



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ESPECIFICAÇÃO LNEC

Documentação normativa

Carlos Manuel Martins
Secretário de Estado do Ambiente

Homologado
Carlos Manuel Martins

483060
E 483
CI/SEB
Gülherme d'Oliveira Martins
Secretário de Estado das Infraestruturas
CDU 691.322.004.8.625.718(083.74)
ISSN 0870-8592
SETEMBRO DE 2016

GUIA PARA A UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DE MISTURAS BETUMINOSAS RECUPERADAS PARA CAMADAS NÃO LIGADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

ÂMBITO

A presente Especificação LNEC fornece recomendações e estabelece requisitos mínimos para a utilização de agregados reciclados com proporções de misturas betuminosas recuperadas superiores a 30%, 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 obras de conservação, reabilitação e demolição de pavimentos rodoviários e aeroportuários e de outras áreas pavimentadas. Estes agregados reciclados são constituídos por misturas betuminosas britadas ou fresadas das camadas de pavimentos, podendo ser aplicados isoladamente ou combinados com outros agregados reciclados ou com agregados naturais.

As aplicações destes materiais com ligantes hidráulicos ou outros ficam excluídas desta Especificação.

GUIDE FOR THE USE OF RECYCLED AGGREGATES FROM RECLAIMED ASPHALT FOR UNBOUND ROAD PAVEMENT LAYERS

SCOPE

The present LNEC Specification provides recommendations and defines minimum requirements for the use of recycled aggregates with proportions of reclaimed asphalt greater than 30 %, covered by EN 13242+A1, in unbound pavement layers (base and sub-base), taking also into consideration EN 13285.

The recycled aggregates referred to in this Specification come from maintenance, rehabilitation and demolition of road and airport pavements and other paved areas. These aggregates consist of milled or crushed pavement layers, and may be applied singly or in combination with recycled aggregates or with natural aggregates.

The applications of these materials with hydraulic binders or other are excluded from this Specification.

GUIDE POUR L'APPLICATION DES GRANULATS RECYCLÉS RÉSULTANT DE MÉLANGES BITUMINEUX RECYCLÉES POUR DES COUCHES DE CHAUSSÉES NON LIÉES

OBJET

Cette Spécification LNEC présente des recommandations et établit les exigences minimales pour l'utilisation des granulats recyclés avec proportions de matériaux bitumineux récupérés supérieurs à 30 %, couverts par la EN 13242+A1, dans les couches non liées (la base et la sous-base), considérant aussi la EN 13285.

Les granulats recyclés visés dans la présente Spécification proviennent des travaux de maintien, réhabilitation et démolition de chaussées routières et aéroportuaires et d'autres zones pavées. Ces agrégats sont constitués par des matériaux granulaires provenant du fraisage ou du concassage d'enrobés bitumineux de couches de chaussées, susceptibles d'être utilisés seuls ou en combinaison avec d'autres granulats recyclés ou avec des granulats naturels.

Les applications de ces matériaux avec des liants hydrauliques ou d'autres sont exclues de cette Spécification.

ÍNDICE

| | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|--|---|
| 1 | Introdução | 2 | 5 | Classificação dos agregados reciclados | 3 |
| 2 | Referências normativas | 2 | 6 | Propriedades e requisitos mínimos | 3 |
| 3 | Processamento e armazenamento | 2 | 7 | Condições de aplicação | 3 |
| 4 | Aspetos ambientais | 3 | 8 | Controlo da qualidade | 4 |
| | | | 9 | Bibliografia | 5 |



1 INTRODUÇÃO

A presente Especificação faz parte do conjunto de Especificações LNEC (E 471, E 472, E 473, E 474, E 484 e E 485) que estabelece as condições de utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) em obras de engenharia civil, permitindo assim minimizar o recurso a matérias-primas primárias e contribuir para a sustentabilidade na construção.

