



# ESPECIFICAÇÃO LNEC

Documentação normativa

## GUIA PARA A UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CAMADAS NÃO LIGADAS DE PAVIMENTOS

E 473 - 2009

CI/SfB

p/s (Ajr)

CDU 691.322.004.8:625.7/.8(083.74)

ISSN

0870-8592

DEZEMBRO DE 2009

Esta Especificação anula e substitui a Especificação LNEC E 473-2006.

### GUIDE POUR L'APPLICATION DES GRANULATS RECYCLÉS DANS LES COUCHES DE CHAUSSÉES NON LIÉES

#### OBJET

Ce document établit les exigences que les granulats recyclés objet des EN 13242+A1 et EN 13285 doivent satisfaire pour leur utilisation dans les couches fondation et de base non liées.

### GUIDE FOR THE USE OF RECYCLED AGGREGATES IN UNBOUND PAVEMENT LAYERS

#### SCOPE

This document establishes the requirements that recycled aggregates covered by EN 13242+A1 and EN 13285 must comply with in order to be used in unbound sub-base and base pavement layers.

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 Aspectos ambientais .....	2
4 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS .....	2
5 PROPRIEDADES E REQUISITOS MÍNIMOS .....	2
6 REGRAS DE APLICAÇÃO .....	3
7 CONTROLO DA QUALIDADE .....	3
8 BIBLIOGRAFIA .....	4

## 1 OBJECTO

A presente Especificação fornece recomendações e estabelece requisitos mínimos para a utilização de agregados reciclados, abrangidos pela EN 13242+A1, em camadas não ligadas (base e sub-base) de pavimentos rodoviários, conforme previsto na EN 13285.

Os agregados reciclados a que se refere esta especificação provêm de resíduos de obras de construção, reabilitação ou demolição de edifícios, infra-estruturas de transportes ou outras estruturas de engenharia civil, adiante designados por resíduos de construção e demolição. Estes agregados podem ser constituídos por betões britados, agregados provenientes de camadas de pavimento não ligadas, alvenarias e misturas betuminosas.

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 distribution. Sieving method.

EN 933-5:1998+A1:2004 – Tests for geometrical properties of aggregates. Part 5: Determination of percentage of crushed and broken surfaces in coarse aggregate particles.

EN 933-9:2009 – Tests for geometrical properties of aggregates. Part 9: Assessment of fines. Methylene blue test.

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

EN 1097-1:1996+A1:2003 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 1: Determination of the resistance to wear (micro-Deval).

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

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 13242:2002+A1:2007 – Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction.

EN 13825:2003 – Unbound mixtures. Specification.



LNEC E 471-2009 – Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos.

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

LNEC E 474-2009 – Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e em 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 dirigidas 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 em camadas de base e sub-base não ligadas de pavimentos rodoviários.

Os resíduos de construção e demolição, catalogados no capítulo 17 da Lista Europeia de Resíduos, LER (Portaria nº 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 de um 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 das camadas não ligadas dos pavimentos.

No caso particular de resíduos de misturas betuminosas, estes não podem conter alcatrão.

#### 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 (p. ex.: gesso, plásticos, borrachas, madeiras, cartão e 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 ainda existentes, ou outros indesejáveis. 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 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 destes materiais como resíduos para deposição em aterro para resíduos inertes para poderem ser usados na produção de agregados reciclados para camadas não ligadas de pavimentos.

Sempre que, nos resíduos de misturas betuminosas, haja suspeita da existência de alcatrão, deverá proceder-se à realização de ensaios com vista à despistagem deste produto.

### 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+AC:2009.

Para efeitos de utilização em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, os agregados reciclados abrangidos por esta Especificação são agrupados em duas classes (B ou C), em função dos constituintes dos resíduos e em três categorias (AGER1, AGER2 e AGER3), de acordo com as suas propriedades geométricas e físicas. No Quadro 1 apresenta-se a classificação dos agregados reciclados de acordo com a sua constituição e atendendo às categorias estabelecidas na EN 13242+A1.

