



Centro de Competência de Ciências Exatas e da Engenharia

Betão com Agregados Reciclados.
Estado da Arte e Análise à Gestão e Utilização na
Região Autónoma da Madeira

Tese submetida para o grau de Mestre em Engenharia Civil na Universidade da Madeira

Por:

RODOLFO JESUS NEVES MIRANDA

Orientador

Prof. Doutora Belén González Fonteboa

(Universidade da Coruña)

Coorientador

Engenheira Joana André Reis

(Universidade da Madeira)

Janeiro 2014

Título: Betão com agregados reciclados. Estado da Arte e Análise à Gestão e Utilização na Região Autónoma da Madeira

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição, agregados reciclados, betão reciclado, inquérito, RCD

Keywords: Demolition and construction waste, recycled aggregates, recycled concrete, survey, DCW

Autor: RODOLFO JESUS NEVES MIRANDA

CCEE – Centro de Ciências Exatas e da Engenharia

Campus Universitário da Penteada

9020 - 105 Funchal – Portugal, s/n

Telefone + 351 291 705 230,

Correio eletrónico: secretariadoscentros@uma.pt

Funchal, Madeira

"Para el logro del triunfo siempre ha sido indispensable pasar por la senda de los sacrificios."

Simón Bolívar

Para a minha família

RESUMO

Nas últimas décadas temos assistido a um crescimento da produção de resíduos de construção e demolição. Surge então a necessidade de fazer uma gestão consciente destes resíduos reintroduzindo-os quando possível, no ciclo de vida de novas construções, provocando uma redução quer das zonas de aterro quer da abertura de novas zonas de extração de inertes as quais, provocam um elevado impacto ambiental afetando a biodiversidade existente nessas zonas.

Com esta intenção, o presente trabalho centra-se na temática do betão com agregados reciclados e pretende contribuir para o seu conhecimento, analisando as características quer dos agregados reciclados quer do betão com eles confeccionado, seguindo normas e diretrizes recomendadas por diferentes especificações um pouco por todo o mundo. Ainda no mesmo contexto o estudo pretende conhecer o destino (eliminação, aterro, valorização, etc.) dado aos RCD procedentes de betão na Região Autónoma da Madeira.

A análise da bibliografia existente demonstra perdas nas características destes betões reciclados quando comparados com betões convencionais, isto sem dúvida devido principalmente à quantidade de pasta de cimento aderido presente na composição do agregado reciclado, a qual afeta direta e indiretamente a maioria das propriedades quer do agregado reciclado quer do betão com eles confeccionado.

Foi recolhida informação que permite caracterizar o sector da construção civil, fazendo o diagnóstico do estado atual da gestão dos resíduos de construção e demolição que é feita pelas empresas de construção sediadas na RAM, mais concretamente a gestão dos resíduos de betão e a reutilização e reciclagem dos mesmos.

ABSTRACT

Over the past few decades we have witnessed an increase in the production of construction and demolition waste. Then comes the need to make a conscious management of these wastes reintroducing them when possible in the life cycle of new buildings, causing a reduction of landfill areas or the opening of new areas for extraction of aggregates which provoke a high impact on the environment, affecting the biodiversity in these areas.

This dissertation focuses on the theme of concrete with recycled aggregates and intends to contribute for this knowledge by analysing the characteristics of both the recycled aggregates either the concrete made with the recycled aggregates, following the recommended standards and specifications by different guidelines that exist all over the world. Still in the same context the study aims to know the destination (disposal, landfill, recovery, etc.) that is given to concrete DCW on the Autonomous Region of Madeira.

The analysis of the existing literature shows losses of the characteristics of these recycled concrete compared to conventional concrete, this no doubt, mainly due to the amount of attached mortar that is present on the recycled aggregate, that directly and indirectly affects most properties of both the recycled aggregates either the concrete made with them.

It was gathered information that allows to characterize the construction industry, making the diagnosis of the current state of management of DCW that is made by construction companies in Madeira, specifically the management of concrete waste and its reusing and recycling.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado representa o culminar de um período de crescimento e superação que só se tornou possível com o apoio de algumas pessoas e entidades. A todos, um muito obrigado.

Para começar devo um profundo agradecimento à Professora Belén González Fonteboa (Faculdade de Caminos Canales y Puertos da Universidade da Coruña), responsável pela orientação desta dissertação, não só pelo apoio e tratamento afável que recebi ao longo do trabalho, mas também pela transmissão de conhecimentos e metodologia de trabalho, que me permitiu de maneira autónoma progredir neste processo de aprendizagem. Ao Professor Fernando Martínez Abella (Faculdade de Caminos Canales y Puertos da Universidade da Coruña) que estimulou a elaboração desta dissertação quando me apresentou o tema betão com agregados reciclados. A Eng.^a Joana André Réis (Centro de Competência de Ciências Exatas e da Engenharia da Universidade da Madeira) pelo importante e crucial apoio que foi indispensável na elaboração desta dissertação.

A minha família. Não existem palavras que representem o conforto e apoio incondicional que sempre me deram. Revelando-se suportes essenciais ao longo da minha formação tanto a nível profissional como a nível pessoal. A eles, um muito obrigado.

Por último agradeço aos meus amigos e colegas da UMA e da UDC pela camaradagem e amizade demonstrada ao longo destes anos.

ÍNDICE

Resumo	V
Abstract	VII
Agradecimentos	IX
Índice	XI
Lista de Figuras	XV
Lista de Tabelas	XIX
Abreviaturas e Siglas	XXI
1 Considerações Iniciais	1
1.1 Aspetos Gerais	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivos	4
2 Estado da Arte	5
2.1 Introdução	5
2.2 Enquadramento de Portugal e da Europa na reciclagem de RCD	5
2.3 Processamento dos agregados reciclados	9
2.4 Propriedades dos agregados reciclados	12
2.4.1 Granulometria e forma	13
2.4.2 Pasta de cimento aderido	14

2.4.3	Densidade _____	16
2.4.4	Absorção _____	17
2.4.5	Dureza _____	19
2.4.6	Impurezas _____	20
2.5	Regulamentação existente e classificação de agregados reciclados _____	21
2.5.1	Japão _____	21
2.5.2	Hong Kong _____	22
2.5.3	Austrália _____	22
2.5.4	USA _____	23
2.5.5	Brasil _____	23
2.5.6	Alemanha _____	24
2.5.7	Holanda _____	25
2.5.8	Bélgica _____	26
2.5.9	Reino Unido _____	26
2.5.10	Espanha _____	27
2.5.11	Portugal _____	29
2.5.12	RILEM <i>recomendation</i> _____	33
2.5.13	Comparativa de Normas e Especificações Internacionais _____	33
2.6	Propriedades dos betões com agregados reciclados _____	38
2.6.1	Dosagem do betão reciclado _____	38
2.6.2	Propriedades do betão reciclado fresco _____	42
2.6.3	Propriedades do betão reciclado endurecido _____	44
2.6.4	Durabilidade do betão reciclado _____	52
2.7	Conclusões do estado da arte _____	56

3	Gestão de resíduos de betão procedentes de RCD na RAM	59
3.1	Produção	59
3.2	Plantas de tratamento	60
3.3	Modo de gestão	60
3.4	Descrição dos resíduos ou produtos finais	65
3.5	Caracterização do sector da construção civil na RAM.	65
3.6	Inquérito às empresas de construção da RAM	67
3.6.1	Metodologia	68
3.6.2	Resultados	71
4	Conclusão	85
4.1	Considerações finais	85
4.2	Conclusões gerais	88
4.3	Propostas de investigação	89
5	Bibliografia	91
6	Anexos	97
6.1	Anexo I – Plano de prevenção e gestão de RCD	99
6.2	Anexo II – Registo de dados de RCD	101
6.3	Anexo III - Guias de acompanhamento de RCD (GARCD)	105
6.4	Anexo IV - Resumo da legislação referente a gestão de RCD	109
6.5	Anexo V – Inquérito a produtores de RCD	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de vida do betão (adaptado de [2]).	1
Figura 2 - Hierarquia dos resíduos.	4
Figura 3 - Percentagem de resíduos do sector da construção em relação ao total de resíduos gerados em Portugal no ano 2010 [8].	6
Figura 4 - Evolução da quantidade de resíduos produzidos pelo sector da construção em Portugal em relação ao total de resíduos produzidos [8].	6
Figura 5 - Percentagem de resíduos gerados na UE (27) por Portugal e Espanha pelo sector da construção em 2010 [8].	7
Figura 6 - Geração de resíduos pelo sector da construção na Península Ibérica [8].	7
Figura 7 - Composição base dos RCD (adaptado de [13]).	9
Figura 8 - Esquema de reciclagem dos RCD (adaptado de [16]).	10
Figura 9 - Esquema do processo de produção de agregado reciclado (adaptado [17]).	11
Figura 10 - Produção de agregado reciclado com três níveis durante o processo para minimizar a pasta de cimento aderido (adaptado de [18]).	11
Figura 11 - Esquema de uma planta fixa de produção de agregado reciclado (adaptado de [17]).	12
Figura 12 - Correlação entre a absorção e a densidade saturada superfície seca de agregados reciclados (adaptado de [40]).	17
Figura 13 - Fluxograma das etapas de gestão de RCD em obras públicas.	62

Figura 14 - Armazenamento de resíduos [83]. _____	63
Figura 15 - Fluxograma das etapas de gestão de RCD em obras privadas. _____	64
Figura 16 - Edifícios e fogos licenciados e concluídos 2006 a 2012 na RAM [84]. _____	65
Figura 17 – Percentagem de empresas detentoras de alvarás de construção por Concelho na RAM. _____	66
Figura 18 - Percentagem de Empresas por classe de alvará ativo na RAM. _____	66
Figura 19 – Representatividade das empresas inquiridas por classe de alvará e localização da sede. _____	70
Figura 20 - Meios utilizados para demolições por parte das empresas inquiridas. _____	72
Figura 21 - Local onde realiza a triagem. _____	74
Figura 22 - Responsabilidade do transporte de RCD não valorizado. _____	75
Figura 23 - A empresa utiliza guias de acompanhamento de RCD? _____	75
Figura 24 - Destino final de resíduos (LER 17 01 07) não valorizados. _____	76
Figura 25 - Percentagem de resposta à pergunta: "É feita a separação apenas do RCD betão (LER 17 01 01) para depois reutilizar/reciclar?". _____	77
Figura 26 - Principal aplicação do RCD betão (LER 17 01 01). _____	77
Figura 27 - Nível de práticas de Redução nas empresas inquiridas. _____	78
Figura 28 – Nível da prática de Reutilização nas empresas inquiridas. _____	78
Figura 29 - Nível da prática de Reciclagem nas empresas inquiridas. _____	79
Figura 30 - Principais impedimentos a utilização de materiais de construção com incorporação de RCD. _____	80

