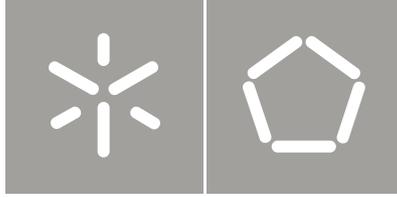




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Mafalda Margarida Mesquita Rodrigues

“Guia para a Utilização de Resíduos
de Construção e Demolição em
Vias Municipais e Rurais e em Valas”



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Mafalda Margarida Mesquita Rodrigues

“Guia para a Utilização de Resíduos
de Construção e Demolição em
Vias Municipais e Rurais e em Valas”

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Urbana
especialização em infraestruturas viárias

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor António Gomes Correia

e co-orientação do
Investigador António José Roque

DECLARAÇÃO

Nome :Mafalda Margarida Mesquita Rodrigues

Endereço eletrónico: mafalda.mmr@gmail.com Telefone: 936216464

Número do Bilhete de Identidade: 11435686

Título dissertação:

“Guia para a Utilização de Resíduos de Construção e Demolição em Vias Municipais e Rurais e em Valas”

Orientador:

Professor António Gomes Correia

Co-orientador: Investigador António José Roque

Ano de conclusão: 2013

Designação do Mestrado:

Mestrado em Engenharia Urbana, especialização em infraestruturas viárias

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respectiva, deve constar uma das seguintes declarações:

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

“O que acontece aqui, neste estádio, não é um jogo.

Não há duas equipas, mas toda a humanidade.

Não há vencedores nem vencidos,

todos vamos vencer ou ser vencidos

consoante o futuro que construirmos”

Christiana Figueres

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha Madrinha.

Embora não estejas presente, sei que sempre me acompanhas.

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que esta dissertação fosse realizada. A todos, deixo aqui o meu sincero agradecimento.

Ao meu orientador Professor António Gomes Correia, agradeço os seus ensinamentos, o apoio sempre demonstrado e as suas palavras de motivação que em muito contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Ao meu Co-Orientador Investigador António José Roque, pela disponibilidade e orientação que demonstrou ao longo deste percurso.

À Eng.^a Cândida Martins e ao Eng.^o Acácio Peres, técnicos da Câmara Municipal de Montemor-O-Novo, pela sua disponibilidade e pelos dados fornecidos aquando da visita ao município.

Ao Eng.^o António Martinho, ao Eng.^o Fernando Martins, ao Eng.^o João Madeira e à Arquitecta Sofia Almeida do Empreendimento TroiaResort, pela sua disponibilidade e todos os dados fornecidos durante a visita realizada ao empreendimento.

À empresa Domingos da Silva Teixeira (dst), na pessoa do Eng.^o José Teixeira, pela oportunidade dada em frequentar este mestrado, mas também, porque foi no decorrer do meu trabalho diário nesta empresa que ganhei o gosto e a curiosidade pelos RCD.

À Eng.^a Fabíola Costa, amiga e colega de guerra, pelo seu companheirismo durante este longo e árduo percurso, mas principalmente pela sua amizade.

Aos meus amigos que me acompanharam e sempre me encorajaram nos momentos em que mais precisava.

Ao Nuno pela sua enorme paciência, apoio, e sempre incondicional ajuda.

Aos meus irmãos, Manuel, Catarina e Fernando por estarem sempre ao meu lado e sem eles tudo era mais difícil.

Aos meus Pais, pelo seu total apoio e porque lhes devo tudo o que sou hoje.

“Guia para a Utilização de Resíduos de Construção e Demolição em Vias Municipais e Rurais e em Valas”

Resumo

A minimização do consumo de recursos naturais não renováveis para a produção de materiais de construção é considerada como um dos fatores essenciais para atingir a sustentabilidade no setor. A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) como material de construção é uma forma eficiente de alcançar este propósito. Adotar e implementar este princípio é particularmente relevante para um tipo de indústria que consome mais matérias-primas que qualquer outra atividade económica e dá origem a cerca de 7,5 milhões de toneladas de RCD em Portugal.

A construção de infraestruturas rodoviárias pode permitir a reciclagem de significativos volumes de RCD, uma vez que requer grandes quantidades de materiais para a sua construção. Em Portugal, a utilização de RCD neste tipo de obra é regida pelas especificações LNEC E 473 e LNEC E 474, em cumprimento do disposto no Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de março. As propriedades e os requisitos mínimos que estas especificações definem para os materiais reciclados de RCD são adequados para a sua utilização na construção da Rede Rodoviária Nacional (RRN).

As vias municipais e rurais, e também as valas, apresentam características específicas que podem permitir a utilização de materiais reciclados de RCD com exigências de qualidade inferiores às previstas nas especificações existentes, sem prejuízo de um desempenho igualmente adequado das infraestruturas.

Porém, na ausência de regulamentação específica para vias municipais e rurais e valas, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) exige que os materiais aplicados neste tipo de infraestruturas cumpram o disposto nas especificações LNEC E 473 e LNEC E 474, o que representa, quase sempre, um obstáculo à reciclagem de materiais de RCD, particularmente ao nível do governo local.

Este trabalho recomenda requisitos técnicos para a utilização de materiais reciclados de RCD em vias municipais e rurais e em valas, que poderão contribuir para a elaboração de um guia nacional, semelhante aos já existentes. Na base deste trabalho está o estudo do estado da arte da reciclagem de RCD em diferentes países, bem como, as informações obtidas a partir dos trabalhos realizados no município de Montemor-O-Novo e no empreendimento TroiaResort, que utilizaram agregados reciclados de RCD, e de ensaios com materiais reciclados de RCD aplicados em vias rurais daquele município.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição, reciclagem, guia de utilização, estradas municipais e rurais, valas, desenvolvimento sustentável.

“Guide for the Use of Construction and Demolition Waste in Municipal and Rural Roads and Trenches”

Abstract

The minimization of the consumption of non-renewable natural resources to produce materials for the construction industry is considered to be one of the essential factors to attain sustainability in this sector. Recycling construction and demolition wastes (CDW) as construction materials is an efficient way of achieving this purpose. Adopting and implementing this principle is particularly relevant for a type of industry which consumes more raw materials than any other economic activity and gives rise to about 7.5 million tonnes of CDW in Portugal, overtaken only by the mining industry.

The construction of road infrastructures allows the utilization of materials from CDW as it requires large quantities of construction materials. In Portugal, the use of CDW in this type of construction is ruled by standards LNEC E 473 and LNEC E 474, in accordance with Decree-Law no. 46/2008 of May, 12th. The properties and the minimum legal requirements which those standards define for recycled waste materials are adequate for their use in the construction of the Portuguese road network.

Rural and municipal roads have specific characteristics, which may allow the use of lower-quality recycled materials from CDW than those specified by existing standards, providing an equally adequate performance.

However, as there is neither regulations for rural and municipal roads nor for trenches, the Portuguese Environment Agency (APA) demands that the materials used in this type of infrastructures comply either with standard E 473 or with standard E 474, which represents an obstacle to recycling CDW materials, particularly at local government level.

In view of the above, this work recommends technical requirements for the use of recycled CDW materials in rural and municipal roads and in trenches, which may lead to a new LNEC standard. A state-of-art on recycling CDW in different countries is on its basis, as well as the information gathered from the works carried out in a tourist resort development (TroiaResort), which made use of recycled CDW aggregates, and tests on recycled CDW materials applied in rural roads of municipality Montemor-O-Novo.

Keywords: Construction and demolition waste, recycling, use guide, municipal and rural roads, trenches, sustainable development.

Índice

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento geral.....	1
1.1.1	Resíduos de Construção e Demolição.....	2
1.1.2	Enquadramento legal.....	5
1.1.3	Demolição seletiva.....	7
1.2	Objetivos e metodologia.....	8
1.3	Estrutura da dissertação.....	9
2	REVISÃO DO ESTADO DA ARTE.....	11
2.1	Considerações iniciais.....	11
2.2	Estimativa da produção e reciclagem de RCD na Europa.....	11
2.2.1	Condições favoráveis à reciclagem de RCD.....	12
2.2.2	Condições desfavoráveis à reciclagem de RCD.....	12
2.3	Produção e reciclagem nos diversos países.....	13
2.3.1	Produção e reciclagem na Holanda.....	13
2.3.2	Produção e reciclagem na Dinamarca.....	15
2.3.3	Produção e reciclagem na Alemanha.....	16
2.3.4	Produção e reciclagem em Espanha.....	17
2.3.5	Produção e reciclagem no Reino Unido.....	18
2.3.6	Produção e reciclagem na França.....	19
2.3.7	Produção e reciclagem no Brasil.....	20
2.3.8	Produção e reciclagem em Portugal.....	21
2.4	Considerações finais.....	23
3	REGULAMENTAÇÃO TÉCNICA APLICADA À RECICLAGEM DE RCD.....	25
3.1	Considerações iniciais.....	25
3.2	França.....	25
3.2.1	Guia técnico d’Île-de-France.....	27
3.2.2	Guia técnico Rhône-Alpes.....	28
3.2.3	Guia técnico Lorraine.....	31
3.3	Reino Unido.....	33
3.3.1	Possíveis aplicações na construção.....	35
3.3.2	Aterro e camada de leito de pavimento.....	35
3.3.3	Camadas de base e sub-base.....	38
3.3.4	Valas.....	39
3.4	Espanha.....	41
3.4.1	Composição dos agregados reciclados.....	41

3.4.2	Recomendações técnicas de agregados reciclados em aterros.....	42
3.4.3	Recomendações técnicas de agregados reciclados a utilizar como material granular em camadas não ligadas.....	44
3.5	Portugal.....	46
3.5.1	Especificação LNEC E 474 – Aterro e leito de pavimento.....	47
3.5.2	Especificação LNEC E 473 – camadas de base e sub-base	49
3.6	Considerações finais	51
4	ANÁLISE DE DOIS CASOS DE ESTUDO EM PORTUGAL.....	53
4.1	Considerações iniciais.....	53
4.2	Caso de estudo 1: Montemor-O-Novo.....	53
4.2.1	Visita a Montemor-O-Novo	60
4.2.2	Resultados obtidos.....	63
4.2.2.1	Classificação dos agregados grossos reciclados com base nos constituintes	63
4.2.2.2	Classificação dos agregados grossos reciclados com base nas propriedades.....	64
4.3	Caso de estudo 2: Tróia	68
4.4	Considerações finais sobre os casos de estudo.....	75
5	PROPOSTA DE GUIA PARA RECICLAGEM DE RCD EM VIAS MUNICIPAIS E RURAIS E EM VALAS.....	77
5.1	Considerações iniciais.....	77
5.2	Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados para aplicação em vias municipais e rurais	79
5.3	Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados para enchimento de valas	81
5.4	Particularidades de aplicação.....	84
5.5	Controlo da qualidade	85
6	CONCLUSÃO.....	87
6.1	Considerações finais	87
6.2	Desenvolvimentos futuros.....	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

Índice de figuras

Figura 1 - RCD antes do tratamento	4
Figura 2 - Separação por constituinte da fração grossa do RCD após processamento.....	4
Figura 3 - Aumento da reciclagem de RCD após a introdução da taxa de aterro na Dinamarca	15
Figura 4 - Ações do projeto REAGIR.....	54
Figura 5 – Placa informativa da Construção da Unidade Piloto de Reciclagem de Entulho	56
Figura 6 - Esquema geral de implementação do equipamento de britagem/crivagem.....	57
Figura 7 – Unidade piloto de reciclagem em 03/01/2012	58
Figura 8 - Exemplos de aplicação do Caso de Estudo 3	59
Figura 9 – Caminho da recolha da amostra A.1.....	61
Figura 10 – Caminho da recolha da amostra A.2	61
Figura 11 – Pilha da unidade de reciclagem onde se recolheu a amostra A.3	62
Figura 12 – Caminho da recolha da amostra A.4	62
Figura 13 - Representação gráfica das proporções de materiais reciclados.....	63
Figura 14 – Curvas granulométrica das amostras de AGE reciclado de Montemor-O-Novo.....	66
Figura 15 – Propriedade cimentícia conferida pelos constituintes de betão e argamassas	68
Figura 16 - Britagem dos RCD.....	69
Figura 17 - Carregamento e colocação dos RCD sobre a camada de areia	71
Figura 18 - Compactação e aspecto final da camada.....	72
Figura 19 - Imagens dos arruamentos e passeios do TroiaResort – fevereiro de 2012.....	74
Figura 20 – Pilha de armazenamento do agregado reciclado 0/40, em fevereiro de 2012	74
Figura 21 - Caso tipo I: Valas essencialmente sob pavimentos	81
Figura 22 - Caso tipo II: Valas sob passeios.....	82
Figura 23 - Caso tipo III: Valas sob bermas.....	82
Figura 24 - Caso tipo IV: Valas sob espaços verdes.....	83

Índice de quadros

Quadro 1 – Diferentes formas de classificar os RCD.....	3
Quadro 2 - Tipos de materiais encontrados nos RCD.....	4
Quadro 3 - Capítulo 17 da LER (extraído da Portaria n.º 209/2004).....	6
Quadro 4 – Tipos de RCD produzidos e reciclados na Holanda.....	14
Quadro 5 - Destino dos RCD em Portugal, por composição.....	23
Quadro 6 - Classificação dos materiais reciclados GR0 e GR1.....	27
Quadro 7 – Classificação dos agregados reciclados pelo guia técnico Rhône-Alpes.....	28
Quadro 8 – Classificação dos materiais reciclados GR0 e GR1.....	29
Quadro 9 - Classificação dos materiais reciclados GR2, GR3 e GR4.....	30
Quadro 10 – Classificação dos materiais reciclados em Lorraine.....	31
Quadro 11 – Características dos materiais reciclados para aterro, aterro de valas e leito de pavimento.....	32
Quadro 12 - Características dos materiais reciclados para camadas de sub-base e base.....	33
Quadro 13 - Requisitos dos materiais para terraplenagens.....	37
Quadro 14 – Fusos granulométricos, percentagem de material passado para as classes 6F1 a 6F5.....	38
Quadro 15 – Composição dos agregados reciclados para misturas não ligadas.....	38
Quadro 16 – Requisitos dos agregados reciclados.....	39
Quadro 17 - Aceitação de materiais para enchimento de valas.....	40
Quadro 18 - Categorias dos agregados reciclados em função da sua composição.....	42
Quadro 19 - Classes de uso para aterros segundo o grau de requisitos técnicos.....	43
Quadro 20 – Resumo dos requisitos técnicos dos agregados reciclados para aplicação em aterro.....	43
Quadro 21 – Requisitos granulométricos dos agregados reciclados para aterro.....	44
Quadro 22 – Condições granulométricas adicionais para os agregados reciclados.....	44
Quadro 23 – Classes de uso para agregados reciclados segundo o grau de exigência técnica.....	45
Quadro 24 – Aplicação por categoria dos agregados reciclados para cada classe de uso.....	45
Quadro 25 - Resumo dos requisitos técnicos dos agregados reciclados para aplicação em camadas granulares.....	46
Quadro 26 – Fusos granulométricos para os agregados reciclados.....	46
Quadro 27 - Classificação dos materiais reciclados.....	47

Quadro 28 - Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos materiais reciclados para aplicação em camadas de aterro e de leito de pavimento	48
Quadro 29 - Campos de aplicação dos materiais reciclados em camadas de aterro e de leito de pavimento	48
Quadro 30 - Classificação dos agregados reciclados	49
Quadro 31 – Requisitos mínimos dos agregados reciclados a aplicar em camadas não ligadas.....	50
Quadro 32 – Campo de aplicação dos agregados reciclados em camadas não ligadas	51
Quadro 33 – Materiais produzidos na unidade de reciclagem	58
Quadro 34 - Análise das características apresentadas pelos agregados reciclados cinzentos	60
Quadro 35 – Identificação das amostras	61
Quadro 36 – Classificação dos materiais reciclados grosseiros de acordo com a especificação LNEC E 474.....	64
Quadro 37 – Análise granulométrica das amostras de AGE reciclado de Montemor-O-Novo.....	65
Quadro 38 - Resultados obtidos nas amostras de acordo com os requisitos da especificação LNEC E 474.....	67
Quadro 39 – Resultados dos principais parâmetros geotécnicos.....	71
Quadro 40 - Resultados dos ensaios de baridade e teor em água “in situ”	73
Quadro 41 - Parâmetros geotécnicos antes e após compactação.....	73
Quadro 42 – Classificação do agregado grosso reciclado.....	78
Quadro 43 – Campo de aplicação dos agregados reciclados	78
Quadro 44 – Requisitos de conformidade da proposta de guia	79
Quadro 45 - Requisitos para valas do caso tipo I (pavimentos).....	81
Quadro 46 - Requisitos para valas do caso tipo II (passeios).....	82
Quadro 47 - Requisitos para valas do caso tipo III (bermas).....	83
Quadro 48 – Requisitos para valas do caso tipo IV (espaços verdes).....	83
Quadro 49 – Frequência dos ensaios.....	85
Quadro 50 - Periodicidade dos ensaios.....	86
Quadro 51 - Frequência mínima dos ensaios da proposta de guia.....	86

Lista de siglas / abreviaturas

AGE – Agregado de granulometria extensa

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

BS – Norma Britânica

CE – Caderno de Encargos

CETO – Caderno de Encargos Tipo de Obra da Estradas de Portugal

CMMN – Câmara Municipal de Montemor-O-Novo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

D – Dimensão máxima

$D_{\text{máx}}$ – Diâmetro máximo

EA – Equivalente de areia

EN – Norma Europeia

EP – Estradas de Portugal

FI - Material flutuante

GEAR – Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

GERD – Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción Y Demolición

GTR – Guide des Terrassements Routiers

IDRRIM – Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité

IGAOT – Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território

IP – Índice de plasticidade

LA – Los Angeles

LCPC/SETRA – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées / Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

LER – Lista Europeia de Resíduos

LF – Limite inferior do teor de finos

LL – Limite de liquidez

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MB – Azul de metileno

MDE – Micro-Deval

MEEDDAT – Ministério do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de França

Mt/ano – Milhões de toneladas por ano

NBR – Norma Brasileira

NF – Norma Francesa

NP – Norma Portuguesa

– Não Plástico

R_a - Materiais betuminosos

R_b - Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante

R_c - Betão, produtos de betão e argamassas

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

REAGIR – Reciclagem de entulho no âmbito da gestão integrada de resíduos

R_g - Vidro

R_s - Solos

RSU – Resíduos sólidos urbanos

R_u - Agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos

SHW – Specification for Highway Works

SROH – Specification for the Reinstatement of Openings in Highways

SS – Teor de sulfatos solúveis em água

SWMP - Site Waste Management Plan

UE – União Europeia

UF – Limite superior de teor de finos

UNE – Norma Espanhola

w_{opt} – Teor em água ótimo

WRAP – Waste & Resources Action Programme

X - Outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque

XP P – Norma experimental Francesa

ρ_a – Baridade seca máxima

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento geral

A indústria da construção caracteriza-se como um dos maiores e mais ativos setores da União Europeia (UE), consumindo mais matérias-primas e energia que qualquer outra atividade económica e os resíduos gerados pelas suas atividades constituem a grande maioria dos resíduos produzidos em toda a UE.

Este setor, se, por um lado, é um dos grandes responsáveis pelo desenvolvimento social e económico dos países, por outro, é um dos que causa maior impacto no ambiente, promovendo a degradação ambiental através do consumo excessivo de energia, do esgotamento das reservas naturais e da geração de resíduos.

A nível mundial e da UE, em particular, esta indústria é a terceira maior emissora de dióxido de carbono (CO₂), representando cerca de 10% das emissões totais de CO₂ (Habert et al., 2009) e consome mais matérias-primas (aproximadamente 3000 Mt/ano) que qualquer outra atividade económica, evidenciando um setor com impactos claramente negativos para o desenvolvimento sustentável.

Estima-se uma produção anual global na UE de 100 milhões de toneladas de RCD (APA, 2013).

Em Portugal, são produzidos, a cada ano, cerca de 7,5 milhões de toneladas de RCD, representando cerca de 20% do volume total de resíduos gerados no país (Mália, 2010). A maioria destes resíduos é depositada em aterro, ocupando um volume que ultrapassa claramente o dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Neste sentido, a minimização do consumo de recursos naturais é apontada como o fator essencial para atingir a sustentabilidade na construção, pelo que, a forma mais eficiente para atingir esse propósito passa pela incorporação dos RCD como material de construção.

Os RCD têm um elevado potencial de valorização, estimando-se em cerca de 80% as possibilidades de utilização (Mália, 2010). No entanto, para a sua valorização ser viável, é fundamental assegurar a sua correta gestão, devido à grande variedade de constituintes.

Quando a demolição é inevitável, a qualidade e a composição dos RCD podem ser melhoradas através da demolição seletiva. A qualidade de um material reciclado será tanto melhor quanto melhor for a sua seleção na origem.

A reciclagem de RCD constitui uma fonte possível de agregados alternativos, cujo objetivo passa por valorizar os resíduos, convertendo-os de novo em matéria-prima. Deste modo, a reciclagem de RCD ajuda a preservar o ambiente, nomeadamente:

- na poupança de recursos naturais não renováveis (preservando-os para gerações futuras);
- na redução da deposição dos resíduos em aterro, pois a sua recuperação conduz a uma redução na sua eliminação;

- na redução dos efeitos prejudiciais do transporte, diretos e indiretos, por se encontrarem frequentemente localizados nas áreas urbanas, que são também as zonas de consumo mais significativo, enquanto as pedreiras, regra geral, estão localizadas fora do centro das áreas urbanas.

A construção de estradas é uma das atividades com maior capacidade de aproveitamento dos materiais provenientes da reciclagem de RCD, porque necessita de grandes quantidades de agregados. A nível nacional, em função das características dos RCD, as especificações LNEC E 473 e LNEC E 474 preveem, respetivamente, a sua aplicação na construção de camadas não ligadas da base e da sub-base de pavimentos, e de aterro e camada de leito de pavimentos de infraestruturas de transporte.

Os resíduos ainda são geralmente vistos como um problema a ser tratado em vez de um recurso potencialmente valioso, pois o preconceito em relação à utilização de agregados reciclados é elevado. Várias causas poderiam ser atribuídas à existência deste preconceito, mas a falta de conhecimento sobre o seu desempenho e sobre as suas propriedades ambientais, físicas e mecânicas é apontada como uma barreira que gera desconfiança relativamente à utilização deste tipo de materiais. O sucesso da reciclagem de agregados de RCD depende fundamentalmente da adoção de boas práticas desde a sua origem até à sua aplicação.

1.1.1 Resíduos de Construção e Demolição

Os resíduos de construção e demolição (RCD), como o próprio nome indica, são resíduos provenientes das atividades de novas construções, reabilitações, manutenções e demolições de edifícios e infraestruturas. Incluem ainda os solos e as rochas resultantes das escavações e preparação de terrenos que não contenham substâncias perigosas.

Os RCD apresentam assim características muito próprias, quer ao nível dos seus componentes quer ao nível das suas quantidades. A sua composição é muito variada, pois depende dos materiais e das técnicas aplicadas, que são função da época a que pertencem.

Os RCD podem ser classificados de diferentes formas conforme se mostra no quadro 1, contudo, para efeitos legais devem ser classificados de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER), que foi criada com o objetivo de uniformizar e facilitar a identificação dos mesmos.

Quadro 1 – Diferentes formas de classificar os RCD

Classificação de acordo com a LER	A LER foi transposta pela Portaria n.º 209/2004, de 3 de março. Nesta lista, os RCD pertencem ao Capítulo 17, e são totalmente definidos pelo código de seis dígitos 170000 , sendo que os últimos 4 dígitos variam de acordo com o tipo de RCD em questão (consultar quadro 3).
Classificação de acordo com o tipo de obra	<p>Resíduos de construção – resíduos provenientes de obras novas de construção de edifícios e infraestruturas.</p> <p>Resíduos de demolição – resíduos provenientes de obras de demolição de edifícios ou infraestruturas.</p> <p>Resíduos de reparação – resíduos resultantes de obras de remodelação e reparação de edifícios e infraestruturas.</p>
Classificação segundo a perigosidade do material que se encontra presente	<p>Resíduos inertes – terras, argamassas, tijolos, telhas, alvenaria, etc.</p> <p>Resíduos não perigosos – embalagens diversas, plásticos, madeiras, metais, vidros, etc.</p> <p>Resíduos perigosos – óleos usados, latas de tintas e solventes, amianto, etc.</p>
Classificação segundo o destino final dos resíduos	<p>Resíduos reutilizáveis – resíduos que podem ser reutilizados diretamente no local da obra ou noutras.</p> <p>Resíduos recicláveis – resíduos que podem ser reciclados.</p> <p>Resíduos não recicláveis – resíduos que, devido às características ou por se encontrarem contaminados, não podem ser reciclados.</p>

A reciclagem da fração inerte dos RCD envolve um processo de separação, fragmentação e crivagem para a obtenção de agregados reciclados de RCD. Os agregados reciclados definem-se assim como agregados produzidos a partir do processamento de materiais anteriormente utilizados na construção.

Os agregados podem ser produzidos em centrais de processamento móveis ou fixas. As instalações fixas têm todo um histórico de serem centrais mais robustas, com processos mais complexos e maior capacidade de produção. No entanto, nos últimos anos, os grupos móveis têm ganho mercado no processamento de minérios. Para além de terem cada vez mais capacidade de produção, podem ser instalados junto ao local de demolição, reduzindo os custos de transporte dos RCD para um operador licenciado de resíduos.

Relativamente à composição, os RCD são constituídos, na sua maioria, por solos e rochas, betão e argamassas, materiais cerâmicos, vidro e metais, mas também podem conter plásticos, papel, madeira, gessos, tintas, materiais betuminosos, etc.

Segundo Gonçalves (2007), a fração inerte representa na maioria dos casos 70% do volume total, sendo o betão e as alvenarias os de maior destaque. No quadro 2 apresentam-se os materiais encontrados nos RCD.

Quadro 2 - Tipos de materiais encontrados nos RCD

MATERIAIS	
ORGÂNICOS	Papel, cartão, madeira, plásticos, etc.
COMPÓSITOS	Materiais betuminosos, tecidos, gesso, material elétrico, madeira prensada, madeira envernizada, etc.
INORGÂNICOS	Betão, betão armado, materiais cerâmicos (tijolos, telhas, azulejos, porcelanas), vidro, metais ferrosos, metais não ferrosos, solos e rochas, etc.

Na figura 1 apresentam-se os RCD antes do tratamento e na figura 2 os RCD depois do processamento.