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

### 5 PROPRIEDADES E REQUISITOS MÍNIMOS

Os agregados a utilizar em camadas não ligadas de base e de sub-base para pavimentos rodoviários devem obedecer aos requisitos de granulometria definidos no Quadro 2, de acordo

com o estabelecido na EN 13285. Nesse Quadro, apresentam-se ainda as propriedades e requisitos mínimos, e as respectivas normas de ensaio a que os agregados reciclados das categorias AGER1, AGER2 e AGER3 devem satisfazer, tendo em atenção o estabelecido na EN 13242+A1 e na EN 13285.

**QUADRO 1**  
Classificação dos agregados

Classe	Proporção dos constituintes EN 13242:2002+A1:2007					
	$R_c + R_u + R_g$	$R_g$	$R_b$	$R_a$	FL	X
B	$\geq 90$	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 1$
C	$\geq 50$	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 30$	$\leq 5$	$\leq 1$

CONSTITUINTES (EN 933-11):

- $R_c$  – betão, produtos de betão e argamassas;
- $R_u$  – agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;
- $R_g$  – 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;
- $R_a$  – 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 materiais que não satisfaçam os requisitos previstos na presente especificação poderão vir a ser utilizados, desde que o seu adequado desempenho seja comprovado através da realização de estudos específicos.

Os Cadernos de Encargos poderão especificar requisitos mais exigentes do que os indicados no Quadro 2, ou limitar o campo de aplicação constante do Quadro 3.

## 6 REGRAS DE APLICAÇÃO

Os agregados reciclados de granulometria extensa das categorias AGER1, AGER2 ou AGER3 podem, em geral, ser utilizados em camadas de sub-base e de base de pavimentos rodoviários, de acordo com os campos de aplicação recomendados no Quadro 4.

Ficam excluídas da presente Especificação as aplicações destes materiais com ligantes hidráulicos ou outros. Este tipo de utilização deve estar sujeito a estudos específicos que permitam demonstrar a sua adequação aos objectivos perseguidos em cada caso.

A aplicação dos agregados reciclados em camadas de base e de sub-base pode exigir a sua mistura com agregados naturais tendo em vista a sua correcção granulométrica, ou a obtenção de misturas obedecendo aos restantes requisitos mínimos exigidos.

**QUADRO 2**

Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados para aplicação em camadas não ligadas de pavimentos

Requisitos de conformidade			Agregados reciclados		
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	AGER1 B ou C	AGER2 B ou C	AGER3 B
Geométricos e de natureza	Dimensão	EN 13285	0/31,5	0/31,5	0/31,5
	Sobretamanhos (EN 933-1+A1)	EN 13285	OC <sub>75</sub>	OC <sub>80</sub>	OC <sub>85</sub>
	Classe de granulometria (EN 933-1+A1)	EN 13285	G <sub>B</sub>	G <sub>B</sub>	G <sub>A</sub>
	Teor de finos (EN 933-1+A1)	EN 13285	UF <sub>9</sub> LF <sub>2</sub>	UF <sub>9</sub> LF <sub>2</sub>	UF <sub>9</sub> LF <sub>2</sub>
	Qualidade dos finos (EN 933-9)*	EN 13242+A1	MB <sub>0/D</sub> ≤ 1,0	MB <sub>0/D</sub> ≤ 0,8	MB <sub>0/D</sub> ≤ 0,8
	Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (EN 933-5)	EN 13242+A1	C <sub>50/30</sub>	C <sub>50/10</sub>	C <sub>90/3</sub>
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação e resistência ao desgaste (EN 1097-2 e EN 1097-1)	EN 13242+A1	LA <sub>45</sub> e MDE <sub>45</sub> ou LA+MDE ≤ 85	LA <sub>40</sub> e MDE <sub>40</sub> ou LA+MDE ≤ 75	LA <sub>40</sub> e MDE <sub>35</sub> ou LA+MDE ≤ 70
Químicos	Teor de sulfatos solúveis em água (EN 1744-1)**	EN 13242+A1	SS <sub>0,7</sub>	SS <sub>0,7</sub>	SS <sub>0,7</sub>
	Libertação de substâncias perigosas (EN 12457-4)	–	Classificação como resíduos para deposição em aterro de resíduos inertes***		