Figura 31 - Percentagem de resposta à pergunta: " Considera que se estudos comprovassem a adequabilidade destes materiais aumentaria a sua confiança na sua utilização?". _____ 81

Figura 32 - Principais impedimentos a utilização de agregados reciclados na confeção de betão.
_____ 81

Figura 33 - Percentagem de resposta à pergunta: "Tem confiança na utilização de betão com agregados reciclados?". _____ 82

Figura 34 - Percentagem de resposta à pergunta: "O custo de aquisição/produção de betão com agregados reciclados influenciaria a sua decisão sobre a utilização deste material?". _ 82

Figura 35 - Percentagem de resposta à pergunta: "Considera que aumentaria a utilização de betão reciclado se estudos comprovassem a adequabilidade dos agregados reciclados?". 82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pasta de cimento aderido em agregados reciclados segundo diversos autores. _	15
Tabela 2 - Densidade saturada da superfície seca de agregados reciclados comparados com os naturais segundo diversos autores. _____	16
Tabela 3 - Absorção de agregados reciclados comparados com os naturais segundo diversos autores. _____	18
Tabela 4 - Coeficiente de Los Angeles em agregados reciclados segundo diversos autores.	19
Tabela 5 – Quantidade máxima de impurezas segundo a norma Japonesa [21]. _____	22
Tabela 6 - Requisitos gerais para agregados reciclados para betão sem função estrutural [46]. _____	24
Tabela 7 - Composição dos agregados reciclados segundo a norma alemã DIN 4226 [47]. _	25
Tabela 8 - Granulometria exigida aos agregados reciclados para a sua utilização em betões. _____	26
Tabela 9 - Características exigidas aos agregados reciclados para a utilização no betão. ____	26
Tabela 10 - Classificação dos agregados reciclados [48]. _____	29
Tabela 11 - Condições de aplicação [42]. _____	30
Tabela 12 - Requisitos mínimos principais de conformidade dos agregados reciclados grossos para todas as aplicações. _____	30
Tabela 13 - Especificações técnicas para a utilização de RCD. _____	31
Tabela 14 - Classificação dos agregados reciclados, adaptado [42], [49], [50], [51]. _____	32

Tabela 15 - Campo de aplicação dos agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos [50]. _____	33
Tabela 16 - Especificações internacionais para os diferentes tipos de agregados (adaptado de [47]). _____	35
Tabela 17 - Especificações internacionais para os diferentes tipos de agregados (continuação) (adaptado de [47]). _____	36
Tabela 18 - Especificações internacionais para os diferentes tipos de agregados (continuação) (adaptado de [47]). _____	37
Tabela 19 - Resistência à compressão do betão reciclado. _____	46
Tabela 20 - Condições de utilização de agregados reciclados segundo algumas especificações. _____	47
Tabela 21 - Valores do módulo de elasticidade em betões reciclados [3]. _____	48
Tabela 22 - Variação da resistência à tração em betões reciclados [3]. _____	49
Tabela 23 - Variação da retração em betões reciclados [3]. _____	51
Tabela 24 - Metodologia e passos a seguir para a realização do inquérito aos produtores de RCD. _____	68
Tabela 25 - Empresas inquiridas por número de trabalhadores. _____	71
Tabela 26 - Montante das coimas a aplicar _____	117

ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c - água/cimento

ACHE - Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural

ACI - American Concrete Institute

AF - Agregado fino

AG - Agregado grosso

AGER - Agregado reciclado

ARA - Árido reciclado de asfalto

ARB - Agregado reciclado de betão

ARC - Agregado reciclado composto

ARC - Árido reciclado ceramico

ARC - Agregado reciclado de concreto

ARH - Árido reciclado de hormigón

ARM - Agregado reciclado misto

ARMC - Fracción predominante de cerâmicos en áridos reciclados mistos

ARMH - Fracción predominante de hormigón en áridos reciclados mistos

ARMP - Fracción predominante de piedra en áridos reciclados mistos

ARP - Árido reciclado de piedra

BS - British Standards

CE - Comunidade Europeia

CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization

DCW - Demolition and Construction Waste

DIN - Deutsches Institut für Normung

E - especificação

EHE - Instrucción española de hormigón estructural

EN - Norma Europeia

ES - Espanha

GARCD - Guia de acompanhamento de RCD

GEAR - Guia Española de Áridos Reciclados

GERD - Asociación Española de Gestores de RCD

Gr - Graúdo

H - High

JIS - Japanese Industrial Standards

L - Low

LER - Lista europeia de resíduos

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

M - Medium

MAR - massa agregado reciclado

MAT - material de agregado reciclado

MBR - Mistura betuminosa recuperada

Mi - Miúdo

NBR - Norma Brasileira

NEN - Nederlands Normalisatie

NP - Norma portuguesa

NR - não recomendado

PNRCD - Plan nacional de resíduos de construcción e demolición

PPGRCD - Plano de prevenção e gestão de resíduos de construção e demolição

PT - Portugal

RA - Recycled Aggregate

RAM - Região Autónoma da Madeira

RCA - Recycled concrete aggregate

RCD - Resíduos de Construção e Demolição

RILEM - Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux

SIRAPA - Sistema integrado de registo da agência portuguesa do ambiente

TMDp - Tráfego médio diário de pesados por via

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

USA - United States of America

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Aspetos Gerais

Uma das principais contribuições que o sector da construção pode ter para a conservação e manutenção do meio ambiente e para um desenvolvimento sustentável é a revalorização dos resíduos que gera a sua própria atividade. Isto passa pela introdução, nos processos de produção, de agregados procedentes de resíduos ou escombros de construção que tenham como destino final o aterro, ou seja alargar o ciclo de vida (figura 1) destes materiais o que supõe, uma poupança em espaços licenciados para aterro como também uma diminuição da extração de recursos naturais [1].

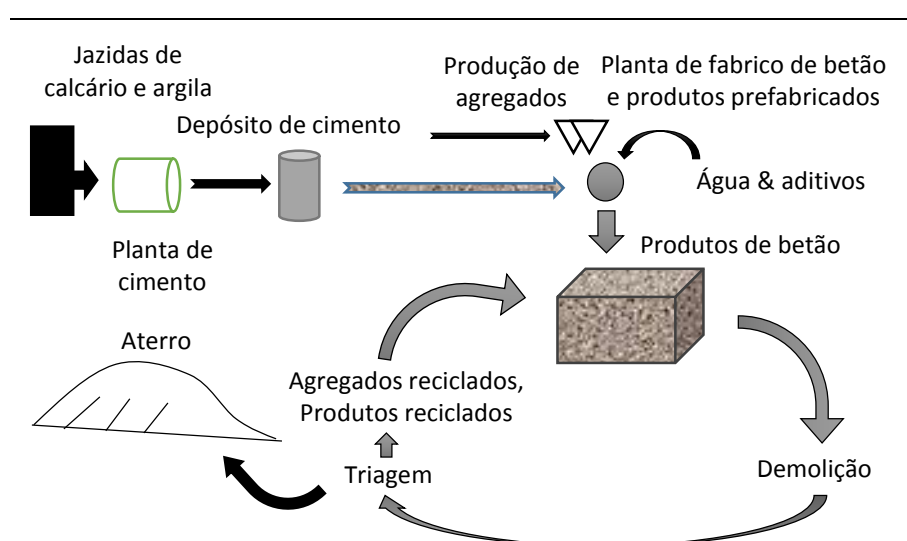


Figura 1 - Ciclo de vida do betão (adaptado de [2]).

A produção dos resíduos de construção e demolição está estreitamente ligada à atividade da construção, embora na maioria dos casos o volume dos mesmos é produzido como consequência da demolição de prédios e infraestruturas que chegaram ao fim da sua vida útil ou ficaram obsoletos para a finalidade que foram construídos [3].

A utilização dos resíduos de construção e demolição no betão armado data dos finais da Segunda Guerra Mundial. Nesse ambiente existia uma escassez de materiais para a confecção de betão, no entanto estavam disponíveis os escombros. Estes procediam de demolições de pavimentos, fundações e estruturas de edifícios de betão e puderam ser reutilizados satisfatoriamente um pouco por todo o Mundo, onde são exemplo os casos de países como a Holanda, Reino Unido, Africa do Sul, Alemanha, Canada, Japão, entre outros.

Hoje em dia no contexto de uma construção mais sustentável, a gestão dos RCD é um tema atual. No entanto em Portugal somente a partir de 2008 é que se tornou efetivo, com a publicação do Decreto-lei Nº46/2008 de 12 de Março.

Na Região Autónoma da Madeira o tema é ainda mais relevante dadas as características da região, onde existem reservas naturais como a considerada pela UNESCO como património da humanidade a floresta subtropical da Laurissilva, imprescindíveis quer para o sector do turismo quer para a proteção da biodiversidade na ilha, reservas que são insuficientes já que a União Mundial para a Conservação refere que Portugal é o país Europeu com o maior número de espécies em risco de extinção [4]. Esta realidade enaltece ainda mais a obrigação de reduzir a extração de recursos naturais como também fazer uma poupança com o número de locais utilizados para a deposição de resíduos.

1.2 Motivação

Uma das principais razões que leva à realização deste estudo é a excessiva utilização de recursos naturais pelo homem para o seu próprio proveito, que tem sido uma constante ao longo dos tempos, contribuindo de uma maneira inconsciente para a degradação do seu entorno e para a progressiva deterioração do ecossistema onde desenrola as suas atividades.

A quantidade e o tipo de resíduos tem vindo à aumentar consoante o crescimento normal da população, o aumento da urbanização e industrialização.

A União Europeia estabeleceu, com a publicação da Diretiva 2008/98/CE, de 19 de Novembro, do Parlamento Europeu e do Conselho, para 2020 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 lista Europeia de resíduos. Esta iniciativa tem como principal objetivo promover uma sociedade Europeia recicladora, estipulando que cada Estado membro tome as medidas necessárias para a concretização dessas metas.

Existe uma estratégia global para melhorar a gestão dos resíduos, e esta começa com os processos de fabrico e a adoção de “tecnologias limpas” contribuindo assim para minimizar a produção de resíduos, enquanto são produzidos os mesmos ou melhores produtos com menos consumo de matéria-prima e energia. A revalorização e reutilização dos resíduos e subprodutos industriais ganha prioridade no conhecimento da enorme pressão que o “desenvolvimento” esta exercendo sobre o meio ambiente [5].

É previsível que, como em outras áreas de investigação, num futuro ou mesmo neste momento se produza uma evolução nos materiais de construção. Preconizada pelo Banco Mundial em 1992 [1], esta evolução supõe aumentar a vida útil dos materiais atuando num determinado momento do seu ciclo de vida segundo a hierarquia dos quatro Rs:

- Redução da produção de resíduos, como medida preventiva;
- Reutilização dos resíduos com um leve tratamento específico;
- Reciclagem dos resíduos após o tratamento;
- Revalorização dos resíduos, como última etapa, focada fundamentalmente na recuperação energética.