Figura 1 - RCD antes do tratamento



Figura 2 - Separação por constituinte da fração grossa do RCD após processamento

1.1.2 Enquadramento legal

O Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de março, alterado no artigo 1.º e no Anexo I pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, estabelece o regime de operações de gestão de RCD, compreendendo a sua prevenção e reutilização e as operações de recolha, transporte, armazenagem, tratamento, valorização e eliminação. A primeira de uma série de medidas legislativas e normativas foi lançada no sentido de se colmatarem lacunas de conhecimento e de se fomentar a aplicação da hierarquia das operações de gestão de resíduos que garanta a sustentabilidade ambiental da atividade da construção.

O principal objetivo do diploma assentou na criação de condições legais para a correta gestão dos RCD que privilegiassem a prevenção da produção e da perigosidade, o recurso à triagem na origem, à reciclagem e a outras formas de valorização, diminuindo a utilização de recursos naturais e minimizando o recurso à deposição em aterro, o que conduz a um aumento do tempo de vida útil destas infraestruturas.

Por outro lado, a UE estabeleceu para 2020, com a publicação da Diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro, a meta de 70% de preparação para a reutilização, reciclagem e valorização de outros materiais, incluindo operações de enchimento utilizando resíduos como substituto de outros materiais, de resíduos de construção e demolição não perigosos, com exclusão de materiais naturais definidos na categoria 17 05 04 da LER (quadro 3).

A publicação do Decreto-Lei n.º 73/2011, que alterou o regime geral da gestão de resíduos e transpôs a Diretiva n.º 2008/98/CE, vem reforçar e promover a reutilização e reciclagem de RCD com metas ambiciosas a cumprir até 2020.

Ao abrigo da Portaria n.º 209/2004, de 3 de março, que publica a LER e assegura a harmonização do normativo vigente em matéria de identificação e classificação de resíduos, os RCD são classificados no Capítulo 17 – *Resíduos de Construção e Demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados)*, o qual inclui todos os tipos de resíduos deste fluxo, identificados por um código de seis dígitos (quadro 3).

Relativamente à valorização dos RCD, a legislação específica em vigor prevê que a utilização de quaisquer RCD em obra, na ausência de normas técnicas, deverá ser realizada em observância das quatro especificações técnicas publicadas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC), com o objetivo de promover a sua correta valorização. Estas especificações são as seguintes:

LNEC E 471 - 2009: Guia para a Utilização de Agregados Recicladoss Grossos 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 Recicladoss 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 Infraestruturas de Transporte.

Quadro 3 - Capítulo 17 da LER (extraído da Portaria n.º 209/2004)

Capítulo	17	Resíduos de construção e demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados)
Subcapítulo	17 01	Betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos
Código	17 01 01 17 01 02 17 01 03 17 01 06 (*) 17 01 07	Betão Tijolos Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos Misturas ou fracções separadas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos contendo substâncias perigosas Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos não abrangidos em 17 01 06
Subcapítulo	17 02	Madeira, vidro e plástico
Código	17 02 01 17 02 02 17 02 03 17 02 04 (*)	Madeira Vidro Plástico Vidro, plástico e madeira contendo contaminantes com substâncias perigosas
Subcapítulo	17 03	Misturas betuminosas, alcatrão e produtos de alcatrão
Código	17 03 01 (*) 17 03 02 17 03 03 (*)	Misturas betuminosas contendo alcatrão Misturas betuminosas não abrangidas em 17 03 01 Alcatrão e produtos de alcatrão
Subcapítulo	17 04	Metais (incluindo ligas)
Código	17 04 01 17 04 02 17 04 03 17 04 04 17 04 05 17 04 06 17 04 07 17 04 09 (*) 17 04 10 (*) 17 04 11	Cobre, bronze e latão Alumínio Chumbo Zinco Ferro e aço Estanho Mistura de metais Resíduos metálicos contaminados com substâncias perigosas Cabos contendo hidrocarbonetos, alcatrão ou outras substâncias perigosas Cabos não abrangidos em 17 04 10
Subcapítulo	17 05	Solos (incluindo solos escavados de locais contaminados), rochas e lamas de dragagem
Código	17 05 03 (*) 17 05 04 17 05 05 (*) 17 05 06 17 05 07 (*) 17 05 08	Solos e rochas contendo substâncias perigosas Solos e rochas não abrangidos em 17 05 03 Lamas de dragagem contendo substâncias perigosas Lamas de dragagem não abrangidas em 17 05 05 Balastros de linhas de caminho de ferro contendo substâncias perigosas Balastros de linhas de caminho de ferro não abrangidos em 17 05 07
Subcapítulo	17 06	Materiais de isolamento e materiais de construção contendo amianto
Código	17 06 01 (*) 17 06 03 (*) 17 06 04	Materiais de isolamento contendo amianto Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas Materiais de isolamento não abrangidos em 17 06 01 e 17 06 03

	17 06 05 (*)	Materiais de construção contendo amianto
Subcapítulo	17 08	Materiais de construção à base de gesso
Código	17 08 01 (*)	Materiais de construção à base de gesso contaminados com substâncias perigosas
	17 08 02	Materiais de construção à base de gesso não abrangidos em 17 08 01
Subcapítulo	17 09	Outros resíduos de construção e demolição
Código	17 09 01 (*)	Resíduos de construção e demolição contendo mercúrio
	17 09 02 (*)	Resíduos de construção e demolição contendo PCB (por exemplo, vedantes com PCB, revestimentos de piso à base de resinas com PCB, envidraçados vedados contendo PCB, condensadores com PCB)
	17 09 03 (*)	Outros resíduos de construção e demolição (incluindo misturas de resíduos) contendo substâncias perigosas
	17 09 04	Mistura de resíduos de construção e demolição não abrangidos em 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03

Nota: Os resíduos mencionados com (*) são considerados perigosos, na aceção da alínea II) do artigo 3º do Decreto-Lei n.º 73/2011.

1.1.3 Demolição seletiva

A demolição seletiva ou desconstrução é um processo que se caracteriza pelo desmantelamento cuidadoso de um edifício, de modo a possibilitar a recuperação de materiais e componentes de construção, promovendo a sua reutilização e reciclagem. A desconstrução abre caminho à reutilização e à reciclagem de elementos e de materiais que de outra forma seriam tratados como resíduos sem qualquer valor e removidos para locais de depósito, por vezes não autorizados para esse fim (Mália, 2010). Desconstrução é um conceito relativamente recente, que surgiu devido ao rápido crescimento da demolição de edifícios e da evolução das preocupações ambientais da população. No entanto, é ainda necessário promover a regulamentação ambiental, desenvolver e implementar técnicas de desconstrução e de processos, e melhorar o conhecimento e a sensibilização para a importância da desconstrução pelos intervenientes na atividade da construção, em especial pelos donos de obra, projetistas e empreiteiros (Couto et al., 2006).

Segundo (Mália, 2010), a desconstrução:

- permite que os materiais recuperados possam ser reutilizados ou reciclados, devido ao maior cuidado que é tomado na sua remoção;
- promove o crescimento de um novo mercado de materiais reutilizados ou reciclados, pois o valor de mercado para os materiais recuperados da desconstrução é maior do que os da demolição não seletiva;
- gera benefícios ambientais, já que a recuperação de materiais ajuda a reduzir os encargos com a deposição nos aterros, elimina a necessidade de gastar energia adicional na manufatura de novos materiais e reduz o consumo de matérias-primas não renováveis;
- cria postos de trabalho, pois é um processo que envolve uma quantidade significativa de trabalho, através da remoção, preparação, classificação e transporte dos materiais recuperados.

1.2 Objetivos e metodologia

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um guia para a utilização de RCD em vias municipais e rurais e em valas. Pretende-se também contribuir para um melhor conhecimento das características físicas e mecânicas dos materiais reciclados provenientes de RCD, por forma a definir as suas propriedades e a estabelecer os requisitos mínimos para a sua utilização neste tipo de infraestruturas.

Será feita uma revisão do estado da arte ao nível da produção e reciclagem de RCD, bem como uma análise da regulamentação técnica sobre reciclagem aplicada em alguns países europeus, devido à semelhança de técnicas e materiais empregues na construção civil e obras públicas. Abordam-se igualmente as práticas adotadas no Brasil.

Entendendo-se de grande importância o conhecimento prático dos materiais reciclados de RCD, pretende-se também caracterizar laboratorialmente este material e avaliar o seu comportamento em serviço. Para tal, serão apresentados dois casos de estudo em Portugal: município de Montemor-O-Novo e empreendimento TroiaResort.

Por fim, será elaborada a proposta de guia, onde serão apresentadas as propriedades e requisitos mínimos exigidos aos materiais reciclados de RCD para aplicação nas camadas não ligadas dos pavimentos que constituem as vias municipais e rurais e no enchimento de valas, incluindo as particularidades de aplicação que estes materiais podem apresentar, e a frequência de amostragem dos RCD para controlo da sua qualidade.

A elaboração deste guia poderá oportunamente dar lugar a uma nova especificação LNEC, e assim, contribuir fortemente para viabilizar a reciclagem de uma parte muito significativa dos RCD e solucionar muitos dos atuais problemas na sua gestão.

As estradas municipais e rurais apresentam características próprias que lhes conferem particularidades ao nível da sua execução e onde as velocidades de circulação e os volumes de tráfego são inferiores ou mesmo muito inferiores aos praticados nas vias da Rede Rodoviária Nacional (RRN). As exigências de qualidade que os materiais reciclados de RCD devem satisfazer para serem utilizados na sua construção podem ser, por isso, inferiores às previstas nas especificações técnicas já existentes, garantindo um desempenho igualmente adequado das infraestruturas.

A entrada em vigor de um novo guia de utilização de RCD na regulamentação técnica nacional como o proposto nesta dissertação é tanto mais relevante quanto no presente continuam a ser depositadas em aterro quantidades significativas de RCD. Para além disso, é imprescindível que as empresas de construção tenham capacidade para dar resposta a todas as exigências dos concursos, que cada vez mais incluem a componente ambiental.

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho é composto por 6 capítulos, nos quais se incluem a:

- Introdução;
- Situação nalguns países europeus e Brasil relativamente à produção e à promoção dos RCD na construção;
- Regulamentação técnica aplicada à reciclagem de RCD;
- Análise de dois casos de estudo de aplicação de RCD em Portugal;
- Proposta do guia de utilização;
- Conclusões gerais (considerações finais e perspetivas futuras).

A introdução é constituída pelo enquadramento geral do tema, a definição dos objetivos principais e a metodologia adotada. No enquadramento geral são abordados alguns pontos relevantes para o contexto do tema, tais como, definição, tipos e constituintes de RCD, o seu enquadramento legal e uma breve descrição da demolição seletiva e sua importância.

No segundo capítulo é apresentada a revisão do estado da arte com base na pesquisa e análise bibliográfica, onde são abordadas a produção e a reciclagem de RCD em diversos países europeus e no Brasil, precedidas por uma breve abordagem sobre as condições favoráveis e desfavoráveis para a reciclagem de RCD.

O terceiro capítulo é dedicado à regulamentação técnica sobre a reciclagem dos RCD, a nível internacional e nacional.

No quarto capítulo são apresentados dois casos de estudo de valorização de RCD em Portugal (Montemor-o-Novo e Tróia), bem como os resultados da caracterização laboratorial das amostras de RCD recolhidas em vias municipais da cidade de Montemor-o-Novo, no âmbito de uma visita realizada a este concelho em janeiro de 2012.

No quinto capítulo é apresentada a proposta de guia para a reciclagem de RCD em vias municipais e rurais e em valas, principal objetivo deste trabalho, a qual integra os requisitos exigidos para os materiais reciclados a aplicar naquelas infraestruturas, bem como as recomendações a considerar na aplicação e compactação e as frequências mínimas para os ensaios.

No sexto e último capítulo, apresentam-se as conclusões gerais do trabalho desenvolvido e as perspetivas futuras.

2 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

2.1 Considerações iniciais

O aumento da produção de RCD é uma inevitabilidade das sociedades modernas, sendo que o volume de RCD gerado depende da intensidade da atividade de construção em cada país, da tecnologia empregada e também das taxas de desperdício.

Neste capítulo serão apresentados dados sobre a produção e reciclagem em alguns países europeus, com diferentes níveis de sucesso na reciclagem de RCD, e de fora da Europa será apresentado o caso do Brasil, por se tratar de um país que tem vindo a mostrar uma forte consciencialização na importância deste tema.

2.2 Estimativa da produção e reciclagem de RCD na Europa

Segundo dados do Eurostat de setembro de 2012, houve duas atividades que produziram níveis particularmente elevados de resíduos em toda a UE-27 no ano de 2010, sendo elas, a construção, com cerca de 855 milhões de toneladas (33,3% do total) e a indústria extrativa, com 727 milhões de toneladas (28,3% do total). A grande maioria dos resíduos produzidos nestas atividades é composta por resíduos minerais ou solos (terra escavada, resíduos de construção de estradas, resíduos de demolição, lamas de dragagem, resíduos de rochas, etc.).

Os países da UE encontram-se em diferentes patamares no que diz respeito à gestão de RCD, sendo uma consequência das diferentes políticas adotadas.

Desde meados da década de 90, Dinamarca, Alemanha e Holanda, têm apresentado de forma consistente, taxas elevadas de reciclagem de RCD. Mesmo na ausência de legislação na UE, à data, estes países criaram condições facilitadoras para impulsionar a reciclagem destes resíduos. A falta de locais para deposição e a escassez de agregados naturais determinaram a necessidade de se implementarem políticas de reciclagem. Estas políticas traduzem-se em obrigatoriedades legais, como taxas de valor elevado para deposição em aterro e obrigação de demolição seletiva.

Por outro lado, países como a Suécia, a França e a Itália apresentam taxas de reciclagem na ordem dos 10 a 20%. Segue-se outro grupo de países em que a taxa de reciclagem é muito reduzida, inferior a 5%, como Portugal, Espanha, Irlanda e Grécia. Nestes países, a prática de deposição em aterro, ou mesmo a deposição ilegal, é a mais comum.

2.2.1 Condições favoráveis à reciclagem de RCD

Em contextos favoráveis, os agentes económicos são incentivados para a reciclagem de RCD, por, pelo menos, quatro razões.

Em primeiro, os materiais naturais são relativamente caros, porque não estão localmente disponíveis ou os custos de transporte a partir de outros países são muito elevados em comparação com os materiais reciclados de RCD localmente disponíveis. Em países com estas condições, como a Dinamarca ou a Holanda, há um incentivo natural para reciclar RCD, pelo que historicamente as taxas de reciclagem vêm sendo relativamente elevadas.

Em segundo lugar, a geografia local pode facilitar o transporte de objetos volumosos, como os RCD, dentro de um país, o que facilita a reciclagem. Este é o caso da Alemanha, onde excelentes infraestruturas de transporte são um incentivo à reciclagem, embora os agregados naturais estejam facilmente disponíveis.

Em terceiro lugar, nos países com elevada transparência e fraca possibilidade de evasão, são mínimos os riscos de não cumprimento de deposição em aterro e de pagamento da taxa. Este é novamente o caso da Dinamarca, onde, pela sua situação geográfica, se torna muito difícil o encaminhamento dos RCD para aterros ilegais e, por outro lado, existe elevada transparência e cumprimento geral com as instituições do estado.

Em quarto lugar, em alguns países, há maior ênfase na agenda ambiental que apela a evitar a deposição dos RCD em aterro e à reciclagem dos mesmos. Alemanha, Holanda e Dinamarca são novamente exemplos de países que dão preferência às tecnologias de tratamento de resíduos, tais como a reciclagem. Esta prioridade reflete-se, por exemplo, na investigação aplicada em tecnologias de reciclagem (conduzindo ao seu baixo custo e estimulando a reciclagem), mas também na monitorização da gestão dos resíduos, por exemplo a nível municipal (o que exige sistemas de informação e a produção de dados relevantes pelas autoridades).

Face às características acima descritas, em ambientes favoráveis, uma taxa de deposição em aterro relativamente baixa pode ser muito eficaz na adoção da reciclagem dos RCD como técnica de tratamento. Os incentivos regulamentares não precisam de ser particularmente elevados em locais onde já existe um ambiente propício à reciclagem de RCD.

2.2.2 Condições desfavoráveis à reciclagem de RCD

Na outra extremidade do espetro estão os locais com condições desfavoráveis para a reciclagem de RCD.

Em primeiro, os agentes económicos têm bom acesso a agregados naturais e, portanto, poucos incentivos para recorrer à reciclagem de RCD. Em países com abundante matéria-prima virgem, como a Suécia, a Itália e até mesmo Portugal, os custos de transporte destes materiais são baixos e quase sempre inferiores ao transporte de RCD.

Em segundo lugar, as áreas rurais podem significar uma produção de RCD mais dispersa que nas zonas urbanas, aumentando conseqüentemente ainda mais os custos de transporte. Nestes casos, se não for possível a reciclagem, pode eventualmente ser preferível, tanto a nível económico como ambiental, que os RCD sejam depositados em aterro em vez de serem transportados para a instalação de reciclagem mais próxima.

Em terceiro, as características geográficas (grandes distâncias, áreas rurais, zonas montanhosas) além de aumentarem os custos de transporte de RCD, a sua eliminação ilegal é mais difícil de detetar, tornando-a mais provável. Como exemplo, mencionam-se os países do sul da Europa. Assume-se também que estes países são caracterizados por uma menor transparência e com instituições menos capazes de executarem instrumentos de regulação eficaz.

Por último, alguns países usam materiais mais fáceis de reciclar. Por exemplo a Suécia e a Finlândia constroem mais casas em madeira, sendo este material mais fácil de reciclar.

Posto isto, em ambientes desfavoráveis, pode ser necessária uma taxa de deposição em aterro relativamente elevada para mudar o comportamento dos agentes económicos. Por outro lado, quanto mais elevada for a taxa maior será o incentivo ao incumprimento. Este incentivo é amplificado se a execução for fraca e a probabilidade de deteção baixa.

Em países com configurações desfavoráveis para a reciclagem de RCD, pode ser necessário introduzir uma taxa mais elevada e assegurar a aplicação de regimes mais repressivos para que as metas possam ser alcançadas.

2.3 Produção e reciclagem nos diversos países

2.3.1 Produção e reciclagem na Holanda

A Holanda é provavelmente o país mais avançado na utilização de agregados reciclados na construção de estradas. O Governo tem desenvolvido políticas integradas, ferramentas económicas e regulamentos que contribuíram para aumentar a reciclagem em infraestruturas rodoviárias.

Os agregados reciclados provenientes de RCD são muito utilizados em camadas estruturais de pavimentos rodoviários e em betão estrutural.

A Holanda é um país relativamente pequeno, com elevada densidade populacional e escassos recursos mineiros não-metálicos, pelo que a extração de agregados naturais é limitada. A política do governo é de proibir a deposição da maioria dos resíduos em aterro, através de taxas elevadas e da utilização de incentivos fiscais para promover a reciclagem. Por exemplo, os RCD, que são produzidos em grandes quantidades, são atualmente proibidos de depositar em aterro, sendo considerados para aplicações com elevado valor acrescentado, conforme se mostra no quadro 4.

Segundo a Divisão de Engenharia Hidráulica e de Estradas da Direção-Geral das Obras Públicas e Gestão da Água da Holanda, a sustentabilidade não pode ser vista apenas como a quantidade de reciclagem conseguida, mas também deve incorporar o valor acrescentado das aplicações dos materiais reciclados (Koopmans et al., 2002).

Quadro 4 – Tipos de RCD produzidos e reciclados na Holanda (adaptado de Koopmans et al., 2002)

Material	Produção (Mt/a)	Reciclagem		Aplicações
		(Mt/a)	(%)	
Resíduos de construção e demolição	16,2	15,3	94	Camadas de sub-base e de base de estradas e betão estrutural
Solos	10	9,8	98	Aterros
Misturas betuminosas	4,5	3,15	70	Incorporação em novas misturas betuminosas e camadas de sub-base e de base de estradas

O governo holandês também tem um papel muito ativo no apoio à investigação e desenvolvimento de especificações e orientações para a utilização de materiais alternativos. A pesquisa efetuada pela Road and Hydraulic Engineering Institute (DWW) está direcionada principalmente para as propriedades fundamentais dos materiais e características de desempenho com base em ensaios de grande escala, verificação de testes de laboratório e determinação dos riscos de utilização de materiais alternativos. A sustentabilidade na Holanda também enfatiza a reciclagem de materiais alternativos e utiliza a análise do ciclo de vida para dar crédito e valor acrescentado aos produtos que incorporam materiais alternativos.

Desde 1993 que uma variedade de iniciativas para estimular a prevenção e a reciclagem de RCD têm vindo a ser implementadas. As mais importantes, que levaram a atingir uma taxa de reciclagem tão elevada, são (Böhmer et al., 2008): a obrigação de separação na origem; a criação de um mercado atrativo para a utilização de produtos reciclados e a elevada taxa para a deposição de RCD em aterro.

Para além destas iniciativas, promovem-se os produtos com maior durabilidade, o desenvolvimento de elementos construtivos facilmente desmontáveis e a melhoria de qualidade dos materiais de construção produzidos a partir de RCD.

Hoje em dia, a maioria dos RCD é separada na origem, como resultado de várias campanhas informativas, incentivos financeiros e regulamentações (Böhmer et al., 2008). Esta prática aumenta consideravelmente as possibilidades de reciclagem, pois, ao proceder-se à separação dos RCD na origem, uma larga porção destes pode ser diretamente reencaminhada para britagem, não necessitando de passar primeiro por uma central de triagem.

2.3.2 Produção e reciclagem na Dinamarca

A Dinamarca é um dos casos de maior sucesso no que diz respeito à reciclagem de RCD.

As taxas de reciclagem deste fluxo de resíduos são muito elevadas: em 2003 já se registava uma taxa de reciclagem de 93%. A Dinamarca aplica um imposto de gestão de resíduos que foi introduzido em 1987. O imposto sobre os resíduos é diferenciado, sendo elevado para os resíduos a depositar em aterro, baixo se encaminhados para incineração e nulo no caso de haver reciclagem. Conforme ilustra a figura 3, este imposto tem desempenhado um papel importante na gestão dos RCD.

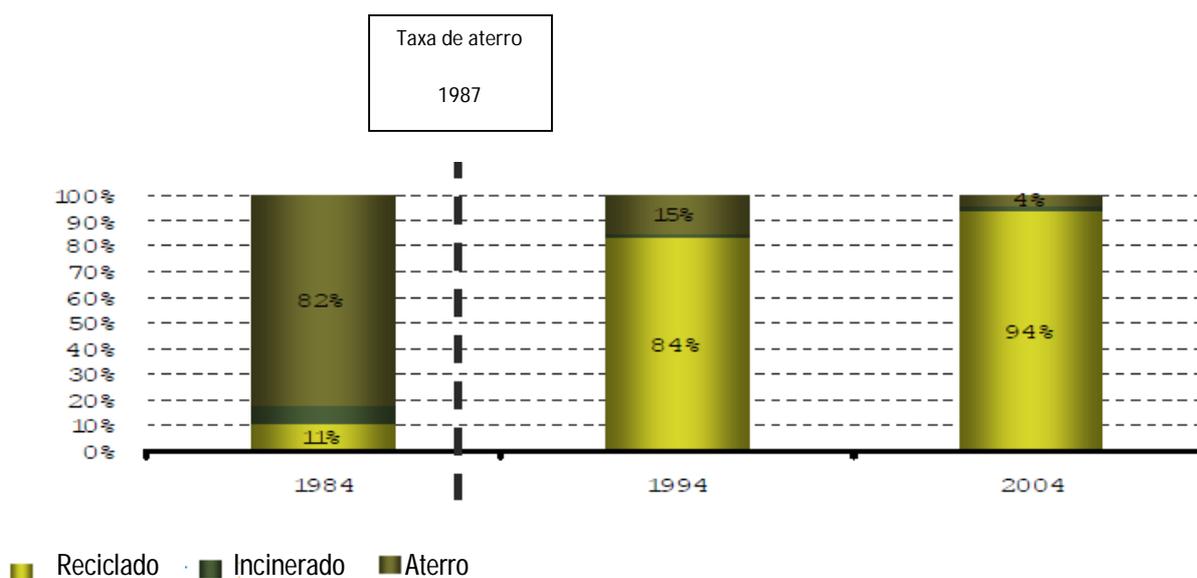


Figura 3 - Aumento da reciclagem de RCD após a introdução da taxa de aterro na Dinamarca (adaptado de Jervelund et al., 2008)

O Ministério do Ambiente e Energia acordou com a Associação de Demolição Dinamarquesa (Acordo de Controle Ambiental das Indústrias de Demolição Dinamarquesa) sobre a demolição seletiva de materiais de construção. Com este acordo foi assegurada a separação na fonte, estabelecendo a exigência de que em demolições com mais de uma tonelada de resíduos, estes devem ser separados em frações limpas, sendo que, por exemplo, tijolos e betão não são considerados mistura (Mália, 2010). A demolição seletiva é aplicada mesmo quando é mais cara e demorada do que a demolição tradicional. Isto acontece porque são obtidas grandes poupanças através da redução de custos com o imposto sobre os resíduos e maior facilidade na comercialização dos materiais recicláveis (Mália, 2010).

A elevada taxa de reciclagem de RCD é devida em parte ao fato dos resíduos reciclados, ao contrário dos resíduos depositados em aterro ou incinerados, ser isenta de tributação, e em parte devido à circular do departamento de regulação municipal sobre a separação de resíduos destinados à reciclagem.

A preocupação com a poluição das águas subterrâneas devida à deposição de resíduos em aterro e o pouco espaço disponível para a construção de novos aterros, impulsionou a regulamentação da reciclagem de RCD.

Como um instrumento fiscal, o imposto sobre os resíduos destina-se a persuadir os produtores de resíduos a reduzir as quantidades que produzem e a reciclar o máximo possível os restantes (Mália, 2010). O imposto sobre os resíduos é, desde 2001, de € 44,30 por tonelada para os resíduos incinerados e de € 50,34 por tonelada para os resíduos depositados em aterro (Mália, 2010), não havendo nenhum imposto sobre os resíduos que vão para reciclagem. A extração de agregados naturais encontra-se também sujeita ao pagamento de uma taxa específica.

Na Dinamarca, não há problemas com o consumo de materiais processados a partir de RCD. Geralmente, a comercialização dos materiais recicláveis é organizada em conformidade com a comercialização dos materiais originais (Mália, 2010). Aliás, a maioria dos centros de reciclagem e reprocessamento de RCD, tanto comercializa materiais naturais como materiais reciclados.

2.3.3 Produção e reciclagem na Alemanha

A Alemanha é o país da UE que mais RCD produz, mas também é um dos que tem a maior taxa de reciclagem destes resíduos. Em 2002, produziu cerca de 214 milhões de toneladas de RCD, cerca de 60% de todos os resíduos produzidos no país, tendo sido 85% destes reutilizados ou reciclados (Mália, 2010).

