

Reaproveitamento de Inertes para o Fabrico de um Novo Betão - Uma Abordagem

RESUMO A reciclagem de inertes para o fabrico de novos betões é um processo de reaproveitamento que vem sendo utilizado em vários pontos do mundo. Em Portugal, tem-se procurado pesquisar no sentido de saber qual a viabilidade destes betões. Este artigo pretende descrever, de forma simples, um estudo feito em laboratório com inertes reciclados e fazer uma breve análise acerca da situação em outros países e em Portugal.

Miguel Oliveira
Área Dep. Eng. Civil
EST/UAlg

Manuela Duarte
Aluna Finalista do Curso de Licenciatura bi-etápica
de Eng. Civil EST/UAlg

1 - Introdução

1.1 - Justificação e importância deste estudo

Admitindo-se que a maioria das "nossas" obras são construídas com o máximo rigor e com os cuidados fundamentais para que a sua vida útil seja elevada e sem grandes patologias indesejáveis, prevê-se geralmente, em média, uma vida útil de cinquenta anos para as construções. Logo, no início deste 3º milénio haverá um enorme número de obras que completam a sua vida útil e conseqüentemente estamos diante do seguinte dilema: ou se investe de modo a prevenir ou a restaurar o envelhecimento natural das estruturas, a fim de evitar a sua total degradação, e assim tentar prolongar a sua vida útil por mais algumas décadas, ou se fazem demolições das estruturas para se construírem novas. Devemos então reflectir: «E se a demolição for a solução mais adequada? O que fazer ao entulho proveniente destas demolições?»

1.2 - Objectivos do estudo

O objectivo geral deste estudo é analisar aspectos preliminares que possam contribuir para a possibilidade da utilização de betão composto por inertes reciclados. Foi realizado um trabalho de laboratório no sentido de comparar vários betões feitos com inertes reciclados, no que diz respeito à resistência à compressão, à resistência à flexão e à absorção de água por imersão. No âmbito deste trabalho foi elaborada uma pesquisa acerca da situação actual no Algarve em relação à recolha e tratamento de entulhos provenientes das construções e demolições (C&D).

1.3 – Breve revisão histórica

Em países como os E.U.A., Holanda, Japão, Reino Unido, Dinamarca, Brasil, ex- URSS já existem normas que regulam a utilização de inertes reciclados para o fabrico de um betão novo. A maior parte destes países já possuem centrais de reciclagem para esse fim. Na ex-URSS não se recomenda a reciclagem do inerte fino para fabrico de novos betões. Na ex- República Federal Alemã existe regulamentação sobre a utilização de agregados reciclados por britagem de alvenaria. Nestes países o betão feito com inertes reciclados é essencialmente utilizado para sub-bases de pavimentos rodoviários. Em Portugal existiram algumas intervenções pontuais de reaproveitamento de betão, como é o caso da EXPO 98. Todavia, as obras e o sistema português ainda não parecem estar preparados para uma planificação de obra que é necessária nestes casos, principalmente na fase da demolição. Desde 1999, que o tema da reciclagem já vem sendo abordado em Workshops e Congressos, e apresentados alguns estudos. [6][8][9][12][14][15]

2- Metodologia Adoptada na Realização do Trabalho

Estudaram-se dois betões constituídos por material reciclado proveniente de betões com diferentes capacidades de resistência à compressão. Existia no laboratório da EST material pronto para reciclar com resistência à compressão superior a 35 MPa e com resistência compreendida entre 25 e 35 MPa. Por outro lado, foi feito um betão convencional que

serviu como ponto de referência para o estudo. Este betão de referência, designado por BET_REF foi ensaiado, aos 28 dias, à compressão, à flexão e à absorção de água por imersão. Posteriormente, compararam-se os outros betões feitos com material reciclado, com dosagem de cimento igual à do BET_REF. Para execução deste trabalho realizaram-se diversas tarefas e ensaios de laboratório que seguiram a sequência que se indica.

