

Resíduos de Construção e Demolição. Um estado de arte visando a sua valorização em Trabalhos Geotécnicos

Paulo Miguel Pereira

Castorina Silva Vieira

Relatório de Investigação no âmbito do projeto “Aplicação sustentável de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em estruturas reforçadas com geossintéticos – RCD-VALOR”
(PTDC/ECM-GEO/0622/2012)

FEUP, Outubro 2013

Índice

Índice	1
1. Introdução.....	2
2. Resíduos de Construção e Demolição	4
2.1. Histórico da reciclagem dos RCD.....	5
2.2. Definição e classificação de RCD	6
2.3. Geração de RCD.....	10
2.4. Enquadramento Legal dos RCD.....	12
2.4.1. Na Europa	12
2.4.2. Em Portugal	13
2.5. Reciclagem dos RCD	15
2.5.1. Situação na Europa.....	15
2.5.2. Situação em Portugal.....	17
2.5.3. Projetos Pioneiros em Portugal.....	19
3. Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição em obras geotécnicas	21
3.1. Valorização de resíduos em obras geotécnicas.....	21
3.2. Aplicação sustentável de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em infra-estruturas rodoviárias	22
3.3. Aplicação dos RCD em Estruturas de Solo Reforçado	25
3.4. Caso particular do estudo efetuado por Santos [1], [54]	26
Referências bibliográficas.....	30

1. Introdução

Desde o início da história do Homem, que a sua atividade tem vindo a transformar as paisagens naturais na busca de produção de materiais necessários para a sua sobrevivência, havendo sempre aliada a esta transformação uma geração de resíduos [1].

Efetivamente, fazendo uma análise ao longo da história dos diferentes povos deparamo-nos com grandes aglomerados humanos (à escala desse tempo) onde a falta de sistemas para eliminação dos resíduos causou grandes problemas sanitários e de qualidade de vida. O exemplo mais pragmático dos problemas sanitários inerentes à ausência de soluções para o encaminhamento dos resíduos produzidos pelas comunidades, é o exemplo da disseminação da Peste Negra na Europa Medieval.

Também, no passado, a sobre-exploração e esgotamento de certos recursos naturais foi uma das principais razões para o desaparecimento de grandes civilizações, tal como aconteceu com a civilização Maia, na América Central.

Porém, após a revolução Industrial, com o intenso crescimento populacional, o desenvolvimento económico, a má administração do uso dos recursos naturais e a falta de consciência ecológica os resíduos tornaram-se um grande problema devido ao seu gerenciamento oneroso e complexo [1]. Assim sendo, a partir desse momento o problema da concentração dos resíduos provenientes da atividade industrial e da expansão e remodelação urbana passa a ter uma grande importância. A grande disponibilidade de recursos naturais e a pouco desenvolvida tecnologia de exploração e transformação, aliados à inexistência de sistemas de gestão dos resíduos resultantes da atividade industrial, incrementou na sociedade hábitos de consumo quase nunca coincidentes com os equilíbrios ambientais desejáveis.

A falta de mecanismos eficazes de gestão das grandes quantidades de resíduos que as sociedades pós-industriais produziam levou à proliferação da concentração de resíduos abarcando problemas a nível sanitário e ambiental. Deste modo, gerou-se a necessidade de se fazer a sua recolha e eliminação com inevitáveis custos económicos, mas que de qualquer modo são muito menores do que os associados ao nada fazer, e com um balanço ambiental bastante positivo.

Com o desenvolvimento dos hábitos da sociedade de consumo, a produção de resíduos tem aumentado desproporcionadamente, muitas vezes por causa dos modelos de consumo ou da fabricação pouco eficiente em que os materiais são desperdiçados.

A consciencialização global dessa problemática, levou a que esse assunto fosse estruturalmente abordado a nível internacional, nomeadamente pelas Nações Unidas (NU) através da realização de Conferências e Cimeiras, a cargo da «Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento (WCED-UN)», e impulsionadas por um relatório oficial, produzido em 1987, intitulado «O nosso Futuro comum», que para além de traçar o panorama da produção de resíduos e o seu impacto com o Ambiente, propôs estratégias de abordagem do problema ainda hoje perfeitamente válidas para a gestão da produção de resíduos [1].

Tal documento mais conhecido como Relatório de Brundtland, definiu o conceito de **desenvolvimento sustentável** como sendo aquele «que procura satisfazer as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades», [2], conceito esse, ainda hoje, tão importante nas análises económicas.

O Relatório de Brundtland [2] serviu de base à aprovação, em Assembleia Extraordinária da Nações Unidas, do propósito de promover uma conferência sobre o ambiente e o desenvolvimen-

to sustentável: a Comissão Mundial do Ambiente e Desenvolvimento, recomendou que fosse organizada uma reunião internacional para tratar organizada e globalmente os problemas ambientais entretanto identificados.

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, em 1992, no Rio de Janeiro, mais conhecida por «Cimeira da Terra» ou ainda por «Rio-92», onde foi produzida a primeira versão da «Convenção sobre Acesso e Proteção à Diversidade Biológica», foi delineada uma estratégia conhecida por **Declaração de Princípios - Agenda 21**, que serviu de base ao Plano de Execução aprovado na Conferência de Joanesburgo, realizada em 2002 (Rio+10), onde se apela à adoção de novas medidas visando «prevenir e minimizar os resíduos e maximizar a reutilização, a reciclagem e o recurso a substâncias alternativas compatíveis com o ambiente, com a participação dos responsáveis governamentais e de todos os interessados, para minimizar os efeitos adversos para o ambiente e melhorar a eficiência dos recursos.» [3].

Por esse motivo, nas primeiras abordagens da União Europeia (UE), para a gestão dos resíduos, foi colocada bastante ênfase na estratégia da redução da produção de resíduos, quer pela melhoria das tecnologias empregues, quer ainda pela substituição dos materiais empregues quer em quantidade quer em qualidade (menos poluentes e/ou com possibilidade de reuso ou reciclagem) - «A tomada em consideração dos benefícios ambientais resultantes da prevenção e reciclagem.» [4].

Assim, no Preâmbulo da Diretiva 2008/98/CE, de 19 de Novembro de 2008, proveniente do Parlamento Europeu e do Conselho, pode-se ler que: «O objetivo principal de qualquer política em matéria de resíduos deverá consistir em minimizar o impacto negativo da produção e gestão de resíduos na saúde humana e no meio ambiente (...).».

A União Europeia define como ação prioritária para a redução da produção de resíduos, a prevenção, assentando numa melhor gestão da utilização de materiais e na substituição desses materiais por outros menos poluentes ou perigosos.

A hierarquia das opções de encaminhamento é várias vezes referida e reafirmada pela União Europeia:

« (...) o Conselho confirmou que a prevenção de resíduos deverá constituir a primeira prioridade da gestão de resíduos e que a reutilização e reciclagem de materiais deverão ter prioridade em relação à valorização energética dos resíduos, desde que constituam as melhores opções do ponto de vista ecológico.».

Portugal, como membro pertencente à União Europeia, segue, como é seu dever e interesse, as orientações comunitárias em matéria de resíduos. Inicialmente, a União Europeia preocupou-se em resolver a gestão dos chamados fluxos prioritários, e dentro destes os que interferiam mais diretamente com a qualidade de vida das sociedades.

Relativamente aos resíduos resultantes da atividade de construção ou demolição, estes foram inicialmente considerados como pertencentes aos Resíduos Urbanos (RU), mas por fim, tendo em vista a sua grande potencialidade de reuso e/ou reciclagem, foram considerados como um fluxo específico sendo no nosso país produzida uma legislação apropriada para regular a sua gestão - Decreto-Lei nº 46/2008 de 12 de Março.

Anteriormente à Diretiva 2008/98/CE de 19 de Novembro de 2008, o conceito da utilização dos resíduos após a sua reciclagem não estava devidamente clarificado, mas esta diretiva veio definir com clareza as condições para que um resíduo deixe de o ser, o que permite combater a

opinião pouco fundamentada de que a reciclagem dos resíduos de construção e demolição origina materiais de pouca qualidade.

O tema da qualidade dos materiais é um assunto bastante importante, para qualquer tipo de material. Assim sendo, existe todo um conjunto de normas que avaliam a qualidade dos materiais consoante as suas finalidades.

Nomeadamente com os produtos reciclados provenientes dos resíduos de construção e de demolição, foram preparadas normas técnicas que permitem garantir os requisitos mínimos para deixarem de ser considerados resíduos, ou mesmo produtos de qualidade dúbia; de qualquer modo, pode-se concluir que, não havendo degradação de propriedades aquando da sua utilização, os materiais, se foram apropriados para uma primeira aplicação, também o serão para uma segunda, depois de convenientemente reciclados.

Atualmente, o passivo da produção de resíduos é encarado de diversas formas. Para além da vertente económica (desperdício de material), é tida em grande consideração a vertente ambiental, pelo que se procuram soluções cada vez mais equilibradas no tratamento e destino dos resíduos. Como princípio orientador, pode-se afirmar que não há soluções isentas de impacto ambiental, e mesmo sendo positivas em termos ambientais, muitas vezes já não são tanto em termos económicos. Procurar o equilíbrio entre o custo ambiental e o custo económico sem prejudicar o desenvolvimento é a grande aposta da evolução dos sistemas integrados de gestão de resíduos.

2. Resíduos de Construção e Demolição

Por todo o mundo, o ramo da construção é um dos mais vastos sectores que compõem a indústria de um país. A construção é uma atividade ancestral e os resíduos por ela produzidos foram desde sempre enviados para lixeiras sem separação por tipologia e, também, sem qualquer atenção ao nível da contaminação. Apenas só nas últimas décadas começaram a surgir preocupações explícitas sobre a gestão dos resíduos resultantes desta atividade, um dos maiores fluxos de resíduos existentes em Portugal.



Figura 1 – Resíduos de Construção e Demolição (RCD) [5].

2.1. Histórico da reciclagem dos RCD

O ato de reciclar como o conhecemos hoje é quase tão antigo quanto o próprio Homem. Schulz e Hendricks [6], mencionam registros de utilização de alvenaria britada na produção duma mistura de cal, água, e areia para a realização das suas construções. Os Fenícios, 700 anos antes desta era, também lançaram mão do uso de reciclados em camadas de pavimentos.

