

# Utilização de agregados reciclados em betão. Análise comentada da regulamentação existente.

Paulo Gonçalves<sup>1</sup>, Jorge de Brito<sup>2</sup>

*Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa*

## RESUMO

Neste artigo, foi feito um levantamento de várias normas e recomendações para a aplicação de agregados reciclados em betão, assim como a análise dos vários parâmetros, entre os quais se incluem os requisitos impostos aos agregados ou as condições de aplicação em betão. Não obstante a possibilidade de utilização de agregados reciclados em betão com diferentes exigências, como a utilização em betão não estrutural, betão estrutural ou betão de alta resistência, são apresentados apenas os documentos normativos que se inserem na segunda variante, com a particularidade de estes regulamentos partirem da premissa de que o betão com agregados reciclados se deve comportar como um betão convencional.

## 1. INTRODUÇÃO

Grande parte dos resíduos de construção e demolição (RCD) pode ter, desde que gerida de forma correcta, um destino que a valorize de forma sustentável. Os agregados reciclados podem ser usados no fabrico de novas argamassas, pavimentos rodoviários, sistemas de drenagem e betões.

A utilização particular de agregados reciclados em betão é uma forma de se tirar maior proveito económico dos RCD e tem sido objecto de estudo ao longo dos anos, pois continua a não ser consensual a sua utilização. O betão produzido com agregados reciclados tem, como seria de esperar, características diferentes das do betão convencional, diferenças estas muito dependentes do tipo e qualidade dos agregados utilizados (Hansen, 1992).

Brito (2005) explica que a regulamentação existente mais evoluída procura fugir à imposição aos agregados reciclados (AR) das mesmas regras aplicadas aos agregados naturais, por conduzir muitas vezes à sua exclusão, devido às reconhecidas diferenças entre os agregados naturais e reciclados.

No presente artigo, foi feito o levantamento de várias normas, recomendações ou especificações que incluíssem a utilização de agregados reciclados no fabrico de betão. A escolha dos documentos apresentados assentou na intenção de expor, analisar e comparar documentos seguidores da mesma filosofia, ou seja, que pretendem uma forma simples de utilizar agregados reciclados no fabrico de betão, sem que, para isso, se tenha de recorrer a alterações no dimensionamento dos elementos estruturais. Este artigo foi, por isso, elaborado

<sup>1</sup> Eng.º Civil, Mestre em Engenharia Civil pelo IST

<sup>2</sup> Professor Associado c/ Agregação

em paralelo com um outro, “Redimensionamento estrutural com betões com agregados reciclados - análise normativa”, onde são analisadas, de forma similar ao que acontece neste artigo, as normas que prevêm alterações no dimensionamento dos elementos estruturais fabricados, devidas às diferenças em algumas propriedades do betão com agregados reciclados, quando comparado com betão convencional.

Neste âmbito, são estudadas no presente artigo as normas a vigorar na Alemanha, Hong-Kong, Reino Unido, Portugal, Holanda e Suíça.

## 2. ALEMANHA

Na Alemanha, vigoram duas normas, apresentadas nos pontos seguintes, das quais a primeira é referente aos requisitos dos agregados, enquanto que a segunda propõe regras à aplicação destes agregados em betão.

### 2.1 DIN 4226 “Aggregates for mortar and concrete - recycled aggregates”

Esta norma apresenta requisitos para os agregados reciclados para uso em argamassas e betão, especificando também o sistema de controlo de produção e de avaliação de conformidade.

São definidos quatro tipos de agregados:

- tipo 1: resíduos de betão;
- tipo 2: resíduos de construção e demolição;
- tipo 3: resíduos de alvenaria;
- tipo 4: mistura de material.

A composição dos agregados reciclados deve obedecer aos requisitos apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1 - Composição dos agregados reciclados (DIN 4226-100, 2002)**

Constituintes	Percentagem limite em relação à massa do agregado por tipo de agregado (%)			
	1	2	3	4
Betão	≥ 90	≥ 70	≤ 20	≥ 80
Clínquer e tijolos maciços	≤ 10	≤ 30	≥ 80	
Alvenaria de pedra			≤ 5	
Outros materiais	≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 20
Material betuminoso	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Contaminantes	≤ 1	≤ 1	≤ 1	

No contexto desta norma, entendem-se como outros materiais tijolos porosos, betão leve, betão celular, betão poroso, estuque ou argamassas.

No Quadro 2, são estabelecidos os restantes requisitos dos agregados reciclados, nomeadamente massa volúmica (das partículas secas), absorção de água e teor máximo de cloretos e sulfatos.

A escala de massas volúmicas e absorções de água apresentada é coerente com a composição dos vários tipos de agregados definidos pela norma, partindo do princípio de que, quanto menor a quantidade de betão na mistura dos agregados, menor será a massa volúmica dos mesmos, da mesma forma que a absorção de água aumenta.