A primeira lei da Alemanha sobre a eliminação de resíduos foi promulgada em 1972, estabelecendo uma mudança das lixeiras para os aterros de resíduos (Mália, 2010).

Em 1986, foi publicada a lei para a prevenção e eliminação de resíduos. Segundo esta lei, o primeiro objetivo deve ser a prevenção de resíduos. Não sendo esta possível, a composição dos resíduos deve ser melhorada, a fim de permitir a reutilização ou a reciclagem. Com base nesta lei, foi produzida, em 1993, regulamentação referente aos resíduos urbanos, especificando o tratamento e a eliminação de resíduos e abrangendo os vários fluxos de resíduos, como os resíduos domésticos e os RCD. As metas desta regulação são (Mália, 2010): reciclar os resíduos que não possam ser evitados; reduzir a toxicidade dos resíduos; garantir que o tratamento ou a eliminação dos resíduos não produz impactos ambientais.

Os municípios responsáveis pela gestão, devem encorajar a utilização de instalações móveis ou semimóveis de recuperação de resíduos. Também contém requisitos relativos à eliminação de resíduos, sendo que as frações de resíduos que não preencham os requisitos do regulamento não podem ser depositadas em aterro e terão que ser tratadas.

A principal lei no âmbito da reciclagem e gestão de resíduos foi promulgada em 1996 (Mália, 2010). Esta, definiu os princípios para o desenvolvimento da gestão de resíduos em direção a uma economia de ciclo fechado. Estabeleceu uma nova hierarquia de tratamento de resíduos, onde a prevenção é melhor que a reciclagem, mas esta é preferível à eliminação em aterro. A eliminação de resíduos só é permitida quando a reciclagem é inviável economicamente ou impossível. A fim de cumprir os objetivos da lei, os resíduos

destinados a serem recuperados devem ser mantidos e tratados separadamente. Esta lei estabeleceu também a responsabilidade dos produtores sobre os resíduos resultantes dos seus produtos.

Em 1992, foi elaborado um decreto oficial no âmbito dos RCD, contendo os requisitos para a prevenção, valorização e eliminação destes resíduos, sem afetar a qualidade do ambiente. Este continha metas quantitativas para a recuperação e reciclagem de resíduos, com uma taxa de reciclagem de 60% a ser atingida até 1995 (Mália, 2010).

Em 1996, foi publicado um novo documento, contendo requisitos para a demolição ou desconstrução. Este exigia, entre outras coisas, um plano de desconstrução que permitisse a separação dos materiais recicláveis. O documento estabelecia ainda que a eliminação de RCD recicláveis tinha de ser reduzida em 50%, com base nos níveis de 1995, até 2005.

Embora estes dois documentos nunca tenham entrado em vigor, acabaram por permitir a celebração de um acordo voluntário, assinado em 1996, entre várias organizações industriais (Mália, 2010). O acordo incidiu essencialmente sobre os RCD e definiu a meta a atingir tendo em conta os objetivos previstos nos dois projetos acima referidos. Deste acordo saíram também algumas especificações técnicas referentes à utilização de materiais reciclados. Consequentemente, passou a ser possível a utilização de RCD para a produção de betão.

Nos dez anos seguintes, a Associação da Economia da Construção Alemã (ARGE KWTB) elaborou cinco relatórios de acompanhamento semestrais onde documentou o desenvolvimento dos RCD. O último relatório foi publicado em 2007 e afirma que o cumprimento dos objetivos foi ultrapassado. A taxa de reciclagem média foi ligeiramente superior a 70% e foi complementada pela taxa de reutilização do material correspondente a 18,6%. Assim, apenas 11,3% (8,9 milhões de toneladas) de resíduos foram depositados em aterro.

2.3.4 Produção e reciclagem em Espanha

O auge da indústria da construção em Espanha durante a última década aumentou consideravelmente a produção de RCD, agravando o problema ambiental que deriva de uma gestão inadequada, como é o seu depósito incontrolado.

Para aumentar a taxa de reciclagem, o Governo de Espanha regulamentou a produção e tratamento dos RCD com a aprovação do II Plano Nacional Integral de Resíduos 2008-2015, estabelecendo uma taxa mínima de reciclagem de 35% para 2015 (GEAR, 2012). Desta forma, a reciclagem dos RCD converteu-se numa realidade durante os últimos anos em Espanha, resultando numa forma de preservar os recursos naturais e conseguir um melhor controlo no depósito destes resíduos em aterros ilegais.

De acordo com o Grémio Espanhol da Entidade de Reciclagem de Resíduos de Demolição, Espanha produziu um total de 37,5 milhões de toneladas de RCD no ano de 2006, dos quais 15 milhões (40%) foram adequadamente processados em unidades de tratamento de RCD e os restantes 22,5 milhões foram colocados em aterros. A produção de agregados reciclados foi de 5 milhões (taxa de reciclagem de 13,3%). No entanto, a diminuição da atividade no setor da construção em Espanha, de mais de 50% nos últimos dois anos, devido à crise económica, provocou uma redução considerável na produção de RCD.

Destacam-se algumas razões pelas quais não se alcança uma maior taxa de reciclagem: o seu depósito em aterro sem tratamento prévio tem um custo muito baixo, os elevados custos de transporte e tratamento dos resíduos, o baixo valor dos agregados reciclados e a falta de consciência ambiental.

Atualmente, os agregados reciclados em Espanha destinam-se a aplicações que não requerem um elevado nível de qualidade, contudo, a crescente evolução no desenvolvimento tecnológico do seu processamento e do seu controlo de qualidade permitirá num futuro próximo alcançar um nível de qualidade semelhante ao dos agregados naturais.

2.3.5 Produção e reciclagem no Reino Unido

O Reino Unido é um dos países que mais RCD produz dentro da EU, mas é também um daqueles que mais políticas têm implementado de modo a reaproveitá-los. A estratégia para os resíduos tem como principais objetivos (Mália, 2010):

- fornecer as ferramentas ao setor para que este possa melhorar a sua eficiência através da produção de menores quantidades de resíduos, desde a conceção até à demolição;
- tratar os resíduos como um recurso, aumentando não só a reutilização e a reciclagem, mas também a utilização de material recuperado;
- desenvolver o setor de reutilização e reciclagem, aumentando a sua procura e garantindo o investimento no tratamento de resíduos.

Em 1996, foram implementadas taxas para a deposição de RCD em aterro, sendo esta diferente para o caso de estes serem inertes ou não. Em 2002, foi introduzido um imposto sobre os agregados naturais para garantir que o impacte ambiental da sua extração é plenamente refletido no preço, encorajando assim a utilização de agregados reciclados. Este imposto visa estimular a economia para a utilização de produtos reciclados a partir de RCD em vez de produtos naturais.

Em 2005, foi preparado pela Waste & Resources Action Programme (WRAP) “um protocolo de qualidade para a produção de agregados de resíduos inertes” para proporcionar um processo uniforme de controlo para os produtores, de modo que eles possam indicar e demonstrar que o produto foi totalmente recuperado. O

protocolo abrange o controlo de produção na fábrica, descrições de produtos, critérios de aceitação, ensaios, registos de informação e deveres do produtor.

Em 2008, foi publicada uma nova regulamentação, tornando os planos de gestão de RCD na obra obrigatórios para todos os projetos de construção de valor superior a 341 880€. Este plano de gestão de RCD, Site Waste Management Plan (SWMP), regista a quantidade e tipo de resíduos produzidos na obra e a forma como os RCD vão ser reutilizados, reciclados ou eliminados. Segundo o Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), o planeamento atempado da gestão de RCD na obra vai permitir: aumentar a quantidade de resíduos de construção que são recuperados, reutilizados e reciclados; melhorar a eficiência dos recursos materiais; diminuir a produção de resíduos; e impedir os despejos ilegais. A implementação do SWMP é da responsabilidade do empreiteiro, cabendo às autoridades garantir a aplicação do plano e, em caso de falhas, impor sanções (Mália, 2010).

2.3.6 Produção e reciclagem na França

Em França, o depósito em aterro é a última alternativa para eliminar os resíduos, qualquer outra forma de tratamento é incentivada dentro dos limites técnicos e económicos. Os tradicionais aterros foram encerrados e substituídos por centros controlados para resíduos finais que não puderem ser reciclados ou quando os custos de reciclagem são superiores aos custos dos materiais naturais.

A Circular de 15 de fevereiro de 2000 sobre o planeamento da gestão de resíduos da construção civil e obras públicas, no âmbito da implementação dos objetivos da Lei de 13 de julho de 1992, impôs a obrigação de reciclar e reutilizar ao máximo os materiais, resíduos ou subprodutos provenientes da indústria da construção civil e obras públicas. Dos objetivos propostos por esta circular referem-se os seguintes:

- instalação de redes de tratamento próximas dos locais de produção a fim de reduzir o transporte de resíduos e os custos do seu tratamento;
- incentivo à redução da produção de resíduos na fonte;
- valorização da rede de reciclagem existente;
- permissão para a utilização de materiais de reciclagem na indústria da construção e de estradas;
- envolvimento dos construtores públicos na eliminação de resíduos através da elaboração de recomendações.

Com a implementação dos planos de gestão de resíduos em obra, verificou-se um aumento na sensibilização do conceito de demolição seletiva. Como consequência foram implementados grandes programas de reestruturação urbana e a Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), elaborou em 2003 um guia dedicado à demolição seletiva.

Atualmente, os trabalhos de demolição seletiva têm um quadro regulamentar e técnico bem definidos. Por exemplo, os diagnósticos preliminares para os planos de demolição e gestão de resíduos são agora obrigatórios.

Em 2010 foram contabilizados 355 milhões de toneladas de resíduos, mais 10 milhões de toneladas que em 2008. Destes, 260 milhões de toneladas foram produzidos pelo setor da construção (Commissariat Général au Développement Durable, 2011), dos quais mais de 90% são inertes. Estes resíduos são provenientes de demolições, reabilitações e construções novas, nas seguintes percentagens:

- 65% de demolição;
- 28% de obras de reabilitação;
- 7% de construção nova.

Em 2009, foram produzidos a nível nacional, 15 milhões de toneladas de agregados provenientes de resíduos de demolição, permanecendo o mesmo valor em 2010. Este tipo de agregados representa mais de 70% da produção de agregados reciclados (21 milhões de toneladas).

2.3.7 Produção e reciclagem no Brasil

A preocupação com os resíduos, de uma maneira geral, é relativamente recente no Brasil. A reciclagem de RCD, como material de construção é ainda reduzida, comparando-a com alguns países europeus, porém, vem chamando a atenção dos gestores urbanos pelas possibilidades que proporciona como solução para a gestão dos RCD e para a produção de produtos de baixo custo. Este atraso é devido aos repetidos problemas económicos e aos notáveis problemas sociais, que são os enfoques das discussões políticas atuais. Atualmente, a construção civil é a atividade responsável pela produção de 685 milhões de toneladas de RCD no Brasil (Spadotto et al., 2012). Estima-se que nas grandes cidades brasileiras, as atividades de construção produzem 50% dos RCD, enquanto as atividades de manutenção e demolição são responsáveis pela outra metade. Os RCD representam entre 41 e 70% de todo o resíduo sólido municipal, aproximando-se de 450 kg/hab.ano (Silva, 2007).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) com a resolução n.º 307, de 5 de julho de 2002, estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCD. Esta resolução atribuiu aos produtores de resíduos a responsabilidade pela sua gestão e a obrigatoriedade de separar e armazenar os resíduos de acordo com a classificação proposta, proibindo a deposição de RCD em aterros de resíduos e em áreas ilegais.

Esta resolução define para a construção civil quatro classes de resíduos, que devem ter tratamentos distintos (Motta, 2005):

- Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: tijolos, betão, argamassa, blocos, telhas, placas de revestimentos, solos provenientes de terraplenagens, etc;
- Classe B: são os resíduos recicláveis para outros destinos, tais como, plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como, tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos que contenham amianto e outros produtos nocivos à saúde.

Os RCD, dependendo da sua classificação, devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados para aterros de resíduos da construção civil, onde são dispostos de modo a permitir a sua utilização futura, ou devem ser armazenados, transportados e aplicados em conformidade com as normas técnicas específicas.

A Resolução CONAMA n.º 307/02 constituiu assim um avanço, pois disciplina as ações necessárias para minimizar os impactes ambientais, proibindo inclusive, a eliminação dos RCD em aterros de resíduos e em vazadouros. Por outro lado, a classificação em tipos diferenciados ajudará no controle e manuseamento adequado dos resíduos, bem como o melhor reaproveitamento, quando a sua produção não puder ser evitada.

2.3.8 Produção e reciclagem em Portugal

Num estudo efetuado pelo Instituto Superior Técnico, estimou-se que no ano de 2004 foram produzidos em Portugal 4,4 milhões de toneladas de RCD, dos quais 95% foram depositados em aterro (Miranda, 2009).

Também no ano de 2004, a Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAOT) publicou um documento intitulado “Resíduos de Construção e Demolição”, onde foram diagnosticados os seguintes problemas ao nível da gestão de RCD em Portugal (Miranda, 2009):

- elevado volume de produção e resultante desaproveitamento de materiais;
- falta de informação e sensibilidade para o assunto por parte dos produtores de resíduos, o que origina o aparecimento de depósitos ilegais;
- existência de poucos locais de deposição legal, e custos inerentes a esta deposição;
- prática de queima em obra como forma de simplificar o processo de gestão de RCD;

- falta de soluções de reciclagem e valorização.

O cenário tradicional era a deposição ilegal ou a deposição dos RCD em aterro. Um pouco por todo o país, os RCD produzidos eram abandonados e colocados junto a estradas, cursos de água, zonas residenciais, em terrenos baldios, e até em áreas protegidas.

De acordo com estimativas comunitárias, em 2005, os RCD representavam 22% do total de resíduos produzidos em Portugal, o que significa que o país tinha uma produção de 7,5 milhões de toneladas.

Deste volume, cerca de 1,8 milhões de toneladas (24%) foram depositados em aterros de resíduos inertes, 100 mil (1,3%) em aterros de RSU, e 20 mil (0,26%) em aterros de resíduos industriais banais. O encaminhamento para reciclagem rondava os 5%, pelo que estariam em causa 375 mil toneladas, o que significa que só era conhecido o paradeiro de 2,2 milhões de toneladas, cerca de 30% dos RCD produzidos anualmente, e conseqüentemente era desconhecido o destino dado a 70% dos RCD produzidos (Miranda, 2009).

Foram estimadas as percentagens de encaminhamento para reutilização, reciclagem, incineração e aterro de cada fração dos RCD em Portugal (Pereira, 2002). O aterro é o principal destino para os RCD. Os solos e rochas são os tipos de RCD mais reutilizados (40%), sendo os restantes 60% enviados para aterro, conforme se pode observar no quadro 5 (Pereira, 2002).

Apesar de existirem em diversos estudos discrepâncias nos valores estimados de RCD produzidos, todos são unânimes quanto à utilização de aterros como principal destino em Portugal.

A legislação que aprovou o regime jurídico de RCD, publicada em março de 2008 (Decreto-Lei n.º 46/2008), veio dotar de algumas regras um setor que estava pouco estruturado. Contudo, ao contrário do que se esperava, o diploma legal não veio resolver o problema do escoamento de inertes reciclados, quer pelo fato de não ser obrigatória a incorporação de materiais reciclados em obra, quer pelo fato das tarifas de deposição de inertes em aterro terem descido de € 5 para € 2. Esta realidade não fomenta a reciclagem e a reutilização de RCD, já que em Portugal a capacidade instalada de produção de agregado natural é excessiva.

Quadro 5 - Destino dos RCD em Portugal, por composição (Pereira, 2002)

Destino dos RCD	Reutilização (%)	Reciclagem (%)	Incineração (%)	Aterro (%)
Solos, pedras, etc.	40,0	0,0	0,0	60,0
Betão, tijolos, azulejos, alvenarias, etc. (inertes)	15,0	0,0	0,0	85,0
Resíduos de estradas (asfalto betuminoso)	10,0	0,0	0,0	90,0
Madeira	10,0	30,0	30,0	30,0
Metais (aço incluído)	10,0	60,0	0,0	30,0
Papel e cartão	0,0	20,0	30,0	50,0
Plásticos	0,0	10,0	5,0	85,0
Vidro	0,0	0,0	0,0	100,0
Isolamentos	0,0	0,0	0,0	100,0
Outros resíduos	0,0	10,0	5,0	85,0

As alterações entretanto introduzidas no Decreto-Lei n.º 73/2011 vieram colmatar os fatos acima descritos, estabelecendo metas de reutilização, reciclagem e outras formas de gestão dos resíduos a cumprir até 2020: 70% dos RCD produzidos nos Estados Membros da UE terão de ser encaminhados para reutilização, reciclagem e outras formas de valorização material. Prevê, como incentivo à reciclagem para atingir estas metas, a utilização, sempre que tecnicamente exequível, de pelo menos 5% de materiais reciclados ou que incorporem materiais reciclados relativamente à quantidade total de matérias-primas usadas em obra, no âmbito da contratação de empreitadas de construção e de manutenção de infraestruturas ao abrigo do Código dos Contratos Públicos, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 18/2008, de 29 de janeiro.

2.4 Considerações finais

Perante a informação apresentada neste capítulo, pode verificar-se que efetivamente a produção e a reciclagem de RCD varia consoante o país. Fruto de várias condicionantes, no que aos Estados Membros da UE diz respeito, os países encontram-se em diferentes patamares na implementação das medidas de gestão de RCD. Pela pesquisa efetuada neste estudo, as condicionantes que favorecem ou não a reciclagem de RCD passam essencialmente pelos seguintes fatores: taxas aplicadas para a deposição de RCD em aterro; facilidade de aquisição de agregados naturais; taxas aplicadas sobre a exploração dos agregados naturais; criação de mercados atrativos para os materiais reciclados; campanhas informativas; incentivos à separação na origem; e consciência ambiental dos próprios países.

Em Portugal, embora se tenha verificado uma grande mudança comportamental em relação à gestão dos RCD, muito por força da obrigatoriedade legal, existe ainda um longo caminho a percorrer até que sejam

atingidas taxas de reciclagem como as verificadas, desde há longos anos, em países como Dinamarca, Holanda e Alemanha.

No Brasil, embora a preocupação com este tema seja relativamente recente, já é reconhecida a importância e a oportunidade que o mercado dos RCD pode trazer, nomeadamente nos centros urbanos.

3 REGULAMENTAÇÃO TÉCNICA APLICADA À RECICLAGEM DE RCD

3.1 Considerações iniciais

Neste capítulo será descrita regulamentação técnica sobre reciclagem de RCD seguida em França, Reino Unido, Espanha e Portugal. O principal objetivo é o de apresentar, de forma compilada, os requisitos físicos, mecânicos e químicos previstos para aplicação destes agregados reciclados em camadas não ligadas de aterro, leito de pavimento, sub-base e base de vias rodoviárias e em valas.

3.2 França

Em 2009, os principais sindicatos profissionais assinaram com o Ministério do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (MEEDDAT) e a Associação de Departamentos de França, um “Acordo voluntário dos intervenientes da conceção, construção e manutenção de infraestruturas rodoviárias, estradas e espaço público urbano” (IDRRIM, 2011). Neste acordo, as empresas de construção de estradas e de terraplenagens, especialmente no âmbito da implementação das orientações do “Grenelle de l’Environnement”¹, comprometeram-se a preservar os recursos naturais não renováveis e a cumprir os seguintes objetivos:

- reutilização ou valorização de material 100% natural proveniente de escavação em terraplenagens (objetivo anunciado: uma melhoria de reutilização e valorização de 10% até 2010 e de 100% em 2020);
- melhor valorização de materiais provenientes de estradas e aumento da reciclagem de resíduos de construção de obras públicas;
- aumento da reutilização dos materiais provenientes de estradas em centrais de misturas betuminosas (objetivo anunciado: 60% em 2012).

Por sua vez, o Estado comprometeu-se a partir de 2010 a:

- reforçar a sua política de inovação rodoviária, assegurando experiências locais;
- participar na reformulação da doutrina técnica;
- garantir a promoção desta política com os construtores e empreiteiros, nomeadamente através de parcerias técnicas;

¹ Grenelle de l’Environnement - Fórum do meio ambiente onde se tomam decisões de longo prazo sobre o ambiente e o desenvolvimento sustentável, em especial para restabelecer a biodiversidade através da criação de um “padrão verde e azul” e padrões regionais de coerência ecológica reduzindo as emissões de gases de efeito de estufa e para melhorar a eficiência energética.

- fornecer sistematicamente nos contratos de obras públicas a possibilidade de reutilização, reciclagem e valorização dos resíduos.

Foi criada a *Nota de Informação n.º 22 de février de 2011*, publicada pelo Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDRRIM, 2011), que tem como objetivo facilitar a utilização de agregados reciclados, propondo, a partir de uma síntese de experiências regionais, um quadro nacional para o uso destes materiais no setor rodoviário. Todavia, não substitui os guias técnicos regionais existentes e não define a gestão dos materiais. Cada região tem a sua experiência na utilização dos materiais reciclados e alguns têm formalizado diretrizes sob forma de guias técnicos regionais, tais como: Île-de-France, Rhône-Alpes e Lorraine. A caracterização dos materiais reciclados para camadas de aterro, leito de pavimento e valas é feita de acordo com a norma NF P 11-300 e o guia técnico “Guide des Terrassements Routiers (GTR) pour la réalisation de remblais et des couches de forme” (LCPC/SETRA, 1992). Os agregados reciclados para camadas de sub-base e base são caracterizados segundo as normas XP P 18-545, NF EN 13242 e NF EN 13285.

De seguida, descrevem-se as características e classificação dos agregados reciclados presentes nestes três guias técnicos regionais, podendo verificar-se algumas diferenças ao nível da classificação dos agregados reciclados em função da sua origem.

3.2.1 Guia técnico d’Île-de-France

A fim de facilitar a caracterização dos agregados reciclados, denominados “GR”, são definidas, neste Guia, cinco categorias: GR0, GR1, GR2, GR3 e GR4. Os agregados GR0 e GR1 podem ser utilizados em aterro e leito de pavimento e os restantes em camadas de sub-base e base. Apresentam-se no quadro 6 os requisitos requeridos neste guia técnico para os materiais das cinco categorias.

Relativamente às possíveis utilizações e condições de emprego destes materiais são especificadas algumas recomendações:

- Agregados reciclados GR0:
 - assimilação à classe de solo natural com as mesmas características geotécnicas (NF P 11-300);
 - aplicar as condições de emprego definidas no GTR para a classe de solo assimilável;
 - não devem ser utilizados em aterro contíguo a estruturas;
 - não devem ser aplicados na parte inferior de aterros em zonas inundáveis.
- Agregados reciclados GR1:
 - possível aplicação em aterro de acordo com as condições estabelecidas no GTR para o solo natural com as mesmas características geotécnicas;
 - comumente, os agregados reciclados GR1 podem ser utilizados onde os GR0 não são aplicáveis.
- Agregados reciclados GR2, GR3 e GR4:
 - as especificações relativas à aplicação e condições de emprego são dadas de acordo com a posição da camada no pavimento (sub-base ou base) e o volume de tráfego.

Quadro 6 - Classificação dos materiais reciclados GR0 e GR1 (adaptado de Guide technique pour l’utilisation des matériaux régionaux d’Île-de-France, 2003)

Referência à norma		NF P 11-300		XP P 18-545		
		F 72 ⁽¹⁾	F 71 ⁽²⁾			
Categoria de agregado reciclado		GR0	GR1	GR2	GR3	GR4
Granulometria		Não calibrado	0/D $D_{\text{máx.}} \leq 80$ mm	0/D $D_{\text{máx.}} \leq 31,5$ mm	0/D $D_{\text{máx.}} \leq 20$ mm	0/D $D_{\text{máx.}} \leq 20$ mm
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação e resistência ao desgaste (NF EN 1097-2 e NF EN 1097-1)	-	LA ≤ 45 e MDE ≤ 45	LA ≤ 45 e MDE ≤ 45 ou LA+MDE ≤ 80	LA ≤ 40 e MDE ≤ 35 ou LA+MDE ≤ 65	LA ≤ 35 e MDE ≤ 30 ou LA+MDE ≤ 55
Qualidade dos finos		-	MB $\leq 0,2$ ⁽³⁾	EA ⁽⁴⁾ ≥ 50 ou MB ⁽⁵⁾ $\leq 2,5$		
Sulfatos (NF P 18-581)		Segundo a utilização	$\leq 0,7\%$			

⁽¹⁾ - F71: Materiais de demolição sem gesso, classificação de acordo com o GTR.

⁽²⁾ - F72: Materiais de demolição que podem conter gesso, classificação de acordo com o GTR.

⁽³⁾ - Azul de metileno (MB) determinado segundo a norma NF P 94-068.

⁽⁴⁾ - Equivalente de areia (EA) determinado segundo a norma NF EN 933-8.

⁽⁵⁾ - Azul de metileno (MB) determinado segundo a norma NF EN 933-9.

O Guia refere alguns cuidados a ter na execução e ao nível da compactação devido à textura angular e rugosa destes materiais, bem como a menor resistência à fragmentação a partir do esmagamento, não devendo, por isso, serem utilizados cilindros pesados V5, contemplados no GTR (LCPC/SETRA, 1992).

3.2.2 Guia técnico Rhône-Alpes

Os agregados reciclados são classificados, neste guia, por um índice, função da percentagem de origem dos diferentes constituintes (quadro 7):

- B: agregados reciclados de betão,
- M: agregados reciclados mistos,
- E: agregados reciclados de misturas betuminosas;

e 5 categorias (GR0-Sol, GR1-Sol, GR2, GR3 e GR4), função das suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (quadros 8 e 9).

Estes dois critérios de classificação (categoria e origem) definem a aplicação dos materiais e são complementados com outros tipos de parâmetros, tais como: teor em sulfatos e impurezas proibidas (plásticos, materiais putrescíveis e metais).

Quadro 7 – Classificação dos agregados reciclados pelo guia técnico Rhône-Alpes

	Misturas betuminosas	Betão
GR0 M	≤ 40%	-
GR1 M		
GR2 M	≤ 30%	-
GR3 M		
GR0 B	≤ 5%	≥ 90%
GR1 B		
GR2 B		
GR3 B		
GR4 B	≥ 80%	-
GR0 E		
GR1 E		

As possíveis aplicações dos materiais reciclados são:

- materiais GR0-Sol: aterro;
- materiais GR1-Sol: leito de pavimentos e valas;
- materiais GR2, GR3 e GR4: camadas de sub-base e base.

