

## **Recomendações para a utilização de agregados reciclados no fabrico de betão**



**Paulo Gonçalves<sup>1</sup>**



**Jorge de Brito<sup>2</sup>**

### **RESUMO**

A falta de especificações que assegurem a manutenção dos requisitos de segurança e utilização dos elementos construídos é uma das razões pelo qual o receio da utilização de agregados reciclados no fabrico de betão ainda subsiste, apesar das potencialidades que estes têm demonstrado em diversas campanhas experimentais efectuadas mundialmente.

Este artigo apresenta um conjunto de recomendações que pretendem, após se efectuar uma classificação dos agregados reciclados consoante a composição, estabelecer os requisitos mínimos que estes devem respeitar de modo a serem utilizados no fabrico de betão.

A grande variabilidade dos agregados reciclados implica que exista uma também grande amplitude na sua “qualidade”. Assim, para que todos os tipos de agregados reciclados possam ser utilizados no fabrico de betão, são apresentadas três variantes, entre as quais uma que não contempla a alteração do dimensionamento dos elementos estruturais, outra que preconiza a alteração do dimensionamento através de coeficientes correctivos fixos a aplicar a algumas propriedades mecânicas dos betões e uma terceira abordagem que prevê o cálculo do coeficientes correctivos, que variam conforme a percentagem e o tipo de agregados reciclados incorporados.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Agregados reciclados, betão com agregados reciclados, especificações, recomendações.

<sup>1</sup> IST, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, 1049-001 Lisboa, Portugal. pcmg\_1984@hotmail.com

<sup>2</sup> IST, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, 1049-001 Lisboa, Portugal. jb@civil.ist.utl.pt

## **1. INTRODUÇÃO**

As preocupações com o meio ambiente e com a gestão dos recursos naturais tornam os resíduos de construção de demolição materiais interessantes para utilização como agregados reciclados. Contudo, para que possam ser aplicados, é necessário que sejam seguidas directrizes de modo a que as diferenças entre os agregados naturais e reciclados sejam tidas em conta, controlando os efeitos negativos que estes últimos possam originar.

Existem algumas normas, sobretudo em países que lidam há vários anos com a problemática da escassez de recursos naturais, que especificam a forma como os agregados reciclados podem ser utilizados no fabrico de betão, nas quais se distinguem fundamentalmente duas filosofias. A primeira, e mais simplista, consiste na criação de limitações, quer da incorporação de agregados reciclados no betão como da aplicação do mesmo, sendo considerado que o betão mantém as suas propriedades [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7]. Na segunda variante, é assumido que as diferenças entre o desempenho do betão convencional e o do homólogo reciclado existem, mas são indicados, para compensar este pressuposto, coeficientes correctivos que permitem comparar betões da mesma classe de resistência, tendo como finalidade corrigir o dimensionamento de elementos estruturais em que seja usado betão com agregados reciclados [3] [4] [5] [7] [8].

Pretende-se criar um leque alargado de opções para a utilização de AR (agregados reciclados), tendo em conta a variabilidade das suas características e as consequências que estas podem provocar nas propriedades dos betões. Não se limita, desta forma, a utilização de AR a betão não estrutural, ou se veta a utilização de fracção fina. São antes orientados os vários tipos de agregados para aplicações com diferentes graus de exigência, pois só assim é possível combater os problemas ambientais que sustentam esta problemática.

São definidas, nesta proposta de recomendações, três variantes para a utilização de AR em betão. A primeira consiste na definição de uma taxa de substituição de AP (agregados naturais ou pétreos) por AR, abaixo da qual se considera que o betão fabricado mantém as suas propriedades. Na segunda variante, aceita-se a existência de diferenças entre o desempenho do BR (betão convencional ou de referência) e o do BAR (betão com agregados reciclados), mas são indicados coeficientes correctivos que permitem comparar betões da mesma classe de resistência, possibilitando uma compatibilização do dimensionamento de elementos estruturais com o betão que se pretende utilizar. A última baseia-se na metodologia desenvolvida por Brito (patente n.º PT103756 - “Metodologia de estimativa de betões com agregados reciclados”) e testada por Robles [9] e Alves [10], que consiste na medição da massa volúmica e absorção de água dos AR e da resistência aos 7 dias do BAR, e antecipar as propriedades dos BAR, para uma dada taxa de substituição de AR por AP. Robles [9] baseou-se nas campanhas experimentais de vários investigadores internacionais para estabelecer relações entre a variação das propriedades do betão no seu estado endurecido e as várias relações de massas volúmicas e de absorções de água ponderadas da mistura dos agregados e de resistências à compressão aos 7 dias do BAR, enquanto que Alves [10] realizou um estudo paralelo aplicado à investigação nacional.