Esta Especificação incide sobre a utilização de agregados reciclados maioritariamente constituídos por misturas betuminosas recuperadas, abrangidos pela EN 13242+A1, em camadas não ligadas (base e sub-base) de pavimentos rodoviários. Salienta-se que estes agregados têm obrigatoriamente de ter aposta a marcação CE, de acordo com o disposto na referida norma.

Nesta Especificação, após se referirem as boas práticas de processamento e armazenamento dos RCD e os aspetos ambientais relevantes, procede-se à classificação dos agregados provenientes de RCD com base na sua constituição. Tendo em vista as condições de aplicação, é depois estabelecida a respetiva categoria, para a qual se indicam as propriedades a serem avaliadas, os correspondentes requisitos mínimos e a frequência da sua verificação.

Numa perspetiva de ciclo de vida e de acordo com o estado do conhecimento atual, os impactes gerados na reciclagem a quente em central de misturas betuminosas recuperadas são inferiores aos gerados na utilização de misturas betuminosas recuperadas como agregados em camadas não ligadas de pavimentos. Assim, recomenda-se que se verifique se os materiais cumprem os requisitos estabelecidos na Especificação LNEC E 472 antes de optar pelo seu uso em camadas não ligadas de pavimentos.

A presente Especificação baseia-se em resultados obtidos no Projeto SUPREMA – *Aplicação Sustentável de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Infra-estruturas Rodoviárias* (PTDC/ECM/100931/2008) [1].

2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Nesta Especificação é feita referência aos seguintes documentos normativos:

NP EN 933-1:2014-pt – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica – Método da peneiração.

NP EN 933-5:2010-pt – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 5: Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nas partículas dos agregados grossos.

NP EN 933-11: 2011-pt – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos reciclados.

NP EN 1097-2:2011-pt – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação.

EN 933-9:2009+A1:2013-en – Tests for geometrical properties of aggregates. Part 9: Assessment of fines – Methylene blue test.

EN 1744-1:2009+A1:2012-en – Tests for chemical properties of aggregates. Part 1: Chemical analysis.

EN 12457-4:2002-en – Characterisation of waste. Leaching –

Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges. Part 4: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with high solid content and with particle size below 10 mm (without or with size reduction).

EN 12697-1:2012-en – Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 1: Soluble binder content.

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

EN 13285:2010-en – Unbound mixtures. Specifications.

prEN 16236:2015-en – Evaluation of conformity of aggregates – Initial type testing and factory production control.

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

LNEC E 472-2009 – Guia para a reciclagem de misturas betuminosas 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 materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e em camada de leito de infraestruturas de transporte.

LNEC E 484-2016 – Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em caminhos rurais e florestais.

LNEC E 485-2016 – Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em preenchimento de valas.

NOTA: As versões finais, as emendas, as revisões ou as reedições das normas e das especificações, que não contemplem alterações relevantes relativamente às versões aqui referenciadas, consideram-se aplicáveis à presente Especificação; caso contrário, proceder-se-á à revisão desta Especificação.

3 PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO

O processamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) deve permitir a obtenção de materiais que satisfaçam quer as exigências técnicas quer as ambientais para a aplicação prevista. Como regra geral, o aproveitamento dos RCD, ou de fração dos mesmos, é tanto maior quanto menor for a presença de poluentes e de materiais indesejáveis. Assim, uma demolição seletiva e criteriosa tem um papel decisivo e deve ser incentivada.

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

O processamento dos RCD pode ter lugar em centrais fixas ou em centrais móveis e compreende, geralmente, quatro operações principais: triagem, redução primária, britagem e peneiração. A operação de triagem destina-se a segregar os constituintes indesejáveis, que prejudicam as características técnicas e ambientais do material processado. Os RCD com amianto devem ser segregados e identificados de acordo com a respetiva marcação regulamentada.

