>CP</i>	<i>CP</i>
% <i>WS</i>	0,029	0,020	
% <i>WA</i>	6,51	6,73	2,46
<i>Mg/m</i> ³ <i>seca</i>	2,69	2,67	2,65
<i>Mg/m</i> ³ <i>saturada</i>	2,43	2,42	2,46
<i>Mg/m</i> ³ <i>do material impermeável</i>	2,69	2,67	2,65

*Azul de Metileno **e Equivalente de areia são classificados de acordo com a TC 154

Não existe nenhuma especificação LNEC que regule a utilização de agregado reciclado fino em betões ou argamassas. Pelo que estes materiais não podem ser utilizados para esta finalidade, a não ser que se comprove um bom desempenho.

Pode referir-se que:

Todos os agregados finos – cumprem o limite de estabilidade volumétrica, % WS 0,075 indicado na NP EN 12620+A1;

ARB – excede o teor de finos de 3% indicado na NP EN 12620+A1 e NP EN 13139, mas cumpre o limite de azul de metileno de 2 g/kg. Logo os finos não impedem a sua utilização em betões e argamassas;

ARC – excede o teor de finos de 3% indicado na NP EN 12620+A1 e NP EN 13139, para além disso também não cumpre o limite de azul de metileno de 2 g/kg, nem o limite de equivalente de areia de 50%. Logo os finos impedem a sua utilização em betões e argamassas.

3.3. Indicações para a produção de betão

Os agregados reciclados apresentam propriedades distintas dos agregados naturais, logo, a preparação de betão deve ser procedida tendo em conta essas propriedades.

Uma maior rugosidade superficial do agregado reciclado e os maiores índices de forma e achatamento do agregado cerâmico reduzem ligeiramente a trabalhabilidade do betão preparado com estes agregados. Os índices de forma e de achatamento do agregado cerâmico podem ser mitigados utilizando dimensões máximas abaixo de 12,5 mm [7].

A absorção de água tem que ser compensada para alcançar a trabalhabilidade pretendida. Utilizar agregado seco, adicionando água à amassadura, faz aumentar a razão água cimento efetiva (A/C_{ef}) na fase inicial e leva a uma redução rápida da trabalhabilidade à medida que o agregado absorve a água. Pré-saturar o agregado a 100% reduz a resistência à compressão do betão. Aconselha-se recorrer a pré-saturação de cerca 80% da capacidade de absorção total dos agregados, antes de adicionar o cimento. Isto pode ser realizado como esquematizado na Figura 1.

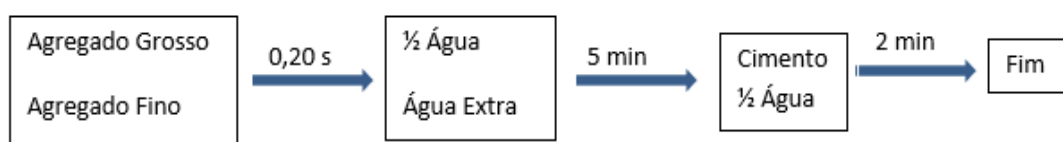


Figura 1. Etapas da amassadura faseada

A água extra corresponde a 80% da capacidade de absorção total do agregado. O tempo de 5 minutos é o tempo necessário para que o agregado atinja o referido grau de pré-saturação. Este tempo foi determinado em laboratório onde foram testados os agregados (finos e grossos) indicados nas Tabelas 1 e 2 [7]. Este processo não é o ideal para betões de agregado natural. No caso de serem realizadas misturas de agregados naturais com agregados reciclados, aconselha-se, adicionar os agregados naturais secos em conjunto com o cimento na amassadura. Se os agregados já foram previamente misturados o tempo de pré-saturação pode ser reduzido.

Em betões de agregado reciclado o superplastificante revelou-se insuficiente para compensar completamente a água absorvida pelo agregado. Aconselha-se a utilização de superplastificantes de alto desempenho [8].

A utilização de cinzas volantes permite reduzir a água de hidratação do ligante e sela os poros do agregado reciclado [9].

A Tabela 3 apresenta as resistências à compressão obtidas no projeto de investigação, utilizando o método de amassadura acima indicado e uma A/C_{ef} de 0.6 [7]. Estes resultados podem servir de referência para o fabrico de betões com os agregados reciclados.