A intenção primordial da utilização de coeficientes correctivos é fornecer ao projectista os dados necessários para o dimensionamento da estrutura utilizando BAR, sem que sejam postos em causa os requisitos de segurança e de utilização.

## **2. CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS**

De forma a facilitar a identificação dos agregados, é sugerida uma classificação dos agregados baseada na sua composição, segundo os seguintes moldes:

- ARB (agregados reciclados de betão) - agregados cuja composição seja constituída por uma percentagem superior a 90% de resíduos de betão e argamassas e agregados naturais provenientes de centrais produtoras de betão, originados a partir da lavagem de betão que regressou à central;

- ARA (agregados reciclados de alvenaria) - agregados cuja composição seja constituída por uma percentagem superior a 90% de resíduos de alvenaria, tais como pedra natural, proveniente das cantarias, tijolos cerâmicos, telhas, ladrilhos e blocos de betão;
- ARM (agregados reciclados mistos) - mistura dos dois tipos de agregados anteriores.

Esta divisão pretende fazer uma separação dos agregados, de modo a que, englobando todos os tipos de agregados, distinga claramente os ARA e os ARB. Interessa distinguir estes dois tipos de agregados pois, sendo os extremos do que se pode apelidar de “qualidade” entre os agregados reciclados, poderão ficar, à partida, destinados a aplicações condicentes com o seu estatuto. Os ARM serão, provavelmente, o tipo de agregados mais comum, pelo que a sua aplicação será definida em conformidade com outros requisitos a serem definidos no ponto seguinte. O Quadro 1 apresenta os requisitos de composição dos agregados, assim como a máxima quantidade de substâncias deletérias.

Quadro 1. Composição das diferentes classes de agregados [11]

<i>Constituintes</i>	<i>Teor limite [%]</i>		
	<i>ARA</i>	<i>ARM</i>	<i>ARB</i>
Betão	< 10	> 90	> 90
Alvenaria	> 90		< 10
Contaminantes <sup>a</sup>	3	1	1
Matéria orgânica	2	0,5	0,5
Material leve <sup>b</sup>	1	0,5	0,5
Fíler	5	3	2

<sup>a</sup> vidro, estuque, gesso, plástico, papel, tecidos, materiais betuminosos;

<sup>b</sup> matérias cuja massa volúmica é inferior a 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Para que os agregados possam ser classificados adequadamente, tem de existir um exigente controlo na forma como as amostras são colhidas, para garantir que são representativas destes. Por exemplo, não será de todo indicada a recolha, num lote em que se nota tratar-se de uma mistura de betão com material cerâmico, apenas da fracção de betão, pois traria perspectivas à utilização desses agregados que seriam defraudadas aquando da sua aplicação.

Os valores escolhidos para vigorarem como máximos permitidos de contaminantes, materiais leves, matéria orgânica e fíler seguem o que foi entendido como sendo a sua potencial aplicação. Estes requisitos são similares nos ARM e ARB pois, como referido no capítulo 4, têm também condições semelhantes de aplicação. Assim, diferenças significativas nestes valores poderiam conduzir a uma dificuldade acrescida em atingir resistências tais que permitam a sua utilização em elementos resistentes *standard*, pois mesmo existindo comunicação entre o fabricante do betão com agregados reciclados e o projectista, nem o projectista dimensiona a estrutura com um betão, por exemplo, de classe C15/20, nem é viável, do ponto de vista económico ou ambiental, elevar esta mesma classe de resistência para C25/30, com agregados de iguais características, através do aumento da dosagem de cimento e da quantidade de superplastificante.

### 3. REQUISITOS DOS AGREGADOS RECICLADOS

De modo a que as propriedades do betão fabricado com agregados reciclados estejam dentro do esperado, algumas propriedades dos agregados reciclados devem ser controladas, assim como a sua composição. Assim, da mesma forma que a composição dos agregados foi definida no ponto anterior, são estabelecidos requisitos que asseguram um mínimo de qualidade nos agregados reciclados. O Quadro 2 mostra esses mesmos requisitos.