Quadro 8 – Classificação dos materiais reciclados GR0 e GR1 (adaptado de Guide D’Utilisation en Travaux Publics, 2005)

Classificação segundo a norma NF P 11 300						
Categoria dos agregados reciclados	GR0-Sol			GR1-Sol		
Origem	E	M	B	E	M	B
Parâmetros de natureza						
Granulometria O/D, NF P 94-056	D _{máx.} ≤ 150 mm			D _{máx.} ≤ 80 mm		
% de finos (passado # 0,08mm), NF P 94-056	Máx. = 10			Máx. = 10		
Azul de metileno, NF P 94-068	MB ⁽¹⁾ < 0,20g/100g material seco			MB ⁽¹⁾ < 0,20g/100g material seco		
Parâmetros de comportamento mecânico						
Los Angeles, %, NF EN 1097-2	-			LA ≤ 45 ⁽²⁾		
Micro-Deval, %, NF EN 1097-1	-			MDE ≤ 45 ⁽²⁾		
Características físico-químicas						
Teor em sulfatos solúveis (gesso), %, XP P 18-581	TSO ₄ ≤ 1,3			TSO ₄ ≤ 0,8		
Características de fabricação						
% Contaminantes determinados segundo a norma EN 933-11	Plásticos, materiais putrescíveis	< 1				
	Metais	< 1				
Classe geotécnica e de assimilação – Domínio de utilização						
Classificação GTR (NF P 11-300)	F 7 (materiais de demolição)			F 71 (materiais de demolição sem gesso)		

⁽¹⁾ – Azul de metileno (MB) determinado segundo a norma NF P 94-068.

⁽²⁾ – Os ensaios LA e MDE, não são aplicáveis aos materiais GR1 E e à fração betuminosa dos materiais GR1 M.

As condições de emprego são determinadas, por referência ao GTR, à família “Materiais de demolição F7” nas disposições aplicáveis da família de solos “naturais”, cuja identificação dos parâmetros geotécnicos é igual.

Para materiais GR0-Sol, a determinação das condições de emprego exige o conhecimento do estado hidrico do material.

Quadro 9 - Classificação dos materiais reciclados GR2, GR3 e GR4 (adaptado de Guide D'Utilisation en Travaux Publics, 2005)

Classificação segundo as normas NF EN 13 242 & 13 285					
Categoria dos agregados reciclados	GR2 (D _{máx.} - 63 mm)		GR3 (D _{máx.} - 31,5 mm)		GR4 (D _{máx.} - 20 mm)
Origem	M	B	M	B	B
Parâmetros de natureza					
Classe granulométrica, NF EN 933-1	OC 80 G _B		OC 85 G _B		OC 85 G _A
% de finos (passado # 0,063mm), NF EN 933-1	LF ₂ ≥ 2 - UF ₇ ≤ 7				
Azul de metileno, NF EN 933-9	⁽¹⁾ MB _{0/D} ≤ 0,80 g/kg				
Parâmetros de comportamento mecânico					
Los Angeles, %, NF EN 1097-2	LA ≤ 40 – MDE ≤ 40		LA ≤ 35 – MDE ≤ 30		LA ≤ 30 – MDE ≤ 25
Micro-Deval, %, NF EN 1097-1	LA + MDE ≤ 70		LA + MDE ≤ 55		LA + MDE ≤ 45
Características físico-químicas					
Teor em sulfatos solúveis, % (gesso), XP P 18-581	TSO ₄ ≤ 0,4				
Características de fabrico					
% Contaminantes determinados segundo a norma EN 933-11	Plásticos, materiais putrescíveis	< 0,6		< 0,3	
	Metais	< 0,5		< 0,2	

⁽¹⁾ – MB: valor de azul de metileno na fração 0/2mm, se D ≤ 50mm reportar 0/D ou se D > 50mm reportar 0/50.

As especificações de aplicação dos agregados reciclados são semelhantes às dos “naturais” devendo, no entanto, considerar algumas características específicas:

- a classificação de dificuldade de compactação [DC3], deve-se à fricção das partículas angulosas e de textura rugosa;
- a menor resistência mecânica à fragmentação e desgaste dos grãos de alguns tipos de materiais;
- a utilização de cilindros pesados V5, contemplados no GTR (LCPC/SETRA, 1992), nos agregados reciclados de betão pode provocar aumento de finos na superfície da camada;
- a aplicação de agregados reciclados em camadas de base requer uma atenção especial por forma a conseguir uma superfície satisfatória que não dificulte a fixação das camadas betuminosas e não crie uma interface frágil entre a fundação e a base.

3.2.3 Guia técnico Lorraine

Este guia técnico identifica seis produtos, representativos de 80 a 90% da produção atual de materiais reciclados de RCD da região, de acordo com o quadro 10.

Quadro 10 – Classificação dos materiais reciclados em Lorraine

GR1 M	D ≤ 80 mm
GR1 B	
GR 2 M	D ≤ 31,5 mm
GR 2 B	
GR 2 E	D ≤ 31,5 mm
Materiais pré-crivados	0/D

Com:

- M: agregados reciclados mistos, com 30% de misturas betuminosas, no máximo;
- B: agregados reciclados de betão, com, no mínimo, 90% de betão e, no máximo, 5% de misturas betuminosas;
- E: agregados reciclados de misturas betuminosas, com, no mínimo, 80% de misturas betuminosas.

Estes produtos são aqueles que comumente se encontram nos centros de reciclagem presentes na região.

O domínio de utilização dos materiais reciclados para aterros, aterros de valas e leito de pavimento são: GR1 M e GR1 B. As características destes materiais, especificadas neste guia, são apresentadas no quadro 11.

O domínio de utilização dos materiais para camadas granulares de base e sub-base são: GR2 M e GR2 B e as características destes materiais são apresentadas no quadro 12.

Os materiais GR2 E e pré-crivados não são objeto de características particulares, mas o seu emprego está sujeito à elaboração de uma ficha técnica do produto para cada lote a utilizar.

A utilização de materiais reciclados em contacto com canalizações necessita de uma verificação da não-agressividade destes materiais.

Quadro 11 – Características dos materiais reciclados para aterro, aterro de valas e leito de pavimento (adaptado de Guides d'utilisation des matériaux Lorrains en technique routière, 2008)

Categoria do agregado reciclado		GR1 M	GR1 B
Classe granulométrica 0/D, mm, NF P 94-056		0/80	
Composição do agregado grosso reciclado, %, EN 933-11	Betuminoso	≤ 30	≤ 5
	Betão	-	≥ 90
Parâmetros de natureza			
% de finos (passados 80 µm), NF P 94-056		≤ 12	
Azul de metileno, NF P 94-068		≤ 0,2	
Parâmetros de comportamento mecânico			
Los Angeles, %, NF EN 1097-2		LA ≤ 45 ⁽¹⁾	LA ≤ 45
Micro-Deval, %, NF EN 1097-1		MDE ≤ 45 ⁽¹⁾	MDE ≤ 45
Características físico-químicas			
Teor de sulfatos solúveis em água, %, NF EN 1744-1		≤ 0,7	
% Contaminantes determinados segundo a EN 933-11	Plásticos, materiais putrescíveis, metais	≤ 1	
Assimilação à norma			
Norma NF P 11-300		F71 (Assimilável a C1-B31 ou D31) ⁽²⁾	

⁽¹⁾ – Os ensaios LA e MDE não são aplicáveis à fração betuminosa da categoria GR1 M.

⁽²⁾ – C1-B31: Solos com elementos grossos e finos geralmente insensíveis à água; D31: Solos insensíveis à água.

As precauções de aplicação de agregados reciclados de betão são semelhantes às convencionais, no entanto, as especificidades da implementação relacionadas com a qualidade intrínseca do material devem ser levadas em conta, como sejam:

- estes materiais têm, geralmente, um teor em água muito baixo, inferior ao teor em água ótimo, por conseguinte é necessário aumentar o seu teor em água para próximo do ótimo. Devido à porosidade deste tipo de materiais, uma grande quantidade de água é lentamente absorvida pelos agregados e não está diretamente disponível para a manipulação do material durante a sua compactação.
- Estes materiais oferecem fricção angular significativa e textura rugosa, o que implica maior dificuldade de compactação.
- Devido à potencial fricção durante a compactação deste tipo de materiais, é importante o uso de um mecanismo de compactação adaptado, para evitar a criação de superfícies finas, garantindo ao mesmo tempo a necessária densificação.
- Têm baixa resistência à fragmentação (por vezes LA > 40), devendo por isso evitar-se compactadores pesados que causam desagregação com aumento de elementos finos à superfície.

Quadro 12 - Características dos materiais reciclados para camadas de sub-base e base (adaptado de Guides d'utilisation des matériaux Lorrains en technique routière, 2008)

Categoria do agregado reciclado		GR2 M	GR2 B
Dimensão O/D, mm, NF EN 933-1		0/31,5	0/31,5
Composição do agregado grosso reciclado, %, EN 933-11	Betuminoso	≤ 30	≤ 5
	Betão	-	≥ 90
Parâmetros de natureza			
Classe granulométrica, NF EN 933-1		OC 85 GB	
% de finos (passados 63 µm), NF EN 933-1 e NF EN 13285		UF ₉ - LF ₂	
Azul de metileno, NF EN 933-9		MB ≤ 2,5	
Parâmetros de comportamento mecânico			
Los Angeles, %, NF EN 1097-2		LA ≤ 40 ⁽¹⁾	LA ≤ 40
Micro-Deval, %, NF EN 1097-1		MDE ≤ 35 ⁽¹⁾	MDE ≤ 35
Características físico-químicas			
Teor de sulfatos solúveis em água, %, NF EN 1744-1		≤ 0,7	
% Contaminantes determinados segundo a EN 933-11	Plásticos, materiais putrescíveis, metais	≤ 1	

⁽¹⁾ - Os ensaios LA e MDE não são aplicáveis à fração betuminosa da categoria GR2 M.

3.3 Reino Unido

As infraestruturas rodoviárias representam no Reino Unido um grande mercado para a utilização de agregados reciclados com potencial de valor acrescentado em várias aplicações. A principal especificação para Estradas e Pontes no Reino Unido é a "Specification for Highway Works" (SHW). Esta faz parte do Volume 1 do Manual de Contratos de Obras Rodoviárias (Highways Agency, 2009) e é composta por várias séries, consoante a aplicação dos materiais, contemplando o uso de agregados reciclados.

A construção e conservação de estradas municipais e rurais (exceto estradas nacionais e autoestradas) regem-se normalmente por especificações que são baseadas principalmente na SHW e procedimentos locais elaborados com base nas experiências adquiridas pelas autoridades rodoviárias locais.

As obras em valas são regidas pela "Specification for the Reinstatement of Openings in Highways" (SROH). Esta especificação é um código de boas práticas que delinea uma norma nacional aplicável a este tipo de trabalhos como uma parte de execução de obras rodoviárias. Em termos gerais, a especificação prescreve materiais que podem ser utilizados, os padrões de fabrico e desempenho a serem cumpridos nas fases de

construção de valas, tanto provisórias como permanentes. Esta especificação tem um foco forte na sustentabilidade, incentivando a reciclagem e reaproveitamento de materiais para minimizar a pegada de carbono destes trabalhos.

Para a aplicação dos agregados reciclados no Reino Unido ser possível, para além de satisfazerem os requisitos definidos na especificação SHW, também devem seguir o Protocolo de Qualidade da Waste & Resources Action Programme (WRAP). O protocolo de qualidade WRAP define o procedimento seguido no Reino Unido para a produção da maior parte dos agregados reciclados utilizados na construção.

A finalidade deste protocolo é de fornecer um processo de controlo uniforme aos produtores, a partir do qual possam evidenciar que o seu produto foi tratado e deixou de ser um resíduo. Garante ainda aos compradores um produto de qualidade gerido por regras comuns, o que aumenta a confiança no desempenho. Além disso, o quadro criado pelo protocolo, prevê uma série de auditorias de forma a garantir a conformidade com a legislação de gestão de resíduos.

A WRAP foi criada em 2000 como uma empresa independente e sem fins lucrativos, sendo constituída por membros de empresas, entidades governamentais e outras organizações ativas no setor. A capacidade de reunir diferentes grupos de interessados favorece o sucesso desta organização. Entre os vários tipos de resíduos tratados pela WRAP, um deles, é o dos agregados reciclados, tendo sido criado neste sentido o AggRegain. Este é um serviço gratuito de informações sobre agregados sustentáveis fornecido pelo programa de agregados WRAP. Foi lançado em fevereiro de 2003 e, em resposta à aceitação dos utilizadores, passou por um grande programa de expansão e desenvolvimento em 2005 para aumentar a gama de informações disponíveis. Este serviço é concebido para ajudar qualquer pessoa interessada em produzir, comprar ou fornecer agregados reciclados. O serviço é atualizado e complementado regularmente e quem quiser dar uma contribuição ou prestar um aconselhamento pode fazê-lo.

Este serviço gratuito desempenha um papel importante no aumento da oferta de qualidade e da procura de agregados reciclados, proporcionando aos produtores, reguladores e compradores uma fonte confiável e independente de informação sobre a qual baseiam as decisões de produção e aquisição. O serviço AggRegain desempenha um papel fundamental no fornecimento de informações e eleva a consciencialização para o tema do programa de agregados sustentáveis.

O Reino Unido tem uma abundante oferta de agregados primários que podem ser provenientes de vários locais do país. No entanto, há uma pressão constante sobre os produtores e consumidores para se moverem em direção a uma mobilização de recursos mais sustentáveis dos agregados para a construção civil, reduzindo o consumo de agregados primários através da comutação para os agregados reciclados.

Cerca de 275 milhões de toneladas de agregados são usados por ano no Reino Unido como matéria-prima na construção e desta oferta, cerca de 70 milhões de toneladas são derivados de agregados reciclados ou secundários (WRAP, 2013a).

3.3.1 Possíveis aplicações na construção

Os agregados reciclados são permitidos numa grande variedade de aplicações na construção e estão contemplados nas seguintes séries da especificação SHW:

- *Série 500 – Drenagem:* Colocação de tubagens e material para filtro de drenagem;
- *Série 600 – Terraplenagens:* Classes 1A a 1C, 6A a 6F5, e 6H a 6Q;
- *Série 700 – Pavimentos rodoviários:* Geral;
- *Série 800 – Misturas não ligadas:* Tipos 1, 2 e 3 e categoria B e misturas de ligantes hidráulicos;
- *Série 900 – Misturas betuminosas:* até 50% de misturas betuminosas recuperadas em camadas de base e regularização e até 10% em camadas de desgaste;
- *Série 1000 – Agregados para pavimentos de betão hidráulico.*

A série 700 da SHW – “Series 700 – Roads Pavements – General”, contempla na cláusula 710 o ensaio dos materiais constituintes para agregados reciclados. Esta cláusula confere requisitos para os materiais reciclados e é requerida em todas as cláusulas da SHW que permitem a utilização de agregados reciclados, especificando os métodos de ensaio para a determinação percentual dos componentes de um agregado reciclado de acordo com a norma de ensaio BS EN 933-11.

3.3.2 Aterro e camada de leito de pavimento

A especificação SHW admite uma vasta gama de possíveis materiais a aplicar em aterro e leito de pavimento. No quadro 13 apresentam-se os requisitos de composição granulométrica, e características físicas e químicas previstas na especificação SHW para as classes que a seguir se descrevem.

Os materiais granulares para o aterro e a camada de leito de pavimento podem ser utilizados como materiais não ligados ou ligados. Os requisitos específicos para estes materiais são dados geralmente em termos de propriedades geométricas, físicas e químicas. Estes devem ainda satisfazer um CBR mínimo de 15%.

A especificação SHW classifica as seguintes classes de materiais granulares não ligados para leito de pavimento:

- Classe 6F1: material granular selecionado (granulometria fina);
- Classe 6F2: material granular selecionado (granulometria grossa);
- Classe 6F3: material granular selecionado que pode ser de misturas betuminosas e asfalto granulado;
- Classe 6F4: material granular selecionado (granulometria fina), produzido fora do estaleiro;
- Classe 6F5: material granular selecionado (granulometria grossa), produzido fora do estaleiro.

A distribuição granulométrica dos materiais designados no quadro 13 é determinada segundo a norma inglesa BS 1377-2 para as classes 6F1, 6F2 e 6F3, produzidos no estaleiro (“on-site”) e para as classes 6F3, produzidos fora do estaleiro (“off-site”). As classes 6F4 e 6F5 são determinadas segundo a norma europeia BS EN 933-2. No quadro 14 apresentam-se os fusos granulométricos previstos na especificação SHW, série 600.

Quadro 13 - Requisitos dos materiais para terraplenagens (extraído de SHW – Series 600, Highways Agency, 2009)

Classe	Descrição geral do material	Utilização típica	Constituintes permitidos	Propriedade	Norma	Limites de aceitação	
						Inferior	Superior
6F1	Material granular selecionado (granulometria fina)	Camada de leito de pavimento	Agregados reciclados com menos de 50%, em massa, de misturas betuminosas, mas excluindo misturas que contenham alcatrão	Granulometria	BS 1377 -2	Quadro 14	
				Los Angeles	BS EN 1097-2	-	60%
				Classe Ra (materiais betuminosos)	BS EN 933-11	-	50%
				Classe X (materiais coesivos, plásticos, ferro)	BS EN 933-11	-	1%
				Teor em betume (quando Ra > 20%)	BS EN 12697-1 ou BS EN 12697-39	-	2,0%
6F2	Material granular selecionado (granulometria grossa)	Camada de leito de pavimento	Agregados reciclados com menos de 50%, em massa, de misturas betuminosas, mas excluindo misturas que contenham alcatrão	Granulometria	BS 1377 -2	Quadro 14	
				Los Angeles	BS EN 1097-3	-	50%
				Classe Ra (materiais betuminosos)	BS EN 933-11	-	50%
				Classe X (materiais coesivos, plásticos, ferro)	BS EN 933-11	-	1%
				Teor em betume (quando Ra > 20%)	BS EN 12697-1 ou BS EN 12697-40	-	2,0%
6F3	Material granular selecionado	Camada de leito de pavimento	Agregados reciclados com não menos de 50%, em massa, de misturas betuminosas e asfalto granulado, mas excluindo misturas que contenham alcatrão	Granulometria (on-site)	BS 1377 -3	Quadro 14	
				Granulometria (off-site)	BS EN 933-2	Quadro 14	
				Classe Ra (materiais betuminosos)	BS EN 933-11	50%	-
				Teor em betume (quando Ra > 20%)	BS EN 12697-1 ou BS EN 12697-41	-	10%
6F4	Material granular selecionado (granulometria fina) - produzido fora do local	Camada de leito de pavimento	Misturas não ligadas cumprindo a BS EN 13285. Agregados reciclados que não contenham mais de 50%, em massa, de misturas betuminosas e asfalto granulado, mas excluindo misturas que contenham alcatrão	Categoria granulométrica	BS EN 13285 - 0/31,5 e G _E	Quadro 14	
				Máximo conteúdo de finos e categoria do sobretamanho	BS EN 13285 - UF ₁₅ e OC ₁₅	Quadro 14	
				Los Angeles	BS EN 13242 - LA ₆₀	-	60%
				Classe Ra (materiais betuminosos)	BS EN 933-11	-	50%
				Teor em betume (quando Ra > 20%)	BS EN 12697-1 ou BS EN 12697-39	-	2,0%
6F5	Material granular selecionado (granulometria grossa) - produzido fora do local	Camada de leito de pavimento / Nivelamento	Misturas não ligadas cumprindo a BS EN 13285. Agregados reciclados que não contenham mais de 50%, em massa, de misturas betuminosas e asfalto granulado, mas excluindo misturas que contenham alcatrão	Categoria granulométrica	BS EN 13285 - 0/80 e G _E	Quadro 14	
				Máximo conteúdo de finos e categoria do sobretamanho	BS EN 13285 - UF ₁₂ e OC ₇₅	Quadro 14	
				Los Angeles	BS EN 13242 - LA ₅₀	-	50%
				Classe Ra (materiais betuminosos)	BS EN 933-11	-	50%
				Teor em betume (quando Ra > 20%)	BS EN 12697-1 ou BS EN 12697-39	-	2,0%

Quadro 14 – Fusos granulométricos, percentagem de material passado para as classes 6F1 a 6F5 (extraído de SHW – Series 600, Highways Agency, 2009)

Tamanho (mm), Série BS 1377-2													
Classe	125	90	75	37,5	10	5	0,600	0,300	0,150	0,063			
6F1	-	-	100	75 - 100	40 - 95	30 - 85	10 - 50	-	-	< 15			
6F2	100	80 - 100	65 - 100	45 - 100	15 - 60	10 - 45	0 - 25	-	-	0 - 12			
6F3 "on-site"	100	80-100	65 - 100	45 - 100	15 - 60	10 - 45	0 - 25	-	-	0 - 12			
Tamanho (mm), Série BS EN 933-2													
Classe	125	80	63	40	31,5	20	16	10	8	4	2	1	0,063
6F3 "off-site"	100	75 - 99	-	50 - 90	-	30 - 75	-	15 - 60	-	-	0 - 35	-	0 - 12
6F4	-	-	100	-	75 - 99	-	50 - 90	-	30 - 75	15 - 60	-	-	< 15
6F5	100	75 - 99	-	50 - 90	-	30 - 75	-	15 - 60	-	-	0 - 35	-	0 - 12

3.3.3 Camadas de base e sub-base

A aplicação de agregados reciclados nestas camadas está prevista na série 800 da especificação SHW e nas normas BS EN 13242 e BS EN 13285.

Os constituintes do agregado grosso reciclado devem ser determinados de acordo com a cláusula 710 da série 700 da especificação SHW e os requisitos para cada tipo são apresentados no quadro 15.

Prevê cinco tipos de agregados reciclados: Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3, Categoria B e Tipo 4. As propriedades e os requisitos mínimos que lhes são requeridas são apresentados no quadro 16.

Quadro 15 – Composição dos agregados reciclados para misturas não ligadas (extraído de SHW - Series 800, Highways Agency, 2009)

Misturas não ligadas	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Categoria B	Tipo 4
Constituintes – Cláusula 710	máximo permitido (% de massa)				
Materiais betuminosos (Classe Ra)	50	50	5		100
Vidro (Classe Rg)	25		-		25
Outros constituintes (Classe X), incluindo madeira, plástico e metal	1				

Quadro 16 – Requisitos dos agregados reciclados (adaptado de especificação SHW - Series 800, Highways Agency, 2009)

Misturas não ligadas	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3 (granulometria aberta)	Categoria B (granulometria fechada)	Tipo 4
Cláusula SHW	803	804	805	806	807
Norma BS EN 13285 Categorias para materiais não ligados					
Requisitos da mistura					
Designação	0/31,5	0/31,5	0/40	0/31,5	0/31,5
Conteúdo máximo de finos	UF9	UF9	UF5	UF9	UF9
Sobretamanho	OC ₇₅	OC ₇₅	OC ₈₀	OC ₈₀	OC ₇₅
Requisitos granulométricos					
Fusos granulométricos Categorias	GP	GE	GO	GB	GP
Norma BS EN 13242 Categorias para materiais não ligados					
Resistência à fragmentação Ensaio Los Angeles	LA50	LA50	LA40		LA50

3.3.4 Valas

As obras de valas geram cerca de 4,8 milhões de toneladas de resíduos em todo o Reino Unido, o equivalente a 4,5% do total de RCD produzidos. O uso mais eficiente do material proveniente da abertura de valas é a sua reutilização ou reciclagem no próprio local para o restabelecimento das mesmas, sendo que este sistema minimizará as distâncias de transporte. No entanto, o controlo de qualidade e a produção satisfatória dos materiais resultantes da escavação de valas são fatores fundamentais que controlam o potencial máximo para a reutilização destes materiais. Por exemplo, a mistura de materiais durante a escavação vai diminuir o seu potencial de reutilização. Desta forma, a abordagem de ciclo fechado é apenas adequado em locais como por exemplo bermas, onde a menor qualidade dos materiais não representa um problema.

O material impróprio (por exemplo, materiais demasiado húmidos provenientes de valas para permitir a compactação adequada) pode ser reciclado através da mistura de ligantes hidráulicos no local, principalmente para trabalhos pequenos. No entanto, os aspetos práticos (espaço de armazenamento, tempo, clima e nível de controlo de qualidade alcançável) fazem com que seja necessário remover o material escavado para fora do local, independentemente da aptidão para reutilização ou reciclagem no local.

Neste contexto, os materiais reciclados incluem três principais fontes:

- materiais selecionados decorrentes da abertura de valas, adequados para reutilização;
- materiais tratados ou processados provenientes da abertura de valas, adequados para reutilização;
- agregados resultantes da transformação de RCD (não especificamente provenientes da abertura de valas).

Estes materiais são avaliados com base nos requisitos de composição definidos na especificação SROH, que classifica os materiais para enchimento (importados para o local ou resultantes de materiais escavados localmente) da seguinte forma:

- Classe A: materiais granulares graduados;
- Classe B: materiais granulares;
- Classe C: materiais mistos não granulares e granulares;
- Classe D: materiais não granulares;
- Classe E: materiais inaceitáveis.

Os requisitos definidos para estes materiais são apresentados no quadro 17.

Quadro 17 - Aceitação de materiais para enchimento de valas

Classe	Requisitos				Notas
	% material passado # 63µm	% material passado # 425µm	IP (índice de plasticidade, %)	CBR %	
Classe A	≤ 10	100	≤ 6	15	-
Classe B	≤ 10	-	-	7 a 15	-
Classe C	10 - 80	-	-	4 a 7	Misturas granulares de lodo e argila
Classe D	≥ 80	-	-	2 a 4	Misturas de silte, argila ou misturas de argila e lodo

No Reino Unido a fiabilidade e o controlo de qualidade do material é um requisito essencial dos materiais reciclados. Se por um lado a especificação SHW e as normas britânicas contemplam o uso de agregados reciclados, por outro, os produtores de agregados reciclados apoiam fortemente o desenvolvimento do protocolo do controlo de qualidade, o que contribui para a aceitação deste materiais.

O plano de negócios 2011-2015 da WRAP (2013b) inclui o compromisso de apoiar o projeto de produtos de construção eficientes, com foco no menor uso de recursos naturais.

3.4 Espanha

Com a publicação do Decreto-Lei n.º 105/2008, de 1 de fevereiro, que regula a produção e gestão dos RCD e da resolução de 20 de janeiro de 2009, que aprova o Plano Nacional Integrado de Resíduos 2008-2015, deu-se início a uma política de gestão de resíduos, orientada para a reciclagem e a minimização.

Os requisitos técnicos e ambientais da utilização dos agregados reciclados encontram-se nas normas técnicas gerais existentes para os agregados naturais e artificiais presentes nas atualizações entretanto realizadas nos artigos dos “Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales para las Obras de Carreteras y Puentes” (PG-03, 2002).