Na operação seguinte, a redução primária, os escombros sofrem uma redução das suas dimensões e procede-se de novo à remoção dos constituintes 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 materiais resultantes do processamento de RCD devem ser armazenados separadamente em função da sua origem e dos seus constituintes principais. No caso específico de pilhas constituídas por misturas betuminosas recuperadas pode ocorrer a aglutinação das partículas, especialmente quando a temperatura ambiente é elevada ou quando o material é armazenado durante longos períodos. Por estas razões não devem ser armazenados por períodos superiores a 12 meses, recomendando-se que sejam protegidos da ação direta dos raios solares. É importante que o armazenamento destes materiais seja efetuado em função da dimensão das partículas (d/D), sendo conveniente que a sua caracterização se realize em data imediatamente anterior à sua aplicação [2, 3].

4 ASPETOS AMBIENTAIS

De um modo geral, os resíduos de construção e demolição (RCD) podem conter constituintes poluentes pelo que o seu poder contaminante necessita de ser avaliado.

De entre os constituintes potencialmente poluentes dos RCD enumeram-se os metais pesados, os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) e o amianto.

De modo a garantir a proteção do ambiente e da saúde pública, considera-se necessária a realização de ensaios de lixiviação, exigindo-se a respetiva classificação como resíduos para deposição em aterro para resíduos inertes para poderem ser usados na produção de agregados reciclados para camadas não ligadas de pavimentos [4].

No caso particular de resíduos das misturas betuminosas recuperadas, sempre que haja suspeita da existência de alcatrão deve proceder-se à realização de ensaios com vista à despistagem da presença desta substância perigosa, dado conter elevados teores de HAP.

No que respeita ao amianto, quando houver suspeição da sua ocorrência, deve igualmente proceder-se à realização de ensaios com vista à despistagem da presença desta substância perigosa.

Caso seja confirmada a presença de alcatrão ou de amianto nos RCD, estes não podem ser utilizados, por serem classificados como resíduos perigosos.

5 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS

A classificação dos constituintes dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) deve ser avaliada de acordo com o procedimento preconizado na NP EN 933-11.

Para efeitos de utilização em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, os agregados reciclados abrangidos por esta Especificação são agrupados numa classe única, RAP, com base na proporção relativa dos seus constituintes, apresentada no Quadro 1.

A identificação dos agregados reciclados deve conter no mínimo a indicação do produtor, do local de produção, a classe (Quadro 1) e a dimensão (d/D).

QUADRO 1

Classificação dos agregados reciclados

| Classe | Proporção dos constituintes EN 13242+A1 | | | | |
|--------|---|-----------------------|--------------|-----------------------------|-------|
| | R_v (%) | $R_c + R_n + R_g$ (%) | R_f (%) | F_L (cm ³ /kg) | X (%) |
| RAP | ≤ 5 | ≤ 40 | > 30 e ≤ 100 | ≤ 5 | ≤ 1 |

Constituintes (NP EN 933-11):

R_v vidro

R_c betão, produtos de betão e argamassas

R_n agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos

R_g materiais betuminosos

F_L material flutuante em volume

X outros: materiais coesivos (p ex. solos argilosos), plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque

6 PROPRIEDADES E REQUISITOS MÍNIMOS

Os agregados reciclados a utilizar em camadas não ligadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários devem obedecer aos requisitos de granulometria definidos no Quadro 2, de acordo com o estabelecido na norma EN 13285. No Quadro 2 apresentam-se ainda as propriedades e requisitos mínimos, e as respetivas normas de ensaio a que os agregados reciclados devem satisfazer, tendo em atenção o estabelecido nas normas EN 13242+A1 e EN 13285. Os Cadernos de Encargos podem especificar requisitos mais exigentes do que os indicados no Quadro 2 ou limitar o campo de aplicação constante do Quadro 3.

7 CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO

Os agregados reciclados de granulometria extensa podem, em geral, ser utilizados como agregados não ligados em camadas de sub-base e de base de pavimentos rodoviários. A aplicação destes agregados pode exigir a mistura com agregados naturais, tendo em vista a sua correção granulométrica ou a obtenção de misturas obedecendo aos restantes requisitos mínimos exigidos.

