



# ESPECIFICAÇÃO LNEC

Documentação normativa

## GUIA PARA A UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS GROSSOS EM BETÕES DE LIGANTES HIDRÁULICOS

E 471 - 2009

CI/SfB

q4:p9 (Ajv)

CDU 691.327:691.322.004.8(083.74)

ISSN

0870-8592

DEZEMBRO DE 2009

Esta Especificação anula e substitui a Especificação LNEC E 471-2006.

### GUIDE POUR L'UTILISATION DES GRANULATS RECYCLÉS GROS DANS LES BÉTONS

#### OBJET

Ce document établit les exigences minimums que les granulats recyclés gros objet de la norme EN 12620 doivent satisfaire pour leur utilisation dans le béton.

### GUIDE FOR THE USE OF COARSE RECYCLED AGGREGATES IN CONCRETE

#### SCOPE

This document establishes the minimum requirements that the coarse recycled aggregates covered by EN 12620 must comply with in order to be used in concrete.

ÍNDICE	Pág.
1 OBJECTO .....	1
2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS .....	1
3 ENQUADRAMENTO GERAL .....	2
3.1 Processamento e armazenamento dos resíduos de construção e demolição .....	2
3.2 Condições gerais de utilização .....	2
3.3 Aspectos ambientais .....	2
3.4 Reacção álcalis-silica .....	3
4 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS .....	3
5 PROPRIEDADES E REQUISITOS MÍNIMOS .....	3
6 REGRAS DE APLICAÇÃO .....	3
6.1 Agregados reciclados ARB1 e ARB2 .....	3
6.2 Agregados reciclados ARC .....	6
7 CONTROLO DA QUALIDADE .....	6
8 BIBLIOGRAFIA .....	6

## 1 OBJECTO

A presente Especificação fornece recomendações e estabelece requisitos mínimos para a utilização de agregados reciclados grossos abrangidos pela norma NP EN 12620 no fabrico de betões de ligantes hidráulicos.

Os agregados reciclados a que se refere esta Especificação provêm de resíduos de obras de construção, reabilitação e demolição de edifícios ou outras estruturas de engenharia civil, adiante designados por resíduos de construção e demolição.

Esta Especificação faz parte de um conjunto de especificações LNEC – E 471, E 472, E 473 e E 474 – que estabelece as condições de utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em obras de engenharia civil.

## 2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Nesta Especificação é feita referência aos seguintes documentos normativos:

EN 933-1:1997+A1:2005 – Tests for geometrical properties of aggregates. Part 1: Determination of particle size distribution. Sieving method.

EN 933-3:1997+A1:2003 – Tests for geometrical properties of aggregates. Part 3: Determination of particle shape. Flakiness index.

EN 933-11:2009 – Tests for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate.

EN 1097-2:1998+A1:2006 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation.

EN 1097-6:2000+A1:2005 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 6: Determination of particle density and water absorption.

EN 1367-4:2008 – Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Part 4: Determination of drying shrinkage.

EN 1744-1:2009 – Tests for chemical properties of aggregates. Part 1: Chemical analysis.

EN 1744-5:2006 – Tests for chemical properties of aggregates. Part 5: Determination of acid soluble chloride salts.

EN 1744-6:2006 – Tests for chemical properties of aggregates. Part 6: Determination of the influence of recycled aggregate extract on the initial setting time of cement.

EN 12457-4:2002 – Characterisation of waste. Leaching. Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges. Part 4: One stage batch test at liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction).



EN 12620:2002+A1:2008 – Aggregates for concrete.

NP 1382:1976 – Inertes para argamassas e betões. Determinação do teor de álcalis solúveis.

NP EN 206-1:2007 – Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.

NP EN 1744-1:2000 – Ensaio das propriedades químicas dos agregados. Parte 1: Análise química.

LNEC E 461-2004 – Betões. Metodologias para prevenir reacções expansivas internas.

LNEC E 467-2006 – Guia para a utilização de agregados em betões de ligantes hidráulicos.

LNEC E 472-2009 – Guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central.

LNEC E 473-2009 – Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos.

LNEC E 474-2009 – Guia para a utilização de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte.

NOTA: A presente Especificação refere versões datadas de normas europeias e portuguesas e de especificações LNEC.

Caso não se verifiquem alterações significativas, as emendas, revisões ou reedições das normas e das especificações deverão ser adoptadas após ocorrer a sua publicação pelos organismos competentes.