Durante a idade moderna os conhecimentos científicos foram apenas empregues para levar estes materiais para bem longe dos grandes aglomerados urbanos. Durante este período predominou a crença da inegotabilidade dos materiais e, em consequência, os recursos disponíveis foram direcionados para pesquisas que visavam o aumento da extração da matéria-prima.

Mais recentemente, o grande marco de mudança desta conceção foi a Segunda Guerra Mundial (1939-1945). Países como a Inglaterra e, posteriormente a Alemanha, emergiram do pós guerra com enormes quantidades de RCD, consequência dos maciços bombardeamentos. A falta de dinheiro e o elevado volume de RCD no local onde deveriam ser reconstruídas as cidades levaram ao desenvolvimento das técnicas de reciclagem, como solução para o problema. A Alemanha, por exemplo, na época, apresentava um volume estimado de 400 a 600 milhões de metros cúbicos de RCD, segundo Leite [7]. O certo é que em 1955, 10 anos após o término do conflito, as centrais de reciclagem de RCD ainda trabalhavam, tendo processado pouco mais de 85% do volume existente. Só em 1960 é que se conseguiu processar a totalidade dos RCD existentes, sendo estes aplicados em cerca de 175.000 unidades habitacionais [8].

Posteriormente, na Europa e no Japão a escassez de materiais e a falta de espaço para a deposição final dos resíduos foram as principais motivações para se desenvolver a pesquisa sobre o tema da reciclagem dos resíduos de construção e demolição.

Na Turquia, na cidade de İzmit em 1999, um sismo de 7.4 na escala Richter gerou em 20 segundos 13 milhões de metros cúbicos de resíduos, sem mencionar os desabamentos posteriores e demolições corretivas para a restauração das edificações sobreviventes [9]. Já no Japão, na cidade de Kobe em 1995, outro terramoto gerou 15 milhões de metros cúbicos de RCD [10].

Em Beirute, a hostilidade da Guerra Civil do Líbano, deixou-se na década de 90 a cidade com mais de 4 milhões de metros cúbicos de RCD [10]. Recentemente, o tsunami que se abateu sobre a Indonésia conforme destruiu, de uma só vez, 400 mil residências e mais de 200 Km de estradas e 30 pontes em betão armado. Estimativas iniciais, davam conta de cerca de 80 milhões de metros cúbicos de resíduos, mas podendo chegar a valores mais altos. Tudo isto em menos de 5 minutos [10].



Figura 2 – Resultados do efeito devastador do *tsunami* que se abateu na região do Índico [11]).

Como se pode verificar, por causas diferentes, em vários momentos a humanidade se deparou com a geração de RCD em larga escala, em períodos de tempo relativamente curtos, mas pequenas quantidades são produzidas todos os dias no mundo inteiro.

2.2. Definição e classificação de RCD

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são definidos como sendo o resíduo proveniente das operações de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação, demolição e derrocada de edificações. A produção de resíduos destes está sobretudo centralizada no sector da construção civil, nomeadamente em processos como obras de construção, demolições e operação de manutenção, restauro, remodelação e reabilitação de construções previamente existentes.

A indústria da construção é responsável pelo consumo de mais de 50% dos recursos naturais existentes, 40% do consumo energético e produção de 50% dos resíduos gerados [12].

Tal como os o que acontece com os resíduos em geral, para os resíduos provenientes de construções ou demolições existem várias hipóteses de classificação, variando consoante a sua origem, propriedades químicas, ou até mesmo possibilidades de reciclagem, entre outras. Todas elas, em contextos específicos, têm vantagens, mas também têm limitações [12].

Tabela 1 – Exemplos de classificação dos RCD [13].

<p>Classificação de acordo com a Lista Europeia de Resíduos</p>	<p>A Lista Europeia de Resíduos foi transposta pela Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março. Nesta lista os resíduos de construção e demolição são classificados com o Código 170000, sendo que os últimos 4 dígitos variam de acordo com o tipo de RCD em questão.</p>
<p>Classificação de acordo com o tipo de obra</p>	<p>Resíduos de construção – resíduos provenientes de obras novas de construção de edifícios e infra-estruturas;</p> <p>Resíduos de demolição – resíduos provenientes de obras de demolição de edifícios ou infra-estruturas;</p> <p>Resíduos de reparação – resíduos resultantes de obras de remodelação e reparação de edifícios e infra-estruturas.</p>
<p>Classificação segundo o tipo de material que se encontra presente</p>	<p>Resíduos inertes – terras, argamassas, tijolos, telhas, alvenaria, etc.;</p> <p>Resíduos não inertes – embalagens diversas, plásticos, madeiras, metais, vidros, etc.;</p> <p>Resíduos perigosos – óleos usados, latas de tintas e solventes, amianto, etc.</p>
<p>Classificação segundo o destino final dos resíduos</p>	<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>

Os RCD são resíduos bastante heterogéneos, podendo ser constituídos por qualquer material que faça parte de um qualquer edifício ou infra-estrutura e, ainda, por restos de embalagens ou outros materiais utilizados durante a conceção da obra. No entanto, para efeitos legais os RCD devem ser classificados de acordo com a **Lista Europeia de Resíduos - LER**, a qual foi criada com o intuito de uniformizar e facilitar a identificação dos mesmos [14].

A LER veio substituir o anterior Código Europeu de Resíduos (CER) e surge como uma Decisão da Comissão da UE (Decisão 2000/532/CE), para uniformizar e facilitar a identificação de resíduos em toda a UE.

Em Portugal, a LER entrou em vigor por força da Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março; os resíduos provenientes dos RCD são classificados na classe 17 podendo estes ser compostos por:

- Betão, tijolos, ladrilhos, telhas e material cerâmico;

- Madeira, vidro e plástico;
- Misturas betuminosas, alcatrão e produtos de alcatrão;
- Metais (incluindo ligas);
- Solos (incluindo solos escavados de locais contaminados), rochas e lamas de dragagem;
- Materiais de isolamento e materiais de construção contendo amianto;
- Materiais de construção à base de gesso;
- Outros resíduos de construção e demolição.

Na peito aos RCD.

Tabela 2 está descrito ao pormenor a parte da Lista Europeia de Resíduos que diz respeito aos RCD.

Tabela 2 - Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição, de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (Portaria 209/2004, de 3 Março).

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
17	Resíduos de construção e demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados)
1701	Betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos:
17 01 01	Betão.
17 01 02	Tijolos.
17 01 03	Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos.
17 01 06 (*)	Misturas ou frações separadas de betão, tijolos, ladrilhas, telhas e materiais cerâmicos contendo substâncias perigosas.
17 01 07	Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos não abrangidas em 17 01 06.
17 02	Madeira, vidro e plástico:
17 02 01	Madeira.
17 02 02	Vidro.

17 02 03	Plástico.
17 02 04 (*)	Vidro, plástico e madeira contendo ou contaminados com substâncias perigosas.
17 03	Misturas betuminosas, alcatrão e produtos de alcatrão:
17 03 01 (*)	Misturas betuminosas contendo alcatrão
17 03 02	Misturas betuminosas não abrangidas em 17 03 01.
17 03 03 (*)	Alcatrão e produtos de alcatrão.
17 04	Metais (incluindo ligas):
17 04 01	Cobre, bronze e latão.
17 04 02	Alumínio.
17 04 03	Chumbo.
17 04 04	Zinco.
17 04 05	Ferro e aço.
17 04 06	Estanho.
17 04 07	Mistura de metais.
17 04 09 (*)	Resíduos metálicos contaminados com substâncias perigosas.
17 04 10 (*)	Cabos contendo hidrocarbonetos, alcatrão ou outras substâncias perigosas.
17 04 11	Cabos não abrangidos em 17 04 10.
17 05	Solos (incluindo solos escavados de locais contaminados), rochas e lamas de dragagem:
17 05 03 (*)	Solos e rochas contendo substâncias perigosas.
17 05 04	Solos e rochas não abrangidos em 17 05 03.
17 05 05 (*)	Lamas de dragagem contendo substâncias perigosas.
17 05 06	Lamas de dragagem não abrangidas em 17 05 05.
17 05 07 (*)	Balastros de linhas de caminho-de-ferro contendo substâncias perigosas.
17 05 08	Balastros de linhas de caminho-de-ferro não abrangidos em 17 05 07.

17 06	Materiais de isolamento e materiais de construção contendo amianto:
17 06 01 (*)	Materiais de isolamento contendo amianto.
17 06 03 (*)	Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas.
17 06 04	Materiais de isolamento não abrangidos em 17 06 01 e 17 06 03.
17 06 05 (*)	Materiais de construção contendo amianto ⁽⁴⁾
17 08	Materiais de construção à base de gesso:
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.
17 09	Outros resíduos de construção e demolição:
17 09 01 (*)	Resíduos de construção e demolição contendo mercúrio.
17 09 02 (*)	Resíduos de construção e demolição contendo PCB (por exemplo, vedantes com PBC, revestimentos de piso à base de resinas com PBC, envidraçados vedados contendo PBC, condensadores com PBC).
17 09 03 (*)	Outros resíduos de construção e demolição (incluindo misturas de resíduos) contêm 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.
<p>(*) Resíduos perigosos ⁽⁴⁾ Na medida em que esteja em causa a deposição de resíduos em aterros, fica adiada a entrada em vigor desta rubrica até à adopção de medidas adequadas de tratamento e eliminação de resíduos de materiais de construção contendo amianto. Estas medidas devem ser estabelecidas nos termos do artigo 17.º a Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros (<i>Jornal Oficial</i>, n.º L 182, de 16 de Julho de 1999, a p. 1).</p>	

2.3. Geração de RCD

Apesar da longevidade da indústria da construção civil, esta ainda apresenta aspetos bastante peculiares demonstrando fortes traços artesanais, o que origina uma elevada quantidade de resíduos. Na atividade da construção civil, os RCD são gerados em três etapas: durante a construção, a manutenção e a demolição [1].

Os resíduos de construção resultam principalmente do dimensionamento errado no que respeita às quantidades de matérias-primas necessárias numa obra, e dos danos ocorridos nos materiais e perdas inerentes às técnicas e soluções construtivas adotadas, bem como dos restos de embalagens associadas ao transporte e acondicionamento dos materiais de construção [12].

Estes resíduos apresentam-se em menor quantidade por obra que os resíduos de demolição, mas com igual diversidade de materiais, principalmente no que respeita a embalagens e restos de materiais não aplicados ou danificados. Nesta categoria de resíduos, também poderão ser incluídos restos de asfalto, solos, rocha e vegetação removidos do local de obra [15].