Em outubro de 2012 foi apresentado o Guia Espanhol de Agregados Reciclados Procedentes de RCD (Proyecto GEAR), uma iniciativa da Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción Y Demolición (GERD). O Guia compreende um conjunto de recomendações técnicas, apresentando requisitos detalhados dos materiais em função da sua aplicação e descreve condições de aplicações e controlo de qualidade que se devem estabelecer.

A GERD, que agrupa em Espanha mais de 80 empresas de reciclagem, é membro corporativo da Associação Espanhola de Normalização e Certificação e está integrada na Federação Internacional de Reciclagem. Desde a sua fundação, esta associação tem tido como objetivo principal a normalização e a promoção dos agregados e dos materiais reciclados provenientes do tratamento dos RCD, procurando deste modo melhorar a sua qualidade, garantir a adequabilidade das aplicações e utilizações às suas características e desenvolver e consolidar em Espanha um mercado de agregados reciclados, constituindo um exemplo da construção sustentável Europeia. Este Guia coloca assim Espanha como um dos países que tecnologicamente mais têm apostado nesta atividade.

3.4.1 Composição dos agregados reciclados

A classificação relativamente à composição dos RCD proposta pelo Projeto GEAR baseou-se na classificação do agregado grosso reciclado (de acordo com a norma EN 933-11) de 230 amostras, provenientes de 73 unidades de reciclagem de todo o território espanhol. Esta classificação teve por base a regulamentação alemã (DIN 4223) e portuguesa (LNEC E 474), que também estabelecem uma classificação a partir da composição.

No que respeita às categorias de agregados reciclados quanto à sua composição, GEAR parte da premissa que todo o agregado reciclado tem composição mista, com predomínio de determinados elementos. Considera-se que um determinado agregado reciclado tem composição única quando o elemento predominante compreende mais de 95% do total de material produzido.

A classificação com base na composição (determinada segundo a norma EN 933-11) é composta por quatro categorias de agregados reciclados:

- Categoria ARH: agregados reciclados de betão;
- Categoria ARMh: agregados reciclados mistos de betão;
- Categoria ARMc: agregados reciclados mistos de cerâmicos;
- Categoria ARMa: agregados reciclados mistos com materiais betuminosos.

GEAR refere ainda que esta classificação não tem em consideração agregados reciclados com mais de 30% em peso de misturas betuminosas, no entanto, podem ser utilizados noutras aplicações adaptadas às suas características técnicas específicas. No quadro 18 são indicadas as percentagens de cada componente relativamente à sua categoria.

Quadro 18 - Categorias dos agregados reciclados em função da sua composição (adaptado de GEAR, 2012)

Categoria	Descrição	Quantidade de elementos (% do peso total)				
		Ru (Produtos pétreos)	Rc (Betão e argamassa)	Rb (Cerâmicos)	Ra (Asfalto)	X (Outros)
ARH	Agregado reciclado de betão	≥ 90		≤ 10	≤ 5	≤ 1
ARMh	Agregado reciclado misto de betão	≥ 70		≤ 30	≤ 5	≤ 1
ARMc	Agregado reciclado misto de cerâmicos	< 70		> 30	≤ 5	≤ 1
ARMa	Agregado reciclado misto com materiais betuminosos	-		-	5 – 3%	≤ 1

3.4.2 Recomendações técnicas de agregados reciclados em aterros

A gama de aplicações para os agregados reciclados a aplicar em aterro, definidas pelo GEAR, são divididas em classes de uso (quadro 19) de acordo com o grau de requisitos técnicos.

O Caderno de Prescrições Técnicas Gerais para Obras de Estradas e Pontes (PG-03, 2002) estabelece por sua vez os tipos de solos que podem ser utilizados em função da zona do aterro:

- Coroamento – solos selecionados;
- Núcleo – solos adequados e toleráveis;
- Espaldar – qualquer solo, exceto expansíveis e colapsáveis;
- Parte inferior – solos adequados e toleráveis.

Quadro 19 - Classes de uso para aterros segundo o grau de requisitos técnicos (adaptado de GEAR, 2012)

Classe	Aplicação
Classe 1	Solos selecionados para aterros
Classe 2	Solos adequados para aterros
Classe 3	Solos toleráveis para aterros
Classe 4	Solos marginais para aterros
Classe 5	Aterros localizados de material drenante

A utilização dos agregados reciclados nas aplicações descritas, está em todos os casos sujeita à verificação do cumprimento dos requisitos técnicos de cada aplicação estabelecidos pelo GEAR. Estes requisitos são apresentados no quadro 20.

Quadro 20 – Resumo dos requisitos técnicos dos agregados reciclados para aplicação em aterro (adaptado de GEAR, 2012)

Requisitos técnicos	Classe / Aplicação				
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Granulometria	Quadro 21				
Composição* (de acordo com quadro 18)	Todas as categorias				Todas as categorias exceto ARMa
Los Angeles, (%), UNE EN 1097-2	-	-	-	-	< 45
Limite de Liquidez, (%), UNE 103103	< 30	< 40	< 65	-	Não plástico
Índice de Plasticidade, (%), UNE 103104	< 10	Se LL ⁽¹⁾ > 30, IP ⁽²⁾ > 4	Se LL > 40, IP > 0,73*(LL-20)	Se LL > 90, IP > 0,73*(LL-20)	Não plástico
Equivalente de areia, (%), UNE EN 933-8	-	-	-	-	> 30
Teor de sulfatos solúveis em água, (%), UNE EN 1744-1	-	-	< 1	-	-

* Requisito orientador e não limitador

⁽¹⁾ – Limite de liquidez

⁽²⁾ – Índice de plasticidade

Os requisitos granulométricos, determinados segundo a norma UNE 103101, são os definidos no quadro 21.

Quadro 21 – Requisitos granulométricos dos agregados reciclados para aterro (extraído de GEAR, 2012)

Classe / Aplicação	Granulometria (Norma UNE 103101)
Classe 1	% de material passado no peneiro de 20 mm > 70% % de material passado no peneiro de 0,080 mm ≤ 35%
Classe 2	
Classe 3	
Classe 4	
Classe 5	$D_{m\acute{a}x.} = 76 \text{ mm}$ % de material passado no peneiro de 0,080 mm ≤ 35%

Para além destes requisitos, no caso de materiais para solos selecionados (classe 1) ou adequados (classe 2), são dados requisitos adicionais de acordo com o quadro 22.

Quadro 22 – Condições granulométricas adicionais para os agregados reciclados (extraído de GEAR, 2012)

Classe / Aplicação	Dimensão máxima	Material passado (% em massa)			
		# 2 mm	# 0,40 mm	# 0,080 mm	
Classe 1	Opção 1	≤ 100 mm	-	≤ 15	-
	Opção 2	≤ 100 mm	< 80	< 75	< 25
Classe 2	-	≤ 100 mm	< 80	-	< 35

3.4.3 Recomendações técnicas de agregados reciclados a utilizar como material granular em camadas não ligadas

As aplicações consideradas nesta recomendação são: bases, sub-bases e bermas.

As possíveis aplicações dos agregados reciclados dividem-se em classes de uso segundo o seu grau de exigência técnica, conforme se mostra no quadro 23.

GEAR indica, de modo informativo, as categorias de agregados reciclados aptas para as aplicações consideradas segundo a sua classe de uso (quadro 24). Porém, esta não deve ser utilizada como um elemento limitador, pois a qualidade do material, independentemente da sua composição, é o elemento que determina a sua viabilidade.

Quadro 23 – Classes de uso para agregados reciclados segundo o grau de exigência técnica (extraído de GEAR, 2012)

Classe	Aplicação
Classe 1	Bases, sub-bases e bermas para vias de tráfego T0
Classe 2	Bases, sub-bases e bermas para vias de tráfego T1 e T2
Classe 3	Bases, sub-bases e bermas para vias de tráfego T3 e T4
Classe 4	Bases e sub-bases para vias de tráfego inferior a T4

GEAR refere que se um agregado reciclado não se adapta à categoria indicada para uma determinada aplicação, mas ainda assim as suas características geométricas, físicas, mecânicas e químicas se adequam ao uso, o material pode ser aplicado.

Quadro 24 – Aplicação por categoria dos agregados reciclados para cada classe de uso (extraído de GEAR, 2012)

Viabilidade de aplicação		Categoria dos agregados reciclados			
		ARH	ARMh	ARMc	ARMa
Classe de uso	Classe 1	x	-	-	-
	Classe 2	x	x	x	-
	Classe 3	x	x	x	x
	Classe 4	x	x	x	x

A utilização dos agregados reciclados nas aplicações indicadas está sujeita ao cumprimento dos requisitos técnicos estabelecidos no GEAR e apresentados no quadro 25. A granulometria do material deverá estar compreendida num dos fusos apresentados no quadro 26.

Quadro 25 - Resumo dos requisitos técnicos dos agregados reciclados para aplicação em camadas granulares (adaptado de GEAR, 2012)

Requisitos técnicos	Classe / Aplicação			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Granulometria, UNE EN 933-2	Quadro 26			
Composição* (de acordo com quadro 18)	ARH ou ARMa	ARH, ARMa ou ARMc	Todas as categorias	Todas as categorias
Los Angeles, (%), UNE EN 1097-2	≤ 35	≤ 35	≤ 40	≤ 45
Limite de Liquidez, (%), UNE 103103	Não plástico	Não plástico	Não plástico	< 25
Índice de Plasticidade, (%), UNE 103104	Não plástico	Não plástico	Não plástico	< 6
Equivalente de areia, (%), UNE EN 933-8	> 40	> 40	> 35	> 30
Teor de sulfatos solúveis em água, (%), UNE EN 1744-1	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5

Quadro 26 – Fusos granulométricos para os agregados reciclados (extraído de GEAR, 2012)

Categoria	Abertura peneiros (mm)								
	40	25	20	8	4	2	0,500	0,250	0,063
	Material passado acumulado (% em massa, mínima-máxima)								
ZA25*	100	75-100	65-90	40-63	26-45	15-32	7-21	4-16	0-9
ZA20*	-	100	75-100	45-73	31-54	20-40	9-24	5-18	0-9
ZAD20*	-	100	65-100	30-58	14-37	0-15	0-6	0-4	0-2

* - Fusos granulométricos definidos segundo o PG-03 (2002)

3.5 Portugal

Segundo a APA "A utilização de RCD em obra é feita em observância das normas técnicas nacionais e comunitárias aplicáveis. Na ausência de normas técnicas aplicáveis, são observadas as especificações técnicas definidas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil e homologadas pelos membros do Governo responsáveis pelas áreas do ambiente e das obras públicas...".

As especificações LNEC E 474 – Guia para a utilização de RCD em aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte e LNEC E 473 – Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas

não ligadas de pavimentos, vem assim estabelecer requisitos a que os materiais reciclados devem cumprir para que possam ser aplicados em camadas não ligadas.

Também o Volume 14.03 - Pavimentação do Caderno de Encargos Tipo Obra das Estradas de Portugal (CETO, 2012), contempla a aplicação de agregados reciclados em camadas de sub-base e base não ligadas de pavimentos rodoviários.

Os agregados reciclados incluídos neste caderno de encargos restringem-se aos RCD, catalogados no capítulo 17 da LER (Portaria n.º 209/2004), a aplicar nas camadas granulares não ligadas.

As propriedades e requisitos mínimos exigidos no Volume 14.03- Pavimentação (CETO, 2012) são idênticos aos exigidos pela especificação LNEC E 473.

3.5.1 Especificação LNEC E 474 – Aterro e leito de pavimento

A especificação LNEC E 474 define as condições gerais de utilização, os aspetos ambientais, a classificação dos materiais reciclados, as propriedades e requisitos mínimos, as regras de aplicação e o controlo de qualidade para os materiais reciclados a aplicar em aterro e camada de leito de pavimento de infraestruturas de transporte, nomeadamente rodoviárias, aeroportuárias e ferroviárias.

A classificação dos materiais reciclados, determinada de acordo com a norma EN 933-11, é agrupada em três classes (B, MB ou C), definidas com base nas proporções relativas de cada um dos constituintes do agregado grosso, conforme se mostra no quadro 27.

Quadro 27 - Classificação dos materiais reciclados (extraído da especificação LNEC E 474)

Classe	Proporção dos constituintes					
	$R_c + R_u + R_g$ (%)	R_g (%)	R_a (%)	$R_b + R_s$ (%)	FL (cm ³ /kg)	X (%)
B	≥ 90	≤ 10	≤ 5	≤ 10	≤ 5	≤ 1
MB	≤ 70	≤ 25	≥ 30	≤ 70	≤ 5	≤ 1
C	Sem limite	≤ 25	≤ 30	Sem limite	≤ 5	≤ 1

Legenda dos materiais 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 – solos

R_a - materiais betuminosos

R_b - elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante

R_g - vidro

FL-material flutuante

X- outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque

De acordo com as propriedades geométricas, mecânicas e químicas dos materiais reciclados, esta especificação agrupa as três classes em duas categorias, MAT1 e MAT2, de acordo com o apresentado no quadro 28.

Quadro 28 - Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos materiais reciclados para aplicação em camadas de aterro e de leito de pavimento (extraído da especificação LNEC E 474)

Requisitos de conformidade			Categoria		
			MAT1		MAT2
Parâmetros	Propriedade	Normas	B, MB e C	B e C	MB
Geométricos e de natureza	Dimensão máxima das partículas ($D_{m\acute{a}x.}$)	-	$D_{m\acute{a}x.} \leq 150 \text{ mm}$	$D_{m\acute{a}x.} \leq 80 \text{ mm}$	
	Conteúdo máximo em finos, % (passado no peneiro 80 μm)	LNEC E 196	10	10	
	Qualidade dos finos*, %	EN 933-9	MB0/D < 2	MB0/D < 1	
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação, %	EN 1097-2	-	LA \leq 45	-
	Resistência ao desgaste, %	EN 1097-1	-	MDE \leq 45	-
Químicos	Teor de sulfatos solúveis em água, %	EN 1744-1	0,7	0,7	
	Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Classificação como resíduos para deposição em aterros para resíduos inertes		

* - MB0/D é o valor de azul de metileno (MB) expresso em g/kg segundo a norma de ensaio EN 933-9, multiplicada pela percentagem da fração passada no peneiro 2mm.

É referido na especificação que, os materiais que não satisfaçam os requisitos previstos poderão ainda assim ser utilizados desde que o seu adequado desempenho seja comprovado através da realização de estudos específicos.

Em função das propriedades e dos requisitos mínimos previstos para as duas categorias, a mesma especificação define o campo de aplicação dos materiais reciclados, conforme se mostra no quadro 29.

Quadro 29 - Campos de aplicação dos materiais reciclados em camadas de aterro e de leito de pavimento, (extraído da especificação LNEC E 474)

Categoria	MAT1			MAT2		
	B	MB	C	B	MB	C
Camada de leito	x	x	x	✓	x	✓
Aterro	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Verifica-se que, em camadas de leito de pavimento a aplicação de materiais reciclados é restrita a materiais da categoria MAT2 pertencentes às classes B e C.

Note-se que atualmente qualquer tipo de obra rodoviária, independentemente do tipo e volume de tráfego, que aplique materiais reciclados deve atender aos requisitos desta especificação, podendo, no entanto, em acordo com a própria LNEC E 474, os Cadernos de Encargos especificar requisitos mais exigentes que os indicados no quadro 28, ou limitar os campos de aplicação indicados no quadro 29.

3.5.2 Especificação LNEC E 473 – camadas de base e sub-base

A especificação LNEC E 473 fornece recomendações e estabelece requisitos mínimos para a utilização de agregados reciclados, abrangidos pela norma EN 13242, em camadas não ligadas (base e sub-base) de pavimentos rodoviários, conforme previsto na norma EN 13285.

Os agregados reciclados abrangidos por esta especificação, são agrupados em duas classes (B ou C), em função dos constituintes dos RCD e em três categorias (AGER1, AGER2, AGER3), de acordo com as suas propriedades geométricas e físicas.

A classificação com base na proporção de cada um dos tipos de constituintes dos agregados grossos (determinada de acordo com a norma EN 933-11) é apresentada no quadro 30.

Quadro 30 - Classificação dos agregados reciclados (extraído da especificação LNEC E 473)

Classe	Proporção dos constituintes - LNEC E 473					
	$R_c+R_u+R_g$ (%)	R_g (%)	R_b (%)	R_a (%)	FL (cm ² /kg)	X (%)
B	≥ 90	≤ 5	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≤ 1
C	≥ 50	≤ 5	≤ 10	≤ 30	≤ 5	≤ 1

Legenda 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_a - materiais betuminosos

R_b - elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante

R_g - vidro

FL- material flutuante

X- outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque

As propriedades e requisitos mínimos estabelecidos nesta especificação para aplicação em camadas não ligadas de pavimentos são os apresentados no quadro 31. Estes vão de encontro com o estabelecido nas normas europeias EN 13285 e EN 13242.

Quadro 31 – Requisitos mínimos dos agregados reciclados a aplicar em camadas não ligadas (extraído da especificação LNEC E 473)

Requisitos de conformidade			AGER1	AGER2	AGER3
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	B ou C	B ou C	B
Geométricos e de natureza	Dimensão	EN 13285	0/31,5	0/31,5	0/31,5
	Sobretamanhos	EN 13285	OC ₇₅	OC ₈₀	OC ₈₅
	Classe granulométrica	EN 13285	G _B	G _B	G _C
	Teor de finos	EN 13285	UF ₉ – LF ₂	UF ₉ – LF ₂	UF ₉ – LF ₂
	Qualidade dos finos: azul de metileno	EN 13242	MB _{0/D} < 1,0	MB _{0/D} < 0,8	MB _{0/D} < 0,8
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação (LA) e resistência ao desgaste (MDE)	EN 13242	LA ≤ ₄₅ e MDE ₄₅ ou LA+MDE ≤ 85	LA ≤ ₄₀ e MDE ₄₀ ou LA+MDE ≤ 75	LA ≤ ₄₀ e MDE ₃₅ ou LA+MDE ≤ 70
Químicos	Teor em sulfatos solúveis em água	EN 13242	SS _{0,7}		
	Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Classificação como resíduo para deposição em aterro de resíduos inertes		

A aplicação dos agregados reciclados poderá exigir a sua mistura com agregados naturais tendo em vista a correção granulométrica, ou a obtenção de misturas que satisfaçam os requisitos mínimos exigidos. Por outro lado, quando não forem satisfeitos os requisitos previstos nesta especificação, os agregados reciclados poderão ser utilizados desde que o seu adequado desempenho seja comprovado através da realização de estudos específicos.

Os agregados reciclados 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 pela especificação e apresentados no quadro 32.

Quadro 32 – Campo de aplicação dos agregados reciclados em camadas não ligadas (extraído da especificação LNEC E 473)

Categoria	AGER1		AGER2		AGER3
	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

Relativamente ao controlo de qualidade, a especificação refere que no início da construção das camadas não ligadas deve proceder-se à execução de trechos experimentais, com vista à determinação dos procedimentos e dos valores de referência para a compactação. Recomenda também, para além dos ensaios tradicionais de controlo de compactação, a realização de ensaios *in situ* com vista a uma avaliação global do desempenho.

3.6 Considerações finais

Pretendeu-se, neste capítulo, apresentar a regulamentação técnica aplicada à reciclagem de RCD em França, Reino Unido, Espanha e Portugal.

A regulamentação técnica nestes países existe sob a forma de guias técnicos ou especificações e a caracterização dos materiais reciclados é feita segundo as suas características físicas, mecânicas e químicas. Embora existam algumas semelhanças nos requisitos preconizados em cada um destes países, verifica-se uma adaptação dos requisitos mínimos exigidos aos materiais reciclados aos aplicados aos materiais naturais. A maior diferença verificada é sobretudo ao nível da composição dos materiais reciclados que reflete o tipo de RCD produzidos em cada país.

Em França existem guias técnicos regionais que cumulam as experiências de cada região na utilização dos materiais reciclados.

No Reino Unido os materiais reciclados estão contemplados na especificação de obras rodoviárias, contemplando no mesmo documento quer os materiais naturais, quer os materiais reciclados. Existe ainda um serviço gratuito disponível na internet (AggRegain) que fornece informações e partilha experiências acerca da utilização destes materiais.

Em Espanha foi criado um guia de agregados reciclados procedentes de RCD que contém recomendações técnicas e apresenta requisitos para os materiais em função da sua aplicação. Este guia foi criado pela associação espanhola do setor, demonstrando assim o interesse em consolidar e promover o mercado dos agregados reciclados.

Por último, em Portugal os materiais reciclados estão contemplados nas especificações LNEC, que definem os requisitos mínimos para os RCD, em função da sua aplicação, assim como, as condições gerais de utilização, os aspetos ambientais e o controlo de qualidade.

4 ANÁLISE DE DOIS CASOS DE ESTUDO EM PORTUGAL

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo serão analisados dois casos de estudo: a reciclagem de RCD na pavimentação e manutenção de caminhos municipais em Montemor-O-Novo e nas camadas de base e sub-base dos arruamentos do empreendimento TroiaResort. Estes dois casos são analisados por se tratar de casos pioneiros e de sucesso no país no que respeita à reciclagem de RCD em infraestruturas rodoviárias de perfil semelhante às aplicações contempladas pelo guia proposto nesta dissertação.

As visitas efetuadas a estes dois locais são também descritas. A sua realização teve como objetivo verificar o comportamento dos agregados reciclados de RCD aplicados após entrada em serviço. Na visita a Montemor-O-Novo houve ainda oportunidade de recolher amostras dos materiais reciclados para caracterização laboratorial. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no subcapítulo 4.2. Na visita a Tróia não foi possível a recolha de amostras dos agregados reciclados de RCD aplicados, contudo foram disponibilizados os resultados obtidos no decorrer da obra, que são apresentados no subcapítulo 4.3.

4.2 Caso de estudo 1: Montemor-O-Novo

A Câmara Municipal de Montemor-O-Novo (CMMN), com o objetivo de reduzir os depósitos ilegais de RCD no concelho, desenvolveu o Projeto REAGIR - Reciclagem de Entulho no Âmbito da Gestão Integrada de Resíduos. Os depósitos ilegais comportavam um grave problema ambiental e de saúde pública, associados à falta de soluções locais para a gestão destes resíduos.

De forma a viabilizar a implementação do projeto, a CMMN apresentou uma candidatura ao programa LIFE – Ambiente, que foi aprovada em 2003. O projeto decorreu entre 2003 e 2007, sendo à data um projeto inovador em Portugal.

A implementação do projeto envolveu a definição de soluções locais inovadoras para a recolha, reciclagem e outras formas de valorização dos RCD, através da criação de um Sistema Municipal de Recolha Seletiva, da instalação e operação de uma Unidade Piloto de reciclagem e da realização de casos de estudo, de forma a viabilizar a aplicação dos materiais como material reciclado (figura 4).

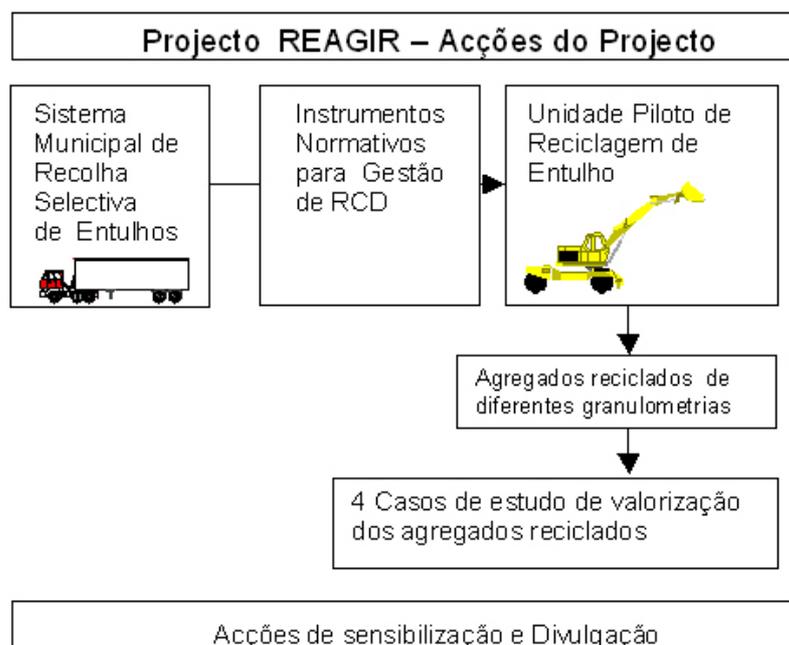


Figura 4 - Acções do projeto REAGIR (extraído de <http://www.cmmontemornovo.pt/reagir>)

O sistema municipal de recolha seletiva de RCD entrou em funcionamento em abril de 2006 e consistiu em serviços de recolha destes resíduos em obra, receção na unidade piloto e armazenamento temporário nas freguesias rurais, sendo estes serviços gratuitos.

Para garantir um correto encaminhamento dos RCD para reciclagem, foi exigido pelo município a deposição seletiva no local da obra. Com o objetivo de sensibilizar e assegurar a correta separação de RCD, a CMMN realizou visitas aos locais, estabeleceu contactos com os responsáveis de obra e foi distribuída documentação de apoio (folhetos, fichas de gestão por tipologia de resíduos e manual de gestão em obra). Verificou-se que o processo de separação foi melhorando gradualmente durante o decorrer do projeto, sendo atualmente uma prática comum.

Foram quantificadas, entre abril de 2006 e julho de 2007, 4000 t de RCD inertes provenientes de obras particulares e municipais, fábricas de materiais de construção e limpezas de depósitos ilegais. A adesão ao sistema foi de 62% face ao número de obras licenciadas em igual período e os produtores que não aderiram promoveram a reutilização dos RCD no local da obra.

A CMMN estima uma produção média de 3000 t/ano de RCD inertes neste concelho (<http://www.cmmontemornovo.pt/reagir>). Perante os resultados positivos do projeto, a CMMN manteve o sistema de recolha de RCD gratuito até ao final de 2007, tendo após esta data implementado taxas de recolha/receção de resíduos.

De acordo com os dados divulgados pela CMMN aquando da visita, em 2008 foram recebidas 7000 t, estando esta elevada quantidade relacionada com a demolição de um edifício de onde resultaram 5000 t de RCD e em 2011 foram recebidas 2020 t de RCD, previamente separados em obra. A diminuição das

quantidades de RCD ao longo dos anos resulta essencialmente da diminuição das atividades de construção civil no concelho.

O projeto promoveu a instalação, operação e monitorização da Unidade Piloto de Reciclagem de Entulho, demonstrando a exequibilidade do processo de reciclagem da fração inerte dos RCD e a possibilidade de encaminhamento destes resíduos a um destino final mais nobre, reduzindo desta forma a sua deposição em aterro e a exploração de recursos naturais não renováveis.