Caso contrário, o LNEC procederá à revisão da presente Especificação.

### 3 ENQUADRAMENTO GERAL

De forma a poder contribuir para uma construção sustentável, a reutilização e a reciclagem de resíduos surgem cada vez mais como um imperativo nacional. Neste sentido e tendo em consideração que em Portugal se encontram em implementação políticas específicas relativas à gestão dos resíduos de construção e demolição, Decreto-Lei n.º 46/2008, importa definir os requisitos exigidos para a aplicação destes resíduos na construção, em particular como agregados reciclados grossos no fabrico de betões de ligantes hidráulicos.

Os resíduos de construção e demolição, catalogados no capítulo 17 da Lista Europeia de Resíduos, LER (Portaria n.º 209/2004), apresentam composição muito variável devido a factores tais como a sua origem e as práticas locais de construção. Esta variabilidade condiciona a valorização destes resíduos pelo que uma triagem apropriada e uma adequada selecção do processo de preparação são requisitos básicos na produção de agregados reciclados de qualidade. De contrário a variação das propriedades pode tornar impraticável a utilização dos resíduos de construção e demolição como agregados e obrigar a frequências de amostragem muito elevadas para o controlo da produção.

Por outro lado, deve evitar-se a presença de materiais que pela sua natureza sejam prejudiciais para o ambiente ou comprometam o desempenho do betão.

#### 3.1 Processamento e armazenamento dos resíduos de construção e demolição

O processamento dos resíduos de construção e demolição deve permitir a obtenção de materiais que satisfaçam tanto as exigências técnicas como as ambientais para a aplicação

prevista. Como norma geral, o aproveitamento destes materiais, ou fracção dos mesmos, é tanto maior quanto menor for a presença dos poluentes e das matérias indesejáveis. Assim, uma demolição selectiva e criteriosa tem um papel decisivo e deverá ser incentivada. Embora se trate, comparativamente com a demolição tradicional, de um processo mais moroso, as vantagens resultantes são significativas.

O processamento dos resíduos de construção e demolição pode ter lugar em centrais fixas ou em centrais móveis e inclui habitualmente quatro operações principais: triagem, redução primária, britagem e peneiração. A operação de triagem destina-se a eliminar os componentes indesejáveis (por ex.: gesso, plásticos, borrachas, madeiras, cartão, papel, metais e matéria orgânica), que prejudicam as características técnicas e ambientais do produto reciclado. Na operação seguinte, redução primária, os escombros sofrem uma redução das suas dimensões e procede-se à remoção dos materiais metálicos e outros indesejáveis ainda existentes. A britagem pode desenvolver-se em duas fases com redução progressiva das dimensões dos resíduos. Finalmente, com a peneiração obtém-se um material classificado em diferentes granulometrias, de modo a contemplar as diversas necessidades de aplicação.

Os resíduos de construção e demolição a reciclar deverão ser armazenados separadamente em função da sua origem e dos seus constituintes principais.

Poderão eventualmente utilizar-se combinações de resíduos de diferentes origens, desde que a mistura se efectue adequadamente e em condições controladas que assegurem a homogeneidade do material reciclado.

#### 3.2 Condições gerais de utilização

Os estudos de incorporação de agregados provenientes de resíduos de construção e demolição com composição maioritária de betão têm revelado melhores resultados e com menor dispersão relativamente aos agregados reciclados constituídos maioritariamente por alvenaria, motivo pelo qual se confinou a utilização destes últimos a betões sem grandes exigências, como indicado na secção 6.2.

Em betões com função estrutural, a utilização de agregados reciclados de betão, à semelhança do que se verifica noutros países [1, 2, 3], foi também objecto de algumas limitações, nomeadamente no que se refere à sua proporção no conjunto dos agregados, no sentido de evitar variações não previstas do módulo de elasticidade, da fluência, da retracção e das propriedades relacionadas com a durabilidade. No entanto, esta Especificação permite utilizar percentagens superiores às definidas, desde que sejam realizados estudos específicos, que avaliem a influência destes agregados nas propriedades relevantes para a aplicação considerada. Esta possibilidade pode tornar-se particularmente interessante no caso da pré-fabricação de determinados produtos como blocos de betão, pavés, lancis, etc.

Não foram estabelecidas na presente Especificação exigências para os agregados reciclados finos e regras para a sua aplicação dado que, em geral, possuem 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 dos betões.

### 3.3 Aspectos ambientais

Os resíduos de construção e demolição podem conter constituintes poluentes pelo que o seu poder contaminante necessita de ser avaliado.