Quadro 2. Requisitos para os agregados reciclados [11]

<i>Requisitos</i>	<i>ARA</i>	<i>ARM</i>	<i>ARB</i>
Massa volúmica seca mínima (kg/m <sup>3</sup> )	1800	2000	2200
Máxima absorção de água (%)	20	10	7
Máximo teor em cloretos (%)	0,15	0,04	0,04
Máximo teor em sulfatos (%)	1	0,8	0,8

Define-se, para cada classe, um valor mínimo de massa volúmica seca, considerando as diferenças existentes entre os agregados de betão e de alvenaria. Exclui-se a alternativa da medição da massa volúmica saturada com superfície seca porque se pretende um método expedito e este é um estado difícil de alcançar.

Os valores máximos de absorção de água surgem relacionados com a massa volúmica. Recomenda-se que a medição da absorção de água seja feita aos 30 minutos, por ser um ensaio expedito e que fornece uma estimativa bastante próxima da absorção total dos agregados (aproximadamente 90% da absorção total).

Para estabelecer teores máximos de cloretos e sulfatos, teve-se em atenção a finalidade dos agregados. Assim, foram estabelecidos limites mais exigentes para os agregados cuja aplicação poderá passar por betão estrutural, nomeadamente os ARM e ARB.

#### 4. CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO

São definidas nesta proposta de recomendações para utilização de agregados reciclados em betão três filosofias distintas, que tencionam alargar o leque de opções no que toca à utilização de agregados reciclados em betão.

##### 4.1 Sem correcção no dimensionamento

Para taxas reduzidas de substituição de agregados naturais por reciclados, o betão não sofre uma grande diminuição das suas propriedades, sendo provavelmente a retracção e o módulo de elasticidade as propriedades mais afectadas. Assim, são definidas no Quadro 3 as taxas máximas de substituição para as quais, para efeitos práticos, o betão fabricado deve ser encarado como convencional. A Especificação LNEC [6] adopta precisamente esta filosofia, permitindo, para ARB, taxas de substituição de até 25% no fabrico de betão com classe de resistência de até C40/50. Já a norma britânica [2] permite, para a mesma classe de resistência, a substituição de 20% de RCA (*recycled concrete aggregate*) sem que tenham de ser tomadas medidas adicionais no dimensionamento do betão. Não é permitida, neste cenário, a utilização da fracção fina reciclada.

Quadro 3. Requisitos para os agregados reciclados [11]

<i>Classe do agregado</i>	<i>Classe máxima de resistência</i>	<i>Percentagem máxima de incorporação</i>
ARB	C 50/60	20%
ARM	C 35/45	20%

##### 4.2 Coeficientes correctivos fixos

Ao invés de estabelecer máximos para as classes de agregados, são definidos tipos de betão, diferindo uns dos outros, não só o tipo de agregados como as percentagens de substituição de agregados reciclados. Por conseguinte, as classes máximas de resistência também variam. No Quadro 4, são apresentadas as características de cada um destes betões.

Quadro 4. Tipos de betão fabricado com agregados reciclados [11]

<i>Classe de agregados</i>	<i>ARA</i>	<i>ARM</i>		<i>ARB</i>	
<i>Tipo de betão</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Incorporação de AGR (%)	100	100	50	100	50
Incorporação de AFR (%)	20	0	0	0	0
Classe máxima de resistência	-	C30/37	C40/50	C40/50	C50/60

Na maioria das especificações existentes, é habitual que, a um determinado tipo de agregados, seja proposto um único limite para as condições de aplicação. É inclusive esta a consideração feita pela Especificação LNEC [6] que define, para cada um dos dois tipos de agregados de betão, uma percentagem de incorporação de agregados reciclados e resistência máxima permitidas. A presente proposta visa permitir que, ao serem propostos limites intermédios, os agregados com melhores características, ARM e ARB, possam ser utilizados com maior flexibilidade. São definidos 5 panoramas, em que, a cada um deles, é atribuída uma nomenclatura. O betão tipo 1 é destinado a soluções pouco exigentes, nomeadamente betão não estrutural, talhando-se os ARA para esse fim, pelas suas piores características. Esta medida insere-se na filosofia adoptada pela Especificação LNEC, apesar de, neste caso, os requisitos dos agregados serem mais exigentes. Para a utilização em betão estrutural, são definidos quatro tipos de betão em que, com as devidas combinações, é prevista a utilização de dois tipos de agregados, dois níveis de incorporação de agregados grossos reciclados e três diferentes classes máximas de resistência.