Os resíduos de remodelação, reabilitação e renovação apresentam uma composição muito variada, uma vez que as áreas reparadas podem ser diferentes umas das outras, implicando uma grande variedade dos materiais em função do tipo de conserto [15].

De uma forma geral assemelham-se mais com os resíduos de demolição do que com os resíduos de construção, embora contenham maior percentagem de restos de materiais utilizados nos interiores, do que nos resíduos provenientes de obras de demolição. Estes resíduos, produzidos durante as obras de remodelação, reabilitação e renovação de instalações, têm vindo a ganhar um papel de relevo na gestão dos RCD que não se pode depreciar, dado o número de obras de remodelação verificadas [12].

Para John e Agopyan [16], a geração de resíduo na fase de manutenção está associada a vários fatores:

- Correção de patologias;
- Reabilitação ou modernização de edifícios ou parte do mesmo, associada normalmente a demolições parciais;
- Substituição de componentes que tenham ultrapassado a sua vida útil.

John e Agopyan [16] afirmaram também que a redução da geração de resíduos na fase de manutenção vai exigir:

- Melhoria da qualidade da construção, de forma a reduzir a manutenção causada pela correção de defeitos;
- Projetos flexíveis que permitam modificações substanciais nos edifícios através da desmontagem e a reutilização dos componentes não mais necessários;
- Aumento da vida útil dos diferentes componentes e da estrutura dos edifícios.

Os resíduos de demolição correspondem ao material residual resultante da atividade de demolição. Este material é essencialmente aquele que foi utilizado na construção da estrutura em questão a demolir. Assim, estes resíduos apresentam, na maior parte dos casos, grande quantidade de material inerte e solos. Assim, estes resíduos apresentam, na maior parte dos casos, grande quantidade de material inerte e solos. A sua composição é muito variada, sendo função [13]:

- Do tipo de obra a ser demolida;
- Dos diferentes tipos de construção associados às várias zonas do país, onde são utilizados materiais de construção característicos de cada zona;
- Da época da construção (técnicas e materiais que eram utilizados aquando da construção dos edifícios a serem demolidos);
- Do uso para que estavam direcionadas;
- Dos tipos de materiais aplicados no revestimento e acabamentos, caixilharias, coberturas e vãos;
- Do grau de gestão/separação dos resíduos durante a obra de demolição.

É certo que num passado não muito distante, muitas estruturas de betão armado foram concebidas sem o conhecimento necessário sobre a sua durabilidade. Isto levou, e leva ainda hoje em

dia, à redução da vida útil das estruturas, causando um sério aumento no volume da geração de resíduos.

2.4. Enquadramento Legal dos RCD

Em 2002, o Japão tornou-se um dos primeiros países a adotar um importante de política regulamentar dos RCD, sem recorrer à taxação de aterros: as empresas de demolição são obrigadas, não apenas a separar as diferentes composições (betão, madeira, asfalto, etc.), mas também a entregar esses materiais às unidades de reciclagem [17].

Vários congressos internacionais têm sido realizados tendo como principal tema a reutilização de resíduos. Entre encontros e congressos, cujo principal tema era a reutilização de resíduos, foram-se desenvolvendo normalizações para a utilização de agregados de RCD reciclados.

2.4.1. Na Europa

Com o intuito de salvaguardar o ambiente de diversos impactes negativos, foram elaboradas diferentes diretivas europeias. Estas têm como objetivo administrar da melhor forma possível o problema que as diversas atividades possam acarretar para o ambiente. Assim sendo, a gestão de resíduos não foge ao objetivo [14].

A nível europeu as bases da gestão de resíduos foram estabelecidas pela **Diretiva n.º 75/442/CEE**, de 15 de Julho, pela Comunidade Económica Europeia. Mais tarde foi elaborada a **Diretiva n.º 78/319/CEE**, de 20 de Março, que teve como objetivo aproximar os Estados Membros no que diz respeito à eliminação de resíduos tóxicos e perigosos.

Seguidamente, é estabelecido o máximo grau de proteção ambiental, com os **Planos de Gestão dos Resíduos**, a executar pelas autoridades competentes para tal, designadas pelos Estados-membros, através da transposição das **Diretivas n.º 91/156/CEE**, de 18 de Março, e **91/689/CEE**, de 12 de Dezembro, para o direito dos mesmos. Com isto, são clarificadas as categorias de resíduos e procedimentos de eliminação, esclarecendo as medidas comunitárias que têm como objetivo melhorar a gestão dos resíduos perigosos e as suas condições de eliminação.

De seguida é aprovado o **Catálogo Europeu de Resíduos (CER)**, pela Decisão n.º 94/3/CE, de 20 de Dezembro de 1993, e a **Lista de Resíduos Perigosos** pela Decisão n.º 94/904/CE, de 22 de Dezembro, sendo posteriormente revogadas pela **Decisão n.º 2000/532/CE**, de 3 de Maio, e reformada pelas **Decisões n.º 2001/118/CE**, de 16 de Janeiro, **2001/119/CE**, de 22 de Janeiro, e **2001/573/CE**, de 23 de Julho, que abriga a nova **Lista Europeia de Resíduos (LER)** e as particularidades do perigo ligado aos resíduos. A classificação das operações de eliminação e operações de valorização são adaptadas pela **Decisão n.º 96/350/CE**, da Comissão, de 24 de Maio, proveniente dos anexos da **Diretiva n.º 75/442/CEE**, de 15 de Julho.

Posteriormente é codificada a regulamentação da comunidade acerca dos resíduos pela **Diretiva n.º 2006/12/CE**, de 5 de Abril, promovendo o desenvolvimento do direito e da ciência adquirida, observando-se um equilíbrio que permite lançar um importante grupo de princípios e vetores relativamente à gestão de resíduos.

A revisão da **Diretiva n.º 2006/12/CE**, de 5 de Abril, levou à elaboração da **Diretiva n.º 2008/98/CE**, de 19 de Novembro, criando objetivos claros quanto à reutilização e reciclagem, ao

determinar o valor base de 70% em peso, até 2020, para a reutilização, reciclagem e valorização de RCD não perigosos.

Por fim, as **Diretivas 75/439/CEE, 91/689/CEE e 2006/12/CE**, são revogadas pela **Diretiva n.º 2008/98/CE**, de 19 de Novembro, sendo que esta tem como objetivo promover a eliminação da ralação existente na atualidade entre o crescimento e a produção de resíduos. Desta forma, são estabelecidos princípios para o tratamento de resíduos, promovendo a prevenção dos impactes negativos na gestão e produção de resíduos, tendo sempre como fim a proteção do ambiente e da saúde humana. Esta diretiva declara que os estados-membros necessitam de tomar medidas para o tratamento dos resíduos produzidos, de acordo com prioridades hierarquizadas da seguinte forma:

1. Prevenção;
2. Preparação para a reutilização;
3. Reciclagem;
4. Outros tipos de valorização, por exemplo energética;
5. Eliminação.

2.4.2. Em Portugal

O **Decreto-Lei n.º 488/85**, de 25 de Novembro, define pela primeira vez em Portugal, de uma forma legal, a gestão de resíduos, instituindo de forma clara a quantificação dos resíduos como parte fulcral na estratégia de decrescimento da produção de resíduos. Este diploma legal resulta da transposição da **Diretiva n.º 75/442/CEE**, de 15 de Julho, para o quadro jurídico português. Promoveu-se também a evolução ambiental no que diz respeito a tratamentos tecnológicos de reciclagem, eliminação, aproveitamento energético e proteção ambiental, prescrevendo a primeira lista de constituintes perigosos ou tóxicos, em anexo do Decreto-Lei. Conjuntamente com outros diplomas legais denota-se, nesta altura, uma maior consciência ambiental em Portugal, criando-se assim o ponto de partida para a elaboração da gestão de resíduos. Esta informação culmina com a **Lei de Bases do Ambiente** (Lei n.º 11/87, de 7 de Abril).

Após 10 anos, é revogado o **Decreto-Lei n.º 488/85**, de 25 de Novembro, pelo **Decreto-Lei n.º 310/95**, de 20 de Novembro, transpondo as **Diretivas n.º 91/156/CEE**, de 18 de Março, e **91/689/CEE**, de 12 de Dezembro. Teve como objetivo, utilizar a experiência obtida, assim como as emergentes discussões, de forma a compreender e adaptar tal legislação, de acordo com as circunstâncias ambientais do momento e revendo o quadro normativo vigente, compreendendo a evolução científico-técnica, de forma a atingir um desenvolvimento sustentável.

Mais tarde, o **Decreto-Lei n.º 310/95**, de 20 de Novembro, é reformulado pelo **Decreto-Lei n.º 239/97**, de 9 de Setembro. Este último teve como objetivo introduzir alguns aperfeiçoamentos ao Decreto-Lei anterior, como a autorização prévia das operações de gestão de resíduos e clarificar melhor o licenciamento das atividades que envolviam operações do género.

O **Regime do Transporte de Resíduos no Território Nacional** é entretanto estabelecido pela Portaria n.º 335/97, de 16 de Maio. Esta, determina a norma do transporte de resíduos e o significado dos modelos das **Guias de Acompanhamento de Resíduos (GAR)**.

Em 1997, é aprovado o **Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU)**, em que os RCD são tidos como um dos nove fluxos de resíduos que constituem os RSU. Posteriormente, em 2007, é aceite o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos para o período de

2007 a 2016 (PERSU II), através da Portaria n.º 187/2007, de 12 de Fevereiro, tendo como objetivo estabelecer as bases na estratégia de gestão de RSU, de acordo com o quadro legal e comunitário, corrigindo as fundamentais fragilidades demonstradas pelo PERSU.

Posteriormente, é aprovado o **Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais (PESGRI)**, através do Decreto-Lei n.º 516/99, de 2 de Dezembro, definindo os princípios estratégicos de gestão de resíduos, adaptados da Estratégia Comunitária de Gestão de Resíduos, adotada pela Resolução do Conselho de Ministros da União Europeia de 24 de Fevereiro de 1997.