De entre os constituintes poluentes dos resíduos de construção e demolição enumeram-se o amianto e outras fibras minerais, os metais pesados, alguns solventes e tintas e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs).

Dada a possibilidade de estes contaminantes existirem nos resíduos de construção e demolição, a sua presença deve ser minimizada através de uma adequada gestão, como indicado em 3.1.

De modo a garantir a protecção do meio ambiente e da saúde pública, foi prevista para já a realização de ensaios de lixiviação, tendo como referência o disposto na legislação portuguesa ou da Comunidade Europeia, exigindo-se a classificação de resíduos para deposição em aterro para resíduos inertes, para poderem ser usados na produção de agregados reciclados para betão.

### 3.4 Reacção álcalis-silica

De acordo com a norma BS 8500-2 [1] e em publicações do WRAP [4], os agregados reciclados são considerados como potencialmente reactivos. No entanto, estudos recentes [5] revelaram que, com excepção de agregados reciclados resultantes da regularização de pavimentos, os agregados reciclados poderiam ser classificados como não reactivos, mesmo quando provenientes de betões fabricados com agregados reactivos.

Enquanto não se dispuser de mais informação sobre o comportamento dos agregados reciclados no que se refere a esta reacção expansiva, entendeu-se conveniente manter a avaliação da reactividade dos agregados reciclados à semelhança do estabelecido para os agregados abrangidos pela Especificação LNEC E 467.

## 4 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS

A constituição dos resíduos de construção e demolição deve ser avaliada de acordo com o procedimento preconizado na EN 933-11.

Para efeitos de utilização no fabrico de betões, os agregados reciclados grossos abrangidos por esta Especificação são agrupados em três classes, ARB1, ARB2 e ARC, com base na proporção relativa dos constituintes, conforme indicado no Quadro 1.

As classes ARB1 e ARB2 são constituídas maioritariamente por betão, misturado ou não com agregados não ligados. A classe ARC (agregados reciclados compostos) tem como constituintes principais o betão, agregados não ligados, e elementos de alvenaria, não havendo exigências quanto às percentagens relativas de cada um deles.

A identificação dos agregados reciclados deverá conter no mínimo a indicação do produtor e do local de produção, a sigla da classe a que pertence e a dimensão (d/D).

## 5 PROPRIEDADES E REQUISITOS MÍNIMOS

Os agregados reciclados grossos das classes ARB1, ARB2 e ARC a utilizar no fabrico de betão devem satisfazer os requisitos estabelecidos na presente Especificação.

As propriedades, os documentos normativos para a sua determinação e os correspondentes limites que os agregados reciclados grossos deverão respeitar para poderem ser utilizados no fabrico de betões constam do Quadro 2 para todas as aplicações e do Quadro 3 para certas aplicações.

### QUADRO 1

Classificação dos agregados reciclados grossos

Classe	Proporção dos constituintes (EN 12620:2002/A1:2008)					
	$R_c$ (%)	$R_c + R_u$ (%)	$R_b$ (%)	$R_s$ (%)	$X + R_g$ (%)	FL (%)
ARB1	≥ 90		≤ 10	≤ 5	≤ 0,5	≤ 2
ARB2	≥ 70		≤ 30	≤ 5	≤ 1	≤ 2
ARC	≥ 90			≤ 10	≤ 2	≤ 2

CONSTITUINTES (EN 933-11):

- $R_c$  – betão, produtos de betão e argamassas;
- $R_u$  – agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos;
- $R_s$  – materiais betuminosos;
- $R_b$  – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolo, ladrilhos, telhas, etc.), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;
- $R_g$  – vidro;
- FL – material flutuante em volume;
- X – outros: materiais coesivos (p.ex. solos argilosos), plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos) madeira não flutuante e estuque.

Os Cadernos de Encargos poderão especificar requisitos mais exigentes do que os indicados nos Quadros 2 e 3.

## 6 REGRAS DE APLICAÇÃO

A utilização de agregados reciclados grossos no fabrico de betões de ligantes hidráulicos fica condicionada ao exposto em 6.1 e 6.2. A aplicação de agregados reciclados em condições diferentes das aí estabelecidas exige a realização de estudos específicos para avaliar a sua influência nas propriedades relevantes para o desempenho do betão.

Os agregados reciclados não podem ser utilizados em betões destinados a contactar com água para consumo humano.