Tabela 3. Resistência à compressão das composições testadas no projeto

Propriedade/ Composição	AN	ARB 25%	ARB 50%	ARB 100%	ARC 100%	ARM 100%
28 dias (MPa)	39,5	39,5	39,0	37,5	28,3	29,7
91 dias (MPa)	41,5	41,2	40,2	40,5	32,7	34,3
Redução aos 28 dias (%)	0,0	0,0	1,3	5,1	28,4	24,9
Redução aos 91 dias (%)	0,0	0,8	3,2	2,4	21,3	17,3
Custo do agregado (€) por m ³ de betão	8,79	7,13	4,17	2,65	2,55	2,50

Não se recomendam A/C inferiores a 0.55 em betões de agregado reciclado [10]. Em betões de reduzida A/C as resistências são muito inferiores relativamente a betão convencional.

4. FASE DE PRESCRIÇÃO DO BETÃO COM AGREGADOS RECICLADOS

O betão de agregado reciclado apresenta propriedades diferentes do betão de agregado natural da mesma classe de resistência à compressão. O projetista deve ter em conta estas propriedades. A Tabela 4 apresenta as propriedades dos betões ensaiados [7] e os parâmetros retirados de outros trabalhos de investigação.

O projetista deve ter em consideração que a relação entre a resistência à compressão e as outras propriedades difere do indicado no Eurocódigo 2 [11] para betões convencionais. O módulo de elasticidade do betão de agregado reciclado pode ser 50% inferior relativamente ao do betão convencional [12]. Consequentemente o coeficiente de Poisson é mais elevado nestes betões [12]. Isto pode levar a deformações elásticas maiores e à necessidade de armar uma maior extensão dos elementos estruturais. Para além disso o betão de agregado reciclado apresenta maiores retrações [7, 14] e fluências [13], pois estas propriedades são relacionadas com o módulo de elasticidade. Desta forma, às maiores deformações elásticas ainda se adicionam maiores deformações permanentes e a longo prazo. Estas propriedades podem reduzir o efeito de pré-esforço em estruturas de betão pré-esforçado.

Tabela 4. Propriedades de betões de agregado reciclado

Propriedade/ Composição	NA	ARB 25%	ARB 50%	ARB 100%	ARC 100%	ARM 100%
Absorção de água (%)	15,6	17,0	18,9	21,1	22,8	22,5
Mg/m^3 seca	2,23	2,18	2,12	2,04	1,97	1,93
Mg/m^3 saturada	2,39	2,35	2,31	2,25	2,20	2,15
Retração (%) ¹	-0,067	-0,069	-0,070	-0,078	-0,093	-0,090
Retração (%>NA)	ref	2,5	4,5	16,4	38,7	33,5
Resistência à tração ²			$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{(2/3)}$ [11]			
Módulo de elasticidade ³ [13]	$k_{cc} = 11000$		$k_{cc} \approx 9000$			$k_{cc} \approx 6800$
Coefficiente de Poisson ⁴	ref		$>0,02-0,03$ [12]			
Fluência ⁵ [13]	ref	>	>>	>>>		>>>>
Fissuração plástica ⁶	ref			\leq		
Exsudação ⁷	ref			\leq		

(1) Os provetes de ensaio de retração foram pequenos para $D=31,5$, por isso optou-se por peneirar o betão fresco através do peneiro 12,2 mm. Este processo reduziu a percentagem de agregado grosso na composição. Assim a retração é maior que a retração real, pelo que se aconselha utilizar "Retração (%>NA)"

(2) Não foi previsto no projeto o ensaio da resistência à tração. De acordo com a bibliografia [13] esta propriedade é semelhante a do betão normal.

(3) $E = k_{cc} \sqrt[3]{f_{ck}}$ não foi previsto no projeto medir o módulo de elasticidade. A fórmula foi deduzida através de betões com agregados semelhantes aos estudados no presente projeto.

(4 e 5) De acordo com a bibliografia a fluência e o coeficiente de Poisson apresentam a tendência indicada.

(6) Realizou-se um estudo de fissuração plástica utilizando o método de amassadura faseada acima indicado. Verificou-se que o betão de agregado reciclado tem uma fissuração plástica ligeiramente inferior a do betão de agregado natural.

(7) Realizou-se um estudo de exsudação utilizando o método de amassadura faseada acima indicado. Verificou-se que o betão de agregado reciclado tem uma exsudação ligeiramente inferior a do betão de agregado natural.

A densidade do betão de agregado reciclado é mais baixa do que a densidade do betão convencional [7] o que reduz o peso próprio dos elementos estruturais de betão armado. A maioria dos autores reportam que a resistência à tração do betão de agregado reciclado é semelhante à do betão convencional [15, 16]. O betão de agregado reciclado apresenta uma resistência à segregação ligeiramente superior à do betão convencional [17].