No PESGRI os RCD apresentam-se como resíduos industriais, elaborando as principais metas na gestão deste tipo de resíduos. O PESGRI tem como princípios fundamentais a hierarquia dos princípios da gestão de resíduos, ou seja, a prevenção, reciclagem, valorização e a deposição como destino final, quando consumidas as outras possibilidades. Com este plano, desponta-se a responsabilidade que todos os intervenientes têm no ciclo de vida de um produto na sua meticulosa gestão, com a maior importância associada ao fabricante do produto [14].

Sendo que a meta mais importante deste plano é a redução da quantidade e perigosidade dos resíduos industriais, através da prevenção. Mais tarde, saí a proposta do **Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais – PNAPRI**. Este é um instrumento de planeamento da Administração Pública e de todos os agentes económicos, tendo como fim diminuir a perigosidade e quantidade dos resíduos industriais, através de medidas e tecnologias de prevenção associadas aos procedimentos industriais.

Seguidamente, o **Decreto-Lei n.º 3/2004**, de 03 de Janeiro, é publicado e define o regime jurídico do licenciamento, da instalação e da exploração dos **centros integrados de recuperação, valorização e eliminação de resíduos perigosos (CIRVER)**.

Posteriormente, é aprovada a **Lista Europeia de Resíduos**, através da Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março, tornando-se mais simples os processos de eliminação e de valorização.

Mais tarde, o **Decreto-Lei n.º 239/97**, de 9 de Setembro, é revogado pelo **Decreto-Lei n.º 178/2006**, de 5 de Setembro, estabelecendo o novo regime jurídico no que diz respeito à gestão de resíduos. Este último Decreto-Lei transpõe para a legislação portuguesa a Diretiva n.º 2006/12/CE, de 5 de Abril, e apresenta a definição de resíduo de construção e demolição, pela primeira vez no direito português. Este diploma tem como objetivo estabelecer princípios para a gestão de resíduos, promover a associação de novos instrumentos no quadro legal nacional e também introduzir novos conceitos económicos e financeiros da gestão de resíduos, como um mercado organizado de resíduos com procura e oferta de materiais de forma segura, eficaz e rápida [14].

Dentro do **Regime Geral da Gestão de Resíduos (RGGR)**, elaborado a partir do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, aparece o **Sistema Integrado de Registo Eletrónico de Resíduos (SIRER)**, que é previsto pelo Decreto-Lei e regulamentado pela consequente Portaria n.º 1408/2006, de 18 de Dezembro. Nesse ano, são lançadas algumas especificações técnicas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, como a guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos (**E 471 – 2006**); a guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central (**E 472 – 2006**); a guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos (**E 473 – 2006**); e a guia para a utilização de RCD em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte (**E 474 – 2006**).

Um ano após é estabelecido o **Regime Jurídico da Urbanização e Edificação (RJUE)**, através da Lei n.º 60/2007, de 4 de Setembro, referindo o **Regime da Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RGRCD)**, ao longo de alguns artigos deste diploma.

Seguidamente, através do **Decreto-Lei n.º 18/2008**, de 18 de Janeiro, é apresentado o novo Código dos Contractos Públicos (CCP), referindo várias vezes a importância do **PPGRCD (Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição)** na gestão de RCD, em vários artigos deste mesmo diploma. O Regime de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição, envolvendo a prevenção e reutilização e as operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de RCD é instituído, através do **Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março**. Sendo muito importante no que diz respeito á determinação das regras metodológicas associadas aos procedimentos de gestão de RCD, de acordo com o dito no artigo 20.º do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, assegurando o emprego das políticas de gestão de RCD no que diz respeito á reciclagem, reutilização e redução de resíduos [14].

Em 2008, são introduzidos alguns ajustes à Portaria n.º 335/97, de 16 de Maio, quando são homologados os modelos de **Guias de Acompanhamento dos RCD (GARCD)** através da Portaria n.º 417/2008, de 11 de Junho, que vem definir as Guias específicas a utilizar no transporte de RCD.

Posteriormente, o regime de constituição, gestão e funcionamento do mercado organizado de resíduos, é instituído pelo **Decreto-Lei n.º 210/2009**, de 3 de Setembro, tentando colmatar as carências de normalização ligadas ao acompanhamento e inspeção das ações das entidades gestoras de mercados organizados de resíduos, tentando estabelecer uma ponte entre plataformas eletrónicas dos mercados organizados e a plataforma **SIRAPA (Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente)**, sendo uma evolução do SIRER (Sistema Integrado de Registo Eletrónico de Resíduos) [14].

Mais tarde, a **Portaria n.º 228/2010**, de 22 de Abril, apresenta o logotipo do Mercado Organizado de Resíduos (MOR), a ser utilizado pelas entidades gestoras das plataformas de negociação.

Mais recentemente, o **Decreto-Lei n.º 73/2011**, de 17 de Junho, altera o regime geral da gestão de resíduos e transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE, de 19 de Novembro. Este tem como objetivo clarificar conceitos chave, como as definições de resíduo, prevenção, reutilização, preparação para a reutilização, tratamento e reciclagem, e a distinção entre os conceitos de valorização e eliminação de resíduos, com base numa diferença efetiva em termos de impacte ambiental, tendo também em conta a hierarquia dos resíduos como princípio fundamental da política de ambiente. Este diploma veio alterar os Decretos-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, e o n.º 46/2008, de 12 de Março.

2.5. Reciclagem dos RCD

2.5.1. Situação na Europa

A nível da União Europeia (UE), existem grandes diferenças em termos de gestão de RCD, existindo países onde a reciclagem de RCD se tornou uma prática corrente e noutros onde estas práticas estão no início ou onde são praticamente inexistentes. Nos países onde a reciclagem é praticamente nula também não existem dados de produção, composição e taxas de reciclagem fidedignas.

Atualmente não existem dados fiáveis sobre as taxas de reciclagem e recuperação dos resíduos de construção e demolição na UE. Os dados sobre o tratamento dos RCD sofre das mesmas lacunas e inconsistências, que os dados de geração dos mesmos. De seguida apresenta-se uma tabela com os números de RCD gerados ena União Europeia e a sua percentagem de reutilização [18].

De acordo com a **Tabela 3**, existem 6 países na União Europeia (Dinamarca, Estónia, Alemanha, Irlanda, o Reino Unido e a Holanda) que já atingiram os objetivos propostos pela Diretiva-Quadro sobre resíduos, que introduz a obrigatoriedade dos Estados-Membros cumprirem até 2020, metas de valorização de 70% em peso de RCD não perigosos. A verdade é que nestes países existiram 3 fatores que aceleraram a reciclagem de resíduos:

- 1) Escassez de matérias-primas;
- 2) Dificuldade em encontrar terrenos para aterros;
- 3) Medidas legais e económicas.

Tabela 3 – Estatística do número de RCD gerados e reciclados na União Europeia. [18].

Estado-Membro	Produção (milhões toneladas)	% Reutilizada ou reciclada
Alemanha	72,40	86%
Austria	6,60	60%
Bélgica	11,02	68%
Bulgária	7,80	n/a
Chipre	0,73	1%
Dinamarca	5,27	94%
Eslováquia	5,38	n/a
Eslovénia	2,00	53%
Espanha	31,34	14%
Estónia	1,51	92%
Finlândia	5,21	26%
França	85,65	45%
Grécia	11,04	5%
Holanda	23,90	98%
Hungria	10,12	16%
Irlanda	2,54	80%
Itália	46,31	n/a
Letónia	2,32	46%
Lituânia	3,45	60%
Luxemburgo	0,67	46%
Malta	0,80	n/a
Polónia	38,19	28%
Portugal	11,42	5%
Reino Unido	99,10	75%

Roménia	21,71	n/a
Répubblica Checa	14,70	23%
Suécia	10,23	n/a
EU 27	531,38	46%

n/a – Sem dados disponíveis.

No entanto, deparámo-nos com 3 países com taxas entre 60% e 70% (Áustria, Bélgica e Lituânia). Entre os 40% e os 60% temos a França, O Luxemburgo a Eslovénia e Letónia.

Com taxas inferiores a 40% temos a República Checa, Polónia, Finlândia, Grécia, Hungria, Chipre, Espanha e Portugal.

Assim sendo, esta taxa média de reciclagem de 46% para a UE é uma ampla estimativa com um elevado grau de incerteza. No entanto, parece bastante plausível, e dentro do intervalo estimado e proposto pelos especialistas e literatura: 30 a 60%.

Não deixa de ser curioso que segundo um estudo realizado pelo grupo *Friends of the Earth Europe*, se 70% dos resíduos produzidos fossem reciclados, o sector poderia criar cerca de 563.000 postos de trabalho.

O mesmo estudo acrescenta ainda que, outros 18.800 postos de trabalho seriam criados se os resíduos comerciais e industriais fossem reciclados no mesmo ritmo [19].

2.5.2. Situação em Portugal

Atualmente as empresas de construção civil, de grandes dimensões, já se encontram bastante sensibilizadas para a gestão dos resíduos, aplicando já com alguma normalidade algumas das boas práticas ambientais [20].

Existem boas práticas ambientais difíceis de serem implementadas numa situação real de obra, nomeadamente a reutilização de resíduos e a utilização de materiais reciclados. A indústria de reciclagem em Portugal ainda se encontra numa fase rudimentar e não permite que os empreiteiros recorram a este tipo de produtos, devido à pouca informação que possuem e pouca disponibilidade de materiais, para além do facto de muitos materiais ainda não estarem de acordo com as existências do LNEC ou necessitarem de mais ensaios experimentais para provar a sua adequação em obra [20].

Em Portugal existem cerca de 412 operadores de resíduos licenciados pelo **Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional (MAOTDR)** e pela **Direção Geral da Saúde (DGS)**, que recebem RCD (código 17 do LER). Estes operadores licenciados podem ser consultados na lista do **Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente (SIRAPA)**, no site da APA (www.apambiente.pt).

Por exemplo, uma das empresas que recebe RCD é a Demotri S.A., que pertence ao grupo AMBIGROUP (www.ambigroup.com), ao qual também pertence a Ambitrena e a Forestech. A Demotri S.A. está equipada para efetuar a triagem, trituração, preparação e reciclagem de materiais inertes em qualquer tipo de empreitadas de construção civil, mesmo quando não estão associadas a empreitadas de demolição. A Demotri S.A. realiza a triagem e a recolha dos resíduos em obra sendo posteriormente encaminhados para valorização, para as unidades de reciclagem do grupo AMBIGROUP o que permite obter taxas de valorização dos resíduos na ordem dos 95%.