A mistura de agregados resultantes da britagem ou fresagem das misturas betuminosas deve ser transportada, colocada e compactada sem secagem prévia ou segregação, com um teor em água¹ situado no intervalo entre 1% acima e 2% abaixo do teor em água ótimo [2], quando determinado tal como exigido pela EN 13285. Efetivamente, quando secos, estes agregados apresentam uma resistência considerável à compactação, em resultado da fricção da película de betume que envolve os agregados. A adição de água reduz a fricção entre as partículas permitindo uma compactação adequada.

A aplicação de taxas elevadas de incorporação de agregados provenientes de misturas betuminosas britadas ou fresadas pode dar origem a cavados de rodeiras, se não forem tidos em consideração alguns cuidados nos processos construtivos. Assim, o material deve ser colocado em camadas finas, preferencialmente com espessuras entre 8 cm e 15 cm, e, em seguida, compactado, usando equipamentos com aplicação de baixas frequências e alta amplitude para obter uma boa compactação em profundidade [3]. A recomposição com agregados naturais pode, também, minimizar as referidas deformações. Não é recomendado o uso destes agregados reciclados quando forem esperadas tensões estáticas elevadas, pois pode aumentar o risco de deformação permanente.

1 O teor em água é determinado por secagem em estufa a uma temperatura entre 45 °C e 50 °C [5].

QUADRO 2

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

| Parâmetros geométricos | | |
|--|-------------|--|
| Dimensão (NP EN 933-1) | EN 13285 | 0/31,5 |
| Sobretamanhos (NP EN 933-1) | EN 13285 | OC ₇₅ |
| Classe de granulometria (NP EN 933-1) | EN 13285 | C _p |
| Teor de finos (NP EN 933-1) | EN 13285 | UF ₅ |
| Qualidade dos finos (EN 933-9) ^{1,2} | EN 13242+A1 | MB _{0,075} ≤ 0,8 |
| Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (NP EN 933-5) | EN 13242+A1 | C _{90/3} |
| Parâmetros físicos | | |
| Resistência à fragmentação (NP EN 1097-2) | EN 13242+A1 | LA ₄₀ |
| Parâmetros químicos | | |
| Teor em betume (EN 12697-1) | - | ≤ 8% |
| Teor de sulfatos solúveis em água (EN 1744-1) ³ | EN 13242+A1 | SS _{0,7} |
| Libertação de substâncias perigosas (EN 12457-4) ⁴ | - | Classificação como resíduos para deposição em aterro para resíduos inertes |

1 MB_{0,075} – o valor do azul de metileno expresso em g/kg segundo a norma de ensaio (EN 933-9), multiplicado pela percentagem da fração passada no peneiro de 2 mm.

2 Esta avaliação apenas deve ser realizada se o teor máximo em finos for superior a 3%.

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

4 A classificação baseia-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para L/S = 10 l/kg – Tabela N.º 2 da Parte B do Anexo IV do Decreto-Lei 183/2009 [Secção 2.1.2.1, da Decisão do Conselho 2003/33/CE]. De referir que, caso seja possível verificar que os agregados reciclados cumprem as condições relativas a RCD selecionados constantes da nota à Tabela n.º 1, da Parte B, do Anexo IV, do Decreto-Lei 183/2009, não é necessário avaliar a libertação de substâncias perigosas.

QUADRO 3

Campo de aplicação dos agregados reciclados em camadas de sub-base e de base de pavimentos

| Categoria | Classe |
|---|------------------|
| Aplicação em camadas de sub-base e de base – TMDp ≤ 150 | RAP ¹ |

1 Os agregados reciclados com R ≥ 80% devem ser misturados com outros agregados reciclados ou agregados naturais numa percentagem não inferior a 20%.

TMDp – Tráfego médio diário de pesados por via

Além das questões anteriormente referidas relativamente aos cuidados a observar durante a compactação, há ainda que ter em consideração o teor de betume nos agregados reciclados provenientes de misturas betuminosas britadas ou fresadas, já que pode ter influência na estabilidade do pavimento. Assim, se o teor de betume do material

se situar entre 2% e 8%, sendo este teor determinado de acordo com a EN 12697-1, recomenda-se uma espessura máxima das camadas não ligadas de 20 cm. Para agregados reciclados com teor de betume recuperado inferior a 2% é esperado um comportamento similar ao dos agregados naturais [2].