De acordo com o Decreto-Lei 178/2006 de 5 de Setembro, a gestão dos RCD realiza-se com base no artigo nº. 7 “Princípio da hierarquia das operações de gestão de resíduos”, onde se

pode estabelecer uma escala das diferentes opções disponíveis realizando uma categorização em cinco níveis de impacto ambiental (figura 2).

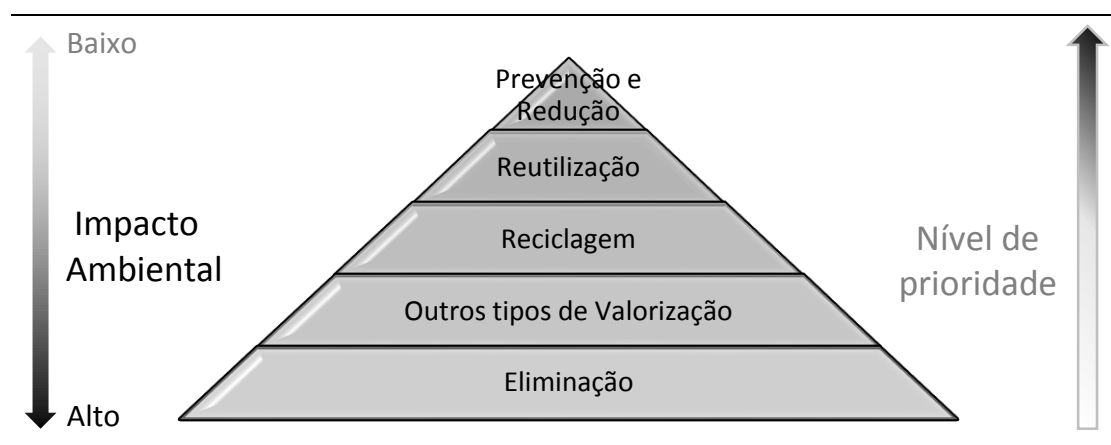


Figura 2 - Hierarquia dos resíduos.

1.3 Objetivos

O trabalho desenvolvido visa introduzir no Centro de Ciências Exatas e da Engenharia da Universidade da Madeira, o estudo da reciclagem de resíduos de construção e demolição, mais concretamente a reciclagem de resíduos de betão para a elaboração de betão reciclado, abrindo assim um campo de investigação nesta matéria. Neste âmbito os objetivos desta tese são os seguintes:

- Realizar um estudo da bibliografia existente sobre betões fabricados com agregados reciclados procedentes de resíduos de construção e demolição, compilando estudos sobre as propriedades dos agregados reciclados, regulamentos e normas a eles associados e as propriedades dos betões com agregados reciclados;
- Conhecer o enquadramento Europeu e Nacional na reciclagem de RCD, recolhendo informações sobre estimativas de produção e a produção propriamente dita;
- Por último aplicar os pontos anteriores no âmbito da Região Autónoma da Madeira fazendo uma análise das práticas que se fazem no campo da reutilização/reciclagem de RCD mais concretamente na reciclagem de resíduos de betão, nas empresas de construção sedeadas no arquipélago, com a realização de uma entrevista/inquérito às mesmas.

2

ESTADO DA ARTE

2.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado para além dos dados que representam a quantidade de RCD produzidos na Europa e em Portugal, uma visão geral do betão com agregados reciclados que vai desde as experiências práticas realizadas com este material, os processos de produção de agregados reciclados, a normativa e classificação dos mesmos até as propriedades do betão com agregados reciclados.

As propriedades que apresentam os agregados reciclados dependem, por um lado, do tipo de RCD de origem e, por outro lado, do processo de produção nas plantas de reciclagem. Em função destes dois fatores, composição e produção, é definida a sua aplicação final. Deste modo pode-se estabelecer uma classificação geral dos RCD de betão em função da sua natureza.

2.2 Enquadramento de Portugal e da Europa na reciclagem de RCD

Cada vez mais procura-se utilizar os RCD como substituto de agregados convencionais, embora alguns países estejam mais avançados que outros tecnologicamente nesta matéria. A necessidade de reciclagem de RCD deve-se a que este constitui uma grande percentagem do total de resíduos gerados no Mundo [6], e podem causar um enorme impacto no meio

ambiente tanto no seu armazenamento em aterros como na sua eliminação irregular, já que muitos destes têm sido depositados de forma ilegal em terrenos não utilizados.

Hoje em dia existem divergências relativas às verdadeiras quantidades de RCD produzidas no mundo, em parte relacionado com a falta de dados estatísticos fiáveis na maioria dos países. A nível mundial, a indústria da construção gera à volta de 35% dos resíduos industriais produzidos [7]. Os valores de resíduos produzidos pelo sector da construção tratados pelo Eurostat [8] indicam que em Portugal, este sector é responsável por 34% da produção total de resíduos no ano 2010 (figura 3), valor semelhante à percentagem da produção de resíduos pelo sector da construção a nível mundial. É de realçar que a percentagem de resíduos com origem na indústria da construção tem vindo a aumentar a sua importância em relação ao total de resíduos produzidos por todos os sectores em Portugal, valores do sector da construção que em 2004 representavam 11% do total dos resíduos, hoje em dia superam os 30% do total de resíduos produzidos (figura 4).

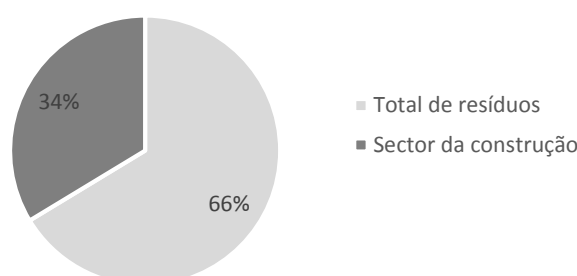


Figura 3 - Percentagem de resíduos do sector da construção em relação ao total de resíduos gerados em Portugal no ano 2010 [8].

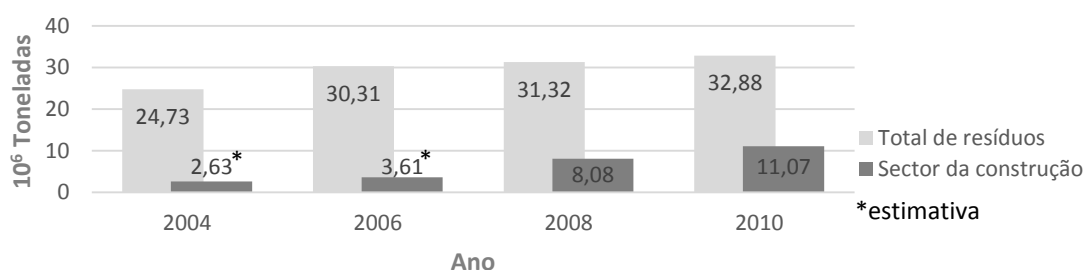


Figura 4 - Evolução da quantidade de resíduos produzidos pelo sector da construção em Portugal em relação ao total de resíduos produzidos [8].

Já a nível da União Europeia, o Eurostat [8] estima uma produção de 860 milhões de toneladas de RCD para a atividade económica em 2010, sendo que a Península Ibérica é responsável por cerca de 5,7% desse valor (figura 5).

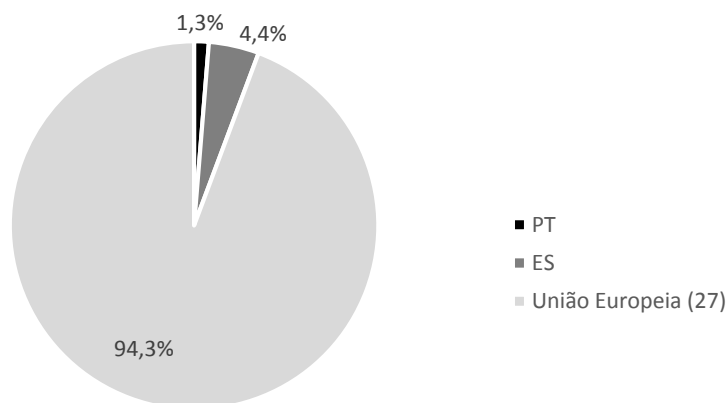


Figura 5 - Percentagem de resíduos gerados na UE (27) por Portugal e Espanha pelo sector da construção em 2010 [8].

J. Brito [9] refere entre 6 a 10 milhões ton/ano, como sendo o montante dos RCD produzidos em Portugal. Contudo mais recentemente A. Coelho & J. Brito [10] referem apenas 4,4 milhões ton/ano. Os valores publicados pelo Eurostat [8] atribuem a Portugal no ano de 2010 uma produção cerca de 11,1 milhões ton/ano (figura 6).

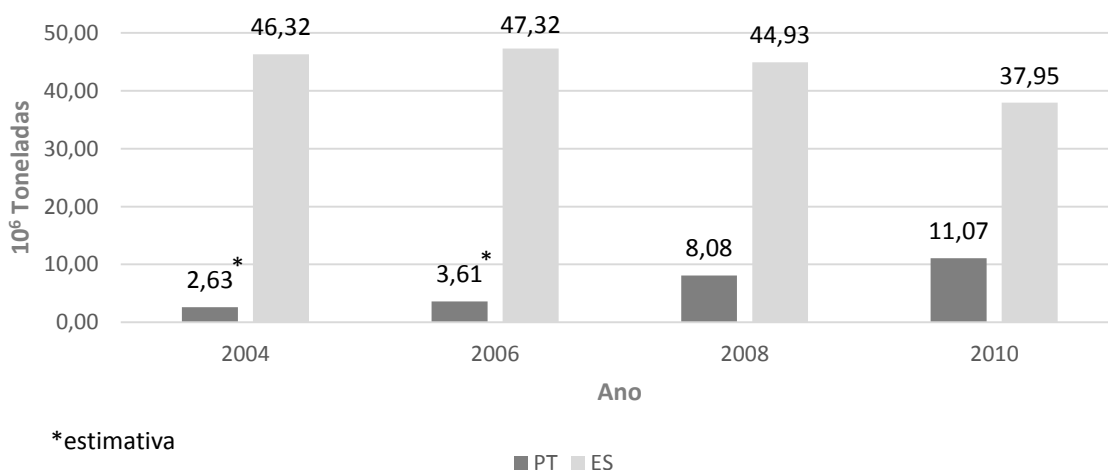


Figura 6 - Geração de resíduos pelo sector da construção na Península Ibérica [8].