\* MB<sub>0/D</sub> – Valor do azul de metileno expresso em g/kg segundo a norma de ensaio (EN 933-9) multiplicado pela percentagem da fracção passada no peneiro de 2 mm.

\*\* Para teores de sulfatos superiores a 0,2%, estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de betão.

\*\*\* A classificação baseia-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para L/S = 10 l/kg – Secção 2.1.2.1 da Decisão do Conselho 2003/33/CE.

## QUADRO 3

Campo de aplicação dos agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos

Categoria	AGER1		AGER2		AGER3
Classe	C	B	C	B	B
Aplicação em camadas de sub-base – TMDp	≤ 50	≤ 150	≤ 150	≤ 300	≤ 300
Aplicação em camadas de base – TMDp	NR	≤ 150	≤ 150	≤ 150	≤ 300

TMDp – Tráfego médio diário de pesados por via

NR – Não recomendado

## 7 CONTROLO DA QUALIDADE

As propriedades constantes dos Quadros 1 e 2 devem ser verificadas pelo produtor com as frequências mínimas indicadas no Quadro 4.

A frequência mínima de ensaio pode ser reduzida nas condições previstas no Anexo C da EN 13242+A1, 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.

No início da construção das camadas não ligadas deverá proceder-se à execução de trechos experimentais, onde serão determinados os procedimentos e os valores de referência para a compactação. De preferência, para além dos ensaios tradicionais de controlo de compactação, deverão ainda ser realizados ensaios mecânicos *in situ*, após a colocação e compactação do material, nas condições de estado consideradas adequadas, com vista a uma avaliação global do desempenho do mesmo.

Deve-se proceder à realização de ensaios sobre os materiais e sobre a camada final com as frequências mínimas especificadas nos Cadernos de Encargos. Estas frequências de realização dos ensaios podem ser ajustadas por indicação da fiscalização ou do dono de obra, dependendo da variabilidade das características dos materiais aplicados.

## QUADRO 4

Frequência mínima dos ensaios

Propriedade	Frequência
Granulometria	1 vez por semana
Constituintes	1 vez por mês
Forma	1 vez por mês
Qualidade dos finos	1 vez por semana
Resistência à fragmentação	2 vezes por ano
Resistência ao desgaste	2 vezes por ano
Massa volúmica	1 vez por mês
Absorção de água	1 vez por mês
Teor de sulfatos solúveis	1 vez por mês
Libertação de substâncias perigosas	2 vezes por ano

## 8 BIBLIOGRAFIA

- [1] "Graves de recyclage – Graves recyclées de démolition et mâchefer", Guide d'utilisation en travaux publics, Version 2, 2005.
- [2] "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG3)". Espanha, 1999.
- [3] "The use of asphalt arising as Type 4 sub-base" TRL Report TRL591, Highways Agency, 2004.
- [4] Specification for Highway Works – "Road Pavements – Unbound, Cement and other hydraulically bound materials", Series 800, Volume 1, November 2004.
- [5] Specification for Highway Works – Notes for Guidance on the Specifications for Highway Works – "Road Pavements – Unbound, Cement and other hydraulically bound materials", Series NG800, Volume 2, November 2005.
- [6] Decisão do Conselho 2003/33/CE – Jornal Oficial das Comunidades Europeias L11, de 16 de Janeiro de 2003.

Descritores: Agregado para estradas / Camada do pavimento / Pavimento rodoviário / Reciclagem de materiais

Descriptors: Aggregate for roads / Pavement layer / Roads pavement / Recycled materials