Várias campanhas experimentais, enunciadas por Brito (2005) e Hansen (1992), apontam para valores de massas volúmicas na ordem de 2300 kg/m<sup>3</sup> para agregados de betão e de

2000 kg/m<sup>3</sup> para agregados de alvenaria. Assim, não se prevê que, relativamente aos valores mínimos de massas volúmicas admissíveis e com base nas composições impostas, existam grandes dificuldades em cumprir o regulamentado.

**Quadro 2 - Requisitos dos agregados reciclados (DIN 4226-100, 2002)**

Propriedades	Tipo de agregado			
	1	2	3	4
Massa volúmica mínima (kg/m <sup>3</sup> )	2000		1800	1500
Desvio máximo permitido para a massa volúmica média das partículas declarada pelo fabricante (kg/m <sup>3</sup> )	± 150			n/a
Absorção de água máxima após 10 minutos (%)	10	15	20	n/a
Máxima percentagem em massa de cloretos solúveis em ácidos	0,04%			0,15%
Máxima percentagem em massa de sulfatos solúveis em ácidos	0,8%			-

Observando os valores máximos admissíveis para o teor de cloretos, conclui-se que a norma alemã é bastante exigente. Esta preocupação assume principal relevância no caso da utilização dos agregados para betão estrutural, pois o ataque por cloretos é um dos grandes problemas do betão armado, uma vez que a corrosão das armaduras provoca uma diminuição da secção das armaduras e a perda de aderência do betão de recobrimento, diminuindo assim a capacidade resistente do elemento.

## 2.2 German committee for reinforced concrete (DAfStb) - concrete with recycled aggregates

Em Agosto de 1998, o Comité alemão para betão estrutural (DAfStb) publicou a “Especificação para betão com agregados reciclados”. A norma “Concrete with recycled aggregates” representa um documento suplementar à norma DIN 4226-100 e está dividida em duas partes. A primeira apresenta as especificações para o uso de agregados reciclados em betão estrutural. A segunda parte descreve os requisitos mínimos de qualidade dos agregados reciclados assim como o seu controlo (Grübl e Rühl, 1998).

O Quadro 3 apresenta os teores máximos de agregados reciclados presentes na mistura, que dependem da classe de resistência do betão e do tipo de aplicação proposto.

**Quadro 3 - Teor máximo de agregados reciclados em betão em relação: (a) volume total de agregados; (b) volume do grupo de agregados (DAfStb, 1998)**

Aplicações		Agregados grossos e finos de betão D > 2 mm		Agregados finos de betão D ≤ 2 mm	
		(a)	(b)	(a)	(b)
Elementos interiores	≤ C25/30	35%	50%	7%	20%
	C30/37	25%	40%	7%	20%
Betão exposto ao meio ambiente:		20%	30%	0%	0%
- betão impermeável					
- betão com alta resistência a:					
- ciclos gelo-degelo					
- ataques químicos					

Analisando a aplicabilidade dos agregados reciclados nos termos desta especificação alemã, pode afirmar-se que a norma apresenta uma postura conservativa, nomeadamente ao nível da máxima percentagem de incorporação de agregados reciclados. A classe máxima de

resistência autorizada é C30/37 e apenas pode ser aplicada em elementos interiores quando limitada a substituição de agregados grossos em 25%. Este valor pode ser considerado reduzido, tendo em conta que os agregados reciclados utilizados têm no betão triturado a sua composição primordial. Não seria assim de estranhar se, aos agregados do tipo 1 estivesse associada uma maior percentagem de substituição de agregados naturais por agregados reciclados. O uso de agregados reciclados está ainda vetado ao fabrico de betão leve ou ao betão pré-esforçado.

A especificação não permite a utilização de agregados do tipo 3 ou 4 em betão estrutural. Esta medida, por ser conservativa, assegurando que apenas material cujas propriedades são mais parecidas com agregados naturais sejam utilizados, limita em muito a utilização e o escoamento dos agregados reciclados produzidos nas centrais de reciclagem. Apesar de não ter repercussões em países cujas quantidades de RCD não têm grande expressão, como é o caso de Portugal, não se pode dizer o mesmo de países cujas cotas de reciclagem de RCD assumem valores elevados, como a Alemanha.

O uso de agregados reciclados está vetado no fabrico de betão leve ou ao betão pré-esforçado.

A percentagem de substituição de agregados reciclados por naturais diminui à medida que as condições ambientais ou os ataques físicos se vão tornando mais agressivos para o betão, tal como apresentado no Quadro 4.

**Quadro 4 - Percentagem máxima de substituição de agregados grossos reciclados (Mueller, 2007)**

Classe de exposição	Efeito	Percentagem de substituição (%)	
		Tipo 1	Tipo 2
XC1	Carbonatação	≤ 45	≤ 35
X0	Sem ataque		
XC1 a XC4	Carbonatação		
XF1 e XF3	Gelo-degelo sem sais	≤ 35	≤ 25
XA1	Ataque químico	≤ 25	≤ 25

A utilização da fracção fina era, na proposta inicial, autorizada em betão para elementos interiores, com uma substituição de até 7% do volume total de agregados. Porém, a revisão da DAfStb em 2004 resultou em que o betão com areia reciclada deixou de ser autorizado.