Com o objetivo de demonstrar e promover aplicações para o produto final obtido na unidade piloto de reciclagem, foram implementados pela CMMN os quatro casos de estudo seguintes:

- Caso de Estudo 1: produção de peças de betão não estrutural.
- Caso de Estudo 2: aplicação de agregados reciclados em vias de utilização intensiva.
- Caso de Estudo 3: aplicação de agregados reciclados em vias de utilização não intensiva (manutenção de caminhos municipais em terra batida).
- Caso de Estudo 4: caracterização dos agregados grossos reciclados e ensaios a provetes de betão.

Foi instalada uma infraestrutura de reciclagem (figura 5) especialmente dimensionada e definida para o projeto em questão, cuja operação e monitorização à escala real permitisse, durante 16 meses:

- garantir a redução do tamanho dos RCD e a sua classificação granulométrica, no sentido de obter agregados reciclados para substituir os agregados naturais;
- testar a operação de um sistema de reciclagem que não estivesse disponível no mercado como um todo, resultando da conjugação e adaptação de equipamento de britagem e crivagem, de forma a responder aos objetivos demonstrativos do projeto;
- identificar eventuais problemas de operação e promover soluções para os mesmos, tendo sido, nesse sentido, a Unidade Piloto projetada para permitir uma certa versatilidade, de modo a possibilitar a fácil remodelação da mesma, caso a operação do sistema instalado demonstrasse a necessidade de introduzir melhoramentos ainda durante o período de execução do projeto;
- caracterizar e quantificar os resíduos que entram no processo, bem como o produto final obtido, contribuindo para caracterizar a produção e a composição destes resíduos a nível do concelho;
- garantir uma base técnica realista para o correto dimensionamento de soluções de reciclagem e de outras valorizações destes resíduos a uma escala mais alargada, contribuindo para a sua implementação a nível local, regional e nacional (<http://www.cmmontemornovo.pt/reagir>).



Figura 5 – Placa informativa da Construção da Unidade Piloto de Reciclagem de Entulho

A Unidade Piloto de Reciclagem de Entulho foi licenciada para receber, armazenar e reciclar a fração inerte dos RCD, a qual, segundo a LER, é constituída pelos seguintes resíduos:

- 17 01 01: Betão;
- 17 01 02: Tijolos;
- 17 01 03: Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos;
- 17 01 07: Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos que não contenham substâncias perigosas.

Estes RCD inertes são obrigatoriamente sujeitos a uma prévia separação no local de produção, por parte dos produtores, sob pena de ser recusada a sua receção. Os resíduos não contemplados nos RCD mencionados são rejeitados, sendo da responsabilidade dos detentores/produtores garantir um destino adequado para os mesmos (<http://www.cmmontemornovo.pt/reagir>).

A Unidade Piloto foi dimensionada para produzir os agregados reciclados com as seguintes granulometrias (fig. 6 e 7): 0 – 4mm; 4 – 8mm; 8 – 12mm; 12 – 22mm; 22 – 31mm; 0 – 31mm; > 31mm.

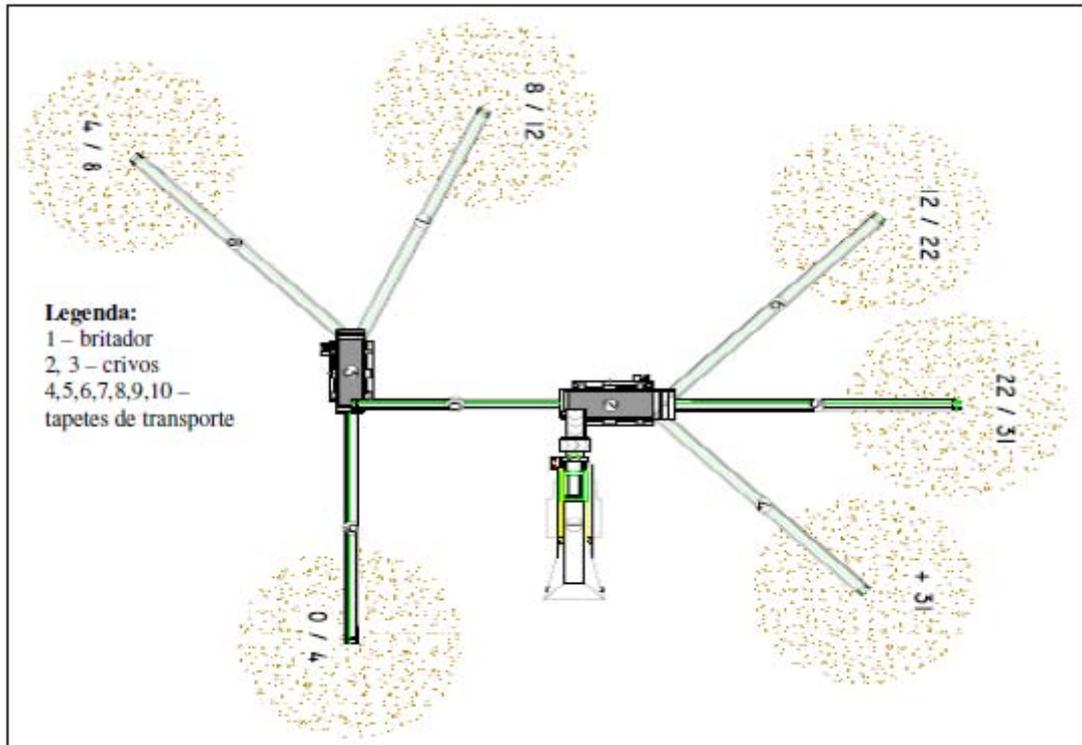


Figura 6 - Esquema geral de implementação do equipamento de britagem/crivagem (extraído de <http://www.cm-montemor novo.pt/reagir/documentos/tarefa4-RTF>)

Durante o projeto foram produzidas por tipologia, as quantidades de materiais que se apresentam no quadro 33, podendo verificar-se que durante esta fase foram maioritariamente produzidos materiais reciclados mistos cinzentos (de betão, pedra natural e argamassas).

Dos casos de estudo desenvolvidos neste projeto, este trabalho fará apenas referência ao Caso de Estudo 3, referente à avaliação da viabilidade técnica de “aplicação de agregados reciclados em vias de utilização não intensiva” para manutenção de caminhos de terra batida.



Figura 7 – Unidade piloto de reciclagem em 03/01/2012

Quadro 33 – Materiais produzidos na unidade de reciclagem (extraído de <http://www.cm-montemorново.pt/reagir>)

Dimensão (mm)	0 - 4	4 - 8	8 - 12	12 - 22	22 - 31	> 31	0 - 31	Total
Tipologia	Quantidades (t)							
Mistos vermelhos (telhas e tijolos)	62	15	8	31	20	23	-	159
Restos de betão	78	22	13	37	50	21	-	221
Mistos vermelhos (telhas e tijolos, cerâmicas, alvenarias)	93	16	6	32	30	75	850	1102
Mistos cinzentos (betão, pedra e argamassas)	272	26	7	53	75	175	1600	2208
Total produzido	505	79	34	153	175	294	2450	3690

O concelho de Montemor-O-Novo integra uma rede de caminhos municipais em terra batida com cerca de 300 km de extensão. Estes caminhos são reabilitados anualmente pela autarquia, através da aplicação de

materiais/britas naturais. Este caso de estudo pretendeu testar e demonstrar a aplicação de agregados reciclados em caminhos de terra batida, tendo sido aplicados no arranjo de 19km de extensão (<http://www.cmmontemornovo.pt/reagir>).

Desta aplicação, a CMMN constatou que estes agregados conferem uma boa compactação, sendo superior à verificada com o material natural (saibro) que costumava utilizar anteriormente.

Os agregados reciclados foram ainda utilizados, a título experimental e com resultados positivos, no enchimento de valas, na pavimentação/arranjo paisagístico de algumas zonas da unidade piloto, em valas de drenagem e em caixas de retenção de águas residuais domésticas ou pluviais (figura 8).



Figura 8 - Exemplos de aplicação do Caso de Estudo 3 (extraído de <http://www.cmmontemornovo.pt/reagir>)

Conforme já referido, o material que a autarquia utilizava normalmente para o arranjo dos caminhos rurais era saibro. Tratando-se de um material muito fino e argiloso, passado algum tempo de utilização, e principalmente após a época de maior pluviosidade, tornava-se necessário repor o material. Com a substituição deste material por agregado reciclado de granulometria extensa, estas situações deixaram de ocorrer com tanta frequência.

Os resultados deste caso de estudo permitiram concluir que, com a aplicação de agregados reciclados a 100% ou misturados com saibro (na proporção de 2:1), é reduzido para metade o número de intervenções a realizar num mesmo local. Concluiu-se também que mediante as condições específicas de cada caminho, poderá adotar-se a aplicação de diferentes granulometrias de agregados. Assim, por exemplo, em troços muito danificados ou em locais facilmente inundáveis, poderá aplicar-se uma primeira camada de agregados reciclados grossos, sendo depois aplicada uma camada final de agregados reciclados de granulometria extensa.

A CMMN, tendo em conta os resultados positivos obtidos no âmbito do arranjo de caminhos rurais, entendeu que os agregados reciclados obtidos na unidade piloto poderão continuar a ser aplicados neste tipo de infraestruturas.

Durante o período do projeto, foram determinados os parâmetros geométricos, mecânicos e químicos referidos na especificação LNEC E 474, apenas para os agregados reciclados de granulometria extensa cinzentos (à base de betão, pedras naturais e argamassas). Os resultados, apresentados no quadro 34, mostram que são cumpridos os requisitos mínimos previstos para todos os parâmetros definidos para a

categoria MAT2. Refira-se, no entanto, que o parâmetro “Qualidade dos finos”, obtido pelo ensaio de azul de metileno, não foi avaliado e não foi possível obter junto da CMMN a justificação para tal.

No que respeita à classe dos agregados, estes poderão ser classificados como pertencentes à Classe B (maioritariamente constituídos por betão, argamassas e pedras naturais).

No entanto, os agregados mais utilizados pela CMMN no arranjo dos caminhos rurais são os agregados de granulometria extensa vermelhos, não tendo sido alvo de ensaios durante a fase de projeto.

Quadro 34 - Análise das características apresentadas pelos agregados reciclados cinzentos (extraído de <http://www.cm-montemorново.pt/reagir/documentos/tarefa5-RTF>)

Categorias previstas na especificação LNEC E 474*			Resultados obtidos para os agregados reciclados	
Categoria	MAT1	MAT2		MAT2
Classe	B,MB,C	B e C	MB	B
Parâmetros de natureza				
Dimensão máxima das partículas	$D_{\max.} \leq 150\text{mm}$	$D_{\max.} \leq 80\text{mm}$		$D_{\max.} \leq 31,5\text{mm}$
Conteúdo máximo em finos, % (passados no # 80 μm)	10	10		< 10
Azul de metileno	MB < 0,2g/100g	MB < 0,1g/100g		Não realizado
Parâmetros de comportamento				
Resistência à fragmentação Los Angeles, %	-	LA \leq 45		38
Resistência ao desgaste Micro-Deval, %	-	MDE \leq 45		36
Propriedades químicas				
Teor de sulfatos solúveis em água, %	0,7	0,7		0,18
Libertação de substâncias perigosas	Inerte	Inerte		Inerte

* Classificação efetuada com base na 1ª edição da especificação LNEC E 474, de 2006

4.2.1 Visita a Montemor-O-Novo

Na visita que teve lugar a 3 de janeiro de 2012, houve oportunidade de contactar com os responsáveis da CMMN pelo projeto; visitaram-se três caminhos onde o material foi aplicado, bem como a unidade de reciclagem. Nestes locais recolheram-se amostras para caracterização dos RCD aplicados, por forma a efetuar a sua classificação e a avaliar o seu comportamento em função das ações a que estão sujeitos.

Na unidade de reciclagem foi recolhida, numa pilha de material armazenado, uma amostra de agregado reciclado de granulometria extensa de RCD produzido entre janeiro e agosto de 2011.

No quadro 35 é feita a identificação das amostras recolhidas, com informações, no caso dos caminhos, acerca do seu estado visual de conservação, da estrutura do pavimento, do tipo de tráfego e do número de manutenções.

Quadro 35 – Identificação das amostras e caracterização dos caminhos

Descrição	Amostras			
	A.1	A.2	A.3	A.4
Local de colheita	Caminho de acesso à Igreja, a 30m do cruzamento com a EN 114 (figura 9)	Courela da Freixeirinha (figura 10)	Pilha da Unidade de Reciclagem (figura 11)	Ferro da Agulha (figura 12)
Estado visual do caminho	Bom estado, com poucas intervenções	Bom estado	NA	Mau estado
Estrutura do pavimento	1ª Camada: ± 4 cm de AGE reciclado 0/31 2ª Camada: Agregado reciclado 31/40	± 4 cm de AGE reciclado 0/31	NA	1ª Camada: ± 4 cm de AGE reciclado 0/31 2ª Camada: Saibro
Tipo de tráfego	Ligeiro	Ligeiro e pesado	NA	Ligeiro e pesado
Manutenções	Sem informação	2 por ano	NA	Sem informação

Nota: NA – Não aplicável



Figura 9 – Caminho da recolha da amostra A.1



Figura 10 – Caminho da recolha da amostra A.2



Figura 11 – Pilha da unidade de reciclagem onde se recolheu a amostra A.3



Figura 12 – Caminho da recolha da amostra A.4

Com as amostras recolhidas aquando da visita, avaliaram-se as características dos agregados reciclados de RCD, por forma a classificá-los de acordo com a especificação LNEC E 474, pelo que, se procedeu à realização dos seguintes ensaios:

- análise granulométrica, NP EN 933-1;
- equivalente de areia, NP EN 933-8;
- azul de metileno, NP EN 933-9;
- resistência à fragmentação (ensaio Los Angeles), NP EN 1097-2;
- resistência ao desgaste (ensaio micro-Deval), NP EN 1097-1;
- ensaio de compactação tipo Proctor modificado, EN 13286-2;
- classificação dos constituintes dos agregados grossos reciclados, EN 933-11.

Não se efetuaram ensaios químicos. Contudo, foram disponibilizados pela CMMN resultados dos ensaios para avaliação do teor de sulfatos solúveis em água e libertação de substâncias perigosas nos eluatos realizados sobre o mesmo material.

4.2.2 Resultados obtidos

4.2.2.1 Classificação dos agregados grossos reciclados com base nos constituintes

Relativamente à classificação dos constituintes determinada segundo a norma EN 933-11 e representada na figura 13, verifica-se, em acordo com a proporção dos seus constituintes, que as amostras A.1, A.2 e A.3 são semelhantes. A amostra A.4, em comparação, tem mais elementos de agregados não ligados e pedra natural (R_u), mas menor quantidade de betão, produtos de betão e argamassas (R_c).

A quantidade de elementos de alvenaria (R_b) é semelhante nas amostras A.2, A.3 e A.4, enquanto que a amostra A.1 tem menor quantidade, inferior a 10%.

Quanto ao material flutuante, as amostras A.1, A.2 e A.3 excedem os 5% previstos na especificação LNEC E 474, sendo que, a amostra A.4 apresenta uma percentagem bastante inferior às restantes, cumprindo o limite da especificação.

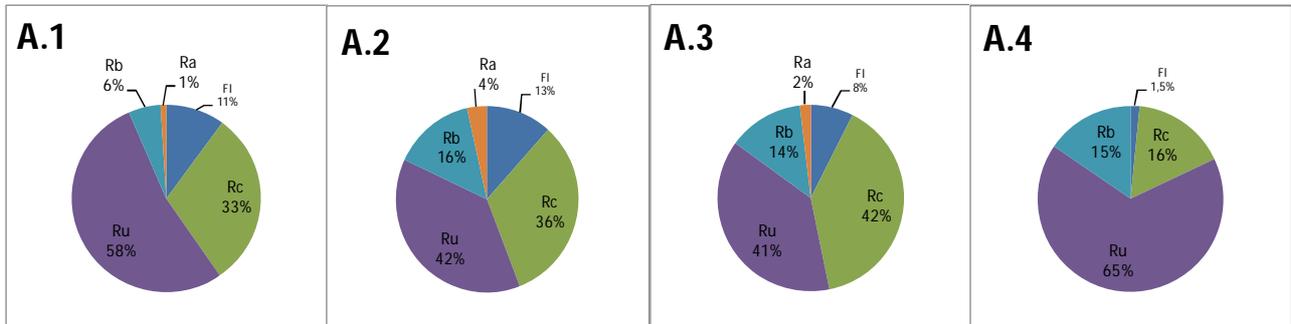


Figura 13 - Representação gráfica das proporções de materiais reciclados

Desta forma, classificando as amostras de acordo com os requisitos estabelecidos na especificação LNEC E 474, as amostras A.2, A.3 e A.4 pertencem à classe C e a amostra A.1 pertence à classe B (quadro 36), sendo esta maioritariamente constituída por agregados reciclados de betão e pedra natural e as restantes constituídas por agregados reciclados de betão, pedra natural e alvenaria.

Quadro 36 – Classificação dos materiais grossos reciclados de acordo com a especificação LNEC E 474

Proporção dos constituintes				
Amostras / Constituintes	A.1	A.2	A.3	A.4
$R_c + R_u + R_g$ (%)	91	78	83	81
R_g (%)	0	0	0	0
R_a (%)	1	4	2	0
$R_b + R_s$ (%)	6	16	14	15
FI (cm ³ /kg)	11	13	8	1,5
X (%)	0	0	0	0
Classe Obtida	B	C	C	C

Legenda 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 - solos

R_a - materiais betuminosos

R_b - elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante

R_g - vidro

FI-material flutuante

X- outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque

4.2.2.2 Classificação dos agregados grossos reciclados com base nas propriedades

A distribuição granulométrica obtida em cada uma das amostras é apresentada no quadro 37, mostrando-se na figura 14 as respetivas curvas granulométricas. A granulometria foi determinada de acordo com a norma NP EN 933-1, no entanto, para verificar o cumprimento do requisito relativamente ao conteúdo máximo de finos (passado no peneiro 0,08 mm) estabelecido na especificação LNEC E 474, optou-se por inserir este peneiro na série de peneiros estabelecida na norma EN 933-1.

Através da análise aos resultados obtidos verifica-se que a amostra A.1 apresenta material de dimensão máxima de 63mm, tendo 27% de material retido no peneiro 31,5mm. As restantes amostras têm dimensão máxima de 31,5mm. Relativamente à quantidade de finos, a amostra A.4 é a que apresenta maior quantidade de material passado no peneiro 0,063mm.

A amostra A.3 será a representativa do material produzido na unidade de reciclagem, atendendo a que foi recolhida na pilha. Assim, comparando a curva granulométrica desta amostra com as restantes, conforme apresentado na figura 14, verifica-se que a amostra A.2 é a que mais se aproxima, sendo a amostra A.4 relativamente mais fina e a amostra A.1, a partir do peneiro 1,0 mm, significativamente mais grossa.

A explicação encontrada para o verificado, prende-se com o fato de as recolhas terem sido efetuadas na camada do pavimento das estradas e estas foram provavelmente contaminadas pelo material da camada inferior.

A camada inferior do pavimento onde a amostra A.1 foi recolhida era constituída por agregado reciclado 31/40, podendo desta forma ter contaminado a amostra.

No local de colheita da amostra A.4, a camada inferior do pavimento era constituída por saibro, explicando assim o fato desta amostra se apresentar mais fina relativamente à amostra A.3.

Quadro 37 – Análise granulométrica das amostras de AGE reciclado de Montemor-O-Novo

Abertura peneiros (mm)	Amostras			
	A.1	A.2	A.3	A.4
	% Acumulados passados			
63,0	98	100	100	100
50,0	91	100	100	100
40,0	82	100	100	100
31,5	73	100	99	100
25,0	65	95	93	98
20,0	60	86	86	94
16,0	57	80	81	90
14,0	55	76	78	87
12,5	53	73	75	85
10,0	50	68	70	80
8,0	47	63	64	77
6,3	45	58	59	73
4,0	40	50	52	68
2,0	36	44	45	63
1,0	30	35	37	55
0,5	24	24	27	41
0,250	17	16	18	28
0,125	12	10	12	18
0,080	9	8	10	13
0,063	8,1	7,0	8,5	11,7

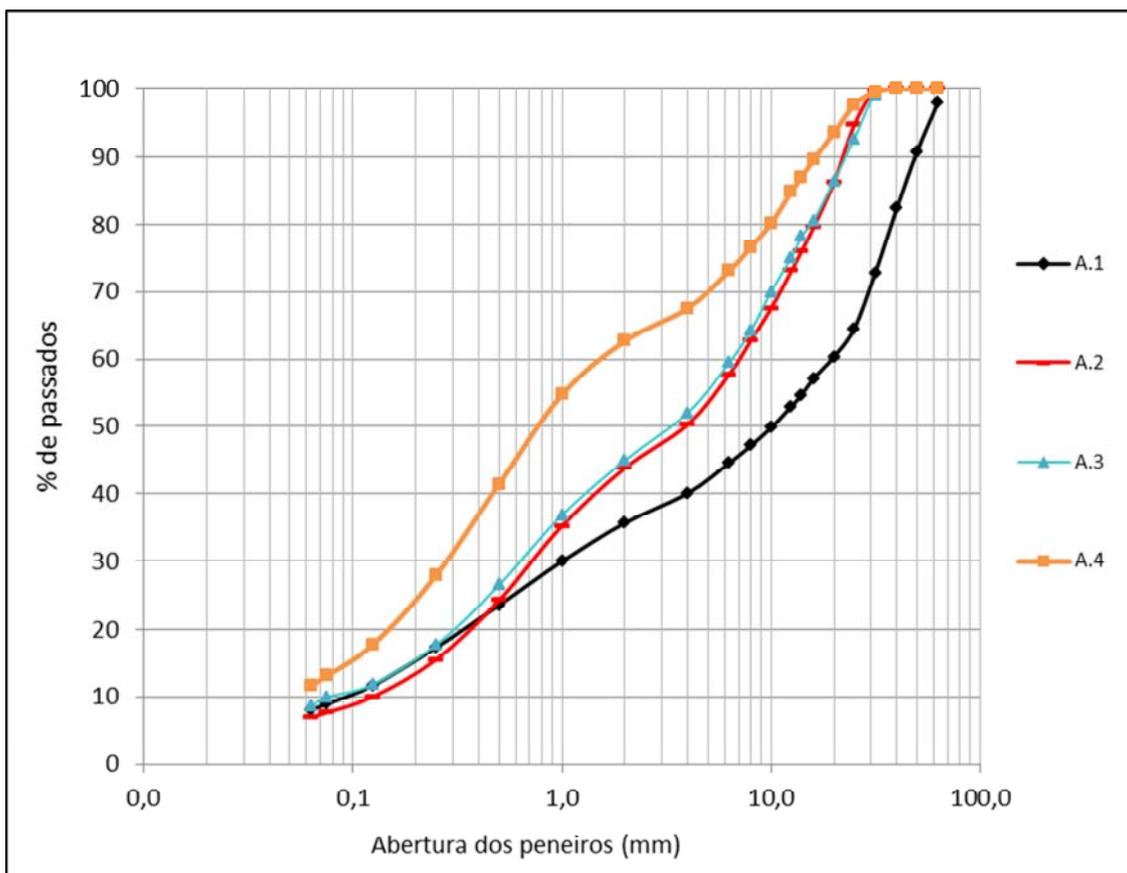


Figura 14 – Curvas granulométrica das amostras de AGE reciclado de Montemor-O-Novo

As propriedades dos materiais reciclados, determinadas de acordo com os requisitos da especificação LNEC E 474, são apresentadas no quadro 38.

O diâmetro máximo das partículas é cumprido nas quatro amostras. Verifica-se que apenas a amostra A.4 tem mais de 10% de material passado no peneiro de abertura 0,08mm.

Relativamente à qualidade dos finos, a amostra A.4 tem um valor de azul de metileno inferior às restantes (< 1%), indicando, à partida, um material com melhor qualidade dos finos, contudo, esta indicação não é confirmada pelo ensaio de equivalente de areia.

O ensaio de equivalente de areia, embora não seja contemplado na especificação, foi igualmente realizado por ser um ensaio expedito e para o comparar com o valor de azul de metileno. Dos resultados obtidos, verifica-se que as amostras A.2 e A.3 têm resultados melhores que as restantes (> 30%). Comparando os resultados obtidos entre os dois ensaios, não se consegue estabelecer uma correlação entre eles pois a amostra com o melhor valor de azul de metileno não é a que apresenta o melhor valor de equivalente de areia.

A resistência à fragmentação é em 1% superior ao limite especificado (45%) e a resistência ao desgaste cumpre com o valor definido na especificação (45%) para os materiais da categoria MAT2.

Os parâmetros químicos, facultados pela CMMN, mostram que os materiais cumprem o preconizado quer em relação ao teor em sulfatos quer em relação aos valores limite nos eluatos para classificação do resíduo como inerte.

Quadro 38 - Resultados obtidos nas amostras de acordo com os requisitos da especificação LNEC E 474

Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	Resultados obtidos nas amostras			
			A.1	A.2	A.3	A.4
Geométricos e de natureza	Dimensão máxima, mm	EN 933-1	63,0	31,5	31,5	31,5
	Conteúdo máximo em finos, % (passado no # 0,08mm)	LNEC E 196	9	8	10	13
	Qualidade dos finos: azul de metileno, %	EN 933-9	1,4	1,3	1,4	0,9
	Qualidade dos finos: Equivalente de areia, %	EN 933-8	24,0	40,2	31,1	25,5
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação: LA, %	EN 1097-2	46			
	Resistência ao desgaste: MDE, %	NP EN 1097-1	36			
Químicos	Teor em sulfatos solúveis em água, %	EN 1744-1	0,028			
	Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Resíduo inerte			
Categoria obtida			MAT1	MAT1	MAT1	MAT1 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ – Cumpre a categoria MAT1, exceto no conteúdo máximo em finos

Posto isto, conclui-se que as amostras não cumprem os requisitos da categoria MAT2 para aplicação em camadas de leito de pavimento, muito embora com valores muito próximos dos requeridos.

Comparando os resultados obtidos com os requisitos da categoria MAT1, apenas a amostra A.4 não cumpre no que diz respeito à percentagem máxima de finos. Como se explicou anteriormente, esta amostra pode ter sido contaminada pelo material aplicado na camada inferior.

Foi-nos referido, aquando da visita, que os parâmetros requeridos na especificação LNEC E 474, relativamente à periodicidade, são in comportáveis. A periodicidade dos ensaios é temporal, devendo na opinião dos responsáveis da CMMN por este projeto ser por volume. Outro problema verificado tem a ver com a separação de certos materiais de isolamento que veem agregados à alvenaria e são muito difíceis de separar.