Os RCD admitidos na Demotri S.A. são submetidos a uma britagem primária dos inertes permitindo a produção e um agregado de granulometria extensa, sendo que com operações exteriores permite produzir material britado com qualidade para ser aplicado em bases, sub-bases, re-incorporação na produção de betão ou outros fins em cumprimento com as normas editadas pelo LNEC.

Outra empresa que recebe RCD é a **Renascimento - Gestão e Reciclagem de Resíduos, Lda**, que está licenciada para armazenamento, triagem, valorização e reciclagem destes resíduos, dando, assim, resposta à grande quantidade de resíduos produzidos no sector da construção civil e também respondendo ao aumento das exigências traduzidas pelo Decreto-Lei nº 46/2008, de 12 de Março.

De acordo com informações do site da empresa Renascimento (www.renascimento.pt) as metodologias de gestão de resíduos adotadas pela Renascimento permitem obter grandes taxas de valorização dos resíduos (entre 90 e 98%). Quando os RCD são recebidos na unidade são sujeitos primeiramente a uma operação de qualidade e tendo em conta as suas diferentes características são sujeitos a valorização, reciclagem ou tratamento. Os clientes da Renascimento podem também aceder à britadeira que permite a reciclagem do material de modo a ser reutilizado como enchimento, bases e sub-bases. Os materiais sobrantes deste processo podem ser transportados para a mesma obra ou para outras obras, bem como para unidades da Renascimento de forma a reprocessá-los e permitir a sua reutilização como «tout-venant» ou britas de acordo com as normas LNEC [20].

Segundo a Agência Portuguesa de Ambiente (APA) 2008, de acordo com estimativas comunitárias efectuadas em 2005 os RCD representavam cerca de 22% do total de resíduos produzidos na União Europeia, o que corresponde a 290 milhões de toneladas por ano, uma vez que o total de produção de resíduos à data era cerca de 1,3 milhões de toneladas por ano. Com base na proporção apresentada para a UE, a APA, estimou para Portugal uma produção de 7,5 milhões de toneladas de RCD.

Em Portugal, não existem estimativas fiáveis sobre a produção de resíduos. Conforme se pode verificar na Tabela 4, a quantificação de resíduos produzidos em Portugal variam entre 219.040 toneladas/ano, até 22 milhões de toneladas por ano, e diferem consoante as fontes. Estas diferenças podem ser justificadas pelas diferentes metodologias de análise de dados, ou seja, se consideram ou não os solos e rochas não contaminados (17 05 04), provenientes de escavação [21]. A Tabela 4 apresenta as estimativas de produção de RCD em Portugal, de acordo com várias fontes.

Tabela 4 - Estimativa de Produção de RCD em Portugal ([22] & [18]).

Ano	Quantificação (ton)	Fonte
1997	3.200.000	Relatório de Symomds
1999	219.040	PESGRI (Quadro X.2 do Pesgri)
2001	1.282.673	INR
2002	22.194.350	Estudos realizados na Área Metropolitana do Porto
2002	6.000.000	Projeto de Wambuco
2002	4.403.778	IST/Quercus

2004	11.400.000	European Topic Centre on Resource and Waste Management
2005	7.500.000	Agência Portuguesa de Ambiente

Prevê-se que com o registo de dados do Sistema Integrado de Registo Eletrónico de Resíduos, SIRER, efetuado através do SIRAPA, Sistema Integrado de Resíduos da Agência Portuguesa do Ambiente, passem a existir dados consistentes para avaliar a quantificação de resíduos de construção e demolição em Portugal [21].

Este já se encontra em funcionamento desde 2008, tendo sido inseridos os dados do ano anterior, 2007, no entanto ainda não existe informação relativa à quantidade de resíduos produzida em Portugal.

Num estudo realizado pela Universidade do Minho [23] sobre a gestão dos resíduos de construção e demolição na Zona Norte do País chegou-se a uma estimativa da constituição dos resíduos de construção e demolição, apresentada na **Figura 3 – Composição dos RCD na zona**

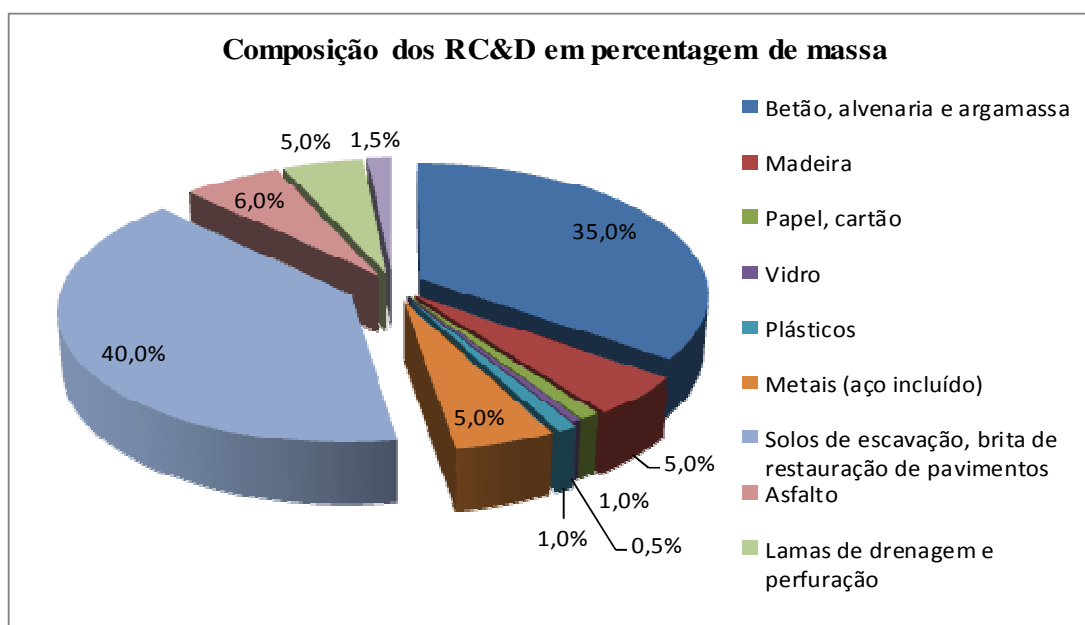


Figura 3 – Composição dos RCD na zona Norte de Portugal [23].

Norte de Portugal Figura 3.

2.5.3. Projetos Pioneiros em Portugal

Ao nível Europeu desenvolveu-se entre cinco países (Alemanha, Dinamarca, Espanha, França e Portugal) o **Projeto WAMBUCO** (European Waste Manual for Building Construction), financiado pelo Programa CRAFT do 5º Programa Quadro da Comissão Europeia, em parceria com várias empresas pequenas e médias do sector da construção civil. O projeto teve início no ano de 2002 e terminou em 2004. Este projeto abordava a gestão de RCD na construção civil de forma a

identificar o tipo de resíduos produzidos e a sua quantidade tendo em conta o tipo de materiais utilizados e os métodos construtivos usados. Procurou-se ainda uma identificação dos indicadores de referência para cada resíduo e as boas práticas de construção. Com os resultados elaborou-se um **Manual de Construção e Demolição**, o qual contém orientações para a implementação de procedimentos de trabalho para a gestão de RCD, bem como a apresentação de boas práticas ambientais e tecnologias limpas, permitindo que a indústria da construção civil tenha um menor impacto sobre o ambiente [24].

No âmbito deste projeto, Portugal desenvolveu o seu estudo nos resíduos cerâmicos [24].

De acordo com o site da Câmara Municipal de Montemor-o-Novo (CMMN) (www.cm-montemornovo.pt/reagir/) desenvolveu-se, juntamente com a ex-Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Regional do Alentejo (CCDR) (agora ARH – Administração Regional Hidrográfica), o ex-Instituto dos Resíduos (INR), o Instituto Superior Técnico (IST) e o RTS Prefabricados de betão, Lda., um projeto de nome **REAGIR** (Reciclagem de Entulhos no Âmbito da Gestão Integrada de Resíduos) financiado pelo programa LIFE-AMBIENTE (LIFE 03ENV/P/000506) em 40% e que teve a duração de 3 anos e meio. Este iniciou-se em Dezembro de 2003 e terminou em Julho 2007, abrangendo todo o concelho de Montemor-o-Novo.

As principais conclusões que se pode tirar deste projeto foram as seguintes [20]:

- A boa adesão dos construtores civis;
- Redução de depósitos ilegais;
- Soluções de recolha adequadas e versáteis;
- Custos de instalação elevados;
- Custos de operação passíveis de compensação com taxas razoáveis;
- Os agregados reciclados respeitam especificações LNEC no que respeita à presença de contaminantes;
- Os agregados reciclados terão de ser sujeitos a novos ensaios para confirmação de alguns resultados.

De acordo com o site da CCDR do Alentejo (<http://webb.ccdr-a.gov.pt/>) o projeto **CONVERTER** foi, desenvolvido pelo Município de Beja em conjunto com a RESIALENTEJO e a empresa privada URBERICICLAR, no ano de 2006. O SIGRCD (Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição) desenvolveu-se devido ao facto de não existirem quaisquer soluções para a gestão de RCD na região.

Outro caso de sucesso segundo o site da Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto (www.lipor.pt) o projeto **RETRIA** foi desenvolvido pela LIPOR, pelo Município de Valongo e outras empresas. Este projeto foi desenvolvido pelas mesmas razões que os outros projetos anteriormente referidos. Neste caso a unidade de triagem e valorização de RCD foi localizado em Vale da Cobra, na freguesia de Sobrado, no concelho de Valongo. Neste projeto a unidade instalada pelo projeto RETRIA tem capacidade para receber 300.000 t/ano de RCD, proporcionando uma solução para estes resíduos e possibilitando a utilização dos agregados reciclados para a Área Metropolitana do Porto.

O projeto efetuou a recolha de RCD em obra, disponibilizando aos seus clientes big-bag de 1 m³, contentores de 6 m³ e semi-reboques de 20 m³. Na unidade de triagem e valorização de RCD

efetuou-se a receção de RCD nas suas instalações, a triagem dos RCD e a sua transformação em agregados de diferentes granulometrias (<40 mm, 40-150 mm e <150 mm) [20].

3. Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição em obras geotécnicas

3.1. Valorização de resíduos em obras geotécnicas

Como já foi referido anteriormente a política nacional e comunitária considera prioritário reforçar a valorização de resíduos com vista a prolongar o seu uso na economia. A reciclagem de resíduos em obras geotécnicas realizadas em ambiente urbano pode revelar-se um importante mercado para os resíduos que satisfaçam os requisitos previstos pelas especificações aplicáveis em matéria de proteção da saúde pública, de proteção ambiental e de engenharia, e que o seu desempenho em obra seja pelo menos equipolente ao resultante da aplicação dos materiais tradicionais. O Departamento de Geotecnia (DG) do LNEC vem desenvolvendo diversos trabalhos de investigação e de consultoria com o propósito de promover a reciclagem de resíduos em obras geotécnicas [25].

De seguida apresenta-se um resumo com os principais trabalhos de investigação (ID&I) e de consultoria realizados no DG/LNEC, ao longo dos últimos doze anos:

Tabela 5 – Trabalhos de Investigação e consultoria realizados pelo DG/LNEC na última década [25].

Resíduos	Ano	Parceiros	Objetivos / Conclusões
Lamas do corte e polimento dos mármore (consultoria)	2000/2001	Câmara Municipal de Estremoz	Utilização em camadas de confinamento de aterros de resíduos. Viabilidade técnica em aterros de resíduos inertes
Lamas das Estações de Tratamento de Água de abastecimento público (consultoria)	2001/2003	Reciclamas (Grupo Águas de Portugal)	Utilização em obras geotécnicas. Viabilidade técnica para aplicação em camadas de confinamento de aterros de resíduos e em aterros estruturais
Escórias de aciaria (ID&I)	2005/2009	Escola de Engenharia da Universidade do Minho e Centro para a Valorização dos Resíduos, com o apoio da FCT e da Siderurgia Nacional	Utilização em camadas não ligadas de pavimentos e de aterros rodoviários. Viabilidade técnica em ambas as aplicações
Finos da produção de agregados em pedreiras de granito (ID&I)	2006/2010	Protocolo com a Mota-Engil, com a cooperação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa	Utilização em obras geotécnicas. Viabilidade técnica para aplicação em camadas de confinamento de aterros de resíduos e em aterros estruturais
Resíduos de construção e demolição (ID&I)	2010/2013	Departamento de Transportes do LNEC e Instituto Superior Técnico, com o apoio da FCT e da AMBIGROUP	Utilização em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários

3.2. Aplicação sustentável de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em infra-estruturas rodoviárias

Alguns dos potenciais usos para os RCD são: agregado para betão de baixa resistência, pavimentação de rodovias, material de enchimento para estruturas de contenção. Produção de blocos de cimento, fabricação de blocos pré-moldados para pavimentação e construção de calçadas. A eficiência desta reciclagem pode ser melhorada, caso exista um conjunto de instruções acompanhada de avanços tecnológicos e de procedimentos cientificamente testados [26].

Diversos autores têm definido várias aplicações possíveis para os agregados reciclados na engenharia. Por exemplo, na Austrália, é comum se misturar agregados reciclados de betão com quantidades pequenas de tijolos britados e solo para a obtenção de um produto reciclado considerado adequado para uso em pavimentação [27].

Na Suécia agregados reciclados de betão têm sido usados para as diferentes camadas da estrutura de pavimentos, obtendo-se incrementos no módulo de resiliência segundo os diferentes períodos de cura, e aumentando a sua resistência ao longo do tempo [28].

Segundo François & Jullien [29], o uso dos RCD em pavimentação dependerá das características da sua composição e das condições locais, que incluem: intensidade das cargas mecânicas induzidas pelo tráfego rodoviário, temperatura ambiente, humidade, reação a vários produtos que podem ser derramados sobre o curso de superfície e penetrar na estrutura. Por outro lado, a localização do material alternativo e o custo de transportá-lo são fundamentais para viabilizar o uso em pavimentação.

A partir da publicação da resolução CONAMA Nº 307 [30], várias pesquisas têm sido desenvolvidas no Brasil na área de pavimentação, caracterizando resíduos de construção física, química e mecanicamente. Cidades como Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Goiânia, Uberlândia, Salvador, Brasília entre outras, já tiveram experiências em pavimentação com RCD chegando à conclusão que os RCD apresentam condições favoráveis de utilização, desde que sejam convenientemente reciclados [31] [32] [33] [34].

Para Petkovic et al. [35] todas as estruturas envolvidas numa obra rodoviária podem ser construídas com materiais recicláveis, incluindo-se o revestimento, a base, a sub-base, o reforço de subleito, as drenagens sub-superficiais para controlo do nível freático e também as barreiras anti-ruído.

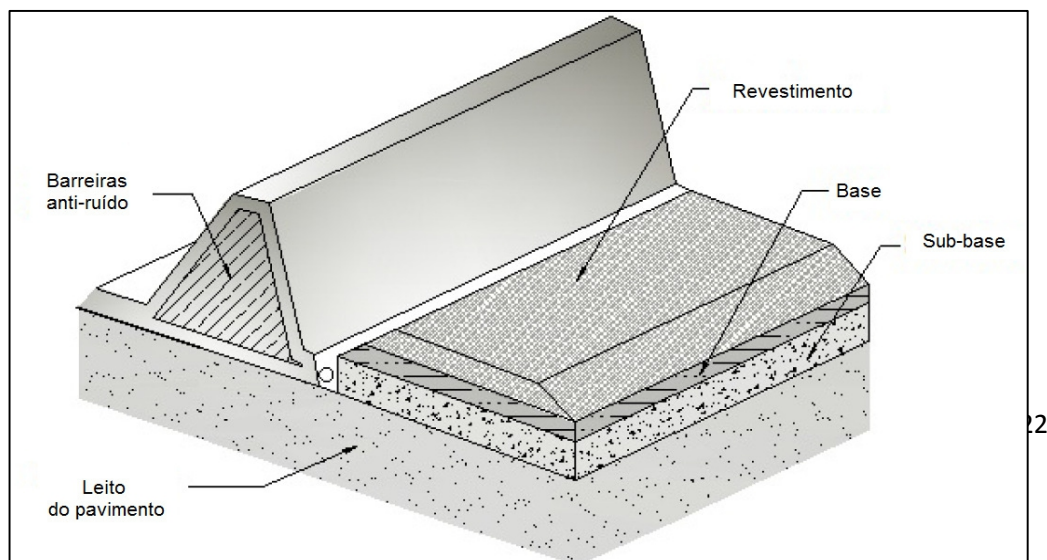


Figura 4 – Aplicações de materiais reciclados em obras rodoviárias [35].

Motta [36] analisou em laboratório aspectos físicos e mecânicos de um agregado reciclado da cidade de São Paulo, utilizando-o para a confecção de camadas de base e sub-base. Com o intuito de avaliar o desempenho do material a autora executou ensaios de: compactação, CBR, resistência à tração por compressão diametral, resistência à compressão simples e módulo de resiliência. A pesquisa chegou à conclusão de que o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil tem uma perspectiva promissora como parte integrante na construção de camadas de bases e sub-bases em vias de baixo tráfego, podendo ser usados em substituição dos materiais convencionais para as condições referidas.

Oliveira [37] fez análises laboratoriais sobre frações de agregados reciclados de concreto, denominadas de ARC 19.1 (fração grossa), e ARM 4.8 (fração fina). Esses resíduos foram misturados com diferentes dosagens, com dois tipos de solo argiloso da cidade de Goiânia e foram usados em trechos experimentais. Ensaios como pH, CBR, e módulo de resiliência permitiram obter informação sobre o ganho de resistência mecânica das misturas ao longo do tempo. Os resultados desses ensaios mostraram bons indicadores de desempenho, apresentando uma faixa de valores adequada para o emprego dos agregados em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis. Os valores indicaram, apesar da necessidade de estudos complementares, a possibilidade de emprego dos RCD em pavimentos de tráfego médio e pesado embora não seja recomendado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Góngora [34] analisou o comportamento de brita e RCD como materiais de aterro de estradas não pavimentadas mediante ensaios de carregamento cíclico. Com a realização dos aterros experimentais em brita e RCD, tentou-se simular a carga produzida por um semi-eixo padrão no trecho experimental. Uma carga de 18 KN foi aplicada a uma frequência de 1 Hz mediante uma placa circular de 20 cm de diâmetro, e quando a estrutura de pavimento atingia um deslocamento de 25 mm o ensaio era parado. O material de aterro que apresentou melhor comportamento em termos de resistência ao número de ciclos de carga foi de forma geral o feito com RCD, chegando a 1710 ciclos de carga, enquanto o construído com brita atingiu os 25 mm de deslocamento com 1630 ciclos.

Atualmente, pode-se encontrar um grande número de estudos publicados em revistas internacionais relacionados com esta temática. As Tabelas 6 e 7 apresentam um resumo de alguns trabalhos publicados nas últimas décadas.

Em Portugal, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e o Instituto Superior Técnico (IST) estão a desenvolver um projeto de investigação ao longo de 3 anos, intitulado *SUPREMA – Aplicação Sustentável de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Infraestruturas Rodoviárias*, que pretende contribuir para a generalização da aplicação sustentável de RCD em pavimentos rodoviários, através da exploração e melhoria dos conhecimentos referentes ao desempenho do comportamento mecânico e ambiental destes materiais, quando colocados em substituição dos agregados em camadas não ligadas de pavimentos. As linhas de investigação deste projeto são as seguintes [47]:

(i) avaliação das características geomecânicas e geoambientais de diferentes tipos de RCD, função da origem, metodologia de triagem e composição final;

(ii) comportamento de RCD enquanto materiais granulares não ligados e sua comparação com os materiais naturais;

(iii) determinação dos parâmetros a utilizar no dimensionamento de pavimentos, considerando a aplicação de RCD;

(iv) estudo dos aspetos construtivos a desenvolver e aplicar, função do tipo de RCD, para a utilização destes materiais em camadas não ligadas de base, de sub-base e de leito de pavimento.

Tabela 6 – Estudos sobre a aplicação de RCD em infra-estruturas rodoviárias.