Para a produção do betão com agregados reciclados, não pode ser desprezada a diferença existente ao nível da absorção de água dos agregados. Devido a este efeito, o teor de humidade do interior do agregado tem de ser conhecido para ser definida a razão água / cimento efectiva. Para este cálculo, é aconselhada a medição da absorção de água aos 10 minutos, já que é um método expedito e que chega a valores na ordem dos 90% da absorção de água às 24 h.

Embora a especificação pareça algo conservativa no que respeita ao uso de material reciclado, esta filosofia permite que não sejam necessários ajustes nos parâmetros de dimensionamento na análise estrutural, pois é considerado que o betão contendo material reciclado é equivalente a betão contendo apenas agregados naturais. Esta filosofia é também importante para a imagem de mercado, tendo em conta que não é necessária qualquer nota adicional no formulário de entrega, à excepção de não poder ser usado em betão pré-esforçado.

### 3. HONG-KONG

A especificação Works Bureau Technical Circular No.12/2002 - “Specifications facilitating the use of recycled aggregates” pretende delinear a utilização de agregados reciclados

na produção de betão e na construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários sendo que apenas a primeira vertente será abordada.

### 3.1 Condições de aplicação

São disponibilizadas duas alternativas para a utilização de agregados reciclados em betão, uma para betão de composição prescrita para soluções menos exigentes onde pode ocorrer a total substituição de agregados naturais por reciclados e outra para betão de comportamento especificado em que apenas 20% de substituição é permitida, mas que permite a utilização em betão estrutural.

No Quadro 5, está resumido o campo de aplicação dos agregados reciclados segundo a presente especificação.

**Quadro 5 - Resistências permitidas do betão com agregados reciclados (Gonçalves, 2007)**

% de substituição de agregados grossos	Tipo de betão	Resistência máxima permitida (MPa)
20	Comportamento especificado	35
100	Composição prescrita	20

Para o betão de composição prescrita com 100% de substituição de agregados grossos, é proposta uma proporção de mistura para o seu fabrico:

- cimento portland: 100 kg;
- agregados finos: 180 kg;
- agregados reciclados de 20 mm: 180 kg;
- agregados reciclados de 10 mm: 90 kg.

Os agregados reciclados devem ser sujeitos a uma pré-molhagem antes de serem usados. Esta medida procura evitar que as diferenças de absorção de água alterem a razão água / cimento efectiva, necessária para a hidratação do cimento e conferir uma trabalhabilidade adequada. É ainda exigido que, no ensaio de abaixamento do betão, este seja superior a 75 mm no momento da colocação.

Para o betão com 100% de substituição de agregados grossos, devem ser fabricados 4 provetes cúbicos em cada dia de betonagem, para ensaio à compressão simples aos 7 e 28 dias. Estes cubos devem ter uma resistência mínima à compressão de 14 e 20 MPa aos 7 e 28 dias, respectivamente. Esta imposição é uma novidade, pois em mais nenhum documento normativo este tipo de ensaios é requerido. Pensa-se que esta filosofia merece ser estudada de forma mais aprofundada, nomeadamente no que respeita ao plano de amostragem, para que a avaliação das potencialidades do betão produzido possa ser o mais fiável possível. O ideal seria que fosse estabelecida uma amostragem inicial, para precaver eventuais diferenças entre o previsto no projecto e a produção, pois saber-se-á de antemão qual a resistência que o betão produzido pode alcançar, podendo-se assim tomar medidas de modo a que os elementos estruturais possam ser dimensionados correctamente. Este tipo de agregados está contudo limitado ao fabrico de betão com resistência máxima de 20 MPa.

### 3.2 Requisitos dos agregados reciclados

Os agregados grossos devem respeitar as exigências presentes no Quadro 6, enquanto que a parcela fina não é permitida na produção de betão.

Esta especificação limita a massa volúmica seca das partículas, enquanto que a maioria das outras opta por fixar um mínimo para a massa volúmica das partículas saturadas.

Relativamente à composição, apenas os agregados de betão e rocha são autorizados

para fabrico de betão. Por conseguinte, o valor máximo permitido para a absorção de água dos agregados não deve ser condicionante na verificação dos critérios por parte dos agregados.

Nota-se ainda que não existe uma diferenciação nos requisitos dos agregados reciclados, consoante o grau de exigência da aplicação em betão.