### 6.1 Agregados reciclados ARB1 e ARB2

Os agregados reciclados das classes ARB1 e ARB2 podem ser usados no fabrico de betão para aplicar em elementos de betão simples ou betão armado.

Para aplicações em betão armado a proporção máxima de agregados reciclados de betão, no conjunto dos agregados, é de 25 % para os agregados da classe ARB1 e de 20 % para os agregados da classe ARB2.

Para betões simples, de enchimento ou de regularização, em ambientes não agressivos, a percentagem de incorporação não fica sujeita a qualquer limite.

## QUADRO 2

Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos agregados reciclados grossos para todas as aplicações

Propriedade	Norma de ensaio	Requisito de conformidade (segundo a NP EN 12620+A1)	Âmbito
Dimensão	EN 933-1	Satisfazer § 4.2	Todos os agregados
Granulometria	EN 933-1	Satisfazer § 4.3.2	Todos os agregados
Constituintes	EN 933-11	Satisfazer uma classe do Quadro 1 desta Especificação	Todos os agregados
Forma	EN 933-3	$FI_{35}$ (§ 4.4)	Agregados da classe ARB1
		$FI_{50}$ (§ 4.4)	Agregados da classe ARB2
		Categoria a declarar (§ 4.4)	Agregados da classe ARC
Teor de finos	EN 933-1	$f_3$ (§ 4.6)	Agregados da classe ARC
		$f_4$ (§ 4.6)	Agregados das classes ARB1 e ARB2
Resistência à fragmentação	EN 1097-2	$LA_{50}$ (§ 5.2)	Agregados da classe ARB1
		Categoria a declarar (§ 5.2)	Agregados da classe ARB2
Massa volúmica	EN 1097-6	$\geq 2000 \text{ kg/m}^3$ (§ 5.5)	Agregados da classe ARC
		$\geq 2200 \text{ kg/m}^3$ (§ 5.5)	Agregados das classes ARB1 e ARB2
Absorção de água	EN 1097-6	Absorção $\leq 7 \%$ (§ 5.5)	Agregados das classes ARB1 e ARB2
		Classe a declarar (§ 5.5)	Agregados da classe ARC
Reacções álcalis-sílica <sup>(1)</sup>	ver LNEC E 461	Classe a declarar	Todos os agregados
Estabilidade volumétrica	EN 1367-4 (Anexo A)	Retracção $\leq 0,075 \%$ (§ 5.7.2)	Todos os agregados
Teor de cloretos solúveis em ácido <sup>(2)</sup>	EN 1744-5	Valor a declarar (§ 6.2)	Todos os agregados
Teor de sulfatos solúveis em água	EN 1744-1	$SS_{0,2}$ (§ 6.3.3)	Todos os agregados
Teor de sulfatos solúveis em ácido	EN 1744-1, § 12	$AS_{0,8}$ (§ 6.3.1)	Todos os agregados
Teor de enxofre total <sup>(3)</sup>	EN 1744-1, § 11	$S \leq 1,0 \%$ (§ 6.3.2)	Todos os agregados
Constituintes orgânicos que afectam a presa e a resistência do betão <sup>(4)</sup>	EN 1744-1, § 15	Satisfazer alíneas a) e b) do § 6.4.1	Todos os agregados
Constituintes solúveis em água que afectam a presa e a resistência do betão <sup>(5)</sup>	EN 1744-6	Valor a declarar (§ 6.4.1)	Todos os agregados
Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Resíduos para deposição em aterro para resíduos inertes <sup>(6)</sup>	Todos os agregados

(1) Classe a declarar conforme LNEC E 461.

(2) Este ensaio determina o teor total de halogenetos, à excepção dos fluoretos, expresso em teor de cloretos. O teor de cloretos solúveis em ácido deverá ser somado ao dos outros constituintes do betão de forma que se verifique o estipulado na secção 5.2.7 da NP EN 206-1.

(3) Na presença de pirrotite o teor máximo de enxofre nos agregados é 0,1 %.

(4) A satisfação deste requisito pode ser verificada sequencialmente através das secções 15.1 e 15.2 da NP EN 1744-1, recorrendo-se apenas à metodologia da secção 15.2 se o resultado da anterior não for satisfatório. Na secção 15.2 deverá considerar-se como referência a cor B (Tabela 2, secção 15.2.6).

(5) Nos agregados reciclados, os constituintes que afectam a presa e a resistência do betão podem ser inorgânicos, pelo que não são detectados pelo procedimento descrito na secção 15.3 da NP EN 1744-1.

