

# Comportamento de betões com agregados finos reciclados

L. Evangelista <sup>1</sup>, J. de Brito <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro, 1, 1959-001 Lisboa, evangelista@dec.isel.ipl.pt

<sup>2</sup> Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Construção, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal, jb@civil.ist.utl.pt

## RESUMO

A presente comunicação tem como objectivo apresentar o trabalho experimental a desenvolver acerca do desempenho de betões com agregados finos provenientes da reciclagem de betão. Presentemente, os documentos normativos relativos à utilização de agregados reciclados em betões prevê a utilização da sua fracção grossa, com diferentes taxas de incorporação, dependendo do fim a que o betão final se destina, mas apontam para a não inclusão da fracção fina dos mesmos. Genericamente, apontam-se como principais problemas para a inclusão destes materiais a sua elevada porosidade, que conduz a uma estrutura do betão menos compacta, com conseqüentes reduções de desempenho. No entanto, alguns trabalhos anteriormente desenvolvidos apontam para que a inclusão da fracção fina dos agregados reciclados possa não ser tão prejudicial como se julga, podendo ser um substituto eficaz dos agregados naturais, em especial se se tiver em atenção as condicionantes ambientais inerentes ao processo extractivo.

O trabalho pretende obter mais informação sobre o desempenho de betões com agregados finos reciclados de betão, comparando-os com betões convencionais, executados exclusivamente com agregados naturais pétreos.

**Palavras-chave:** *agregados finos reciclados, betão, desempenho*

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar de não existirem valores oficiais, estima-se que em Portugal se produzam anualmente entre 3 e 6 milhões de toneladas de resíduos da construção e demolição (RCD). Não obstante este valor ser baixo, quando reduzido a quantidades *per capita*, comparativamente a alguns estados-membros da União Europeia, a sua tendência é para que aumente, numa altura em que a tradição nacional de promoção de construção nova está a enfraquecer, em detrimento da reconstrução e reabilitação do parque habitacional existente.

De entre as diversas medidas disponíveis para gestão dos RCD, a sua reciclagem mostra-se como uma das mais interessantes do ponto de vista ambiental, uma vez que, por um lado, reduz a quantidade de resíduos depositados em vazadouro e, por outro, diminui a quantidade de matérias-primas extraídas, reduzindo todos os impactes ambientais associados à actividade (emissões devidas à extracção e transporte, poluição aquática e atmosférica, ruído, alteração da topografia, etc.).

Sendo verdade que as políticas europeias de preservação ambiental têm estabelecido critérios cada vez mais eficazes de controlo e processamento dos RCD, é também verdade que em Portugal essas mesmas políticas se encontram ainda em fase muito embrionária, ficando muito aquém das metas comunitárias estabelecidas. Num documento de trabalho de 2000 [1], a Direcção Geral do Ambiente da Comissão Europeia propunha que, no ano de 2005, entre 50 a 75% dos RCD fossem reciclados e que esse valor fosse superior a 75%, a partir do ano 2010. Actualmente em Portugal, a reciclagem dos RCD resume-se praticamente aos materiais com grande valor económico e que, portanto, se potenciam a si próprios como reutilizáveis (aços, cantarias, algumas madeiras, etc.). Tudo o resto é tratado por igual e depositado em vazadouro. A título comparativo, em países como a Holanda ou Alemanha está totalmente proibido o depósito a vazadouro de qualquer RCD que seja reaproveitável.

A reciclagem dos RCD passa em grande parte pela sua utilização como materiais inertes, em substituição de rochas ou areias. Assim sendo, é natural pensar também nos RCD como substitutos dos agregados naturais na produção de betões e argamassas. No caso da

utilização de agregados reciclados em betão, a experiência acumulada em mais de 2 décadas pelos países do Norte da Europa, onde várias construções possuem estruturas com betões que incorporam, em certos casos, mais de 50% de agregados grossos reciclados, permite aferir que este material é viável. Sendo evidente que surgem algumas alterações nas propriedades dos betões com agregados reciclados (reológicas, mecânicas, de durabilidade), os resultados até agora obtidos mostram que estes betões são suficientemente “bons” para ser utilizados em estruturas correntes.

Em Portugal, apenas recentemente se estabeleceram critérios técnicos para a incorporação de agregados reciclados na produção de betão, com o lançamento de uma especificação LNEC [2], não se conhecendo, até à data, casos reais de utilização deste material, que não correspondam a experiências piloto inseridas em investigações científicas. No entanto, está-se a desperdiçar um recurso que, se fosse devidamente aproveitado, reduziria substancialmente a extracção de areias e rochas. As estatísticas mais recentes [3] indicam que, em 2006, foram extraídas cerca de 97,5 milhões de toneladas de agregados (finos e grossos), tendo grande parte destes sido utilizada para a produção dos 11 milhões de m<sup>3</sup> de betão pronto executado nesse mesmo ano [4].

Não obstante a utilização de agregados grossos reciclados, como substitutos dos agregados naturais, seja perfeitamente aceite nos países com maiores preocupações ambientais, a utilização dos agregados finos reciclados para o mesmo fim tem muito maior resistência por parte da comunidade científica. As razões levantadas para essa resistência passam principalmente pelo facto de os agregados finos reciclados possuírem maior taxa de impurezas e por estes apresentarem muito maior absorção de água, que, por sua vez, conduz a um pior desempenho dos betões com estes materiais. Sendo estas preocupações legítimas, não é necessariamente verdade que a utilização de agregados finos reciclados (especialmente se estes forem de boa qualidade) conduza a uma diminuição das propriedades dos betões com eles produzidos tão elevada, que os torne inviáveis: algumas investigações já feitas mostram exactamente o contrário [5 e 6].