**Quadro 6 - Requisitos dos agregados reciclados [9]**

Propriedades	Limites
Massa volúmica seca mínima das partículas ( $\text{kg/m}^3$ )	2000
Absorção de água máxima	10%
Conteúdo máximo de madeira ou outros materiais menos densos do que a água	0,5%
Conteúdo máximo de outros contaminantes	1%
Conteúdo máximo de finos ( $< 63 \mu\text{m}$ )	4%
Conteúdo máximo de areia ( $< 4 \text{mm}$ )	5%
Conteúdo máximo de sulfatos	1%
Conteúdo máximo de cloretos	0,05%

#### 4. REINO UNIDO

As especificações presentes na norma BS 8500-2:2002 “Concrete - Complementary British Standard to BS EN 206-1 - Part 2: Specification for constituent materials and concrete” são referentes a materiais definidos com performances estabelecidas ou aceites como adequadas no Reino Unido, para o fabrico de betão.

##### 4.1 Agregados reciclados

A norma britânica apenas especifica exigências para agregados grossos reciclados, excluindo a utilização de agregados finos para fabrico de betão. Estas exigências são apresentadas no Quadro 7.

**Quadro 7 - Requisitos para os agregados grossos reciclados (BS 8500-2, 2002)**

Constituintes	% Máxima em relação à massa	
	RCA <sup>a</sup>	RA
Alvenaria	5	100
Finos	5	3
Material leve ( $\rho < 1000 \text{kg/m}^3$ )	0,5	1
Material betuminoso	5	10
Outros contaminantes <sup>b</sup>	1	1
Sulfatos solúveis em ácidos ( $\text{SO}_3$ )	1	- <sup>c</sup>

<sup>a</sup> quando o material a ser usado é obtido por britagem de betão endurecido de composição conhecida que não foi contaminado pelo uso, os únicos requisitos são os relacionados com a granulometria e máximo conteúdo de finos;

<sup>b</sup> vidro, plástico, madeira, entre outros;

<sup>c</sup> o limite apropriado precisa de ser determinado caso a caso.

A norma estabelece dois tipos de agregados, os RCA e os RA, distinguindo-se pela composição. Enquanto que os RCA são agregados provenientes essencialmente de betão, os RA são uma classe menos exigente e podem ser compostos na totalidade por alvenaria.

Os requisitos dos agregados contemplam maioritariamente aspectos referentes à sua

composição, faltando exigências de massa volúmica, absorção de água ou mesmo conteúdo máximo de partículas cuja granulometria os faz capazes de desempenhar o papel de filler (normalmente de tamanho inferior a 63 ou 75  $\mu\text{m}$ ), aspectos que estão presentes na maioria dos documentos normativos.

O risco de danos devidos às reacções álcalis-sílica deve ser minimizado de acordo com um conjunto de condições estabelecidas pelo documento. Para betão de composição prescrita ou quando o especificador prescreveu medidas para obstar as reacções álcalis-sílica, estas condições não têm de ser cumpridas.

#### 4.2 Campo de aplicação

A norma apenas autoriza a utilização de RCA em betão estrutural, quando limitado às resistências e classes de exposição especificadas no Quadro 8. Não é geralmente permitida a aplicação de RCA em betão exposto a ambientes marítimos, ambientes severos de gelo-degelo, assim como solos agressivos.

Para betão com classes de resistências compreendidas entre C20/25 e C40/50, a percentagem de utilização de RCA não deve exceder 20%, excepto se o especificador o permitir. Contudo, para classes de resistências inferiores, pode ser substituída a totalidade dos agregados.

Os agregados reciclados estão também limitados a um máximo de 0,075% de retracção por secagem.

**Quadro 8 - Condições de aplicação dos agregados reciclados em betão (BS 8500-2, 2002)**

Tipo de agregado	Classe máxima de resistência	Classes de exposição <sup>b</sup>
RCA <sup>a</sup>	C40/50	X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XF1, DC-1

<sup>a</sup> material obtido a partir de betão endurecido britado de composição conhecida e que não foi contaminado pelo uso, podendo ser usado em qualquer classe de resistência;

<sup>b</sup> os agregados podem ser usados em outras classes de exposição na condição de que tenha sido demonstrado que o betão resultante é adequado para o ambiente desejado.

Esta filosofia reflecte um pouco no que é encontrado noutros documentos normativos, ou seja, utilizando agregados de boa qualidade, nomeadamente de betão, é autorizada a aplicação em betão com elevada resistência estando, contudo, limitada a substituição de agregados naturais por reciclados a 20%. Porém, a substituição total de agregados naturais por reciclados apenas é permitida em betão para aplicação em situações de baixo grau de exigência.

## 5. PORTUGAL

O LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) publicou, em Setembro de 2006, a especificação E 471 “Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos”, que classifica os agregados grossos reciclados e estabelece os requisitos mínimos que deverão respeitar para poderem ser utilizados no fabrico de betão de ligantes hidráulicos.

### 5.1 Agregados reciclados

Não são apresentadas exigências para os agregados reciclados finos nem regras para a sua aplicação, dado que possuem em geral uma elevada percentagem de elementos com dimensão inferior a 0,063 mm e uma maior absorção de água, dificultando o controlo da trabalhabilidade e comprometendo a resistência mecânica do betão.