Analisando a figura 6 verifica-se que a geração de resíduos pelo sector da construção por parte da Espanha segue o decaimento que o volume de obras teve naquele país a partir do ano 2006. Contudo em Portugal, e estando afetado pela mesma conjuntura económica que o país vizinho, no que diz respeito a geração de resíduos no sector da construção teria logica seguir a mesma tendência, ao contrário a geração deste tipo de resíduos aumenta significativamente o que pode ser explicado pelo crescente cumprimento da legislação pelas empresas, com a realização do registo de dados dos RCD gerados em obra.

Em termos das taxas de reaproveitamento e valorização de RCD, os valores diferem muito de país para país. E embora a média europeia seja somente de 25%, nalguns países pode atingir valores superiores a 80%, casos por exemplo da Dinamarca ou da Holanda. No extremo da tabela infelizmente encontra-se Portugal, onde só recentemente se legislou no sentido de incentivar a reciclagem dos RCD. A título de exemplo, a deposição em aterro dos RCD que em média não são objeto de reciclagem na Europa a 15, implicaria um volume com 10m de altura e 13km² de superfície, todos os anos [11].

O betão é de longe o material de construção mais utilizado. A nível mundial, mais de 10 biliões de toneladas são produzidos cada ano [12]. Os requisitos de energia, o consumo de água e a produção de RCD contribuem para a aparência geral de que o betão não é particularmente compatível com as necessidades de desenvolvimento sustentável. Mas esta situação não é tão má como parece. A indústria do betão, vítima do seu próprio êxito, agora faz frente a grandes desafios. A possibilidade de o tornar mais ecológico significa que os engenheiros e investigadores têm que encontrar materiais alternativos e avançar na tecnologia da reciclagem.

Para os efeitos do disposto no mesmo decreto-lei 178/2006 de 5 de Setembro no Artigo 3.º, entende-se por: «RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO» o resíduo proveniente de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações.

Os RCD são compostos por uma grande diversidade de materiais, entre os quais:

- Betão, tijolos, ladrilhos, telhas, materiais cerâmicos;
- Madeira, vidro, plástico;
- Misturas betuminosas;
- Ferro, aço, cobre, alumínio, outros metais;
- Solos, rochas;
- Materiais de isolamento;
- Mistura dos anteriores com substâncias perigosas;
- Misturas betuminosas com alcatrão;
- Misturas de isolamento com amianto;
- Tintas, vernizes, colas, embalagens contaminadas.

A figura 7 representa um exemplo das percentagens de resíduos que podem resultar de uma demolição. A composição dos RCD pode variar a nível regional dependendo dos métodos construtivos, dos materiais utilizados na realização da obra e ainda da idade da estrutura quando os resíduos procedem de remodelações ou demolições.

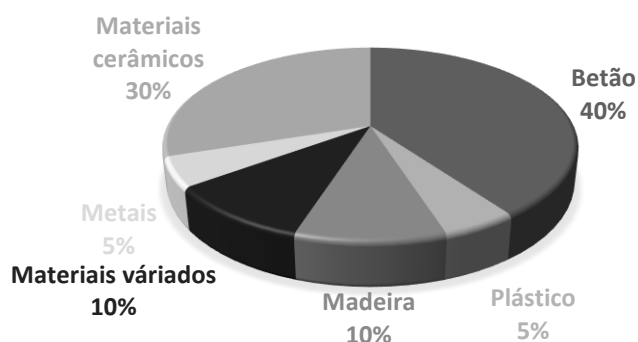


Figura 7 - Composição base dos RCD (adaptado de [13]).

2.3 Processamento dos agregados reciclados

Em linhas gerais, os processos para a produção dos agregados reciclados realizam-se em plantas de tratamento que são similares aos utilizados na produção de agregados

convencionais, embora incorporem de forma específica eletroímãs para a separação dos aços e outros elementos para a eliminação de impurezas [14].

Na figura 8 descreve-se o processo de transformação dos escombros de demolição em agregados. Quando procedem de grandes obras de engenharia civil apresentam uma quantidade de impurezas reduzida. No entanto, a maior parte destes resíduos procedem de estruturas de edificação, sendo necessária uma separação cuidadosa dos materiais gerados durante a demolição com o fim de prevenir a sua mistura e a contaminação dos materiais recicláveis como a madeira, o papel, o cartão, o plástico, etc. Este processo de demolição seletiva resulta mais dispendioso que a demolição tradicional, mas significa um melhor aproveitamento dos materiais, pode reduzir os custos de transporte e elimina a necessidade de fazer a seleção na planta de reciclagem e as taxas de deposição em aterro. Realiza-se de maneira inversa ao processo de construção e implica os seguintes passos: retirar os desperdícios e as molduras não fixas, dismantelar a carpintaria de oficina, a cobertura e instalações e, por último, demolição da estrutura [15]

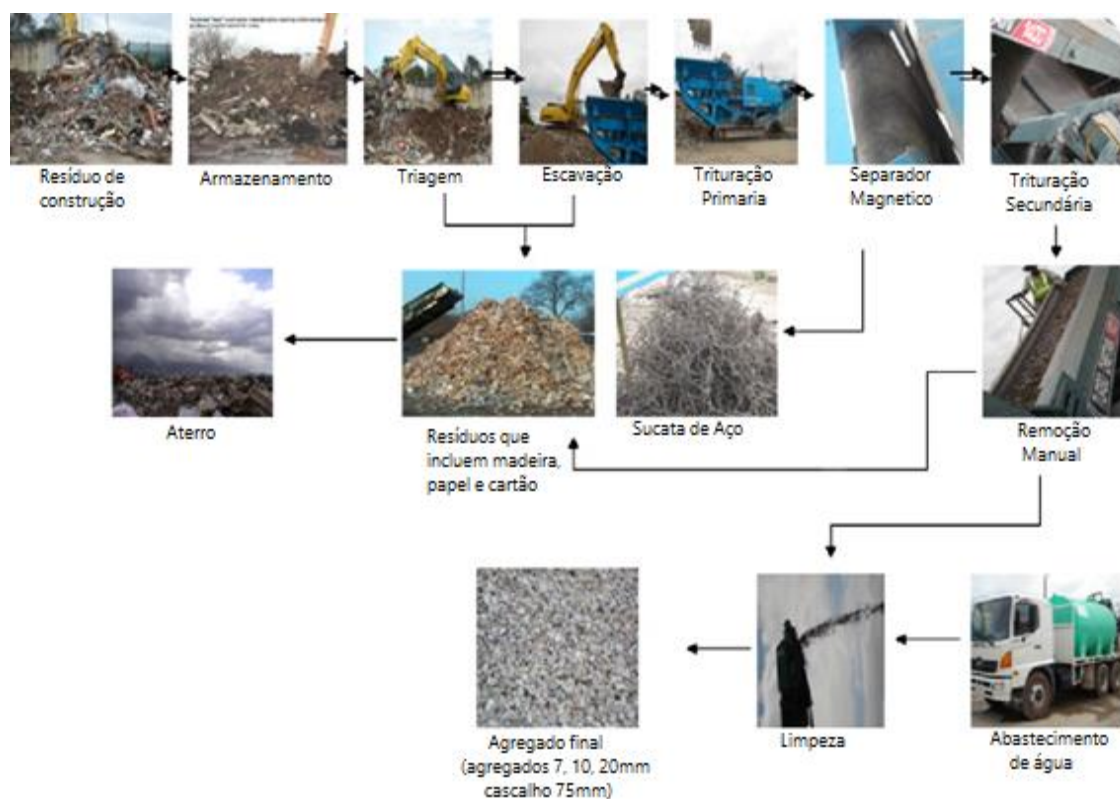


Figura 8 - Esquema de reciclagem dos RCD (adaptado de [16]).

Os sistemas de processamento utilizados dependerão do destino final que será dado ao material reciclado e da quantidade de impurezas que contenha. Na figura 9 e figura 10 observam-se dois esquemas diferentes das etapas de processo de produção dos agregados reciclados procedentes de resíduos de betão. O processo escolhido determina em grande medida as características do agregado reciclado, destacando, a forma e distribuição das partículas e a quantidade de pasta de cimento aderido.

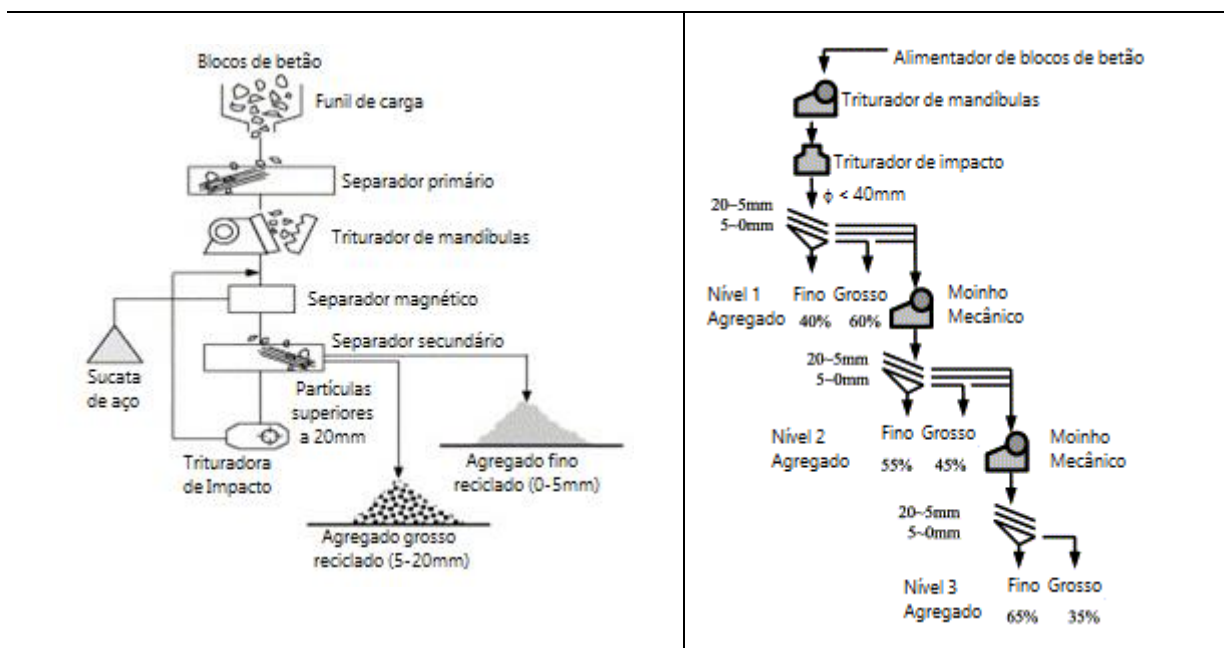


Figura 9 - Esquema do processo de produção de agregado reciclado (adaptado [17]).