2.1 - Recolha de Material

Foi recolhido betão com diferentes resistências à compressão para mais tarde reciclar. Não se conheciam mais características deste material, apenas a resistência à compressão. Os tipos de betão recolhidos foram:

- Provetes de betão 0,15 x 0,15 x 0,15m com resistência superior a 35 MPa,
- Provetes de betão 0,15 x 0,15 x 0,15m com resistência compreendida entre 25 e 35 MPa;

Prepararam-se também as quantidades necessárias de inerte e cimento para execução do betão de referência.

2.2 - Execução do betão de referência (BET_REF)

Para execução deste betão utilizou-se o material disponível em laboratório: Brita 2 (D = 19,1 mm e d = 9,52 mm); Brita 1 (D = 12,7 mm e d = 4,76 mm) e Areia (D = 1,19 mm e d = 0,149 mm).

Foram determinadas as massas volúmicas para caracterizar os materiais e foram estimadas as quantidades necessárias para depois serem realizados os ensaios de resistência à compressão, à flexão e à absorção de água por imersão. Para calcular as quantidades de inerte recorreu-se ao programa de cálculo Becomp [11]:

Material Necessário	Provetes
Ensaio	
Resistência à compressão	3 cubos de 0,15 x 0,15 x 0,15 m
Resistência à flexão	1 prisma de 0,55 x 0,15 x 0,15 m
Absorção de água	3 cubos de 0,15 x 0,15 x 0,15 m
TOTAL	0.0326 m ³ ⇒ 33 litros ≅ 40 litros

Tendo em atenção os resultados do programa Becomp, as quantidades necessárias para a amassadura do BET_REF foram as seguintes: Brita 2 - 25,2 kg; Brita 1 - 24,4 kg; Areia - 24,4 kg; Cimento - 12 Kg; Água - 6 l (trabalhabilidade plástica; abaixamento do Cone de Abrams de 4 cm). Depois da amassadura deste material, os provetes foram preparados segundo a norma NP-1383 e a trabalhabilidade controlada pela norma NP-87 [13]. Os provetes foram mantidos em câmara húmida durante 28 dias.

Durante a amassadura a relação água/abaixamento do Cone de Abrams foi a seguinte:

Quantidade de Água (l)	Abaixamento do Cone de Abrams (cm)
6	0
6,3	0
6,5	0
6,75	2
6,95	4

2.3 - Trituração de material para reciclar

O processo de preparação dos dois tipos de betão é similar.

Os betões reciclados foram denominados com as seguintes siglas:

Sigla	Tipo de Betão
BR1	Betão com inertes reciclados provenientes de provetes com resistência superior a 35 MPa
BR2	Betão com inertes reciclados provenientes de provetes com resistência compreendida entre 25 e 35 MPa

Por ausência de qualquer processo mecânico que permitisse fazer a trituração do material e garantir as granulometrias desejadas, este processo foi realizado manualmente. Obtido o material triturado realizou-se uma separação por fracções granulométricas de modo a obter-se a granulometria correspondente à Brita 1, Brita 2 e Areia (inertes naturais). Por dificuldade em se obter areia fina optou-se por separar só a areia grossa e ignorar os finos. Esta opção deveu-se também ao facto de se prever que, com a colocação de finos numa nova amassadura, o betão fosse absorver demasiada água. A areia para colocar nas amassaduras de betão com inertes reciclados foi então obtida através de uma mistura de areia grossa, proveniente da trituração, e areia convencional de que se dispunha em laboratório. A mistura foi de 33% de areia grossa reciclada e 67% de areia natural. Estas percentagens foram assim escolhidas devido à dificuldade em triturar os cubos de betão até se obter a areia grossa. De modo a obter os inertes reciclados correspondentes ao betão de referência foi então feita a seguinte separação:

Material retido no peneiro de 12,7 mm.....	brita 2
Material retido no peneiro de 4,76 mm.....	brita 1
Material retido no peneiro de 0,59 mm.....	areia grossa
Material passado no peneiro de 0,59 mm.....	finos (material não aproveitado)

2.4 - Ensaio realizados aos agregados

Os ensaios realizados para caracterização dos inertes foram: a análise granulométrica, a determinação massa volúmica e a absorção de água. Depois de obtidos estes resultados foi possível utilizar o programa Becomp para conhecer a composição do novo betão. [10][11][13]

2.5 - Execução do Betão Reciclado - (BR)

Dispondo da caracterização dos inertes reciclados, obtiveram-se as quantidades de cada inerte necessárias para fabrico do respectivo BR, através do programa de calculo automático Becomp. É importante referir que os inertes reciclados estavam secos.