(6) A classificação baseia-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para  $L/S = 10 \text{ l/kg}$  – Secção 2.1.2.1 da Decisão do Conselho 2003/33/CE [6].

## QUADRO 3

Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos agregados reciclados grossos para certas aplicações

Propriedade	Norma de ensaio	Requisito de conformidade	Âmbito	Aplicações
Teor de álcalis	NP 1382	Valor a determinar	Todos os agregados	Betão com agregados reactivos
Contaminantes orgânicos leves	NP EN 1744-1, § 14.2	Satisfazer § G4 do Anexo G da EN 12620	Todos os agregados	Betão à vista

## QUADRO 4

Condições de aplicação

Classe de agregado reciclado	Classe de resistência	Porcentagem de incorporação	Classe de exposição ambiental <sup>(1)</sup>
ARB1	C 40/50	25 %	X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XS1, XA1 <sup>(2)</sup>
ARB2	C 35/45	20 %	

(1) Conforme definida na norma NP EN 206-1.

(2) Em fundações.

## QUADRO 5

Frequência mínima dos ensaios

Propriedade	Frequência
Dimensão	1 vez por semana
Granulometria	1 vez por semana
Constituintes	1 vez por semana
Forma	1 vez por semana
Teor de finos	1 vez por semana
Resistência à fragmentação	2 vezes por ano
Massa volúmica	1 vez por semana
Absorção de água	1 vez por semana
Reacção álcalis-silica	2 vezes por ano
Estabilidade volumétrica	2 vezes por ano
Teor de cloretos solúveis em ácido	2 vezes por ano
Teor de sulfatos solúveis em água	1 vez por semana
Teor de sulfatos solúveis em ácido	2 vezes por ano
Teor de enxofre	2 vezes por ano
Constituintes orgânicos que afectam a presa e a resistência do betão	2 vezes por ano
Outros constituintes que afectam a presa e a resistência do betão	2 vezes por ano
Libertação de substâncias perigosas	2 vezes por ano
Teor de álcalis	2 vezes por ano

Os agregados reciclados de betão só podem ser incorporados em betões de classe não superior à indicada no Quadro 4 e quando expostos às condições ambientais referidas no mesmo Quadro.

## 6.2 Agregados reciclados ARC

A utilização de agregados reciclados da classe ARC só é permitida em betões de enchimento ou de regularização, sem qualquer função estrutural, e em ambientes não agressivos. A sua utilização noutros elementos, qualquer que seja a percentagem de incorporação, deve ser sempre precedida dos estudos específicos atrás referidos.

## 7 CONTROLO DA QUALIDADE

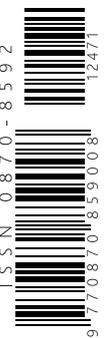
As propriedades constantes dos Quadros 2 e 3 devem ser verificadas pelo produtor com as frequências mínimas indicadas no Quadro 5.

A frequência mínima de ensaio pode ser reduzida nas condições previstas no Anexo H da EN 12620, nomeadamente se os cuidados colocados na triagem dos resíduos o permitirem, devendo no entanto ser aumentada se a variação da composição dos agregados reciclados o justificar ou se os valores obtidos para as propriedades se encontrarem próximos dos limites fixados.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- [1] BS 8500-2: 2002 – “Concrete. Complementary British Standard to BS EN 206-1. Specification for constituent materials and concrete”. British Standards Institution, 2002.
- [2] DIN 4226-100: 2002 – “Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel - Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen”, 2002.
- [3] “Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados”. Projecto de Regulamento para a Utilização de Agregados Reciclados em Espanha.
- [4] Collins, R. J. *et. al.* – “Improving Specifications for Use of Recycled and Secondary Aggregates in Construction”. DTI/WRAP Aggregates Research Programme STBF 13/6C. The Waste and Resources Action Programme, UK, June 2004.
- [5] Dhir, R.K. *et. al.* – “ASR Guidance on Recycled Aggregates – Guidance on Alkali Limits and Reactivity”. DTI/WRAP Aggregates Research Programme STBF 13/14C. The Waste and Resources Action Programme, UK, May 2005.
- [6] Decisão do Conselho 2003/33/CE – Jornal Oficial das Comunidades Europeias L11, de 16 de Janeiro de 2003.





Descritores: Agregado para betão / Agregados grossos / Reciclagem de materiais  
Descriptors: Aggregate for concrete / Coarse aggregates / Recycled materials