A Especificação LNEC estabelece três classes de agregados provenientes de resíduos de construção e demolição:

- ARB1 e ARB2 - constituídas maioritariamente por betão, misturado ou não com agregados não ligados;
- ARC - tem como principais constituintes betão, agregados não ligados e elementos de alvenaria, não havendo exigências quanto às percentagens relativas de cada um deles.

O Quadro 9 indica a composição a que cada tipo de agregado deve obedecer, enquanto que os seus requisitos são apresentados no Quadro 10.

Ao comparar os requisitos requeridos pela Especificação LNEC com as restantes normas estudadas, apenas se nota a falta do requisito de máximo teor de cloretos admissível.

**Quadro 9 - Composição dos agregados reciclados (E 471, 2006)**

Constituinte	ARB1	ARB2	ARC
Betão (%)	≥ 90	≥ 70	≥ 90
Agregados não ligados (%)			
Alvenaria (%)	≤ 10	≤ 30	
Materiais betuminosos (%)	≤ 5	≤ 5	≤ 10
Partículas leves <sup>a</sup> (%)	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Outros materiais <sup>b</sup> (%)	≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 1

<sup>a</sup> material com massa volúmica inferior a 1000 kg/m<sup>3</sup>; no caso de as partículas leves serem constituintes minerais não prejudiciais para o betão nem para o acabamento superficial, o limite estabelecido pode atingir 3%;

<sup>b</sup> vidro, solos argilosos, plásticos, borrachas, metais e matérias putrescíveis.

**Quadro 10 - Requisitos dos agregados (E 471, 2006)**

Requisitos	ARB1	ARB2	ARC
Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	≥ 2200		≥ 2000
Absorção de água (%)	≤ 7		≤ 7
Teor em finos (%)	≤ 4		≤ 3
Teor de sulfatos solúveis em ácido (%)	≤ 0,8		≤ 0,8

Os valores de massa volúmica mínima ou de absorção de água máxima admissível indicam que o documento apenas prevê a utilização de agregados de boas características. Os agregados classificados como ARB1 e ARB2 têm os mesmos requisitos de massa volúmica e absorção de água, pelo que, dadas as diferenças de composição entre os dois, será previsível que a classe ARB1 terá mais facilidade em cumprir estes requisitos, ou que, para cumprir estes requisitos, a composição do conjunto de RCD se aproxime com mais frequência da classe ARB1. Quanto à classe de agregados ARC, os requisitos são bastante exigentes, tendo em conta o tipo de utilização proposta. É ainda de notar que os ARC e os ARB têm o mesmo teor máximo de absorção de água quando, ao serem estabelecidos limites diferentes para a massa volúmica, seria de esperar que também existissem diferenças quanto à absorção de água máxima admissível.

Observando tanto a composição como os requisitos das três classes propostas pela especificação, repara-se que existe uma grande semelhança entre as classes ARB1 e ARB2 porque, apesar das diferenças que podem existir no que respeita à composição, estas não assumem uma relevância importante, pois são exigidos requisitos iguais. Os requisitos, quer ao nível da massa volúmica, quer para a absorção de água, funcionam por si só como um “fil-



tro” às propriedades dos agregados, pelo que, para os mesmos requisitos, diferenças pouco significativas ao nível da composição não suscitam grandes diferenças nas propriedades do betão produzido.

## 5.2 Campo de aplicação

Os agregados de classes ARB1 e ARB2 podem ser utilizados no fabrico de betão para aplicação em betão armado estrutural. Para betão simples, de enchimento ou regularização, a percentagem de substituição de agregados reciclados pode ser total, desde que o betão seja aplicado em ambientes não agressivos. Para betão estrutural, tanto a classe máxima de resistência como as condições ambientais permitidas estão dispostas no Quadro 11.

**Quadro 11 - Classes de resistência e de exposição ambiental permitidas (E 471, 2006)**

Classe do agregado	Classe de resistência	Percentagem máxima de incorporação	Classe de exposição ambiental
ARB1	C 40/50	25%	X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XS1, XA1 <sup>a</sup>
ARB2	C 35/45	20%	

<sup>a</sup> em fundações.

A Especificação LNEC permite a utilização de agregados reciclados de betão em betão estrutural de resistência razoavelmente elevada, podendo abranger uma grande fatia do mercado da construção, desde que exposto a uma classe de exposição ambiental permitida. A possibilidade de utilização de RCD como agregados reciclados não segue, contudo, a mesma filosofia pois, além das elevadas exigências requeridas pelas classes de agregados estabelecidas, as taxas de substituição de agregados naturais por reciclados permitidas, para o fabrico de betão, são relativamente baixas.

A taxa de substituição de agregados naturais por reciclados é limitada pelo documento de modo a evitar grandes variações do módulo de elasticidade, fluência, retracção e durabilidade. No entanto, é autorizada a utilização de percentagens superiores de agregados reciclados, desde que sejam realizados estudos específicos que avaliem a sua influência nas propriedades relevantes à aplicação considerada.