Autor	Aplicação	Origem do RCD
O'Mahony & Milligan (1991) [38]	Sub-base de pavimentos	Entulho indiferenciado e betão
Chini et al. (2001) [39]	Base de pavimentos	Reciclagem de pavimentos
Molenaar & Van Niekerk (2002) [40]	Base, sub-base e leito de pavimentos	Betão e cerâmicos
Park (2003) [41]	Base e sub-base de pavimentos rígidos	Reabilitação de edifícios e de Pavimentos
Poon & Dixon (2006) [42]	Sub-base de pavimentos	Betão e cerâmicos
Vegas et al. (2008) [43]	Leito e sub-base de pavimentos	Betão, cerâmicos e entulho indiferenciado.
Leite et al. (2011) [44]	Base e sub-base de pavimentos	Betão, argamassa e agregados reciclados
Jiménez et al. (2012) [45]	Estradas de baixo tráfego	Asfalto, betão, argamassa, agregados reciclados e cerâmicos
Barbudo et al (2012) [46]	Sub-base	Betão e cerâmicos

Tabela 7 – Alguns exemplos de ensaios realizados nos estudos sobre aplicação de RCD em infra-estruturas rodoviárias

Autor	Ensaio realizado ao RCD
Poon & Dixon [42]	Massa volúmica, absorção de água, ensaios de caracterização química, distribuição granulométrica, Los Angeles, Proctor e CBR.
Vegas et al. [43]	Ensaio de caracterização química, distribuição granulométrica, Los Angeles, Proctor e CBR
Leite et al. [44]	Absorção de água, distribuição granulométrica, ensaios de caracterização química, módulo de resiliência, ensaios triaxiais, Los Angeles, Proctor e CBR.
Jiménez et al. [45]	Distribuição granulométrica, Los Angeles, ensaios de caracterização química, massa volúmica, CBR, Proctor e Ensaio de carga.
Barbudo et al [46]	Distribuição granulométrica, Los Angeles, ensaios de caracterização química, massa volúmica, CBR, e Proctor.

3.3. Aplicação dos RCD em Estruturas de Solo Reforçado

Uma das primeiras sugestões para a aplicação de RCD em estruturas de suporte foi realizada por Lima [49] baseando-se na possibilidade dos resíduos apresentarem resistência e dimensões necessárias para a sua aplicação em enrocamento e em gabião. Segundo o autor, para que o seu uso fosse concretizado, pesquisas e aplicações-piloto deveriam ser realizadas tendo em vista as sérias consequências que seriam geradas em eventuais falhas das construções.

Tabela 8 – Proposta do uso de RCD em obras geotécnicas.

Autor	Aplicação	Origem do RCD
Affonso (2005) [8]	Camada drenante de aterros	Construção, demolição e escavação
Barros (2005) [50]	Sistema de cobertura de aterros	Construção, demolição e escavação
Montepara & Giuliani (2005) [51]	Estruturas de Solo Reforçado	Reciclagem de pavimentos
Santos (2007) [1]	Estruturas de solo reforçado	Construção, demolição e escavação
Araújo Jr. (2010) [52]	Estaca de compactação	Obra em fase de acabamento
Macedo & Lafayette (2010) [53]	RCD reforçado com fibras sintéticas	Obra em fase de acabamento
Santos (2011) [54]	Estruturas de Solo Reforçado – Muros Reforçados	Construção, demolição e escavação

Santos [1] avaliou o potencial de uso de RCD em estruturas de solo reforçado com geossintéticos, por meio da caracterização das propriedades geotécnicas, da realização de ensaios de pH, e da execução de ensaios de corte direto e de arranque de geogrelha.

Os resultados de Santos [1] revelaram que os ensaios de caracterização do RCD-R apresentaram baixa variabilidade nas suas propriedades e que o mesmo atendia às recomendações das normas *British Standard* e *Federal Highway Administration* para a execução de estruturas de solo reforçado. Verificou-se também, pelo resultado dos ensaios de pH, que os extratos aquosos dos RCD reciclados ensaiados eram alcalinos, no entanto, atendiam às recomendações sugeridas por Anderson et al. [55] para aplicações com geogrelhas de poliéster. Segundo o autor, os resultados dos ensaios de corte direto demonstraram que o RCD-R ensaiado possuía excelente comportamento mecânico, o que possibilitaria a sua utilização em estruturas de solo reforçado.

Ainda segundo o autor, observando os resultados dos ensaios de arranque da geogrelha, verificou-se que o RCD apresentou valores superiores aos de uma areia lavada de construção (utilizada como referência pelo autor), mesmo esta sendo o material recomendado pela FHWA para execução de obras públicas nos Estados Unidos da América.

Posteriormente, Santos [54] investigou o potencial do uso de materiais alternativos em estruturas de solo reforçado (ESR) por meio da construção, instrumentação e monitorização de 3 muros experimentais executados em escala real. Foram empregados dois tipos de material de aterro, tendo os muros 1 e 2 construídos com RCD, e o muro 3 com solo siltoarenoso. A caracterização do

RCD foi realizada tentando apontar eventuais propriedades/ características que pudessem comprometer ou inviabilizar o uso desses materiais em ESR. Os resultados obtidos da instrumentação permitiram concluir que o melhor comportamento geotécnico deles foi apresentado nos muros 1 e 2 cujo material de aterro foi o RCD.



Figura 5 - Muros de solos reforçados construídos com RCD-R (Santos, 2011)

3.4. Caso particular do estudo efetuado por Santos [1], [54]

Santos ([1], [54]) fez um estudo sobre o potencial da aplicação de RCD em estruturas de solo reforçado. Durante a sua investigação realizou uma extensa lista de ensaios experimentais de forma a obter resultados que corroborassem a aplicação de RCD nas estruturas mencionadas.

Os RCD-R utilizados no trabalho foram recolhidos da central de reciclagem de Entulho da Prefeitura de São Carlos – São Paulo.

Na Figura 6 apresenta-se as curvas granulométricas dos RCD estudados [1].

O geossintético utilizado no programa experimental foi uma geogrelha produzida a partir de multifilamentos de poliéster, organizados em forma de grelha e revestidos por PVC. A geogrelha selecionada é utilizada em estruturas de suporte com aterro reforçado e no reforço de aterros sobre solos moles.

Na Tabela 9 resumem-se as principais propriedades mecânicas divulgadas pelo fabricante da geogrelha e as propriedades físicas ensaiadas [1].

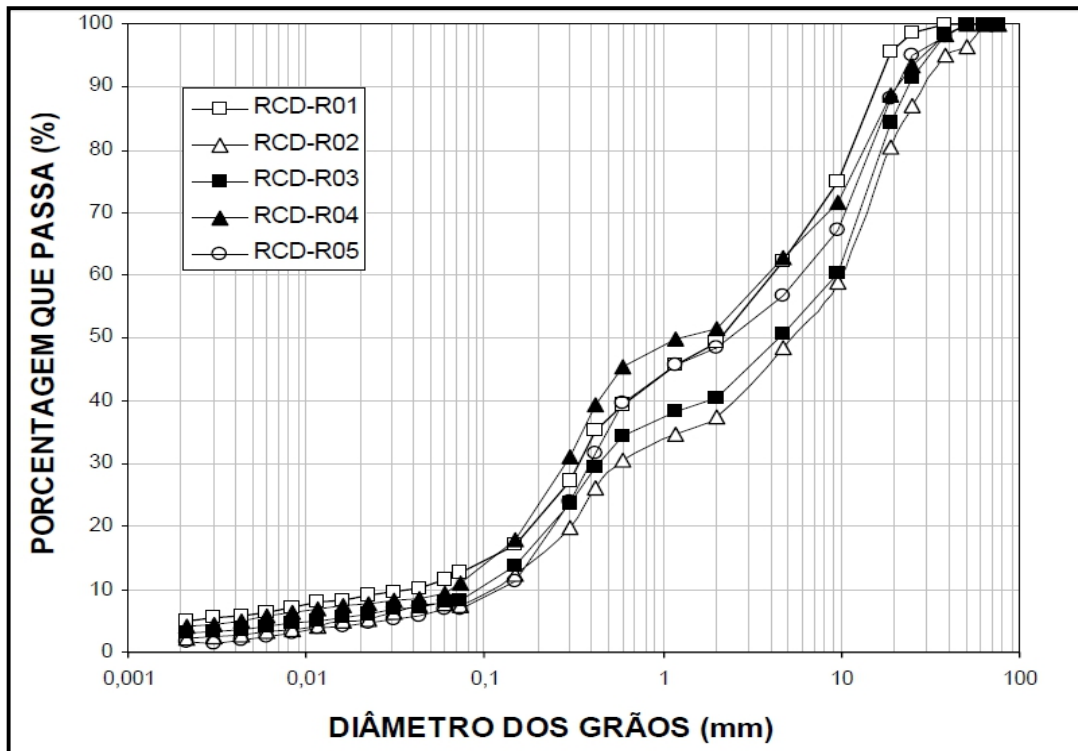


Figura 6 - Curva granulométrica obtidas para as amostras de RCD-R [1].

Tabela 9 – Propriedades mecânicas e físicas da geogrelha [1].

Propriedades mecânicas	
Resistência longitudinal à tração (KN/m)	61
Resistência transversal à tração (KN/m)	30
Deformação na rotura (%)	13
Propriedades físicas	
Abertura nominal da malha longitudinal (mm)	30
Abertura nominal da malha transversal (mm)	20
Largura dos elementos longitudinais (mm)	6,5
Largura dos elementos transversais (mm)	4,5
Espessura dos elementos (mm)	1,2

Posteriormente ainda foram realizados ensaios de corte direto e de arranque utilizando equipamento adequado para tal.

Com a intenção de investigar os danos mecânicos gerados durante o processo de construção das estruturas experimentais devido à deposição de compactação dos RCD-R, Santos [54] submeteu algumas amostras de geossintéticos utilizados a um teste experimental numa caixa de madeira. Além de as submeter à reprodução do processo de compactação adotado na construção das estruturas reforçadas, algumas amostras foram submetidas à compactação com compactador à precurção tipo «sapo».



Figura 7 – Caixa utilizada para a reprodução dos danos mecânicos [54]

O dano químico causado pelo RCD-R nos elementos de reforço foi investigado por meio dos ensaios de tração executado em amostras exumadas ao fim de 15 meses. Foram utilizadas 5 amostras para cada um dos casos estudados: intactas; compactadas com rolo; compactadas com o «sapo»; e exumadas [54].



Figura 8 – Exumação de amostras enterradas no RCD-R por um período de 15 meses.