Figura 10 - Produção de agregado reciclado com três níveis durante o processo para minimizar a pasta de cimento aderido (adaptado de [18]).

As plantas de produção de agregados reciclados podem classificar-se em função da sua mobilidade em fixas, semifixas e móveis. Atendendo aos sistemas de processamento e tecnologia que incorporam classificam-se em plantas de 1ª, 2ª e 3ª geração [3]. As plantas de 1ª geração não incorporam mecanismos para a eliminação de substâncias contaminantes, exceto separadores magnéticos. As plantas de 2ª geração incorporam, prévio à britagem, sistemas manuais ou mecânicos para eliminar impurezas assim como algum sistema de limpeza do produto obtido. São as plantas mais extensas na reciclagem de betão. As plantas de 3ª geração processam e permitem a reutilização de materiais secundários considerados contaminantes dos agregados reciclados.

As plantas móveis transportam-se até ao lugar da demolição e, em geral, têm uma única entrada de alimentação, uma cinta transportadora, uma britadeira e um ou dois peneiros. As plantas fixas são instalações permanentes com cintas e elementos transportadores, vários peneiros e frequentemente dois tipos de britadeiras. Obviamente, os resíduos de construção têm que ser transportados até estas plantas fixas [14]. Na figura 11 é ilustrado um esquema de uma planta fixa.

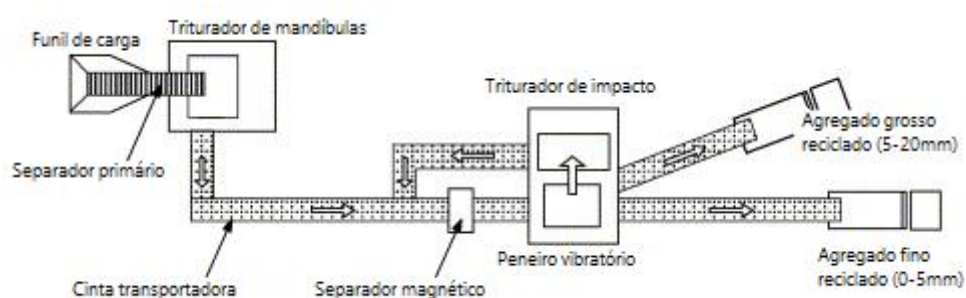


Figura 11 - Esquema de uma planta fixa de produção de agregado reciclado (adaptado de [17]).

As trituradoras utilizadas podem ser de mandíbulas, de impacto ou de cones. A eleição de cada uma delas depende, essencialmente, de três fatores: consumo de energia, custo de produção e qualidade do produto [14]. Como exemplo, a combinação mais utilizada na Holanda onde contam com uma ampla experiência na reciclagem, é a britadeira de mandíbulas para a trituração primária devido à sua alta capacidade e reduzido custo, a de impactos na trituração secundária, conseguindo assim uma maior qualidade do agregado (maior eliminação da pasta de cimento aderido).

2.4 Propriedades dos agregados reciclados

A qualidade do betão com agregados reciclados depende bastante das propriedades que apresentam os agregados reciclados. O agregado reciclado é composto por agregado natural e impurezas aderidas ao mesmo. A influência da qualidade do agregado natural é secundária, enquanto o principal fator é a qualidade e quantidade das impurezas aderidas ao agregado. Deste modo encontra-se uma importante variabilidade na qualidade dos agregados reciclados e a qualidade dos betões antigos que são reciclados. O processo de reciclagem a que é

submetido o agregado também influi na quantidade de impurezas aderida ao agregado, existindo processos que de certa forma as reduzem. É de salientar a grande diferença da quantidade de impurezas existente entre o agregado reciclado grosso e fino, já que este último tem um conteúdo de impurezas muito superior.

2.4.1 Granulometria e forma

A distribuição granulométrica tem grande importância porque tem um efeito direto sobre as propriedades do betão, como a trabalhabilidade, a porosidade, a permeabilidade, a resistência, o grau de compactação e a durabilidade [16]. Uma distribuição contínua indica que o agregado está uniformemente graduado para todos os tamanhos, o que permite um maior leque de possibilidades de interação entre as partículas, e proporciona um grau de compactação e uma resistência mecânica mais elevada [19].

Para a classificação por tamanhos das diferentes frações seguem-se as recomendações da NP EN 933-2, que estabelece como série básica de peneiros os formados pelos seguintes: 125mm; 63mm; 31,5mm; 16mm; 8mm; 4mm; 2mm; 1mm; 0,5mm; 0,250mm; 0,125mm; 0,063mm. Para os agregados finos, a norma utiliza unicamente os peneiros compostos pela série transcrita. Para o agregado grosso, utiliza ainda os peneiros: 10mm; 20mm; 40mm, que estão incluídos na série complementar R20 admitida pela mesma norma.

A granulometria do agregado reciclado depende fundamentalmente do sistema de trituração a que foi submetido durante o processo de produção. As trituradoras de impacto, em geral, são as que permitem alcançar reduzidos tamanhos nos agregados produzindo como consequência maior quantidade de finos. A estas trituradoras seguem-se as britadoras rotativas com uma produção de finos inferior e as trituradoras de mandíbulas [3].

A percentagem de agregado grosso que se obtém costuma variar entre 70% e 90% do agregado total produzido. Esta percentagem depende, também, do tamanho máximo do agregado grosso reciclado produzido e da composição do resíduo original. A fração grossa tem

geralmente uma granulometria adequada, que se engloba dentro dos usos granulométricos que recomendam algumas normas internacionais [20].

Tanto os agregados finos como os grossos apresentam um aspeto rugoso e anguloso devido à pasta de cimento aderido à superfície [21], o que faz com que as misturas com elas obtidas apresentem em todo caso piores trabalhabilidades que as obtidas a partir dos agregados convencionais. Trabalhos experimentais indicam que o índice de forma diminui com a granulometria dos agregados, tanto naturais como reciclados, assim como o mesmo índice aumenta quando se passa de agregados grossos naturais para reciclados da mesma granulometria, devido a maior angulosidade dos últimos [22].

2.4.2 Pasta de cimento aderido

A principal diferença entre os agregados convencionais e os agregados reciclados é que estes últimos são compostos por dois materiais distintos: o agregado natural e a pasta de cimento aderido. É esta pasta de cimento aderido que faz com que surjam as principais reduções nas propriedades dos agregados reciclados em comparação com os agregados convencionais: menor densidade, maior absorção de água, menor coeficiente de Los Angeles (ou seja, menor resistência à fragmentação) e maior conteúdo de sulfatos. O betão fabricado com agregados reciclados estará diretamente condicionado pelas ditas propriedades.

Quando o betão é triturado, parte da pasta de cimento original permanece aderido as partículas de agregado reciclado. Foram desenvolvidos diversos métodos para a determinação do volume (em %) de pasta de cimento aderido aos agregados:

- Determinação a partir da coloração do novo cimento [23], uma vez cortados os provetes em rabanadas e limpas as faces procede-se a avaliar a superfície, distinguindo-se a pasta de cimento aderida com o cimento novo pela sua coloração. Desta forma pode-se estimar o volume do mesmo.
- Determinação a partir da perda de peso numa determinada dissolução, que trata de eliminar a pasta de cimento aderida intercalada entre processos de pesagem por

forma a estabelecer a percentagem de peso correspondente a pasta de cimento aderido ao agregado.

Diversos autores defendem que esta característica (quantidade de pasta de cimento aderida) não é influenciada pela qualidade nem pela relação água/cimento do betão de origem. No entanto como referido anteriormente, vai afetar de maneira determinante as restantes das características dos agregados reciclados e dos betões fabricados com estes [1].

Na tabela 1 é feita a recolha de valores, obtidos em diversos estudos, correspondentes à quantidade de pasta de cimento aderido ao agregado reciclado. Em todos eles pode observar-se o incremento da dita propriedade conforme diminui o tamanho do agregado tendo um efeito negativo nas suas restantes propriedades. A qualidade do betão de origem apenas influi na quantidade de pasta de cimento aderida, observando-se percentagens ligeiramente maiores naqueles agregados que procedem de betões com resistências elevadas. A redução da quantidade de pasta de cimento aderido pode ser conseguido através de triturações sucessivas [3].

Tabela 1 - Pasta de cimento aderido em agregados reciclados segundo diversos autores.

REFERÊNCIA	% Pasta de cimento aderido	Tamanho do agregado
(R. Sri Ravindrarajah, 1987) [24]	54% (a/c=0,51)	5/37,5 mm
(R. Sri Ravindrarajah, 1988) [25]	20%	20/30 mm
	45-65%	<0,30 mm
(F. Yagashita, 1993) [26]	40,2% (a/c=0,45)	10/20 mm
(Barra, 1996) [27]	51,7%	12/20 mm
	52,9%	6/12 mm
(S. Nagataki A. G., 2000) [28]	52,3%	AG
(E. Vazquez, 2002) [29]	40,5%	10/20 mm
	49,5%	5/10 mm
(De Juan, 2005) [15]	30,8%	4/16 mm

Embora os agregados reciclados apresentem boas características no que diz respeito à granulometria, forma e dureza, a união pasta de cimento aderido-cimento novo constitui um ponto fraco nos betões fabricados com estes agregados [30].

2.4.3 Densidade

Uma das melhores maneiras de avaliar a qualidade dos agregados reciclados é o estudo da sua densidade. A densidade dos agregados reciclados é menor do que a dos agregados convencionais, devido a que os reciclados contêm pasta de cimento aderido cuja densidade é inferior a do agregado natural fazendo com que o conjunto por sua vez seja menos denso.

As frações finas do agregado reciclado são, em geral, as que apresentam menores densidades devido a que contêm uma maior quantidade de pasta de cimento aderida como se verifica nos resultados dos autores L. Evangelista [31] e Ryoichi Sato [32]. Dos dados resumidos na tabela 2, podemos observar inclusive que as mesmas frações granulométricas apresentam grandes disparidades. Isto deve-se sem dúvida às diferentes naturezas dos agregados com que foram fabricados os betões originais. Mesmo assim pode-se concluir que a densidade dos agregados reciclados aumenta com o tamanho dos mesmos [3].

Tabela 2 - Densidade saturada da superfície seca de agregados reciclados comparados com os naturais segundo diversos autores.