Do ponto de vista comercial, a especificação LNEC segue um caminho que pode potenciar a utilização dos agregados reciclados em betão no mercado da construção civil, pois não está banalizado, em Portugal, o recurso a este tipo de agregados, devido às menores vantagens que estes apresentam no nosso país, quando comparado com outros países europeus.

## 6. HOLANDA

O centro de investigação holandês CUR (Commissie voor Uitvoering van Research) tem vindo a desenvolver especificações para a utilização de agregados reciclados. Em 1984, foi lançada a especificação para a utilização de agregados reciclados provenientes da britagem de betão. Em 1986, entrou em vigor a especificação homóloga para agregados reciclados de alvenaria. Posteriormente, a CUR desenvolveu mais uma especificação, para agregados provenientes de resíduos de argamassa britada.

### 6.1 Agregados reciclados

A norma classifica o resíduo de betão como sendo resíduo proveniente de betão de cimento hidráulico, com massa volúmica superior a 2100 kg/m<sup>3</sup>. Contudo, foi adaptada, em

Junho de 1997, de forma a incluir apenas agregados reciclados com massa específica superior a 2000 kg/m<sup>3</sup> no fabrico de betão (LOO, 1998).

As normas holandesas estabelecem, como referido, a distinção entre dois tipos de agregados, de betão e de alvenaria e pode ser observada no Quadro 12 a sua composição.

Os agregados de betão, ao serem compostos na sua grande maioria por resíduos de betão com massa volúmica elevada (2100 kg/m<sup>3</sup>), tornam-se comparáveis com os tipos de agregados de melhor “qualidade” de outras referências normativas. Este elevado grau de exigência denuncia a possibilidade de que este tipo de agregados possa ter uma utilização igualmente exigente.

**Quadro 12 - Composição dos agregados reciclados (Gonçalves, 2007)**

Material	Agregados de betão	Agregados de alvenaria
Betão	> 95%	n.d.
Alvenaria	< 5%	> 65%
Betão leve		< 20%
Produtos cerâmicos		
Rochas naturais		< 10%
Betão celular		< 25%
Argamassas		

Os agregados reciclados têm requisitos diferentes no que respeita à granulometria consoante o tipo de agregados. Para as mesmas fracções granulométricas, os documentos holandeses não permitem que os agregados de alvenaria tenham uma quantidade de finos tão elevada como os agregados de betão. Esta situação pode ser explicada pelo facto de os agregados reciclados de alvenaria, devido à maior variabilidade na composição, serem propensos à existência de materiais que prejudicam as propriedades do betão e que são tão mais difíceis de identificar / retirar quanto menor for o tamanho das partículas.

O Quadro 13 expõe, de forma compacta, todos os requisitos que as normas holandesas preconizam, quer para os agregados de betão quer para os de alvenaria. São expressos os máximos teores admissíveis de vários tipos de contaminantes, assim como os máximos teores de sulfatos e cloretos solúveis em água.

**Quadro 13 - Requisitos dos agregados reciclados (Gonçalves, 2007)**

Requisitos		Agregados de betão		Agregados de alvenaria	
		< 4 mm	> 4 mm	< 4 mm	> 4 mm
Finos dispersáveis		-		4%	2%
Cloretos	Betão simples	-		1%	1%
	Betão armado	0,1%	0,05%	0,1%	0,05%
	Betão pré-esforçado	0,015%	0,007%	0,015%	0,007%
Sulfatos		1%		1%	
Componentes não minerais <sup>a</sup>		0,5%	0,1%	1%	
Carbonato de cálcio		25%	10%	-	
Partículas lamelares		30%		30%	
Partículas leves		0,1%		-	
Materiais não rochosos <sup>b</sup>		1 %		1%	

<sup>a</sup> madeira, vegetação, papel, tecido, entre outros;

<sup>b</sup> betume, borracha, metal, vidro.

A diferença que assume maior destaque respeita à quantidade de partículas não mineiras, cujo teor máximo permitido é de 0,1% para a fracção grossa dos agregados de betão, valor bastante inferior ao preconizado noutros regulamentos.

## 6.2 Campo de aplicação

A norma holandesa prevê a utilização de agregados reciclados em betão simples, armado ou pré-esforçado. Ainda que possa ser discutida a prudência com que é encarado o dimensionamento de estruturas de betão com reduzida substituição de agregados naturais por reciclados, o facto é que, para taxas de substituição de até 20%, quer da fracção grossa quer da fracção fina, é instituído que o betão produzido deve ser encarado como convencional. É assim de assinalar a permissividade da norma holandesa que permite, apesar da boa qualidade exigida aos agregados, elevadas resistências, compatíveis com a utilização do betão na maioria das estruturas vulgarmente construídas, dando assim hipótese de serem utilizadas as grandes quantidades de agregados reciclados produzidos e comprados na Holanda.