2.5.1. Execução do BR1

Para o BR1 as quantidades calculadas através do programa Becomp foram:

<i>Inertes Reciclados (IR)</i>	<i>Quantidades</i>
Brita 1	21,60 kg
Brita 2	18,80 kg
Areia Grossa	8,16 kg
Areia Natural	19,04 kg
Cimento	12,00 kg
Água	6,41

A relação água/abaixamento do Cone de Abrams, durante a amassadura, foi a seguinte:

<i>Quantidade de Água (l)</i>	<i>Abaixamento do Cone de Abrams (cm)</i>
6,8	0
7,0	0
7,5	0
7,8	2
8,1	4

2.5.2. Execução do BR2

Para o BR2 as quantidades estimadas foram:

<i>Inertes Reciclados (IR)</i>	<i>Quantidades</i>
Brita 1	20,40 kg
Brita 2	20,40 kg
Areia Grossa	8,58 kg
Areia Natural	17,42 kg
Cimento	12,00 kg
Água	6,41

A relação água/abaixamento do Cone de Abrams, durante a amassadura, foi a seguinte:

<i>Quantidade de Água (l)</i>	<i>Abaixamento do Cone de Abrams (cm)</i>
7,5	0
8,0	1
8,2	1,2
8,5	4

A rápida e excessiva absorção de água destes inertes reciclados foi visível.

2.6 - Ensaios realizados aos 28 dias

Realizaram-se os seguintes ensaios: Ensaio de Compressão, Ensaio de Flexão e Determinação da Absorção de Água por Imersão.

2.6.1 - Resultados do BET REF

<i>Ensaio de Compressão - E226-1966</i>		
Provetes	Carga de Rotura (KN)	Tensão de Rotura (MPa)
Cubo 1	580	25,8
Cubo 2	590	26,2
Cubo 3	580	25,8

<i>Ensaio de Flexão - E227-1968</i>		
Provetes	Carga de Rotura (tonf)	Tensão de Rotura (MPa)
Prisma	3,45	4,6

<i>Determinação da Absorção de Água por Imersão -E394-1993</i>	
Provetes	Absorção de Água (%)
Cubo 1	4,9
Cubo 2	4,9
Cubo 3	4,9

2.6.2 - Resultados do BR1

<i>Ensaio de Compressão - E226-1996</i>		
Provetes	Carga de Rotura (KN)	Tensão Rotura (MPa)
Cubo 1	610	27,1
Cubo 2	580	25,8
Cubo 3	580	25,8

<i>Ensaio de Flexão - E227-1968</i>		
Provetes	Carga de Rotura (tonf)	Tensão de Rotura (MPa)
Prisma	3,35	4,5

<i>Determinação da Absorção de Água por Imersão -E394-1993</i>	
Provetes	Absorção de Água (%)
Cubo 1	7,8
Cubo 2	7,6
Cubo 3	6,9

2.6.3 - Resultados do BR2

<i>Ensaio de Compressão - E226-1966</i>		
Provetes	Carga de Rotura (KN)	Tensão de Rotura (MPa)
Cubo 1	580	25,8
Cubo 2	600	26,7
Cubo 3	590	26,2

<i>Ensaio de Flexão - E227-1968</i>		
Provetes	Carga de Rotura (ton.f)	Tensão Rotura (MPa)
Prisma	3,15	4,2

<i>Determinação da Absorção de Água por Imersão- E39 - 1993</i>	
Provetes	Absorção de Água (%)
Cubo 1	9,6
Cubo 2	9,4
Cubo 3	10,2

3 - Avaliação dos Resultados Obtidos

Dos resultados obtidos podemos retirar algumas considerações/comentários e conclusões, que a seguir irão ser referidas, tendo em conta os condicionalismos postos pela exiguidade de inertes disponíveis e pelo baixo número de ensaios que não permitem um estudo estatístico. Devemos salientar que todos os betões produzidos tinham a mesma dosagem de cimento (300Kg/m³), o mesmo abaixamento pelo Cone de Abrams, o mesmo módulo de finura e os inertes foram secos ao ar.