Os problemas verificados nos caminhos municipais em que foram aplicados estes materiais são essencialmente devidos ao tráfego pesado, agravados pelo fato do material estar diretamente sujeito à ação

das cargas e à necessidade de desvio das linhas de água, por inexistência ou deficiente sistema de drenagem, em alturas de chuva intensa, que danificam os caminhos.

Em alguns casos foi possível verificar a propriedade cimentícia que estes materiais podem apresentar, formando uma capa superficial endurecida (figura 15).



Figura 15 – Propriedade cimentícia conferida pelos constituintes de betão e argamassas

4.3 Caso de estudo 2: Tróia

A demolição das conhecidas “torres de Tróia” (Torres 4 e 6) na península de Tróia, em 2005, deu origem a um grande volume de RCD. A minimização dos impactes ambientais foi uma preocupação constante durante a construção do empreendimento TroiaResort.

O Dono de Obra (Sonae Turismo), sensibilizado para as questões ambientais e construção sustentável, quis que este empreendimento fosse um dos mais significativos exemplos da implementação desta política, existindo simultaneamente o objetivo de garantir a qualidade final associada ao menor custo.

Para além das duas torres, foram ainda demolidos muitos outros edifícios, tendo em todos eles sido efetuada a separação por tipos de resíduos, conseguindo-se reutilizar no total cerca de 99% dos resíduos produzidos. A parcela mais significativa é a dos RCD obtidos a partir da britagem de betão, das alvenarias, dos rebocos e dos pavimentos pré-fabricados.

A maior parte dos resíduos resultantes das demolições foram valorizados no local, tendo sido britados mais de 100 mil toneladas de betão (figura 16). No total foram produzidos e reutilizados cerca de 110.000m³ de agregados, significando isto consideráveis impactes ambientais e financeiros positivos.

Os rendimentos médios obtidos foram de 60m³/h, sendo superior quando se procedia à britagem de elementos de menor dureza. Estes rendimentos representam cerca de 1830 horas de trabalho de britagem, para se conseguirem obter os cerca de 110.000m³ que resultaram de todas as demolições efetuadas, agravadas pelas sucessivas necessidades de manutenção do equipamento de britagem, substituição dos tapetes de transporte, etc.

Na implosão das duas torres houveram cuidados prévios por forma a garantir, não só a segurança na execução dos trabalhos, mas também que os resíduos resultantes pudessem produzir bons agregados para a sua reutilização futura.

Na fase que antecedeu a britagem, foram estabelecidas algumas regras no que diz respeito ao tipo de agregados pretendidos. Estabeleceu-se que se pretendiam as seguintes frações: materiais de granulometria extensa entre 0 e 40mm e parcela de britas entre 50 e 80mm, isentas de finos, cuja separação era conseguida com o auxílio de peneiros acoplados à britadeira. Os materiais de granulometria extensa foram ainda divididos em duas frações, uma que resultaria apenas de elementos constituídos por betão e outra que teria como base de constituição elementos de betão, alvenaria, rebocos e pequena percentagem de cerâmicos.



Figura 16 - Britagem dos RCD (extraído de Martinho e Gonçalves, 2008)

As britas entre 50 e 80mm, sem finos, foram aplicadas em poços e valas drenantes previstos em projeto, sendo o seu objetivo facilitar a drenagem pluvial, dado que as cotas altimétricas da península não permitem que se faça por gravidade, obrigando à instalação de diversas estações elevatórias.

Os agregados reciclados de betão de granulometria extensa 0/40 foram aplicados nas camadas granulares de sub-base e base dos arruamentos. Os agregados reciclados de granulometria extensa 0/40 de betão e alvenaria foram aplicados em zonas menos nobres, como passeios.

A construção do primeiro trecho experimental teve lugar em janeiro de 2006, pretendendo-se verificar a viabilidade técnica da utilização dos RCD em camadas granulares não ligadas de base e sub-base nas dezenas de quilómetros quadrados dos pavimentos a executar.

Previamente foram feitas colheitas de amostras nas pilhas de material que se concentravam próximas dos locais da prévia demolição, com dimensão 0/40 e constituídas essencialmente por agregados resultantes de betão, alvenaria e rebocos.

Para a sua caracterização foram executados ensaios laboratoriais de identificação e caracterização geotécnica, que se apresentam no quadro 39, nomeadamente:

- análise granulométrica (NP EN 933-1);
- limites de consistência (NP 143);
- equivalente de areia (NP EN 933-8);
- azul de metileno (NP EN 933 -9);
- resistência à fragmentação Los Angeles (NP EN 1097-2);
- ensaio de compactação tipo Proctor modificado (LNEC E 197).

Os resultados apresentados são satisfatórios para a utilização dos materiais na construção de camadas granulares. No ensaio de resistência à fragmentação Los Angeles, efetuado nas amostras A1 e A3, apesar da diferente composição das amostras, não se registaram discrepâncias nos resultados, pelo que não foi um parâmetro de aceitação/rejeição dos materiais a aplicar.

Para efeitos de aprovação de RCD, foi necessário ajustar a curva granulométrica deste agregado no fuso de referência considerado no caderno de encargos. Apesar da composição naturalmente heterogénea e por se tratar de um material cujo fáceis geométrico, após britagem, revelar alguma instabilidade comportamental, foi possível obter uma curva de distribuição das diferentes frações, compatível com o referido fuso (Martinho e Gonçalves, 2008).

O trecho experimental foi executado sobre a camada de areia existente no local, previamente humidificada e compactada para assegurar um suporte estável. Os materiais aplicados, correspondentes à amostra A1, foram homogeneizados e humidificados na pilha armazenada antes da sua colocação em camada. O transporte foi efetuado por camiões (figura 17) e o material foi espalhado por um trator de rastos com bulldozer, de modo a obter-se uma plataforma uniforme com 25 cm de espessura e sem segregação.

Quadro 39 – Resultados dos principais parâmetros geotécnicos (adaptado de Martinho e Gonçalves, 2008)

Amostras / Ensaio		A1	A2	A3	A4
Granulometria (%)	< 0,06mm	3	3	3	3
	>0,06mm e < 2mm	37	4	48	38
	> 2mm e < 60mm	60	54	49	59
Limites de consistência (%)		NP	NP	NP	NP
Equivalente de areia (%)		72	56	70	73
Azul de metileno (g/kg)		1,3	1,2	1,0	1,2
Los Angeles (%)		49	ND	49	ND
Proctor modificado		$\rho_a = 1,86\text{g/cm}^3$ $w_{opt} = 11,8\%$	$\rho_a = 1,95\text{g/cm}^3$ $w_{opt} = 8,3\%$	$\rho_a = 1,92\text{g/cm}^3$ $w_{opt} = 8,2\%$	$\rho_a = 1,90\text{g/cm}^3$ $w_{opt} = 10,6\%$

Notas: ND – Não disponível



Figura 17 - Carregamento e colocação dos RCD sobre a camada de areia (extraído de Martinho e Gonçalves, 2008)

Posteriormente foi efetuada a compactação com recurso a um cilindro de 14 t. A espessura final da camada pretendida era de 20 cm.

Nesta fase realizaram-se ensaios de baridade “in situ” após cada duas passagens de cilindro (uma de ida e uma de volta). Ao final de seis passagens de cilindro, a camada apresentava espessura próxima da desejada e a superfície da plataforma apresentava-se uniforme e estável (figura 18).



Figura 18 - Compactação e aspecto final da camada

Os resultados dos ensaios de controlo de compactação obtidos neste trecho são apresentados no quadro 40. Obtiveram-se compactações relativas insatisfatórias, uma vez que os valores se apresentam inferiores ao valor tido como limite mínimo (98%) para camadas nobres de sub-base e base.

Foi observado um incremento dos graus de compactação obtidos com o aumento do número de passagens de cilindro, sendo mesmo assim insuficiente para atingir os valores pretendidos. Face a estes resultados, sustentou-se a hipótese de as insuficientes compactações dependerem, não integralmente do agregado reciclado, mas da estabilidade da camada de suporte em areia.

Este agregado revelou um comportamento uniforme ao longo do processo de compactação e os teores em água apresentaram-se muito próximos do ótimo de referência, sem grandes variações. Tendo como base os 95% de compactação, observa-se que este patamar é ultrapassado com a aplicação de mais 6 passagens de cilindro. Posteriormente foi executada a camada de base, tendo-se obtido resultados semelhantes à camada subjacente.

A presença de betão no agregado utilizado, levou a que todo o processo de preparação e ensaio decorresse de forma célere para evitar o desenvolvimento de fenómenos de “cura” do betão e conseqüente ocorrência de zonas altamente resistentes e quebradiças. Por outro lado, este material, dada a sua granulometria, revela um comportamento semelhante a um material pouco coesivo, pelo que, após compactações iniciais mais intensas (2 a 4 passagens), imprimiu-se um regime menos intenso, promovendo a continuidade da estabilização e o “fecho” da camada.

Quadro 40 - Resultados dos ensaios de baridade e teor em água "in situ" (extraído de Martinho e Gonçalves, 2008)

Amostra / Ensaio	A1				
Baridade seca máxima (g/cm ³)	1,86				
Teor em água ótimo (%)	11,8				
Grau de compactação médio (%)	93,6	94,3	94,0	96,2	96,0
Média dos teores em água (%)	11,9	12,4	12,0	12,4	12,2
N.º de passagens de cilindro	2	4	6	8	10

A aplicação dos RCD foi executada de forma idêntica à utilizada com agregados naturais, não requerendo cuidados adicionais, exceto no reforço da rega com água, dado que os teores em água são relativamente mais elevados (Martinho e Gonçalves, 2008).

O estudo efetuado em obra visou também a avaliação comportamental dos materiais relativamente à sua evolução granulométrica antes e depois de compactados, conforme se apresenta no quadro 41.

Dos resultados obtidos, verifica-se que não ocorreram alterações significativas em termos de granulometria. Relativamente ao ensaio de equivalente de areia, verifica-se uma ligeira redução do valor, de 72% para 68%.

Quadro 41 - Parâmetros geotécnicos antes e após compactação (extraído de Martinho e Gonçalves, 2008)

Amostras / Ensaio		A1	A5
		Betão + Alvenaria (antes da compactação)	Betão + Alvenaria (após compactação)
Granulometria (%)	< 0,06mm	3	3
	≥ 0,06mm e < 2mm	37	38
	≥ 2 e < 60mm	60	59
Equivalente de areia (%)		72	68

Nos diversos arruamentos construídos, constatou-se ao longo do tempo que estes agregados, embora sujeitos a guas de mais de 100 t, apenas apresentavam pequenas deformações, as quais eram mais evidentes após a ocorrência de chuvas, não apresentando qualquer tipo de rotura.

Importa assim salientar que, embora não se tenham conseguido graus de compactação superiores a 96%, para seis passagens de cilindro, os arruamentos de Tróia, após a sua execução, foram sujeitos a significativas

cargas (superiores a 13 t/eixo), fruto das obras aí em curso, não existindo historial de quaisquer assentamentos diferenciais.

Aquando da visita ao empreendimento, que teve lugar a 6 de fevereiro de 2012, foi possível constatar que não são visíveis assentamentos ou outras patologias devidas à utilização de agregados reciclados nas camadas granulares, apresentando deste forma um bom comportamento, conforme se pode observar na figura 19.



Figura 19 - Imagens dos arruamentos e passeios do empreendimento TroiaResort – fevereiro de 2012
Com o aproveitamento dos RCD, a obra não precisou de comprar agregados de granulometria extensa. No total sobraram ainda 5000m³ destes materiais que na altura da visita estavam a ser aplicados na construção dos pavimentos do empreendimento Pestana Tróia. Na figura 20 apresenta-se a imagem da pilha dos RCD sobrantes.



Figura 20 – Pilha de armazenamento do agregado reciclado 0/40, em fevereiro de 2012

4.4 Considerações finais sobre os casos de estudo

No decorrer deste trabalho achou-se pertinente, para a elaboração da proposta de guia, ter algum suporte prático das características e do comportamento dos materiais reciclados. Neste sentido, foram escolhidos dois casos práticos de sucesso e já com algum tempo de implementação: Montemor-O-Novo e Tróia.

As visitas efetuadas contribuíram para o conhecimento dos cuidados a ter no processo de reciclagem (desde a triagem à britagem), na sua aplicação, nas principais dificuldades encontradas durante toda a fase do processo, mas também das vantagens a nível económico e ambiental que as entidades promotoras obtiveram com a substituição de materiais/agregados naturais por materiais reciclados.

No caso de estudo de Montemor-O-Novo, a substituição de solos por agregados reciclados reduziu o número de intervenções nos caminhos traduzindo-se num ganho económico. Ao nível ambiental os benefícios diretos traduzem-se na redução drástica dos depósitos ilegais de RCD.

As características dos agregados reciclados “cinzentos” estudados pela CMMN aquando do projeto e apresentadas no ponto 4.2 revelaram resultados que permitem a sua aplicação quer em camadas de aterro quer em camadas de leito de pavimento, de acordo com os requisitos preconizados na especificação LNEC E 474. Os agregados reciclados “vermelhos” estudados no âmbito deste trabalho podem ser aplicados em camadas de aterro, porém, para aplicação em camadas de leito de pavimento (categoria MAT 2) os valores obtidos não cumprem, no caso da resistência à fragmentação e azul de metileno, os valores preconizados na especificação LNEC E 474, embora com valores ligeiramente superiores ao limite.

Neste tipo de caminhos, podem não só aplicar-se os agregados reciclados de granulometria extensa mas também agregados de diferentes granulometrias que possam melhorar a capacidade de suporte e drenagem destes.

O caso de estudo de Tróia é outro grande caso de sucesso no que respeita à construção sustentável a nível nacional. As vantagens económicas e ambientais são óbvias e no final da aplicação dos agregados reciclados em camadas de sub-base e base dos arruamentos da península de Tróia pode-se concluir que a aplicação destes materiais apresenta comportamentos estruturais em tudo idênticos, ou até superiores, aos materiais tradicionais (naturais).

Para o sucesso obtido na aplicação dos agregados reciclados foram fundamentais os cuidados prévios antes da demolição, a correta triagem dos materiais e a britagem dos mesmos.

Durante a fase de compactação das camadas, embora não se tenham verificado graus de compactação relativa superiores a 96%, os arruamentos de Tróia após a sua execução, estiveram sujeitos a significativas cargas, fruto das obras então em curso, não existindo historial de assentamentos diferenciais, comprovando desta forma a adequabilidade da aplicação dos RCD.

5 PROPOSTA DE GUIA PARA RECICLAGEM DE RCD EM VIAS MUNICIPAIS E RURAIS E EM VALAS

5.1 Considerações iniciais

O tipo de vias para as quais se pretende elaborar a proposta de guia para reciclagem de RCD, tem características próprias, diferentes das vias que constituem a RRN e, por isso, as exigências que lhe são requeridas devem ser diferentes e adequadas ao volume de tráfego e às velocidades que nelas se praticam.

Por outro lado, a adequabilidade dos requisitos, bem como a existência de especificações próprias para cada utilização, fomenta a valorização dos RCD, contribuindo para a sustentabilidade dos materiais de construção e proporcionando maior confiança por parte dos utilizadores.

Os parâmetros e requisitos mínimos que se propõem, tiveram por base os pressupostos requeridos na regulamentação técnica apresentada no capítulo 3, nos dois casos de estudo apresentados no capítulo 4 e no CETO das EP (CETO, 2012).

A proposta contempla as camadas não ligadas dos pavimentos que normalmente constituem as vias municipais e rurais e os aterros, e os enchimentos de valas.

Desta forma, são apresentados no quadro 42, requisitos mínimos dos agregados reciclados a aplicar em:

- aterro;
- camada de leito de pavimento;
- camada de sub-base;
- camada de base;
- camadas de desgaste em camadas traficadas não revestidas;
- enchimento de valas.

Considera-se pertinente a inclusão nesta proposta de camadas de desgaste traficadas não revestidas, face ao tipo de vias em apreciação, uma vez que estas são comuns em algumas regiões de Portugal.

Relativamente à composição do agregado grosso reciclado, determinada segundo a norma EN 933-11, as proporções dos constituintes para cada classe não são alteradas face às especificações LNEC E 473 e LNEC E 474.

A classe MB é apenas considerada na especificação LNEC E 474. As classes B e C são consideradas nas duas especificações, LNEC E 474 e LNEC E 473, embora com diferentes percentagens na proporção dos seus constituintes, conforme apresentado, respetivamente, nos pontos 3.5.1 e 3.5.2 do capítulo 3.

Por esta razão, esta proposta altera as designações da especificação LNEC E 473, apenas com o objetivo de as distinguir, conforme se apresenta no quadro 42, sendo:

B – materiais reciclados de betão (LNEC E 474);

MB – materiais reciclados de misturas betuminosas (LNEC E 474);

C – materiais reciclados mistos (LNEC E 474);

B1 – materiais reciclados de betão (LNEC E 473);

C1 – materiais reciclados mistos (LNEC E 473).

Quadro 42 – Classificação do agregado grosso reciclado

Classe	Proporção dos constituintes (%)					
	$R_1+R_2+R_3$ (%)	R_3 (%)	R_4 (%)	R_5 (%)	FL (cm ³ /kg)	X (%)
B	≥ 90	≤ 10	≤ 5	≤ 10	≤ 5	≤ 1
MB	≤ 70	≤ 25	≥ 30	≤ 70	≤ 5	≤ 1
C	Sem limite	≤ 25	≤ 30	Sem limite	≤ 5	≤ 1
B1	≥ 90	≤ 5	≤ 5	≤ 10	≤ 5	≤ 1
C1	≥ 50	≤ 5	≤ 30	≤ 10	≤ 5	≤ 1

As designações que se atribuem a cada categoria desta proposta são as que se apresentam no quadro 43, bem como o respetivo campo de aplicação:

Quadro 43 – Campo de aplicação dos agregados reciclados

Categoria / Classe	Aplicação
AR1 / B, MB ou C	Aterro
AR2 / B, MB ou C	Leito de pavimento / Sub-base
AR3 / B1 ou C1	Base
AR4 / B1 ou C1	Camadas de desgaste em camadas traficadas não revestidas

5.2 Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados para aplicação em vias municipais e rurais

Os parâmetros e requisitos apresentados no quadro 44 são adaptados às aplicações anteriormente referidas.

Quadro 44 – Requisitos de conformidade da proposta de guia

Requisitos de conformidade											
Propriedade	Normas	Zona de aplicação									
		Aterro			Leito de pavimento / Sub-base			Base		Camadas de desgaste não revestidas	
Categoria		AR1			AR2			AR3		AR4	
Classe		B	MB	C	B	MB	C	B1	C1	B1	C1
<i>Parâmetros geométricos e de natureza</i>											
Dimensão máxima, mm	NP EN 933-1	D _{máx} < 2/3 da espessura da camada			80			40		40	
Teor de finos, % (passado no # 0,063mm)	NP EN 933-1	-			≤ 15			≤ 10		≤ 9	
Qualidade dos finos: Equivalente de areia, % Azul de metileno ⁽¹⁾ , %	NP EN 933-8 NP EN 933-9	-			EA ≥ 30 ou MB _{0/D} < 2,5			EA ≥ 50 ou MB _{0/D} < 2,0		EA ≥ 50 ou MB _{0/D} < 2,0	
<i>Parâmetros de comportamento mecânico</i>											
Resistência à fragmentação - LA, % Resistência ao desgaste - MDE, %	NP EN 1097-1 NP EN 1097-2	-			LA ≤ 50			LA ≤ 45 ou MDE ≤ 45		LA ≤ 40 ou MDE ≤ 40	
Índice de fragmentabilidade - FR, %	NF P 94-066	≤ 7			-			-		-	
<i>Parâmetros químicos</i>											
Teor de sulfatos solúveis em água ⁽²⁾ , %	EN 1744-1	≤ 0,7									
Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Classificação como resíduos para deposição em aterros para resíduos inertes ⁽³⁾									

Notas:

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

⁽²⁾ – Para teores de sulfatos superiores a 0,2%, estes materiais deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50m de elementos estruturais de betão.

⁽³⁾ – A classificação baseia-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para L/S = 10 l/kg – anexo IV do Decreto-Lei n.º 183/2009.

No caso dos materiais para aterro, os parâmetros considerados, à semelhança do Guia Técnico de d'Île-de-France, referem-se à dimensão máxima das partículas, que não devem ser superiores a 2/3 da espessura da camada.

Devido às propriedades intrínsecas destes materiais, que podem apresentar degradação mecânica, pensa-se pertinente considerar a determinação do índice de fragmentabilidade (FR) nos agregados reciclados a aplicar em camadas de aterro. Em acordo com os requisitos estabelecidos no CETO (2012) e no GTR (LCPC/SETRA, 1992), definiu-se um FR inferior ou igual a 7%.

Quanto à composição do agregado reciclado, podem ser aplicados materiais pertencentes às três classes B, MB e C com as proporções referidas no quadro 42.

Para camadas de leito de pavimento e sub-base, a dimensão máxima das partículas proposta é de 80 mm, com teor de finos máximo de 15%. A qualidade dos finos pode ser determinada quer através do ensaio de equivalente de areia quer do ensaio de azul de metileno, devendo ser superior a 30% ou inferior a 2,5%, respetivamente. O valor de azul de metileno requerido, é obtido pela multiplicação do seu valor pela percentagem da fração passada no peneiro de 2 mm. Quanto ao comportamento mecânico dos materiais propõe-se para a sua avaliação o ensaio de resistência à fragmentação, devendo o valor de Los Angeles ser inferior ou igual a 50%. O valor proposto tem por base os resultados obtidos no caso de estudo de Montemor-O-Novo e as especificações Espanhola e Inglesa. Para estas camadas não se considera relevante o ensaio de desgaste micro-Deval, à semelhança do CETO, das especificações Espanholas e das especificações Inglesas.

Para camadas de base, a dimensão máxima das partículas que se propõe é de 40 mm, com teor de finos máximo de 10%. A qualidade dos finos pode igualmente ser determinada pelos ensaios de equivalente de areia e azul de metileno, sendo os valores propostos baseados no Guia Técnico d'Île-de-France. Neste caso, os valores propostos pelo CETO para estas propriedades são menos restritivas, pelo que se adotaram os valores pelo lado da segurança. Os requisitos para os parâmetros relativos ao comportamento mecânico, Los Angeles e micro-Deval, são baseados no Guia Técnico d'Île-de-France. Para estas camadas apenas se consideram materiais pertencentes à classe B1 ou C1 do quadro 42, à semelhança da especificação LNEC E 473. Desta forma ficam excluídos agregados reciclados com percentagem de agregado grosso reciclado superior a 30% de misturas betuminosas.

Os requisitos para as camadas de desgaste em camadas traficadas não revestidas que se propõem, têm em conta o volume de tráfego (de veículos pesados), tipicamente baixo para as vias em causa. Por esta razão, os requisitos baseiam-se nas diferentes especificações anteriormente referidas e ainda nos resultados obtidos no caso de estudo de Montemor-O-Novo. Também nestas camadas não são considerados agregados reciclados com percentagem de agregado grosso reciclado superior a 30% de misturas betuminosas.

Os parâmetros químicos, teor de sulfatos solúveis em água e libertação de substâncias perigosas, propostos, são idênticos aos das especificações LNEC E 474 e LNEC E 473.

5.3 Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados para enchimento de valas

No caso das valas, a proposta foi elaborada com base no guia técnico “Remblayage des Tranchées et Réfection de Chaussées” do LCPC/SETRA (1994), dividindo em quatro casos tipo, sendo eles:

- Caso tipo I: Valas essencialmente sob pavimentos.
- Caso tipo II: Valas sob passeios.
- Caso tipo III: Valas sob bermas.
- Caso tipo IV: Valas sob espaços verdes.

Apresentam-se nas figuras 21 a 24 os perfis de cada caso tipo, bem como, os requisitos para os agregados reciclados poderem ser aplicados. As categorias são as já apresentadas no quadro 43, com algumas alterações nos valores propostos para os requisitos, nomeadamente ao nível do diâmetro máximo das partículas. São também expostas as espessuras recomendadas para cada tipo de camadas.