Para taxas de substituição de agregados naturais por reciclados superiores a 20%, são apresentados coeficientes para corrigir algumas propriedades do betão. Neste panorama, cujo estudo não pertence ao âmbito deste artigo, podem ser incorporados 100% de agregados reciclados.

A resistência dos agregados ao congelamento tem de ser tal que, ao serem submetidos a ciclos gelo-degelo, a perda de massa não deva exceder 3%.

Para compensar diferenças de absorção de água existentes entre os agregados naturais e reciclados, o documento indica que os agregados reciclados devem ser submetidos a uma pré-saturação ou compensação da água de amassadura.

É em diversos estudos defendido que a utilização da fracção fina é prejudicial às propriedades do betão. Apesar disso, a CUR refere que o uso de agregados reciclados finos (< 4 mm) e agregados grossos convencionais não traz prejuízos ao betão.

## 7. SUÍÇA

Na Suíça, o documento Ot (Objectif technique) 70085 “Instruction technique. Utilisation de matériaux de construction minéraux secondaires dans la construction d’abris”, elaborado em 2006, promove a utilização de agregados reciclados no fabrico de betão. Esta aplicação é regulada em conjunto com a norma SIA 162/4: 1994 “Béton de recyclage”. São estabelecidos os requisitos a serem cumpridos pelos agregados assim como as suas condições de aplicação.

### 7.1 Agregados reciclados e suas condições de aplicação

A norma faz distinção entre dois tipos de betão com agregados reciclados, consoante o grau de exigência das suas aplicações:

- betão classificado: são utilizados agregados reciclados de betão, podendo a taxa de substituição de agregados naturais por reciclados atingir 100%; pode ser utilizado em betão armado; a especificação do betão é efectuada de forma similar à do betão com agregados naturais;
- betão não classificado: são utilizados agregados reciclados de betão e/ou alvenaria, podendo a taxa de substituição de agregados naturais por reciclados atingir 100%; a aplicação está limitada a betão simples; a especificação do betão deve conter

informação sobre os agregados reciclados e a dosagem de cimento utilizados;

De acordo com a norma, a aplicação de agregados reciclados em betão armado pré-esforçado deve ser acompanhada de testes adicionais.

Os requisitos para os agregados reciclados utilizados nestes dois tipos de betão são apresentados no Quadro 14 e as condições de aplicação no Quadro 15.

**Quadro 14 - Requisitos para os agregados reciclados (ROOS, 2002)**

Requisitos	Betão classificado	Betão não classificado
Conteúdo de contaminantes (madeira, plásticos, gesso)	$\leq 1\%$ (volume) ou $\leq 0,3\%$ (massa) sem metais	$\leq 2\%$ (volume) ou $\leq 0,5\%$ (massa) sem metais
Conteúdo de madeira	0% se o betão for usado ao ar livre	Ver acima
Material misturado	$\leq 3,0\%$	Sem limitação
Conteúdo de material betuminoso	Sem material betuminoso	$\leq 7,0\%$
Teor de sulfatos	$\leq 1,0\%$	$\leq 1,0\%$
Teor de cloretos para betão não armado	$\leq 0,12\%$	$\leq 0,12\%$
Teor de cloretos para betão armado	$\leq 0,03\%$	Aplicação não permitida

**Quadro 15 - Condições de aplicação dos agregados reciclados (Ot 70085, 2006)**

Utilização do betão			Utilização dos agregados reciclados		
			Cenário A	Cenário B	Cenário C
Betão classificado	Elementos exteriores	$\geq C25/30$	20% grossos, 20% finos	20% grossos	-
	Elementos interiores	$C30/37$		25% grossos, 20% finos	100% grossos
		$C20/30$		35% grossos, 20% finos	
	Elementos de menor importância	$C15/20$		100%	
Betão não classificado	Dosagem de cimento 150-230 kg/m <sup>3</sup>		100% de agregados de betão		
	Dosagem de cimento < 150 kg/m <sup>3</sup>		100% de agregados mistos		

São definidos 3 cenários para a utilização de agregados reciclados em betão:

- cenário A - as percentagens de incorporação de agregados a utilizar devem ser definidas pelo fornecedor de modo a respeitar as exigências de desempenho e trabalhabilidade do betão;
- cenário B - as percentagens de incorporação máximas são definidas em função das exigências de desempenho do betão; os limites apresentados asseguram que o betão fabricado com agregados reciclados apresenta características equivalentes às de um betão convencional, tanto no estado fresco como no endurecido; esta perspectiva assegura que não sejam necessárias mudanças no dimensionamento das estruturas;
- cenário C - a utilização deste tipo de betão deve ser, por enquanto, limitada a soluções não muito exigentes; na concepção e execução da estrutura, deve ter-se em conta as diferenças entre o betão com agregados reciclados e convencional, tanto no estado fresco como no endurecido; são indispensáveis ensaios preliminares seguidos de acordo com a norma SIA 162; quando o betão é produzido com 100% de incorporação de agregados reciclados, a norma prevê que se deve ter em conta as características específicas do betão fabricado, nomeadamente as diferenças existentes ao nível do módulo de elasticidade, retracção, fluência e carbonatação.