Quanto às percentagens de substituição de agregados naturais por reciclados, definiu-se que os agregados finos, de granulometria inferior a 4 mm, poderiam ser utilizados apenas para o betão do tipo 1 pois, apesar de vários estudos concluírem que os agregados finos reciclados podem dar origem a betões com resistências elevadas, esta situação é conseguida na ausência de impurezas. Assim, dada a propensão que esta fracção granulométrica tem para conter estas substâncias prejudiciais às propriedades do betão, permitiu-se apenas a sua utilização em betão com um baixo grau de exigência. A percentagem máxima de incorporação desta fracção granulométrica foi fixada em 20%, em consonância com as referências normativas que também permitem a inclusão deste tipo de agregados, entre elas a suíça.

Para a fracção grossa, foram definidos limites mais abrangentes, devido às características normalmente mais favoráveis dos agregados reciclados grossos, relativamente aos finos. Para betão não estrutural, é unânime que, mesmo com total substituição de agregados grossos naturais por reciclados, o betão adquire características que permitem a sua aplicação sem preocupações de maior. Por esse motivo, foi proposto apenas um tipo de betão com esta finalidade. Para betão estrutural, criou-se, para cada classe de agregados, ARM e ARB, dois cenários, um em que é permitida a total substituição de AGP (agregados grossos naturais) por AGR (agregados grossos reciclados), outro em que a substituição máxima é de 50%. Esta diferenciação é feita para poderem ser definidos diferentes limites máximos de resistência, cuja utilidade é explanada de seguida.

Os critérios seguidos para estabelecer as classes máximas de resistência são elementares:

- agregados de melhor qualidade podem atingir resistências mais elevadas, para a mesma percentagem de substituição;
- dentro da mesma classe de agregados, quanto maior for a taxa de substituição menor será a resistência máxima autorizada.

Estas classes são definidas por dois motivos: o primeiro destina-se a impedir o fabrico de betão de resistência demasiado elevada, pois o recurso a uma dosagem de cimento elevada pode provocar retracção igualmente elevada ou mesmo problemas relacionados com as indesejadas reacções álcali-sílica. O segundo motivo prende-se com a proposta de coeficientes correctivos, apresentados no Quadro 5, criados com a finalidade de precaver as diferenças existentes entre o betão convencional e o BAR. Para a definição destes coeficientes, foi adoptado o método de comparar as propriedades dos betões para uma mesma resistência à compressão. Tal metodologia é também utilizada na RILEM

recommendation [8] e na norma holandesa [5]. Para a obtenção destes valores, foram tidos como referência os coeficientes aplicados pela especificação RILEM [8], nunca esquecendo as diferenças entre as classes estabelecidas por este documento e a presente proposta de recomendações. Os restantes valores, que não estão inseridos numa classe correspondente ao documento de referência, foram atribuídos com base numa “interpolação” e “extrapolação” qualitativa, na qual foram tidas em conta, não só as classes de resistência máximas permitidas, como as percentagens de incorporação de AR.

Quadro 5. Coeficientes correctivos das propriedades do BAR da recomendação proposta [11]

Parâmetro	Tipo de betão				
	1	2	3	4	5
$f_{ctm}$	1	1	1	1	1
Módulo de elasticidade	0,65	0,80	0,85	0,85	0,90
Fluência	1	1	1	1	1
Retracção	2,00	1,50	1,25	1,35	1,10

#### 4.3 Coeficientes correctivos variáveis

Por último, aborda-se a metodologia desenvolvida por Brito (patente n.º PT103756 - “Metodologia de estimativa de betões com agregados reciclados”) e exemplificada por Robles [9] e Alves [10]. Tendo conhecimento de quais são os AR a utilizar, deve ser efectuada a medição da massa volúmica e absorção de água dos agregados a utilizar. Posteriormente, estando definidas as percentagens de agregados finos e grossos na composição do betão relativamente à totalidade dos agregados, assim como a taxa de substituição de AP por AR, tanto na fracção grossa como fina, são calculados os valores da massa volúmica e absorção de água ponderadas dos agregados presentes na mistura, através das Equações (1) e (2), respectivamente. Refira-se que na RILEM recommendation [8] esta ideia aparece implícita, ao ser apresentado um tipo de agregados, o tipo 3, que não é mais que uma mistura de agregados reciclados com naturais, sendo estipulados limites para a massa volúmica mínima e a absorção de água do conjunto.