REFERÊNCIA	Tamanho (mm)	Densidade (kg/m ³)	
		Agregado reciclado	Agregado natural
(Barra, 1996) [27]	6/12	2410	2680
	12/20	2430	2690
(B. González Fonteboa, 2008) [33]	4/12	2470	2650
	10/25	2480	2640
(Chi-Sun Poon, 2007) [34]	10	2490	2620
	20	2570	2620
(Corinaldesi, 2010) [35]	15	2340	2660
(Farid Debieb, 2010) [36]	0/4	2309	2707
	4/14	2329	2670-2691
	14/20	2319	-
(L. Evangelista, 2007) [31]	0,074/1,19	2165	2564
(M. Casuccio, 2008) [37]	30	2520	-
(M. Etxeberria, 2007) [38]	4/10	2430	2670
	10/16	2430	2670
	16/25	2430	2670
(Mirjana Malešev, 2010) [39]	4/8	2346	2666
	8/16	2458	2669
	16/32	2489	2671
(R. Sri Ravindrarajah, 1987) [24]	0/5	2320	2610
	5/20	2490	2670
(Ryoichi Sato, 2007) [32]	Agregado Fino	2230	2570
	Agregado Grosso	2460	2680

Para a obtenção de betões que incorporem agregados reciclados deve determinar-se, de acordo com a norma NP EN 1097-6 (Determinação da massa volúmica e da absorção de água), os valores das densidades seca e saturada com superfície seca, e desenhar as misturas tendo em conta esses valores. Em princípio, quanto maior for a densidade dos agregados, melhor é o desempenho dos betões, pelo que é uma medida indireta da sua “qualidade” [22].

2.4.4 Absorção

A absorção dos agregados reciclados atinge valores muito superiores aos obtidos nos agregados naturais. Isso deve-se à quantidade de pasta de cimento aderido que apresentam os agregados reciclados. Em agregados naturais os valores da absorção oscilam entre 0% e 4% [3], enquanto nos diferentes estudos consultados os valores obtidos para os agregados reciclados vão desde 2,44% até 13,1%.

A figura 12 mostra que existe uma boa correlação entre a absorção de água e a densidade, onde se observa que a absorção aumenta com a diminuição da densidade do agregado reciclado [40].

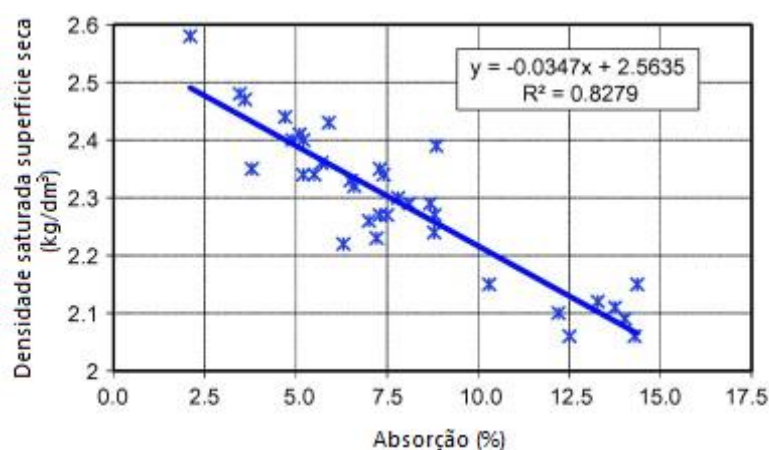


Figura 12 - Correlação entre a absorção e a densidade saturada superfície seca de agregados reciclados (adaptado de [40]).

A absorção de água aumenta com a diminuição da granulometria para agregados em geral, isto deve-se ao aumento da superfície específica que se gera do agregado grosso para o fino. O tamanho do agregado reciclado influi de maneira decisiva sobre a absorção. Nas suas

frações mais finas a absorção é maior já que nelas a quantidade de pasta de cimento aderido é maior do que nos agregados reciclados grossos, sendo mais acentuado esse valor quanto menor for a densidade do agregado reciclado [3].

A absorção de água dos agregados reciclados deve ser determinada em laboratório recorrendo à mesma norma para a determinação da densidade (NP EN 1097-6), antes de desenhar as misturas de betão que incorporem estes agregados.

Alguns autores recomendam saturar em água os agregados reciclados com o fim de manter as qualidades do betão durante o seu fabrico [1].

Na tabela 3 ficam alguns resultados obtidos pela bibliografia consultada onde verifica-se a grande diferença na absorção entre os agregados convencionais e os agregados reciclados, principalmente quando se comparam as frações finas onde por exemplo autores como L. Evangelista [31], obtêm absorções nos agregados reciclados finos quase 17 vezes superiores às obtidas num agregado fino convencional pelas razões indicadas anteriormente.

Tabela 3 - Absorção de agregados reciclados comparados com os naturais segundo diversos autores.

REFERÊNCIA	Tamanho (mm)	Absorção (%)	
		Agregado reciclado	Agregado natural
(Barra, 1996) [27]	5/10	7,6	1,62
	10/20	7,7	0,86
(B. González Fonteboa, 2008) [33]	4/12	4,82	0,07
	10/25	4,59	0,17
(Chi-Sun Poon, 2007) [34]	10	4,3	1,1
	20	3,5	1,1
(Corinaldesi, 2010) [35]	15	7,5	1,8
(Farid Debieb, 2010) [36]	0/4	9,2	0,28
	4/14	4,92	0,37-1,20
	14/20	6	0,36
(L. Evangelista, 2007) [31]	0,074/1,19	13,1	0,8
(M. Casuccio, 2008) [37]	30	3,8-3,9	0,5
(M. Etxeberria, 2007) [38]	4/10	4,44	0,88
	10/16	4,44	0,88
	16/25	4,44	0,88
(Mirjana Malešev, 2010) [39]	4/8	4,59	0,4
	8/16	2,87	0,4
	16/32	2,44	0,3
(R. Sri Ravindrarajah, 1987) [24]	0/5	6,2	0,63
	5/20	5,68	0,3
(Ryoichi Sato, 2007) [32]	Agregado Fino	12,5	1,4
	Agregado Grosso	6,18	0,61

2.4.5 Dureza

O ensaio de Los Angeles permite avaliar a resistência de amostras do agregado à abrasão e choque, e de forma indireta a resistência mecânica do agregado.

O coeficiente de Los Angeles em agregados reciclados apresenta valores superiores devido a que este ensaio não só ocasiona a perda de peso do agregado natural, como também a perda na sua totalidade da pasta de cimento aderida [3].

O betão de origem do qual procede o agregado reciclado também influi no valor obtido no ensaio verificando que, ao aumentar a resistência, o valor do coeficiente de Los Angeles diminui [41]. Na tabela 4 expõem-se alguns resultados do coeficiente de Los Angeles dos estudos consultados.

Tabela 4 - Coeficiente de Los Angeles em agregados reciclados segundo diversos autores.

REFERÊNCIA	Tamanho (mm)	Coeficiente de los Angeles (%)	
		Agregado reciclado	Agregado natural
(Barra, 1996) [27]	6/12	29,5	20,4
	12/20	31	24,7
(B. González Fonteboa, 2008) [33]	4/12	32	32
	10/25	34	27
(Farid Debieb, 2010) [36]	4/14	34	22-25
	14/20	36	24
(M. Casuccio, 2008) [37]	30	34-39	-
(M. Etxeberria, 2007) [38]	4/10	33,5	19,8
	10/16	33,5	19,8
	16/25	33,5	19,8
(Mirjana Malešev, 2010) [39]	4/8	29,6	26,3
	8/16	33,7	29
	16/32	34	29,2
(R. Sri Ravindrarajah, 1987) [24]	5/37,5	37-40,8	18,1

Analisando a tabela 4 verificamos que os valores do coeficiente de Los Angeles mantêm-se abaixo dos 50%, valor este que podemos encontrar como limitante num quadro de requisitos mínimos de conformidade dos agregados reciclados para todas as aplicações elaborado pelo LNEC [42], o qual é apresentado mais a frente neste capítulo. Tendo em conta a norma espanhola que limita o índice a 40% de perda por fragmentação só o resultado obtido por R. Sri Ravindrarajah [24], apresenta um limite superior que cai fora das limitações da EHE [43].

O ensaio de Los Angeles nos agregados reciclados pode ser realizado utilizando a norma NP EN 1097-2 “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para determinação de resistência à fragmentação”.

2.4.6 Impurezas

A presença de impurezas e contaminantes nos agregados reciclados prejudicam bastante as propriedades do betão com eles fabricado. A madeira, plásticos, gesso, metais, vidro, tijolos, asfalto, matéria orgânica, etc, são os contaminantes que se encontram com maior frequência [3].

- Substâncias orgânicas: muitas substâncias orgânicas, como a madeira, papel, são instáveis em conjunto com o betão quando este é submetido a processos de humidade-secado ou gelo-degelo. Por isso algumas normativas limitam a utilização destas substâncias nos agregados reciclados;
- Gesso: é necessário limitar o conteúdo de gesso devido a expansões de sulfato. Numerosas normativas estabelecem limites para o conteúdo de sulfatos (SO_3), recomendando ainda a utilização de cimentos resistentes aos sulfatos quando se espera que determinado agregado reciclado possa conter este tipo de impureza;
- Metais: as pequenas quantidades de aço das armaduras, zinco e alumínio que possam estar contidos nos agregados reciclados são suscetíveis de danificar o betão. No entanto, não é provável que quantidades significativas de aço ou outros metais permaneçam nos agregados reciclados. O aço é retirado por meio de separação magnética, processo que é sempre realizado devido aos problemas que possam vir a causar a maquinaria de tratamento de resíduos. O resto dos metais apresentam-se em grandes quantidades misturados com os resíduos, de forma que sempre são eliminados antes de se proceder à trituração;
- Vidros: restos de vidros de janelas e portas podem aparecer misturados nas derrocadas de prédios. Como a sua densidade é similar a dos agregados, separá-los é

uma atividade difícil. No entanto, é importante eliminá-los pela sua possível participação em reações álcalis-sílica;

- Fragmentos de ladrilhos e betão ligeiro: em geral, quando o conteúdo destes materiais é inferior a 5% em peso [21], as propriedades mecânicas do betão são ligeiramente afetadas. Pode não acontecer assim no que diz respeito a durabilidade do mesmo. A densidade destes materiais, superior em geral à pasta de cimento, faz com que seja fácil a sua separação;
- Materiais betuminosos: a presença de partículas de asfalto no agregado reciclado reduz a resistência do betão com eles fabricado. Por isso, é recomendado limitar a percentagem de que estas substâncias apareçam, eliminando os materiais betuminosos antes do processo de reciclagem;
- Solos: nas demolições é frequente que os resíduos estejam contaminados por matéria orgânica ou argilas. Os limites habituais para os agregados naturais (conteúdo de matéria orgânica, argilas, ou material filler) são adequados para os novos agregados reciclados.

2.5 Regulamentação existente e classificação de agregados reciclados

Hoje em dia só alguns países dispõem de normativa que regule a utilização de agregados reciclados para o fabrico de betão. De seguida são resumidas algumas destas normas.