8 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+A1², nomeadamente se os cuidados colocados na triagem dos resíduos o permitirem, devendo no

² As frequências estabelecidas no Anexo C da EN 13242+A1 devem ser substituídas pelas frequências constantes da norma europeia decorrente do prEN 16236:2015-en – Evaluation of conformity of aggregates – Initial type testing and factory production control, quando da sua entrada em vigor.

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.

QUADRO 4

Frequência mínima dos ensaios

| Propriedade | Frequência |
|-------------------------------------|------------------|
| Granulometria | 1 vez por semana |
| Constituintes | 1 vez por mês |
| Qualidade dos finos | 1 vez por semana |
| Resistência à fragmentação | 2 vezes por ano |
| Teor de sulfatos solúveis | 1 vez por mês |
| Libertação de substâncias perigosas | 2 vezes por ano |
| Teor em betume | 1 vez por mês |

Antes do início da construção das camadas de sub-base e de base deve proceder-se à execução de trechos experimentais, onde serão definidos os procedimentos para espalhamento e aplicação dos agregados reciclados, bem como os valores de referência para a compactação, decorrentes do estabelecimento das características técnicas e do número de passagens dos cilindros de compactação. De preferência, para além dos ensaios tradicionais de controlo de compactação, devidamente validados no campo, devem ser realizados ensaios mecânicos no campo, após a colocação e compactação do material, nas condições de estado consideradas adequadas, com vista a uma avaliação global do seu desempenho [6].

Deve-se proceder à realização de ensaios sobre os materiais e sobre a camada final com as frequências mínimas especificadas nos Cadernos de Encargos, tendo em consideração as propriedades estudadas.

Estas frequências de realização dos ensaios podem ser ajustadas por indicação da fiscalização ou do dono de obra, nomeadamente, em consequência da variabilidade das características dos agregados aplicados.

9 BIBLIOGRAFIA

- [1] LNEC – "SUPREMA - Aplicação sustentável de resíduos de construção e demolição (RCD) em infraestruturas rodoviárias". Relatório de progresso do projecto PTDC/ECM/100931/208 - Ano 3, Relatório LNEC 159/2013 – DT/NIRA.
- [2] Steel, D. P. *et al.* – "The use of asphalt arisings as Type 4 sub-base". *TRL Report TRL 591*, ISSN 0968-4107, 2004.
- [3] Thøgersen, F. *et al.* – "Recycling of road materials into new unbound road layers – Main practice in selected European countries". *Road Materials and Pavement Design*, 14, pp. 438-444, 2013.
- [4] Böhmer, S. *et al.* – "Aggregates case study". In: Umweltbundesamt (Ed.) Final Report referring to Contract n° 150787-2007 F1SC-AT "Aggregates Case Study – Data Gathering", 2008.
- [5] Kalman, B. *et al.* – "Life cycle assessment of recycled asphalt. Re-road – End of life strategies of asphalt pavements". Deliverable 3.4, 2012.
- [6] Hope, P. E. *et al.* – "Feasibility of reclaimed asphalt pavement (RAP) use as road base and subbase material". Final Report VCTIR 15-R6, Virginia Center For Transportation Innovation and Research, 2015.

NOTA: A presente Especificação resulta de um estudo desenvolvido pelo LNEC, no âmbito de um contrato com a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P..

Descritores: Pavimento rodoviário / Camada do pavimento / Agregados de detritos de obras / Agregados para estradas / Reciclagem de materiais /
/ Mistura betuminosa / Demolição de obras / Guia / Especificação

Descriptors: Road pavement / Pavement layer / Construction waste aggregates / Road aggregates / Recycled materials / Asphalt / Demolition waste /
/ Guide / Specification