$$Mv = \frac{AF}{100} \times \left[ \frac{\text{subst}_{AFR} \times mv_{AFR} + (100 - \text{subst}_{AFR}) \times mv_{AFP}}{100} \right] + \quad (1)$$

$$+ \frac{(100 - AF)}{100} \times \left[ \frac{\text{subst}_{AGR} \times mv_{AGR} + (100 - \text{subst}_{AGR}) \times mv_{AGP}}{100} \right]$$

$$Ab = \frac{AF}{100} \times \left[ \frac{\text{subst}_{AFR} \times ab_{AFR} + (100 - \text{subst}_{AFR}) \times ab_{AFP}}{100} \right] + \quad (2)$$

$$\frac{(100 - AF)}{100} \times \left[ \frac{\text{subst}_{AGR} \times ab_{AGR} + (100 - \text{subst}_{AGR}) \times ab_{AGP}}{100} \right]$$

Simbologia: AF - percentagem de agregados finos na composição do betão relativamente à totalidade dos agregados;  $\text{subst}_{AFR}$  - percentagem de substituição de agregados finos primários por reciclados;  $\text{subst}_{AGR}$  - percentagem de substituição de agregados grossos primários por reciclados; Mv - massa volúmica ponderada dos agregados da mistura do betão;  $mv_{AFR}$  - massa volúmica dos agregados finos reciclados;  $mv_{AFP}$  - massa volúmica dos agregados finos primários;  $mv_{AGR}$  - massa volúmica dos agregados grossos reciclados;  $mv_{AGP}$  - massa volúmica dos agregados grossos primários; Ab - absorção de água ponderada dos agregados da mistura do betão;  $ab_{AFR}$  - absorção de água dos agregados finos reciclados;  $ab_{AFP}$  - absorção de água dos agregados finos primários;  $ab_{AGR}$  - absorção de água dos agregados grossos reciclados;  $ab_{AGP}$  - absorção de água dos agregados grossos primários.

Além da massa volúmica e absorção de água ponderadas dos AR, devem ser efectuados testes de resistência à compressão axial de provetes cúbicos aos 7 dias.

Para cada um destes três parâmetros (massa volúmica dos AR, absorção de água dos AR e resistência à compressão aos 7 dias dos BAR), podem ser estimadas, a partir de uma relação linear, as várias propriedades do betão. São apresentados, no Quadro 6, os declives das rectas (valor de m) que Robles [9] e Alves [10] determinaram no respectivos trabalhos, relacionando a variação de algumas propriedades do betão no seu estado endurecido com as várias relações de massas volúmicas e de absorções de água ponderadas da mistura dos agregados e resistências à compressão aos 7 dias do BAR. O Quadro 7 corresponde à média dos valores encontrados pelos dois investigadores, alargando desta forma o número de campanhas que esta correlação abrange. Estes declives, ao serem usados nas Equações (3), (4) e (5), para a massa volúmica e absorção de água dos agregados da mistura e resistência à compressão aos 7 dias do BAR, permitem estimar as propriedades do betão no seu estado endurecido, fornecendo a relação entre o BAR e o BR.

Quadro 6. Declives (valores de m) para as rectas que relacionam as propriedades dos betões com as massas volúmicas e absorções de água dos agregados da mistura e resistência à compressão aos 7 dias do BAR obtidos por Robles [9] e Alves [10]

Propriedade	Massa volúmica		Absorção de água		$f_{c7d}$	
	Robles [9]	Alves [10]	Robles [9]	Alves [10]	Robles [9]	Alves [10]
$f_{c\ 28d}$	1,8284	2,6190	-0,0369	-0,0587	1,3551	0,8327
$E_{c\ 28d}$	1,9224	3,8141	-0,0506	-0,0966	1,3738	1,9852
$f_{ct\ 28d}$	1,3441	3,1857	-0,0180	-0,0565	0,7110	1,4847
Retracção	-3,1945	-8,7141	0,0525	0,1503	1,0630	6,3050
Fluência	-3,6548	-	0,0682	-	-1,0672	-

Quadro 7. Declives (valores de m) para as rectas que relacionam as propriedades dos betões com as massas volúmicas e absorções de água dos agregados da mistura e resistência à compressão aos 7 dias do BAR

Propriedade	Massa volúmica	Absorção de água	$f_{c7d}$
$f_{c\ 28d}$	2,2237	-0,0478	1,0939
$E_{c\ 28d}$	2,8682	-0,0736	1,6795
$f_{ct\ 28d}$	2,2649	-0,0373	1,0979
Retracção	-5,9543	0,1014	3,6840
Fluência	-3,6548	0,0682	-1,0672

$$y = -mx + 1 \quad (3)$$

$$y = mx + 1 \quad (4)$$

$$y = -mx + 1 \quad (5)$$

em que y corresponde à relação entre as propriedades do BAR e do BR e x à relação entre as absorções de água ou massas volúmicas dos agregados da mistura ou da resistência à compressão aos 7 dias do betão, representados pelas Equações (6), (7) e (8), respectivamente.