Relativamente à resistência à compressão:

O betão que deu origem ao BR1 era um betão com a resistência, unitária, à compressão, superior a 35 MPa, depois de reciclado a resistência média dos três provetes cúbicos desceu para 26,2 MPa, aos 28 dias. O betão que deu origem ao BR2, que antes de ser reaproveitado era um betão com a resistência, unitária, à compressão entre 25 e 35 MPa, acusou uma resistência média de 26,2 MPa, aos 28 dias. Daqui podemos concluir que não se verificou qualquer influência na resistência relativamente à origem dos inertes reciclados, pois sendo oriundos de provetes de betões de resistência à compressão de 25 a 35 MPa ou maiores que 35 MPa, os resultados das tensões à compressão do BR1 e do BR2 foram semelhantes. Comparando com os valores do BET_REF, podemos dizer que a resistência à compressão alcança valores semelhantes.

Tudo indica que a dosagem e classe do cimento (classe 32.5) utilizado nos betões estudados não permitiu avaliar a influência dos inertes associados às classes de resistência dos betões de onde são oriundos. Pensamos que se fosse utilizado um cimentos com melhor qualidade a resistência à compressão dos betões reciclados iria ser diferente.

Relativamente à resistência à flexão:

Comparando os valores obtidos nos dois betões reciclados com o betão de referência podemos concluir que a tensão de resistência à flexão mantém-se praticamente igual.

Relativamente à absorção de água por imersão:

O aumento da absorção de água foi notório logo no início da amassadura e durante a mesma, tanto no BR1 como no BR2. A absorção de água no BR1 ficou, em média, pelos 7,5 %, tendo uma diferença para o BET_REF de 2,5 %. A absorção de água no BR2 ficou, em média, pelos 9,7 %, tendo uma diferença para o BET_REF de 4,8 %. Daqui podemos concluir que quanto menos resistente for o betão que deu origem aos inertes reciclados, maior absorção de água vai ter ao ser reciclado. Uma possibilidade a colocar é o uso de adjuvantes plastificantes para diminuir a razão A/C e portanto compensar a absorção de água excessiva dos inertes. A elevada absorção de água destes betões reciclados poderá condicionar muito a sua utilização se nos prendermos com os aspectos relacionados com a sua durabilidade.

4 - Actual situação no Algarve

Actualmente no Algarve, no que diz respeito a estudos ou projectos que levem a uma eventual reciclagem de inertes para reaproveitamento do betão, não é muito melhor do que no resto do país. No Algarve, que se tenha conhecimento, ainda não foram desenvolvidos esforços significativos no sentido de contribuir para melhoria da actual situação nacional. Do que se conhece no dia a dia, as demolições executadas nas obras do Algarve são feitas na maior parte das vezes sem qualquer tipo de selecção de materiais. O que se passa no Algarve, e praticamente em todo o país, é a total ausência do conhecimento da caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos que se produzem e a sua deposição no destino final, o que contribui significativamente para a degradação do ambiente e para a desvalorização da paisagem. No Algarve, que se tenha conhecimento, só existe uma empresa a fazer recolha e tratamento de entulho em aterro próprio - a ALGAR - com sede em Faro e aterro em Silves.

A Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território do Algarve (D.R.A.O.T.) está neste momento a elaborar um trabalho de levantamento dos locais onde existe um abandono de resíduos de C&D, sejam estes legais ou não. Este projecto intitula-se «*Modelo de Construção dos Resíduos de Demolição e Construção*». Para se conseguir este levantamento que se mencionou foi pedida a colaboração das Câmaras Municipais para estas fazerem o apontamento nos seus municípios dos locais com depósitos de resíduos de C&D, caracterizá-los e verificar a sua volumetria. Nesse trabalho está ainda inserido o levantamento de pedreiras abandonadas, que possam vir a ser utilizadas para depósito destes resíduos.

5 - Considerações Finais

Neste trabalho procurou-se contribuir para o conhecimento da reciclagem de inertes para o fabrico de betões. É conveniente referir que ensaios relativos à durabilidade, módulo de elasticidade, fluência e outros, não foram objectivo deste estudo. Permanece ainda muito trabalho para ser explorado, nomeadamente quais as implicações em elementos de betão armado, no que respeita a espessuras mínimas, recobrimentos mínimos e processos de cura. Considera-se viável o uso de betão fabricado a partir de inertes reciclados, principalmente para elementos não estruturais, o que pode ser um "bom começo". É necessário tomar medidas políticas que incentivem os construtores a preservar os nossos inertes naturais. Refira-se ainda que é um tema que levanta dificuldades políticas, económicas e até sociais e que se devem elaborar mais estudos para que se possa conhecer a sua viabilidade para o introduzir no mercado.

6 - Bibliografia

- [1] ARTE & CONSTRUÇÃO (Novembro de 2001), artigo "Betões e Argamassas com incorporação de resíduos", Lisboa.
- [2] CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA (26 de Abril de 1999); Directiva 1999/31/CE.
- [3] COUTINHO, A.S. (1989), Fabrico e Propriedades do Betão, L.N.E.C., Lisboa.
- [4] FARINHA, J. S. & REIS, A.C. (2000) Tabelas Técnicas, Edições Técnicas.E.T.L., L.^{da}, Lisboa.
- [5] FREIRE, L. & BRITO, J. (2001) Custos e Benefícios da Demolição Selectiva. Actas do Congresso Nacional de Construção, Lisboa.
- [6] GONÇALVES, A. P. & BRITO J. (2001) Viabilidade Económica da Reciclagem de Agregados de Betão Demolido para Fabrico de Novo Betão. Actas do Congresso Nacional de Construção, Lisboa.
- [7] GONÇALVES A. P., SANTOS, J. R., BRANCO, F. A. & BRITO J. (2001) Resistência à Compressão de Betões Produzidos com Agregados Grossos Reciclados de Betão. Actas do Congresso Nacional de Construção, Lisboa. (Net: www.reciclagem.pcc.usp.br).
- [8] GRUPO DE TRABALHO DE RESÍDUOS DE D&C (1998-2000) A Gestão de Resíduos de C & D em Lisboa. I.N.R./I.C.A.T./C.M.L., Lisboa.
- [9] GUEDES, J.C. (1999) Pedreira da Madalena - Uma Exploração Recuperada com Depósitos de Resíduos Inertes. Vila Nova de Gaia.
- [10] L.N.E.C. (1968), Especificação LNEC: E226 (1968), E227 (1968) e E394 (1993). L.N.E.C., Lisboa.
- [11] L.N.E.C. (1990), Cálculo Automático da Composição de Betões. Relatório 10/91 Proc. 022/13/9844. L.N.E.C., Lisboa.
- [12] LEVY, S.M. (1997) Reciclagem de Entulho de Construção Civil, para Utilização como Agregado de Argamassas e Concretos. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo Escola Politécnica, São Paulo.

[13]NORMAS PORTUGUESAS: NP 954 (1973), NP 581 (1969), NP 1379 (1976), NP 87 (1964), NP 1383 (1976). L.N.E.C., Lisboa.

[14]SILVA, J. M. & SALINAS L. (2001) A Problemática da Gestão de Resíduos da Construção em Portugal numa Perspectiva Europeia. Actas do Congresso Nacional de Construção, Lisboa.

[15]ZORDAN, S.E. (1997) A Utilização de Entulho como Agregado, na Confecção de Concreto. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.