O procedimento passou adotado pelos seguintes passos: ensaio de 5 amostras intactas não submetidas a qualquer dano, sendo tomadas como referência; de seguida, ensaiaram-se 5 amostras compactadas com rolo (mesmo processo adotada na construção dos muros experimentais [54], sendo exumadas logo após a compactação na caixa; mais tarde, ensaiaram-se 5 amostras compactadas com um compactador tipo «sapo», sendo essas amostras também exumadas – para a realização dos ensaios de tração - logo após a compactação na caixa; finalmente 5 amostras ficaram submetidas aos danos de compactação com o rolo durante a construção dos muros experimentais sendo exumadas 15 meses após a compactação. Dessa forma, tais amostras foram submetidas aos danos mecânicos causados pela compactação com o rolo e aos danos químicos causados pelo contato com o RCD-R.

Referências bibliográficas

- [1] Santos, E. C. G. (2007). Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- [2] Nações Unidas - Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento (WCED-UN) (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- [3] Nações Unidas (2002). Plan of Implementation of the World Summit on Sustainable Development. Consult. 1 Outubro 2012, disponível em http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_PlanImpl.pdf.
- [4] União Europeia (2003). Comunicação da Comissão - Para uma estratégia temática de prevenção e reciclagem de resíduos. Consult. 1 Outubro 2012, disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52003DC0301:PT:HTML>.
- [5] CDE do Brasil Ltda.. Consult. 31 Outubro 2013 disponível em <http://www.cdodobrasil.com/>.
- [6] Schulz, R.R., & Hendricks, C. F. (1992). Recycling of masonry rubble. In: HANSEN T.C. Recycling of demolished concrete and masonry. London: Chapman & Hall.
- [7] Leite, M. B. (2001). Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Dissertação de Doutorado apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [8] Affonso, F. J. A. (2005). Caracterização de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) para Uso em Camadas Drenantes de aterros de resíduos Sólidos. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [9] Baycan, F. (2004) Emergency Planning for Disaster Waste: A Proposal Based on the Experience of the Marmara Earthquake in Turkey. Proceedings of the Second International Conference on Post Disaster Reconstruction: Planning for Reconstruction. Coventry University, April 2004.
- [10] Karunasena, G., Rameezdeen, R., & Amarathunga, D. (2012) 'Post-disaster C&D waste management: The case of COWAM project in Sri Lanka', Australasian Journal of Construction Economics and Building, Conference Series, 1 (2) pages 60- 71.
- [11] National Geographic. Consult. 31 Outubro 2013 disponível em <http://www.nationalgeographic.com>.
- [12] Botelho, M. J. (2010). Resíduos de Construção e Demolição. Verlag Dashöfer Portugal.

- [13] Câmara Municipal Montemor-o-Novo. Consult. 1 Novembro 2013 disponível em www.cm-montemornovo.pt.
- [14] Monteiro, H. F. S. M. (2012) Resíduos de Construção e Demolição - Estado da Arte. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- [15] Ferreira, J. F. B. (2009). Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Camadas de Sub-base Não Ligadas de Estradas de Baixo Tráfego. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- [16] Jonh, V.M. e Agopyan, J. (2000). Seminário de Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares. São Paulo, Brasil.
- [17] Murakami, S., Izumi, H., Yashiro, T., Shoichi, A., Hasegawa, T. (2002) Sustainable Building and Policy Design. Institute of International Harmonization for Building and Housing. Tokyo.
- [18] European Commission DG ENV (2011) Final Report Task 2 – Management of C&D waste.
- [19] Friends of the Earth Europe (2010) Waste management -Where next for Europe? in ESWET Workshop.
- [20] Cabaço, L. M. F. (2009) Resíduos de Construção Civil – Caso de Estudo: Construção de uma Via Ferroviária. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- [21] Godinho, C. M. (2011). Gestão Integrada de Resíduos de Construção e Demolição – Análise de Casos de Estudo. Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [22] Lima, C. (2008). Gestão Sustentada de RCD: Estratégia de Valorização para atingir o Resíduo Zero. Universidade Lusíada.
- [23] L. Pereira, S. Jalali, B. Aguiar, (2004). Gestão de resíduos de construção e demolição. Seminário Sistemas Integrados de Gestão de Fluxos Específicos de Resíduos, Lisboa.
- [24] Lipsmeier, K., Ipsmeier, Klaus (2005). Manual europeu de resíduos da construção de edifícios. (Vol. 1) TU-Dresden & TecMinho/Universidade do Minho.
- [25] Roque, A.J. – O contributo da CT-VROG/SPG para a valorização de resíduos em obras geotécnicas. In 12.º Congresso Nacional de Geotecnia – Geotecnia e Desenvolvimento Sustentável. Guimarães: Universidade do Minho, 2010. pp. 2089-2098.
- [26] Kartam, N., Al-Mutairi, N., Al-Ghusain, I., Al-Humond, J. (2004). Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. Waste Management. 24, pp. 1049-1059.
- [27] Bakoss, S. L., Sri Ravindrarajah, R. (1999) Recycled construction and demolition materials for use in roadworks and other local government activities. University of Technology Sidney.

- [28] Arm, M. (2001) Self cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: results from triaxial test and field test. *Waste Management*, 21, pp. 235-239.
- [29] François, D., Jullien, A. (2009) A framework of analysis for field experiments with alternative materials in road construction. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Centre de Nantes, BP 4129, 44341 Bouguenais cedex, France. *Waste Management* 29 pp. 374-382.
- [30] CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). Resolução Nº 307, de 5 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002.
- [31] Motta, L. M. G.; Fernandes, C. (2003) Utilização de Resíduo Sólido da Construção Civil em Pavimentação Urbana. 12ª Reunião de Pavimentação Urbana, ABPv, Aracaju, Sergipe.
- [32] Balzan, DC, Pires, LM; Melo, VL. Utilização de Agregado Reciclado de Obras de Construção Civil em Pavimentos Urbanos: Especificação e Obras no Município de São Paulo. In: Reunião Anual de Pavimentação Urbana 12ª. RPU. Cd-Rom. 2003. Aracaju, SE.
- [33] Dias, J. F., Agoopyan, V., Bernucci, L. L. B., Moura, E. (2006). Avaliação do módulo de resiliência de misturas solo agregado reciclado cerâmico em função do esqueleto granular do agregado. 13ª Reunião De Pavimentação Urbana. Maceió.
- [34] Góngora, I. A. G. (2011). Utilização de Geossintéticos como Reforço de Estradas não pavimentadas: Influência do tipo de Reforço e do Material de Aterro. Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília.
- [35] Petkovic, G., Engelsen, J. C., Haoya, A. O., Breedveld, G. (2004). Environmental impact from the use of recycled materials in road construction: method for decision-making in Norway. *Resources, Conservation and Recycling*, 42: pp 249-264.
- [36] Motta, R. S. (2005) Estudo Laboratorial de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil para Aplicação em Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [37] Oliveira, J. C. (2007). Indicadores de Potencialidades e Desempenho de Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil em pavimentos Flexíveis. Dissertação de doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.
- [38] O'Mahony MM, Milligan GWE. Use of recycled materials in subbase layers. *Transport Res Record* 1991;1310:73-80.
- [39] Chini A.R., Kuo S.S., Armaghani J.M., Duxbury J.P. Test of recycled concrete aggregate in accelerated test track. *J Transp Eng* 2001;127(6):486-92.
- [40] Molenaar AAA, Van Niekerk AA. Effects of gradation, composition, and degree of compaction on the mechanical characteristics of recycled unbound materials. *Transport Res Rec* 2002; 1787:73-82 .
- [41] Park T. Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement. *J Transp Eng* 2003; 129(5):558-63.

- [42] Poon, C.S., Chan, D. (2006) Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base Construction and Building Materials, Volume 20, Issue 8, Pages 578–585.
- [43] Vegas, I., Ibañez, J. A., San José, J.T., Urzelai, A. (2008) Construction demolition wastes, Waelz slag and MSWI bottom ash: A comparative technical analysis as material for road construction Waste Management, Volume 28, Issue 3, Pages 565–574.
- [44] Leite F.C., Motta R.S., Vasconcelos K.L., Bernucci L. Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements Construction and Building Materials, 25 (2011), pp. 2972–2979.
- [45] Jiménez, J.R., Ayuso, J., Galvín, A. P., López, M., Agrela, F. Use of mixed recycled aggregates with a low embodied energy from non-selected CDW in unpaved rural roads Construction and Building Materials, Volume 34, September 2012, Pages 34–43.
- [46] Barbudo, A., Agrela, F., Ayuso, J., Jiménez, J.R., Poon, C.S. Statistical analysis of recycled aggregates derived from different sources for sub-base applications Construction and Building Materials, Volume 28, Issue 1, March 2012, Pages 129–138.
- [47] Freire, A.C., Neves, J. Roque, A., Martins, I. Antunes, M. L., Faria, G, 2013 - APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM CAMADAS GRANULARES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS VALIDADA EM TRECHO PILOTO, IN PROC. 7º CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS – LISBOA. LNEC, 10 A 12 DE ABRIL.
- [48] Freire, A. C., Neves, J., Roque, A., Martins, I., Antunes, M. L. e Faria, G., 2011 - SUSTAINABLE APPLICATION OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION RECYCLED MATERIALS (C&DRM) IN ROAD INFRASTRUCTURES
- [49] Lima, J. A. R. (1999). Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- [50] Barros, M. C. (2005). Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para sistema de cobertura. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. 96p.
- [51] Montepara, A., Giuliani, F. (2005) Milled Reclaimed Asphalt Pavement in Reinforced Earth Structures: A Laboratory Experience. Università degli Studi di Parma.
- [52] Araújo JR. E.L. (2010). Uso de resíduos de construção e demolição (RCD) em estacas de compactação para melhoria de solos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Escola Politécnica de Pernambuco. Universidade de Pernambuco.

[53] Macedo, T.F.; Lafayette, K.P.V. (2010). Characterization and analysis of the mechanical behaviour of CDW with fiber addition for geotechnical application. In: 6th 213 International Conference on Environmental Geotechnics. New Delhi. Vol.1. p 1025-1029.

[54] Santos, E. C. G. (2011). Avaliação Experimental de Muros Reforçados Executados com RCD-R e Solo Fino. Dissertação de Doutorado apresentada à Universidade de Brasília.

[55] Anderson, P.L., Jailloux, J.M., White, D.F. (1992). Testing durability of polyester to be used in earth-reinforced structures. Earth Reinforcement Practice pages 9-12.