Por terem sido obtidos a partir de um número reduzido de campanhas experimentais, estes valores devem ser encarados como estimativas. Contudo, fornecem uma ideia satisfatória do comportamento dos betões com agregados reciclados. Assim, às relações obtidas entre as propriedades BAR e do BR, para os três parâmetros, deve ser efectuada uma média aritmética, que deve ser afectada de um coeficiente de segurança. Sugere-se que este factor tome o valor de 1,1. É assim aconselhado que se

efectuem uma quantidade de campanhas experimentais, abrangendo o maior tipo de betões possível, de modo a que estes declives sejam o mais fiáveis possível. Da mesma forma, é sugerido um tratamento estatístico sobre os mesmos resultados, de modo a rever o coeficiente de segurança atrás proposto.

$$1 - \frac{mv_{\text{mistura}}}{mv_{\text{AP}}} \quad (6)$$

$$\frac{ab_{\text{mistura}}}{ab_{\text{AP}}} - 1 \quad (7)$$

$$1 - \frac{fc_{7d \text{ BAR}}}{fc_{7d \text{ BR}}} \quad (8)$$

#### 4. CONCLUSÕES

Tendo sempre presente a diferença entre as propriedades dos agregados reciclados e dos respectivos betões para os análogos convencionais, assim como as várias referências normativo mundiais, elaborou-se uma proposta de especificação para a utilização de agregados reciclados em betão.

A presente proposta de recomendações pretende não só recolher o que de melhor se encontra na maioria das normas e especificações existentes sobre o assunto, sob a forma de dois cenários de aplicação, como desenvolver um terceiro, inovador, que aparenta possibilidades de se apresentar como uma forma expedita e capaz de avalizar a correcta utilização de agregados reciclados em betão. Este cenário permite a correcção do dimensionamento das estruturas de betão com base em coeficientes correctivos aplicados a algumas propriedades dos BAR. Estes coeficientes são obtidos caso a caso e dependem das propriedades dos agregados reciclados utilizados e das suas condições de aplicação, podendo ser obtidos a partir da medição da massa volúmica e absorção de água da mistura de agregados e da resistência à compressão aos 7 dias de provetes de betão obtidos a partir dessa mesma mistura de agregados.

#### REFERÊNCIAS

- [1] WBTC No.12/2002 Specifications facilitating the use of recycled aggregates, Works Bureau Technical Circular, Hong-Kong, 2002.
- [2] BS 8500-2:2002 Concrete - complementary British Standard to BS EN 206-1, Part 2: Specification for constituent materials and concrete. British Standards Institution, United Kingdom, 2002.
- [3] CUR Betonpuingranulaaten als Toeslagsmateriaal vor Beton. Aanbeveling 4, CUR-VB, Holand, 1984.
- [4] CUR Betonpuingranulaaten Metselwerkpuins Granullat alls Toeslagmateriaal van Beton. Rapport 125, CUR, Holand, 1986.
- [5] CUR Metselwerkpuingranulaat als Toeslagsmateriaal vor Beton. Aanbeveling 5, CUR-VB, Holand, 1994.
- [6] LNEC E 471 Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, 2006.
- [7] Ot (Objectif technique) 70085 Instruction technique Utilisation de matériaux de construction minéraux secondaires dans la construction d'abris. Switzerland, 2006.
- [8] RILEM TC 121-DRG Specifications for concrete with recycled aggregates. Materials and Structures, Vol. 27, pp. 557-559, Paris, 1994.
- [9] Robles, R. Betões com agregados reciclados. Levantamento do estado de arte experimental internacional. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.



- [10] Alves, F. Betões com agregados reciclados. Levantamento do estado de arte experimental nacional. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.
- [10] Gonçalves, P. Betão com agregados reciclados. Análise comentada da legislação existente. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.