## 7.2 Apreciações finais

A norma suíça apresenta um conjunto de soluções que permitem uma elevada produção de betão com agregados reciclados. Em primeiro lugar, é prevista a produção de betão com classes de resistências tais que correspondem às necessidades do mercado actual da construção, capazes de serem utilizadas na maioria dos edifícios. Em segundo lugar, são criados diferentes cenários de aplicação, podendo ser substituída uma reduzida taxa de AP por AR não sofrendo com esse facto qualquer alteração no dimensionamento dos elementos estruturais, mas também pode ser adoptada uma elevada substituição de AP por AR, para a qual o dimensionamento da estrutura terá de ser corrigido tendo em conta as diferenças nas propriedades do betão causados pela elevada presença de AR.

A polivalência da norma suíça é atestada ainda pela possibilidade de produção de betão para fins menos exigentes, nomeadamente o betão não classificado.

## 8. CONCLUSÕES

Os documentos estudados apresentam, entre eles, similaridades e discordâncias. Ao nível da composição, as tipologias de agregados definidas, estão em consonância com as composições, ocorrendo reduzidas diferenças entre tipologias comparáveis. A presença de contaminantes ou materiais leves é tanto mais limitada quanto maior for a exigência da solução. No que toca aos requisitos dos agregados, nota-se uma homogeneidade ao nível do teor máximo de sulfatos admissível, enquanto que, relativamente aos teor de cloretos, se encontram valores dispares, variando bastante com o nível de exigência da aplicação.

As especificações estudadas apresentam, na maioria, uma filosofia conservadora, ao considerarem a utilização de agregados reciclados no fabrico de betão estrutural em condições tais que não influenciem significativamente as características do betão, quando comparado com o betão convencional. Este modo de gestão facilita a penetração dos agregados reciclados no mercado do betão mas, do ponto de vista académico, repara-se que fica aquém das possibilidades dos agregados reciclados, quando comparado com outras normas mais evoluídas. Estas admitem as diferenças nas propriedades do betão produzido com agregados reciclados mas apresentam medidas, através de coeficientes correctivos, que possibilitam lidar com as diferenças existentes nas diversas propriedades (módulo de elasticidade, retracção, fluência), decorrentes da utilização de taxas de substituição elevadas de agregados naturais por reciclados.

## 9. BIBLIOGRAFIA

Gonçalves, P. *Betão com agregados reciclados. Análise comentada da legislação existente*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

Hansen, T. *Recycling of demolished concrete and masonry*. London: E & FN SPON, Rilem report 6, 1992.

Brito, J. de *Agregados reciclados e sua influência nas propriedades dos betões*. Lição de Síntese, Provas de Agregação em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2005.

DIN 4226-100: 2002-2 *Mineral aggregates for concrete and mortar, Part 100: Recycled Aggregates*, Germany, 2002.

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb: *Richtlinie Beton mit rezykliertem*

*zuschlag*. German Committee for Reinforced Concrete; DAfStb: Guideline “Concrete with Recycled Aggregates”, Alemanha, Draft Status: July 1998.

Grübl, P.; Rühl, M. *German committee for reinforced concrete (DafStb) - code: concrete with recycled aggregate*. In: Sustainable Construction: Proceedings of the International Symposium organized by the Concrete Technology Unit, University of Dundee, UK, 1998.

Mueller, A. *Closed loop of concrete and masonry rubble*. Chair of mineral processing of building materials and reuse, Bauhaus-University Weimar, Germany, 2007.

WBTC No.12/2002 *Specifications facilitating the use of recycled aggregates*. Works Bureau Technical Circular, Hong-Kong, 2002.

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.

LNEC E 471 *Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, 2006.

CUR *Betonpuingranulaaten als toeslagsmateriaal vor beton*. Aanbeveling 4, CUR-VB, Holanda, 1984.

CUR *Betonpuingranulaaten metselwerkpuins granullat alls toeslagmeterial van beton*. Rapport 125, CUR, Holanda, 1986.

CUR *Metselwerkpuingranulaat als Toeslagsmateriaal vor Beton*. Aanbeveling 5, CUR-VB, Holanda, 1994.

Loo, W. *Closing the concrete loop - from reuse to recycling*. In DHIR, R.; HENDERSON, N; LIMBACIYA, M. (Eds.), Sustainable Construction: Use of Recycled concrete aggregate, Thomas Telford Pub., London, pp. 227-237, 1998.

Ot (Objectif technique) 70085 *Instruction technique. Utilisation de matériaux de construction minéraux secondaires dans la construction d’abris*. Suíça, 2006.

SIA 162/4 *Béton de recyclage*. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Suíça, 1994.

Roos, F. *Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus rezykliertem Gesteinskörnung nach DIN 1045-1*. Dissertation Technischen Universität München, München, 2002.