2.5.1 Japão

No Japão os agregados reciclados classificam-se em três categorias. O agregado reciclado de maior qualidade é denominada pela letra H, o de qualidade intermédia com a letra M e o de menor qualidade com a letra L. Com o primeiro conseguem-se as melhores prestações no fabrico do betão [3]. Ficam regulados pelas normas JIS A 5021, JIS A 5022 e JIS A 5023 que entraram em circulação entre os anos de 2005 e 2007. As características e limitações do agregado reciclado podem ser consultadas na tabela 16 da qual faz parte a tabela 5.

Tabela 5 – Quantidade máxima de impurezas segundo a norma Japonesa [21].

ELEMENTOS	Máximo conteúdo de impurezas % proporção em massa
Conteúdo em gesso ou outras impurezas de densidade $<1950 \text{ kg/m}^3$	10 kg/m^3
Conteúdo de asfalto, plásticos, tintas, papel, madeira e outras partículas retidas em peneiro de 1,2 mm ou de densidade $<1200 \text{ kg/m}^3$	2 kg/m^3

2.5.2 Hong Kong

Em Hong Kong existem duas vertentes para a utilização do agregado reciclado, por um lado possibilita a substituição de 100% dos agregados naturais por agregados reciclados com a condição de que apenas pode ser aplicado em estruturas pouco exigentes. Por outro lado a possibilidade de substituição até 20% do agregado natural por agregado reciclado que permite a utilização em betão estrutural [44]. As características e limitações dos agregados reciclados podem ser consultadas na tabela 16.

2.5.3 Austrália

A “Guide to the use of recycled concrete and masonry materials” é um guia nacional elaborado pelo Ministério do Ambiente e Património Australiano em colaboração com o CSIRO para a utilização do betão reciclado em aplicações não estruturais. Nesta guia os agregados reciclados são classificados em agregados reciclados de classe 1 e classe 2. Os primeiros são os que se utilizam para a confeção de betão já que as limitações estabelecidas nas suas propriedades físicas são muito parecidas com as dos agregados naturais. Os agregados reciclados de classe 2 são utilizados como material de recheio e como bases e sub-bases em estradas e pavimentos. Na tabela 16 verifica-se que é exigida para a classe 1 uma absorção inferior a 6% e uma densidade mínima dos agregados reciclados de 2100 kg/m^3 [45].

2.5.4 USA

O comité 555 da ACI elaborou um documento para normalizar a utilização de agregados reciclados no betão. Estes agregados classificam-se segundo as seguintes categorias:

- Resíduos triturados procedentes de demolições;
- Resíduos de demolições classificados e limpos;
- Resíduos cerâmicos limpos;
- Resíduos de betão limpos.

Quando os agregados vão ser utilizados na produção de betão, estes devem possuir a dureza adequada, não devem provocar reações indesejáveis e devem ter uma granulometria e forma adequada.

Em função do uso para o qual vão ser utilizados, estes classificam-se em: [3]

- Agregados para enchimentos em geral;
- Agregados para drenagens;
- Agregados para bases e sub-bases de estradas;
- Agregados para o fabrico de betão.

2.5.5 Brasil

A NBR 15.116, que dispõe sobre os requisitos para a utilização de agregados reciclados procedentes de RCD em pavimentos e confeção de betão sem função estrutural. Define os agregados reciclados e especifica as características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura. Estes agregados reciclados procedem da recuperação de resíduo pertencente à Classe A e podem ser divididos em dois tipos, de acordo com a percentagem de fragmentos na sua fração grossa [46]:

- ARC: Agregado reciclado de concreto, com um mínimo de 90% em massa de fragmentos de betão;

- ARM: agregado reciclado misto, com menos de 90% em massa de fragmentos de betão.

Estes ainda podem se subdividir em quatro grupos: ARC Gr (graúdo); ARC Mi (miúdo); ARM Gr; ARM Mi. Estes diferenciam-se de acordo com a tabela 6.

Tabela 6 - Requisitos gerais para agregados reciclados para betão sem função estrutural [46].

Propriedades	Agregado reciclado			
	ARC		ARM	
	Gr	Mi	Gr	Mi
Fragmentos a base de cimento e rocha (%)	≥90	-	≥90	-
Absorção de água (%)	≤7	≤12	≤12	≤17
Material passante na #75µm (%)	≤10	≤15	≤10	≤20
Teor máx. de cloreto em relação à M.A.R. (%)	1			
Teor máx. de sulfatos em relação à M.A.R. (%)	1			
Teor máx. de torrões de argila em relação à M.A.R. (%)	2			
Teor total máx. de contaminante em relação à M.A.R. (%)	3			

2.5.6 Alemanha

Na Alemanha a norma DIN 4226-100 “Agregados para cimentos e argamassas” classifica os agregados reciclados em quatro categorias diferentes:

- Tipo 1: agregados que procedem maioritariamente de resíduos de betão ou de agregados minerais. Apresentam um conteúdo máximo de clínquer, ladrilho e arenito calcário de 10%;
- Tipo 2: agregados que procedem maioritariamente de resíduos de betão ou de agregados minerais com uma percentagem de 70%. Apresentam um conteúdo máximo de clínquer, ladrilho e arenito calcário de 30%;
- Tipo 3: agregados que procedem maioritariamente de resíduos cerâmicos em proporção mínima de 80%. Apresentam um conteúdo máximo de materiais procedentes de betão ou agregados minerais de 20%;
- Tipo 4: são agregados que procedem maioritariamente de uma mistura de RCD com um conteúdo mínimo de 80% de material procedente de betão, agregados minerais ou produtos cerâmicos.

As diferentes composições permitidas pela norma são resumidas na tabela 7.

Tabela 7 - Composição dos agregados reciclados segundo a norma alemã DIN 4226 [47].

ELEMENTOS		Composição do material % proporção em massa			
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Betão, agregados minerais em conformidade com a DIN 4226-1		≥90	≥70	≤20	≥80
Clínquer, tijolo sem poros		≤10	≤30	≥80	
Arenito calcário				≤5	
Conteúdo de materiais cerâmicos ou de betão ligeiro e poroso, estuque, cimento, escória porosa.		≤2	≤3	≤5	≤20
Conteúdos Externos	Asfalto	≤1	≤1	≤1	
	Mineral: vidro, cerâmicos, escória de metal ou gesso de estuque	≤2	≤2	≤2	
	Não mineral: borracha, matéria plástica artificial, metal, madeira, restos de plantas, papel ou outro material.	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤1

2.5.7 Holanda

Em 1983 foi proposto uma especificação para betões com agregados reciclados, no entanto em 1997 a norma holandesa foi adaptada de forma a incluir agregados reciclados com densidades a partir de 2000 kg/m³ no fabrico de betão. Estas aplicam-se quando se substitui mais de 20% em peso de agregados (grosso e finos) por agregados procedentes de RCD [1]. As especificações para estes agregados são:

- Devem estar formados por resíduos de betão de densidade superior a 2000 kg/m³ em pelo menos 95% do seu peso, sendo os 5% restantes material granular (cerâmicos, ladrilho, agregado ligeiro). Só 1% em peso pode ser de material betuminoso;
- O produtor deve discriminar a informação sobre o material original (tipologia estrutural, localização);
- Deve ser separada a fração que passa no peneiro de 8mm, determinando em relação ao que fica retido, a composição por meio de inspeção visual e pesagem. Este ponto e o anterior deve permitir determinar se o betão apresenta problemas de expansão (partículas de magnésio ou cálcio, metais instáveis);

- Deve respeitar o especificado na tabela 8 e tabela 9.

Tabela 8 - Granulometria exigida aos agregados reciclados para a sua utilização em betões.

Fração (mm)	Porcentagem que passa pelo peneiro (%)							
	31,5 mm	16 mm	8 mm	4 mm	2 mm	1 mm	250 µm	63 µm
0-4	-	-	-	0-10	25-31	50-62	80-87	96-100
4-16	-	0-5	57-67	85-100	95-100	-	-	96-100
4-31,5	0-5	32-44	70-75	90-100	-	-	-	96-100

Tabela 9 - Características exigidas aos agregados reciclados para a utilização no betão.

Fração	0-4 mm	>4 mm
Material fraco (% peso) (NEN 3542)	0,1	
Matéria orgânica (NEN 3542)	O hidróxido sódico não deve escurecer mais do especificado em NEN 3542 a não ser que se demostre que a impureza não seja prejudicial	
Cloretos solúveis em água (CL ⁻) (NEN 3542)	Betão em massa: -	Betão em massa: -
	B. armado: 0,1%	B. armado: 0,05%
	B. pré-esforçado: 0,015%	B. pré-esforçado: 0,007%
Carbonato cálcico (NEN 3542)	< 25%	< 10%
Sulfatos (NEN 3542)	< 1% das partículas secas a 98 °C	
Madeira ou outra matéria orgânica (DIN 4226)	< 0,5%	< 0,1%
Partículas lamelares	< 30%	

2.5.8 Bélgica

As especificações Belgas para a utilização do agregado reciclado são muito parecidas as recomendações da RILEM, estabelecendo uma classificação de agregados reciclados em dois grupos, GBSB-I e GBSB-II. O primeiro segue o mesmo perfil que o agregado Tipo I da RILEM, composto principalmente de escombros de alvenaria, enquanto o segundo se assemelharia ao Tipo II da RILEM, e corresponde ao agregado procedente maioritariamente de resíduos de betão.

2.5.9 Reino Unido

No Reino Unido a norma BS-EN 206-1 classifica o agregado reciclado em dois tipos diferentes:

- RCA, agregado reciclado procedente de resíduos de betão com um conteúdo máximo de impurezas como material cerâmico, partículas ligeiras, asfalto, vidro, plástico, etc

de 17%. A resistência máxima recomendável do betão fabricado com este tipo de agregado não deve superar os 40 N/mm²;

- RA, agregado reciclado procedente de materiais cerâmicos ou misturados com betão. O conteúdo de materiais cerâmicos pode chegar a 100%. Utiliza-se em betões pobres com resistências à compressão que não chegam aos 20 N/mm².