## 2 OBJECTIVOS

Os principais objectivos da investigação aqui apresentada passam por avaliar exaustivamente as propriedades mecânicas, reológicas e de durabilidade de BAFR, estudando-os com diferentes taxas de incorporação. A avaliação das propriedades será feita tanto para o estado fresco, como para o estado endurecido, sendo comparadas com as obtidas para um BR, exclusivamente executado com agregados naturais. Para o efeito, serão produzidas diversas composições com taxas de incorporação de agregados reciclados de 10, 25, 50 e 100%. De modo a poder estabelecer comparações entre os diferentes BAFR e o BR, será necessário fixar parâmetros comuns a todas as composições. Numa primeira análise, pensa-se que o melhor parâmetro a fixar, que também corresponde a uma classificação essencial dos betões, seja a trabalhabilidade dos mesmos. Possivelmente, poder-se-á realizar análises suplementares, fixando outros parâmetros essenciais, como por exemplo a resistência à compressão.

Inicialmente, proceder-se-á à caracterização dos agregados reciclados que serão usados, com determinação das suas densidades, capacidade de absorção de água, para a qual será necessário conceber um dispositivo adequado de ensaio (uma vez que os correntes se mostram ineficazes), resistência ao desgaste por ensaio de *Los Angeles* e caracterização mineralógica, por espectrometria por difracção de raios X.

As características a avaliar, em termos de comportamento mecânico do betão, serão a resistência à compressão e respectivo diagrama  $\sigma$ - $\epsilon$ , a resistência à tracção (por compressão diametral e por flexão), o módulo de elasticidade e a resistência ao desgaste. Após a interpretação dos resultados e análise comparativa dos mesmos com os obtidos para o betão de referência, pretende-se estabelecer leis de variação das propriedades analisadas com a taxa de incorporação de agregados finos reciclados, de modo a criar regras práticas de dimensionamento dos BAFR. De modo a poder aferir as ligações desenvolvidas entre os AFR e a argamassa, proceder-se-á à caracterização da microestrutura dos BAFR com recurso a fotografias obtidas por microscopia electrónica de varrimento.

Os BAFR serão também analisados em termos do seu comportamento reológico, nomeadamente caracterizando a retracção e fluência dos mesmos que, no segundo caso, corresponderá também a investigação totalmente inovadora sobre estes materiais.

Para finalizar a análise dos BAFR, pretende-se avaliar a resposta dos mesmos no que concerne às suas propriedades relacionadas com a sua durabilidade, nomeadamente a sua resistência à penetração de fluidos, a resistência à penetração de iões cloreto, a resistência à carbonatação, estabelecendo, uma vez mais, relações comparativas com os betões de referência.

Julga-se também interessante proceder a execução de lotes de vigas de em betão armado usando os BAFR atrás descritos, para depois proceder ao ensaio das mesmas em flexão até à ruptura, criando diagramas carga – deslocamento e medindo a evolução da fendilhação, extensões e respectivas tensões de cada um dos materiais. Com estes resultados, poder-se-á validar algumas das leis desenvolvidas para caracterização dos BAFR.

### **3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

A pesquisa bibliográfica será feita com base na literatura existente sobre o tema, tendo como base inicial, o trabalho já realizado durante a dissertação de Mestrado. Nessa pesquisa, serão registados os resultados obtidos pelas diferentes investigações, as conclusões a que chegaram, bem como as metodologias de trabalho usadas, de modo a verificar a sua aplicabilidade em análises comparativas com os resultados da investigação que se propõe.

Numa primeira fase do trabalho laboratorial, já realizada, produziu-se um betão primário corrente, executado com agregados naturais. Este foi executado e fornecido por uma empresa de betão pronto, tendo sido moldado em prismas paralelepípedicos de aproximadamente 0,20x0,20x0,40 (Figura 1), para facilitar o transporte manual para a britadeira. O betão foi ensaiado mecanicamente aos 28 dias, tendo apresentado uma resistência média à compressão de 32 MPa e uma resistência média à tracção de 1,4 MPa. Este será posteriormente demolido, para produção dos agregados finos reciclados necessários à campanha experimental seguinte.

A britadeira a utilizar é uma pequena britadeira de maxilas de abertura variável existente no laboratório de construção do IST, anteriormente usada numa pedreira comercial (Figuras 3 e 4). A abertura das maxilas a usar será tal que se tenha um aproveitamento de cerca de 65% dos RCD gerados para finos. Serão também analisados betões produzidos a partir de agregados finos reciclados com diferentes aberturas das maxilas, de modo a avaliar o impacto que esta escolha tem sobre o desempenho final. Os agregados reciclados serão analisados, quanto às suas características, e comparados com os seus congéneres naturais empregues no decorrer da investigação.



Figura 1 - Pormenor da betonagem dos prismas a triturar

A opção tomada de usar agregados finos reciclados produzidos em laboratório, em detrimento de agregados recolhidos directamente dos RCD, prendeu-se com 2 principais factores: em primeiro lugar, será possível criar uma quantidade de agregados finos reciclados virtualmente ilimitada, cujas características são uniformes e constantes, o que permitirá análises mais fidedignas dos resultados obtidos; em segundo, permite aferir melhor os resultados obtidos em função do tipo de agregados usados, uma vez que se conhecerá na totalidade os materiais que foram utilizados para a produção do betão primário, eliminando incógnitas provenientes da heterogeneidade intrínseca aos RCD.



Figura 2 - Perspectiva da britadeira de maxilas usada



Figura 3 - Alçado da britadeira de maxilas usada