A absorção de água [7], profundidade de penetração [18], profundidade de carbonatação [14] e outros parâmetros indicadores da durabilidade do betão [9], são mais prejudiciais em betão de agregado reciclado. O reduzido desempenho das referidas propriedades deve-se à maior porosidade dos agregados reciclados. Desta forma é aconselhável não aplicar betões de agregado reciclado em ambientes agressivos e aumentar a espessura de recobrimento. A E 471 limita a utilização de betões de agregados reciclados aos ambientes X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XS1 de acordo com a NP EN 206-

1. Ainda é permitida a aplicação de betões de agregado reciclado, em fundações, na classe de exposição ambiental XA1. Em ambientes que o justificam, pode recorrer-se a medidas de proteção contra a penetração de humidade e de outros fluidos. A fissuração plástica é ligeiramente inferior em betões de agregado reciclado [17], utilizando o método de amassadura acima indicado, o que é um fator favorável à durabilidade.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo demonstra-se que é possível produzir AR comercializáveis que podem ser utilizados em vários tipos e classes de betão, sendo elencados vários aspetos que podem contribuir para melhorar a sua produção e utilização.

A utilização de betões com agregados reciclados ainda é incipiente e torna-se difícil devido às lacunas na regulamentação vigente. Recomenda-se que numa futura revisão, a especificação LNEC E 471 passe a apresentar maiores condições de incorporação de agregado reciclado em betões com classes de resistência mais baixas, as quais apresentam um maior potencial de utilização de agregados reciclados e são as mais utilizadas em Portugal. Também é desejável que o Eurocódigo 2 – “Projeto de estruturas de betão” passe a apresentar uma secção destinada ao dimensionamento de estruturas de betão com agregado reciclado.

AGRADECIMENTOS

Financiamento da European Regional Development Fund, via PO Algarve, concedido ao projeto QREN 30307 Multivalor.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Margarido, 2012. “Ciência e engenharia de materiais de construção”, M. Clara Gonçalves, Fernanda Margarido, IST Press, Lisboa, 933-978.
- [2] M. Botelho, 2010. “Resíduos de Construção e Demolição”, Verlag Dashoefer, Portugal.
- [3] E 471-2009, 2009. “Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligante hidráulicos”, LNEC, Lisboa, Portugal.
- [4] NP EN 933-11, 2011. “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos reciclados”, IPQ, Caparica, Portugal.
- [5] NP EN 12620:2002+A1, 2010. “Agregados para betão,” IPQ, Caparica, Portugal.
- [6] NP EN 13139, 2015 “Agregados para argamassas IPQ, Caparica, Portugal.
- [7] M. Eckert; M. Oliveira, 2015. “Mitigation of the negative effects of recycled aggregate water absorption in concrete technology” Proceedings of XVII ERMCO 2015, 4 e 5 de junho, Istanbul, Turquia.
- [8] D. Matias; J. de Brito; A. Rosa; D. Pedro, 2013. “Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers”, Construction and Building Materials 44 , 101–109.
- [9] T.-Y. Tu; Y.-Y. Chen; C.-L. Hwang, 2006. “Properties of HPC with recycled aggregates”, Cement and Concrete Research 36, 943 – 950.
- [10] A. Rao, 2005. “Experimental Investigation on Use of Recycled Aggregates in Mortar and Concrete, Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur, India. .
- [11] NP EN 1992-1-1, 2010. “Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão. Parte 1-1 Regras gerais e regras para edifícios”, IPQ, Caparica, Portugal.
- [12] A. Ajdukiewicz; A. Kliszczewicz, 2002. “Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC”, Cement & Concrete Composites 24, 269 – 279.

- [13] C. Hoffmann; S. Schubert; A. Leemann; M. Motavalli, 2012. "Recycled concrete and mixed rubble as aggregates: Influence of variations in composition on the concrete properties and their use as structural material", *Construction and Building Materials* 35, 701 – 709.
- [14] A. Katz, 2003. "Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete", *Cement and Concrete Research* 33, 703 – 711.
- [15] K. McNeil; T. H.-K. Kang, 2013. "Recycled Concrete Aggregates: A Review", *International Journal of Concrete Structures and Materials* 7(11), 61 – 69.
- [16] T. H.-K. Kang; W. Kim; Y.-K. Kwak; S.-G. Hong, 2012. "The choice of recycled concrete aggregates for flexural members", *Proceedings of 18th international association for bridge and structural engineering congress on innovative infrastructures*, September 19-21, Seoul, Korea.
- [17] M. Eckert; M. Oliveira, 2015. "Risk of Plastic Shrinkage cracking in Recycled Aggregate Concrete". *Proceedings of ICBSE 2015: International Conference on Building Science and Engineering*, 4 a 5 de junho, New York, USA.
- [18] F. Debieb; S. Kenai, 2008. "The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete", *Construction and Building Materials* 22, 886 – 893.