Caso tipo I: Valas essencialmente sob pavimentos:

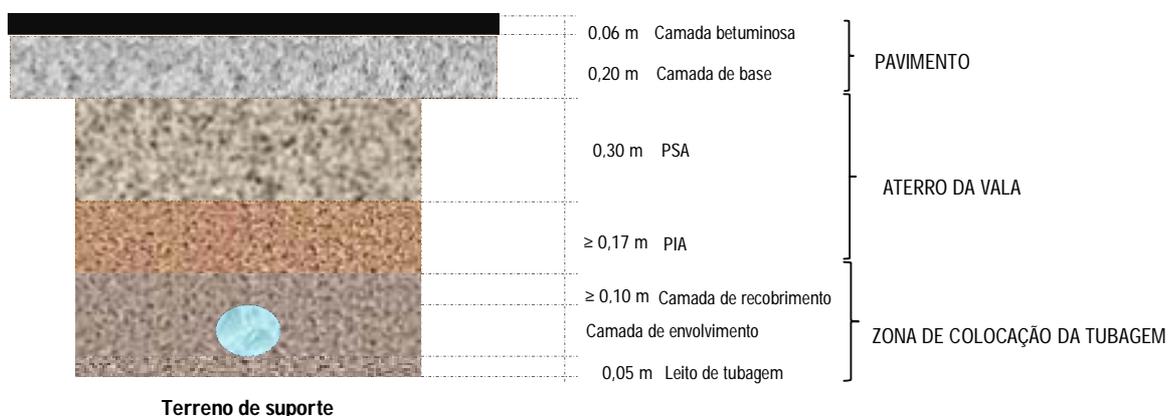


Figura 21 - Caso tipo I: Valas essencialmente sob pavimentos

Quadro 45 - Requisitos para valas do caso tipo I (pavimentos)

Zona da vala		Material utilizado	Espessura (m)
Pavimento	Camada betuminosa	Betão betuminoso	0,06
	Camada de base	AR3 – B ou C	0,20
Aterro	PSA ⁽²⁾	AR2 ⁽¹⁾ – B, MB ou C	0,30
	PIA ⁽³⁾	AR1 ⁽¹⁾ – B, MB ou C	≥ 0,17
Zona de colocação da tubagem	Camada de recobrimento	Agregado fino ($D_{max} < 4mm$)	≥ 0,10
	Leito de tubagem		0,05

⁽¹⁾ – O diâmetro máximo das partículas ($D_{máx.}$) deverá ser $< 1/10$ da largura da vala e $< 1/5$ da espessura da camada compactada

⁽²⁾ – PSA: Parte superior do aterro

⁽³⁾ – PIA: Parte inferior do aterro

Caso tipo II: Valas sob passeios:

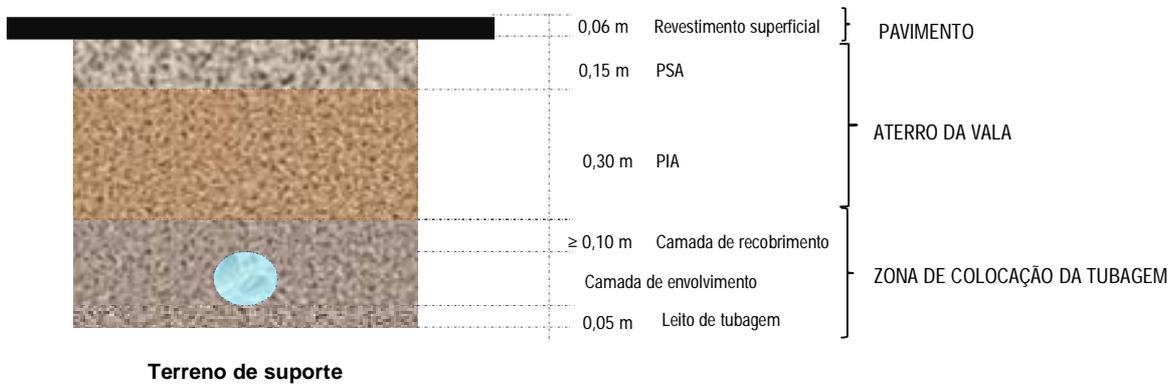


Figura 22 - Caso tipo II: Valas sob passeios

Quadro 46 - Requisitos para valas do caso tipo II (passeios)

Zona da vala		Material utilizado	Espessura (m)
Pavimento	Revestimento superficial	Idêntico ao existente	0,06
Aterro	PSA ⁽²⁾	AR3 ⁽¹⁾ – B ou C	0,15
	PIA ⁽³⁾	AR1 ⁽¹⁾ – B, MB ou C	0,30
Zona de colocação da tubagem	Camada de recobrimento e envolvimento	Agregado fino ($D_{máx.} < 4mm$)	≥ 0,10
	Leito de tubagem		0,05

⁽¹⁾ – O diâmetro máximo das partículas ($D_{máx.}$) deverá ser $< 1/10$ da largura da vala e $< 1/5$ da espessura da camada compactada

⁽²⁾ – PSA: Parte superior do aterro

⁽³⁾ – PIA: Parte inferior do aterro

Caso tipo III: Valas sob bermas:

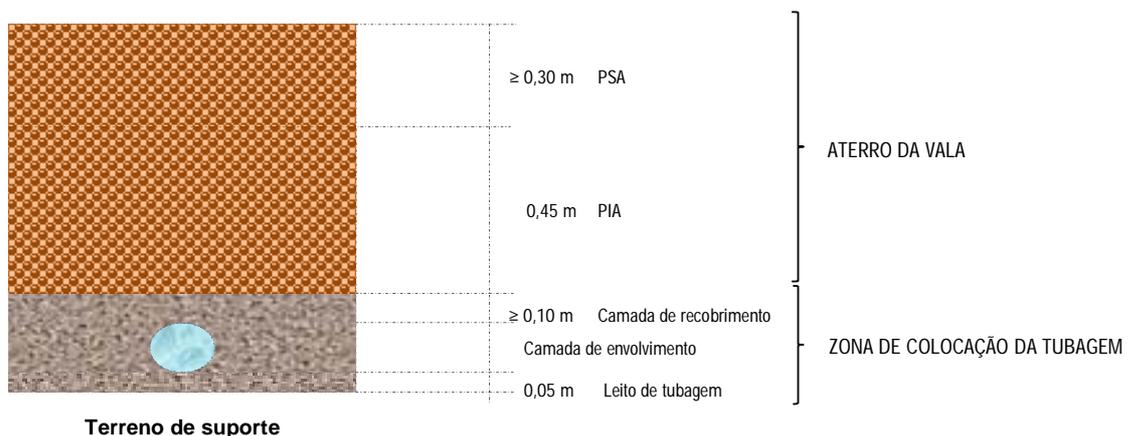


Figura 23 - Caso tipo III: Valas sob bermas

Quadro 47 - Requisitos para valas do caso tipo III (bermas)

Zona da vala		Material utilizado	Espessura (m)
Aterro	PSA ⁽²⁾	AR2 ⁽¹⁾ – B, MB ou C	≥ 0,30
	PIA ⁽³⁾	AR1 ⁽¹⁾ – B, MB ou C	0,45
Zona de colocação da tubagem	Camada de recobrimento e Leito de tubagem	Agregado fino ($D_{máx.} < 4mm$)	≥ 0,10
			0,05

⁽¹⁾ – O diâmetro máximo das partículas ($D_{máx.}$) deverá ser $< 1/10$ da largura da vala e $< 1/5$ da espessura da camada compactada

⁽²⁾ – PSA: Parte superior do aterro

⁽³⁾ – PIA: Parte inferior do aterro

Caso tipo IV: Valas sob espaços verdes:

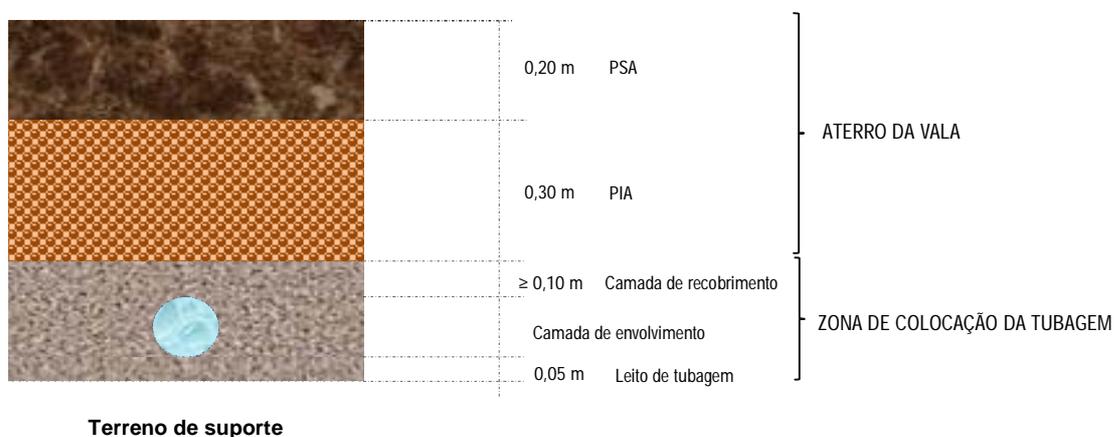


Figura 24 - Caso tipo IV: Valas sob espaços verdes

Quadro 48 – Requisitos para valas do caso tipo IV (espaços verdes)

Zona da vala		Material utilizado	Espessura (m)
Aterro	PSA ⁽²⁾	Terra vegetal	0,20
	PIA ⁽³⁾	AR1 ⁽¹⁾ – B, MB ou C	0,30
Zona de colocação da tubagem	Camada de recobrimento	Agregado fino ($D_{máx.} < 4mm$)	≥ 0,10
	Leito de tubagem		0,05

⁽¹⁾ – O diâmetro máximo das partículas ($D_{máx.}$) deverá ser $< 1/10$ da largura da vala e $< 1/5$ da espessura da camada compactada

⁽²⁾ – PSA: Parte superior do aterro

⁽³⁾ – PIA: Parte inferior do aterro

5.4 Particularidades de aplicação

Os materiais reciclados provenientes de RCD podem ser aplicados de forma semelhante aos materiais naturais com características geotécnicas semelhantes, devendo ter-se em conta algumas particularidades devido à sua natureza intrínseca, nomeadamente:

- maior dificuldade de compactação devido à forma angular e textura rugosa das superfícies;
- a utilização de cilindros pesados da classe V5 contemplados no GTR (LCPC/SETRA, 1992), pode levar a um aumento da percentagem de finos na superfície da camada, em particular, no caso dos agregados reciclados de betão;
- os materiais reciclados mistos com elementos de alvenaria, apresentam maior absorção, pelo que, é necessário maior atenção no seu humedecimento, pois uma grande quantidade de água é lentamente absorvida pelos agregados e não diretamente utilizada para a trabalhabilidade do material;
- os materiais reciclados de betão revelam um comportamento semelhante a um material coesivo, se existirem finos, devendo-se, por isso, após compactações iniciais mais intensas, passar para um regime menos intenso na fase da estabilização e fecho da camada;
- para a aplicação de materiais reciclados de betão e alvenaria em contacto com canalizações, deve verificar-se previamente a sua não-agressividade;
- os materiais reciclados de betão não devem ser aplicados em zonas frequentemente inundáveis devido à propriedade cimentícia que geralmente apresentam, nem em contacto direto com águas subterrâneas;
- sempre que exista a suspeita de que resíduos de misturas betuminosas contenham alcatrão, deverá proceder-se à despistagem através da realização de ensaios.

5.5 Controlo da qualidade

A frequência dos ensaios deve garantir a qualidade do material ao longo de todo o processo.

As especificações LNEC E 474 e LNEC E 473 estabelecem a frequência de ensaios com base nos dias de produção. Contudo, à semelhança do previsto no Volume 14.00 – Controlo de qualidade do CETO das EP (2009) para materiais granulares naturais e também no Guia Espanhol (GEAR, 2012), entende-se mais adequado estabelecer a frequência com base na quantidade de RCD produzida. Isto porque um dia de trabalho é relativo quanto à produção, pois no caso de paragens por motivos vários, o dia de trabalho pode ter diferentes quantidades de material produzido.

O CETO refere duas situações distintas para definir a frequência dos ensaios. A primeira é aplicada durante a execução das camadas, considerando a menor quantidade, que o CETO designa por lote, e resulta da aplicação dos seguintes critérios:

- 500 m de extensão de faixa;
- 3500 m² de faixa;
- a extensão construída num dia.

A outra situação é a que ocorre na fase de armazenamento, em que os ensaios para verificação da conformidade são realizados em função da quantidade produzida.

Estas duas situações são apresentadas no quadro 49.

Quadro 49 – Frequência dos ensaios (adaptado de CETO, 2009)

Ensaio	N.º de ensaios	Período ou quantidade correspondente
Granulometria	1	Por lote / 10.000 m ³
Equivalente de areia	1	Por lote / 10.000 m ³
Azul de metileno	1	Por lote / 10.000 m ³
Resistência à fragmentação - LA	1	30.000 m ² / 10.000 m ³
Resistência ao desgaste - MDE	1	30.000 m ² / 10.000 m ³

A periodicidade dos ensaios definida no Guia GEAR é apresentada no quadro 50.

Quadro 50 - Periodicidade dos ensaios (adaptado de GEAR, 2012)

Ensaio	N.º de ensaios	Frequência mínima
Granulometria	1	por cada 5.000 m ³
Composição do agregado grosso reciclado	1	por cada 5.000 m ³
Equivalente de areia	1	por cada 5.000 m ³
Resistência à fragmentação - LA	1	por cada 20.000m ³
Sulfatos solúveis em água	2	por ano

No quadro 51 apresenta-se a frequência dos ensaios que se propõem considerando os agregados reciclados e as aplicações tratadas neste trabalho.

Não obstante, qualquer divergência detetada na inspeção visual do material deve levar ao incremento da periodicidade proposta para os ensaios previstos.

Quadro 51 - Frequência mínima dos ensaios da proposta de guia

Propriedade	Norma de ensaio	Frequência
Granulometria	EN 933-1	1 por cada 6.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Composição do agregado grosso reciclado	NP EN 933-11	1 por cada 20.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Equivalente de areia	EN 933-8	1 por cada 20.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Azul de metileno	EN 933-9	1 por cada 20.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Resistência à fragmentação - Los Angeles	NP EN 1097-2	1 por cada 50.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Resistência ao desgaste – Micro - Deval	NP EN 1097-1	1 por cada 50.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Índice de fragmentabilidade	NF P 94-066	1 por cada 50.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Massa volúmica e absorção de água	NP EN 1097-6	1 por cada 50.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Compactação Proctor	EN 13286-2	1 por cada 50.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Teor de sulfatos solúveis em água	EN 1744-1	1 por cada 50.000m ³ de material produzido ou sempre que haja alteração na origem/composição do material
Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	2 vezes por ano ou sempre que haja alteração na origem/composição do material

6 CONCLUSÃO

6.1 Considerações finais

Segundo GTZ-Holcim (2007), os produtos reciclados devem ser de qualidade igual ou superior à de novos produtos; se não puder ser alcançada a mesma qualidade dos novos produtos, as normas e as especificações deverão ser ajustadas para permitir que os produtos de menor qualidade possam ser usados em aplicações menos exigentes.

Com este documento pretendeu-se adequar os requisitos preconizados nas especificações LNEC E 474 e LNEC E 473 para a utilização de materiais reciclados provenientes de RCD em aplicações menos exigentes, tais como, vias municipais e rurais e em valas.

As normas e especificações dos materiais reciclados funcionam como alavanca à sua valorização, oferecendo maior confiança quer ao utilizador quer ao produtor. É importante que haja uma adequação dos requisitos técnicos em função do tipo de aplicação, não significando porém, que as exigências possam ser descuradas ou, por outro lado, demasiados exigentes, mas sim, adequadas ao uso.

Em Portugal, atualmente, às autarquias, bem como a outros potenciais utilizadores de agregados reciclados de RCD, é exigido que sigam o previsto nas especificações LNEC E 474 ou LNEC E 473, por forma a cumprirem a legislação em vigor (Decreto-Lei n.º 46/2008), independentemente das características das vias em causa. Assim, materiais reciclados que poderiam ser aplicados em estradas com menor volume de tráfego, baixas velocidades e sem tráfego pesado, deixam de o ser com frequência por não cumprirem os requisitos em vigor.

As principais vantagens na utilização dos RCD prendem-se com a minimização dos custos ambientais e económicos, que decorrem da minimização da exploração e transporte de agregados naturais, da redução de transporte a aterros de resíduos, da diminuição do espaço ocupado por estes, bem como, dos proveitos financeiros da sua comercialização. Por outro lado, o maior problema verificado em relação à reciclagem de RCD prende-se com a sua heterogeneidade, que influi nas suas características e comportamento, daí a seleção e triagem dos RCD na origem ser um fator primordial para o sucesso da reciclagem.

Os RCD constituem uma alternativa viável aos materiais naturais a aplicar em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários e, tendo em consideração que a sua produção está sobretudo centralizada nas cidades e centros urbanos, constituindo uma fonte contínua de “matéria-prima”, a forma mais sustentável de os valorizar, é a sua utilização o mais próximo possível da produção, contribuindo assim para o prolongamento do ciclo de vida dos materiais e a sustentabilidade na construção.

O trabalho desenvolvido neste documento pretendeu ter como base científica não só a pesquisa bibliográfica, mas também o conhecimento prático dos materiais reciclados, com base na sua caracterização laboratorial e na avaliação do comportamento do material em serviço.

Neste sentido, foram visitados dois locais onde a reciclagem de RCD são casos pioneiros em Portugal e de sucesso: o município de Montemor-O-Novo e Tróia.

Foram caracterizadas laboratorialmente quatro amostras de material produzido na Unidade de Reciclagem do município de Montemor-O-Novo, com o objetivo de poder comparar os seus resultados com os requisitos exigidos na especificação LNEC E 474, tendo-se concluído que os materiais cumprem o requerido. Relativamente ao comportamento do material em serviço, os principais problemas verificados pelo município de Montemor-O-Novo, prendem-se com a falta de sistemas de drenagem que em épocas de grandes chuvadas danificam os caminhos, que embora sendo municipais não pavimentados, estão sujeitos a algum tráfego, nomeadamente pesado. A substituição dos solos anteriormente aplicados pelo município, por agregados reciclados de RCD, é mais proficiente, permitindo assim alargar o prazo de manutenção dos caminhos e escoar os RCD, que de outra forma iriam para aterros de resíduos.

Na visita levada a cabo em Tróia, não sendo possível a recolha de amostras para caracterização, foram fornecidos pelos responsáveis da construção do empreendimento os resultados dos ensaios realizados à data de execução das obras. Porém, na visita houve oportunidade de constatar que não existiam assentamentos diferenciais ou outras degradações devidas à utilização de agregados reciclados. Nesta obra, a utilização dos RCD traduziu-se numa solução técnica com vantagens económicas e ambientais de sucesso, mas também num bom exemplo de sustentabilidade.

A contribuição que se pretendeu dar neste trabalho é materializada através da elaboração de uma proposta de guia, que contempla as camadas não ligadas dos pavimentos que constituem as vias municipais e rurais e o enchimento de valas. As propriedades e requisitos que se propõem para as diferentes aplicações, têm como objetivo, garantir a qualidade dos materiais em função das obras onde serão aplicados.

Em relação às infraestruturas rodoviárias são propostas quatro categorias de agregados reciclados para quatro aplicações distintas:

AR1 – aterro;

AR2 – camada de leito de pavimento e camada de sub-base;

AR3 – camada de base; e

AR4 – camada de desgaste em camadas traficadas não revestidas.

No caso das valas, os materiais para o seu enchimento deverão cumprir os requisitos especificados para as categorias AR1 a AR3, embora com alguns ajustes, nomeadamente na dimensão máxima do agregado. As valas foram divididas em quatro casos tipo, função da sua localização, sendo eles:

- valas essencialmente sob pavimentos;
- valas sob passeios;
- valas sob bermas; e
- valas sob espaços verdes.

Desta forma, pretendeu-se contribuir para que uma maior gama de aplicações seja possível, existindo, para isso, requisitos mínimos de qualidade dos agregados reciclados.

A frequência mínima de amostragem dos RCD na proposta de guia apresentada pretendeu também adequar a periodicidade da caracterização, ao tipo de aplicações em causa.

Na proposta de guia que se apresentou são referidos os aspetos mais pertinentes a ter em conta na aplicação dos agregados reciclados, devidos essencialmente, à sua natureza intrínseca.

6.2 Desenvolvimentos futuros

A Diretiva n.º 2008/98/CE refere que para avançar rumo a uma sociedade europeia da reciclagem, dotada de um elevado nível de eficiência dos recursos, os Estados-Membros devem tomar as medidas necessárias para assegurar a consecução dos objetivos estabelecidos. Desta forma, até 2020, deve-se verificar um aumento de 70% em peso, na reutilização, reciclagem e outras formas de valorização de resíduos de construção e demolição não perigosos.

Para atingir esta meta, é importante a existência de regulamentação técnica nos diferentes campos de aplicação de RCD e é neste sentido que este trabalho pretende ser um contributo para que mais RCD possam ser valorizados.

Embora em Portugal o aumento da valorização de RCD seja uma realidade, existe ainda um grande caminho a percorrer. Tecem-se, assim, algumas considerações que seriam importantes implementar:

- Divulgar e sensibilizar, por parte das entidades competentes, junto dos intervenientes diretos, como os construtores e operadores, para a importância da seleção e triagem dos RCD na origem.
- Estudar materiais com diversas origens, e portanto diferentes composições, alargando o leque de possíveis aplicações e aprofundar o conhecimento destes.
- Desenvolver estudos no sentido de avaliar os principais ensaios a realizar em laboratório e no campo e aferir os valores característicos das suas propriedades.

- Construir trechos experimentais com materiais de diferentes composições, para que se possam perceber os diferentes comportamentos e calibrar os requisitos de conformidade da proposta de guia apresentada neste documento.

Em Portugal, a regulamentação do fluxo dos RCD está a cargo da APA, contudo, e à semelhança de outros países, nomeadamente Espanha e Reino Unido, seria interessante criar uma associação de gestores de RCD constituída pelos diferentes intervenientes que desempenhasse um papel fundamental na divulgação de informações quer aos produtores quer aos utilizadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA. (2013). Agência Portuguesa do Ambiente. *Resíduos de construção e demolição*. Consultado em 07/01/2013, disponível em: <http://www.apambiente.pt/index.php>.

Böhmer, S., Moser, G., Neubauer, C., Peltoniemi, M., Schachermayer, E., Tesar, M., Walter, B., Winter, B. (2008). *Aggregates case study*. Final report referring to contract n.º 150787-2007 F1SC-AT. Vienna.

CETO. (2009). *Caderno de Encargos Tipo Obra: 14.00 – Controlo de qualidade*. Estradas de Portugal (EP), fevereiro de 2009, Almada. Portugal.

CETO. (2012). *Caderno de Encargos Tipo Obra: 14.03 - Pavimentação*. Estradas de Portugal (EP), janeiro de 2012, Almada. Portugal.

Commissariat Général au Développement Durable. (2011). *Déchets gérés par les établissements du bâtiment : quantités et modes de gestion en 2008*. N.º 231. Consultado em 16/06/2013, disponível em: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CS231.pdf>.

Couto, A.B., Couto, J.P., Teixeira, J.C. (2006). *Desconstrução – Uma Ferramenta para Sustentabilidade da Construção*. NUTAU'2006, Inovações Tecnológicas – Sustentabilidade. Brasil.

GEAR. (2012). Guía Española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD). Proyecto GEAR. Consultado em 26/03/2013, disponível em: <http://www.gerd.es/proyecto-gear>.

Gonçalves, P.C.M. (2007). *Betão com agregados reciclados. Análise comentada de legislação existente*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal.

LCPC/SETRA. (1992). *Guide des terrassements routiers pour la réalisation des remblais et des couches de forme*. SETRA.

GTZ-Holcim. (2007). *Reuse and recycling of construction and demolition waste*. Consultado em 26/10/2012, disponível em: <http://www.coprocem.org/documents/Holcim-GTZ>.

Guide D'Utilisation en Travaux Publics. (2005). *Graves recyclés de démolition et de mâchefer*. Rhône-Alpes. Consultado em 22/02/2013, disponível em: http://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/Pdf/activites/voirie/20050511_gl_voirie_guide_utilisation_graves_de_recyclages.pdf.

Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France. (2003). *Les bétons et produits de démolition recyclés*. Ile-de-France. Consultado em 22/02/2013, disponível em: http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/g_bet_rec_cle0e6a79.pdf.

LCPC/SETRA. (1994). *Guide technique pour le remblayage des tranchées et réfection des chaussées*. SETRA.

Guides d'utilisation des matériaux Lorrains en technique routière. (2008). *Guide matériaux de démolition*. Lorraine. Consultado em 22/02/2013, disponível em:

http://www.cete-st.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/guide_materiaux_de_demolition_cle0edb9a.pdf.

Habert, G.; Billard, C.; Rossi, P.; Chen, C.; Roussel, N. (2009). *Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives*. Journal of Cement and Concrete Research V. 40, n.º 5: 820-826.

IDRRIM. Note D'Information N°22 de 2011. *Classification et aide au choix des matériaux granulaires recyclés pour leurs usages routiers hors agrégats d'enrobés*. Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité. France. Consultado em 22/03/2013, disponível em:

<http://www.idrrim.com/ressources/publications/1/569,IDRRIM-Notedinfo22-V2.pdf>.

Jervelund, C., Karlsen, S., Winiarczyk, M., Petersen, C. (2008). *Impact assessment of recycling targets in the waste framework directive*. Policy Department Economic and Scientific Policy. European Parliament.

Koopmans, T.P.P., Broers, J.W., Pietersen, H.S. (2002). *Construction raw materials policy and supply practices in northwestern europe. Facts & figures – The Netherlands*. Road and hydraulic engineering institute (DWW). Nederland.

Mália, M.A.B. (2010). *Indicadores de resíduos de construção e demolição*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal.

Martinho, F., Gonçalves, J. (2008). *Gestão e valorização de RC&D em arruamentos urbanos – O caso de Tróia*. Estoril, Portugal.

Miranda, C.A. (2009). *Modelo para a gestão de resíduos de construção e demolição: uma solução para as empresas de construção civil*. Dissertação de Mestrado, Universidade dos Açores. Ilha de São Miguel, Açores, Portugal.

Motta, R.S. (2005). *Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para a aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.

Pereira, L. (2002). *Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição: aplicação à zona Norte de Portugal*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

PG-03. (2002). *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes*. 3ª Edición. Espanha.

Highways Agency. (2009). *Manual of Contract Documents for Highway Works*. Volume 1 - Specification for highway works. TSO. Norwich, United Kingdom.

Silva, A.F.F. (2007). *Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a resolução Conama N.º 307/02 – Estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.

Spadotto, A., Vecchia, L.F.D., Carli, C. (2012). *Avaliação dos resíduos da construção civil em Xanxerê: Possibilidades para um fim mais sustentável*. VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. ISSN 1984-9354. Brasil.

WRAP. (2013a). *AggRegain. Aggregate quality protocol*. Consultado em 02/03/2013, disponível em:

http://aggregain.wrap.org.uk/quality/quality_protocols/.

WRAP. (2013b). *AggRegain. Construction application*. Consultado em 02/03/2013, disponível em: http://aggregain.wrap.org.uk/opportunities/applications/earthworks_1.html.

Legislação

Decreto-Lei n.º 18/2008 de 29 de Janeiro. *Diário da República, 1.ª série - N.º 20*. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Portugal.

Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto. *Diário da República, 1.ª série - N.º 153*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Portugal.

Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de Março. *Diário da República, 1.ª série – N.º 51*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Portugal.

Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho. *Diário da República, 1.ª série - N.º 116*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Portugal.

Diretiva n.º 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008. *Jornal Oficial da União Europeia nº L 312/3*. Portugal.

Portaria n.º 209/2004 de 3 de Março. *Diário da República, 1.ª Série – N.º 53*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Portugal.

Normas

EN 13285 (2010): Unbound mixtures - Specification. Norma Europeia, CEN.

EN 13286-2 (2010): Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 2: Test methods for laboratory reference density and water content - Proctor compaction. Norma Europeia, CEN.

LNEC E 471:2009 (2009). Especificação LNEC – Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos. Portugal.

LNEC E 472:2009 (2009). Especificação LNEC – Guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central. Portugal.

LNEC E 473:2009 (2009). Especificação LNEC – Guia para a utilização de agregados em camadas não ligadas de pavimentos. Portugal.

LNEC E 474:2009 (2009). Especificação LNEC – Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de pavimento de infra-estruturas de transporte. Portugal.

NP EN 1097-1 (2002): Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval). Norma Portuguesa, IPQ.

NP EN 1097-2 (2002): Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação. Norma Portuguesa, IPQ.

NP EN 13242 (2002): Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária. Norma Portuguesa, IPQ.

NP EN 1744-1 (2000): Ensaio para determinação das propriedades químicas dos agregados. Parte 1: Análise química. Norma Portuguesa, IPQ.

NP EN 933-1 (2000): Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica. Norma Portuguesa, IPQ.

NP EN 933-11 (2011): Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos. Norma Portuguesa, IPQ.

NP EN 933-8 (2002): Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 8: Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia. Norma Portuguesa, IPQ.

NP EN 933-9 (2011): Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 9: Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno. Norma Portuguesa, IPQ.