2.5.10 Espanha

Em 2008 foi lançada uma nova versão da norma espanhola para o betão estrutural a “Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08)”. O anexo 15 deste documento desenvolve, entre vários temas, as seguintes considerações na utilização de agregados reciclados na confeção de betão [43]:

- São excluídos os betões fabricados com: agregados reciclados finos, agregados reciclados de natureza distinta ao do betão, agregados reciclados procedentes de estruturas de betão com patologias que afetam a sua qualidade e agregados reciclados procedentes de betões especiais tais como o aluminoso, com fibras, com polímeros, etc;
- O tamanho mínimo permitido de agregado reciclado é de 4 mm e deve apresentar um conteúdo de partículas que passem por dito peneiro não superior a 5% e um conteúdo de desclassificados inferiores menor ou igual a 10%;
- Mantêm-se as especificações da norma relativas ao conteúdo de cloretos, conteúdo de sulfatos, conteúdo de partículas de baixo peso específico e conteúdo de partículas brandas;
- No betão reciclado com um conteúdo não superior a 20% de agregado reciclado, o conteúdo de torrões de argila deste não será superior a 0,6%, e o de agregado grosso natural não superior a 0,15%;

- Deve-se controlar que o conteúdo de material cerâmico não exceda 5% do peso total da amostra e as partículas ligeiras, o asfalto e outros materiais como vidro, plástico, metais, etc. não exceda 1% cada um deles;
- Estabelecem-se limites para a absorção dos agregados, tanto o reciclado como o natural. No betão reciclado com um conteúdo de agregado reciclado não superior a 20%, este deve ter uma absorção inferior a 7% e o agregado grosso natural utilizado tem a absorção limitada a 4,5%. Se no betão com agregado reciclado é superada a substituição de 20%, então, é estabelecido o critério de que a combinação de agregado reciclado e agregado natural deve apresentar valores de absorção inferiores a 5%;
- Para a resistência ao desgaste da brita mantem-se o mesmo requisito que para os agregados naturais, coeficiente de Los Angeles inferior a 40%;
- A granulometria, o coeficiente de forma e o índice de lamelação do agregado reciclado devem ser adequados para a sua utilização em betão estrutural.

Em Espanha encontra-se em vigor o “Plan Nacional de Resíduos” que finalizará no ano de 2015. Dentro deste plano desenrola-se o “II Plan Nacional de Resíduos de Construcción y Demolicion (II PNRC D). Entre os seus objetivos quantitativos pretende-se controlar e fazer a gestão de 95% dos RCD, chegar a um nível de reutilização de 15% em 2011 e, a partir dessa data até ao fim do plano, chegar a um nível de reciclagem de 40%. Como objetivos qualitativos, o plano pretende reduzir na origem a geração de RCD, valorizar tudo o que seja possível, criar infraestruturas necessárias, estabelecer um registo estatístico de RCD e fechar ou adaptar os aterros à normativa [3].

Também é relevante uma iniciativa da “Asociación Española de Gestores de RCD (GERD)” que no marco do projeto GEAR desenvolveu um documento intitulado “Guía Española de Áridos Reciclados procedentes de RCD”. Esta guia tem por objetivo caracterizar tecnicamente e padronizar os agregados reciclados a partir da reciclagem dos RCD. A guia compreende um conjunto de propostas de prescrições técnicas correspondentes às principais aplicações dos agregados reciclados. A sua função é apresentar requisitos detalhados que devem cumprir os agregados reciclados que vão ser utilizados nestas aplicações.

Na tabela 10 é apresentada a proposta inicial de classificação dos agregados reciclados que contempla o projeto.

Tabela 10 - Classificação dos agregados reciclados [48].

ARH	Agregados reciclados de betão: > 95% betão (< 5% da produção)
ARC	Agregados reciclados cerâmicos: > 95% cerâmicos (< 1% da produção)
ARA	Agregados reciclados de asfalto: > 95% asfalto (< 1% da produção)
ARP	Agregados reciclados de pedra: > 95% pedra (< 10% da produção)
ARM	Agregados reciclados mistos: > 95% H+C+A+P (> 85% da produção)
ARMH	Fração de betão predominante: > 30% (< 95% do peso)
ARMC	Fração de cerâmicos predominante: > 30% (< 95% do peso)
ARMP	Fração de pedra predominante: > 30% (< 95% do peso)

2.5.11 Portugal

Em setembro de 2006 foi elaborado um documento pelo LNEC denominado “Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões hidráulicos”, posteriormente este foi substituído por uma versão mais recente, o E 471 – 2009 “Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos”, que estabelece os requerimentos mínimos que os agregados reciclados grossos abrangidos pela norma Europeia EN 12620 devem cumprir de modo a poderem ser utilizados na confeção do betão.

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

Esta documentação normativa distingue os agregados reciclados procedentes de RCD para a utilização em betões de ligantes hidráulicos em três classes, as quais são diferenciadas consoante a sua constituição:

- ARB1 e ARB2: Agregado reciclado que pode ser usado no fabrico de betão para aplicar em elementos de betão simples ou armado. Para betões simples, de enchimento ou de regularização, em ambientes não agressivos, a percentagem de incorporação não fica sujeita a qualquer limite [42]. Para a aplicação em betão armado os agregados reciclados de betão devem cumprir as condições exigidas na tabela 11, sendo que para

betão armado os limites de substituição do agregado natural por reciclados é de 25% para agregados reciclados da classe ARB1 e 20% para a classe ARB2, ficando sem qualquer limitação a substituição da totalidade do agregado natural para aplicações em betão simples, de enchimento ou de regularização, sempre e quando seja aplicado em ambientes não agressivos (tabela 11) [42];

- ARC: A utilização de agregado reciclado composto só é permitida em betões de enchimento ou de regularização, sem qualquer função estrutural, e em ambientes não agressivos. A sua utilização noutros elementos, qualquer que seja a percentagem de incorporação, deve ser sempre precedida de estudos específicos [42].

Tabela 11 - Condições de aplicação [42].

Classe de agregado reciclado	Classe de resistência	Percentagem de incorporação	Classe de exposição ambiental
ARB1	C 40/50	25 %	X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XS1, XA1
ARB2	C 35/45	20 %	

Tabela 12 - Requisitos mínimos principais de conformidade dos agregados reciclados grossos para todas as aplicações.

Classe	Requisitos				Fragmentação
	Densidade (kg/m ³)	Absorção (%)	Teor em finos (%)	Coefficiente de forma	
ARB1	≥ 2200	≤ 7	$f_4 - \leq 4$	F_{I35}	LA_{50}
ARB2	≥ 2200	≤ 7	$f_4 - \leq 4$	F_{I50}	-
ARC	≥ 2000	-	$f_3 - \leq 3$	-	-

A análise aos requisitos mínimos é realizada no subcapítulo 2.5.12 (Comparativa) onde são comparados os valores limites entre a guia LNEC E 471 2009 [42] e as normativas internacionais, relacionado com a utilização de agregados reciclados no fabrico de betão.

Esta especificação faz parte de um conjunto de especificações LNEC (tabela 13), que estabelece as condições de utilização de materiais provenientes de RCD em obras de engenharia civil.

Tabela 13 - Especificações técnicas para a utilização de RCD.

Especificação técnica	Designação
E 471 – 2009	Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos
E 472 – 2009	Guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central
E 473 – 2009	Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos
E 474 – 2009	Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte

Na tabela 14 são resumidas as classificações dos agregados resultantes da elaboração do conjunto das especificações LNEC relativas a utilização de RCD em obras de engenharia civil. A classificação feita nestas tabelas destacam-se pelos campos de aplicação que contribuem também para a diferenciação dos tipos de agregados reciclados.

As misturas betuminosas recuperadas (MBR) dividem-se em três categorias que se caracterizam pela taxa máxima de incorporação de misturas betuminosas as quais variam entre 10% a 50% de aproveitamento sendo que a MBR3 é a categoria mais rigorosa onde só é permitida a incorporação de apenas 10% de misturas betuminosas recuperadas nas camadas de regularização, de ligação e de base. A categoria mais flexível é a MBR1 a qual, para a mesma utilização permite taxas de incorporação até 50%, permitindo ainda até 10% de incorporação de mistura betuminosa recuperada em camadas de desgaste [49].

Os materiais reciclados procedentes de RCD tipo MAT2 são passíveis de ser utilizados em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte, sendo que só não é recomendada a sua utilização em camada de leito quando este está constituído por material de classe MB. Já o material tipo MAT1 apenas pode ser utilizado em aterro de infra-estruturas de transporte, independentemente da classe de material que o compõe (B, MB ou C) [51].

Tabela 14 - Classificação dos agregados reciclados, adaptado [42], [49], [50], [51].

		Classe	R _c (%)	R _c +R _u (%)	R _b (%)	R _c +R _u +R _g (%)	R _g (%)	R _a (%)	R _b +R _s (%)	X (%)	X+R _g (%)	FL (%)
ARB 1	Agregado reciclado de betão 1		≥ 90		≤ 10	-	-	≤ 5		-	≤ 0,5	≤ 2
ARB 2	Agregado reciclado de betão 2		≥ 70		≤ 30	-	-	≤ 5		-	≤ 1	≤ 2
ARC	Agregado reciclado composto		≥ 90			-	-	≤ 10		-	≤ 2	≤ 2
MBR 1	Mistura betuminosa recuperada 1		-	-		-	-	≤ 10	-	-	-	-
								≤ 50				
MBR 2	Mistura betuminosa recuperada 2		-	-		-	-	≤ 25	-	-	-	-
MBR 3	Mistura betuminosa recuperada 3		-	-		-	-	≤ 10	-	-	-	-
AGER 1	Agregado reciclado tipo 1	B ou C	-	-	≤ 10	≥ 90	≤ 5	≤ 5	-	≤ 1	-	≤ 5
			-	-	≤ 10	≥ 50	≤ 5	≤ 30	-	≤ 1	-	≤ 5
AGER 2	Agregado reciclado tipo 2	B ou C	-	-	≤ 10	≥ 90	≤ 5	≤ 5	-	≤ 1	-	≤ 5
			-	-	≤ 10	≥ 50	≤ 5	≤ 30	-	≤ 1	-	≤ 5
AGER 3	Agregado reciclado tipo 3	B	-	-	≤ 10	≥ 90	≤ 5	≤ 5	-	≤ 1	-	≤ 5
MAT 1	Material 1 Mistura de Classes de agregados reciclados	B	-	-	-	≥ 90	≤ 10	≤ 5	≤ 10	≤ 1	-	≤ 5
		MB	-	-	-	≤ 70	≤ 25	≥ 30	≤ 70	≤ 1	-	≤ 5
		C	-	-	-	Sem limite	≤ 25	≤ 30	Sem limite	≤ 1	-	≤ 5
MAT 2	Material 2	B	-	-	-	≥ 90	≤ 10	≤ 5	≤ 10	≤ 1	-	≤ 5
		C	-	-	-	Sem limite	≤ 25	≤ 30	Sem limite	≤ 1	-	≤ 5
		MB		-	-	-	≤ 70	≤ 25	≥ 30	≤ 70	≤ 1	-

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 (tijolo, ladrilhos, telhas, etc.), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante; R_g - vidro; R_s - solos; FL - material flutuante em volume; X - outros: materiais coesivos (p.ex. solos argilosos), plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos) madeira não flutuante e estuque.

Os agregados reciclados AGER1, AGER2 e AGER3 podem ser utilizados em camadas não ligadas de pavimentos, desde que sejam seguidas as recomendações para a finalidade ou condições a que vão estar submetidos, sendo que a categoria mais exigente em termos de utilização é a

AGER3 que deve suportar um tráfego médio diário de pesados por via (TMDp) até 300, quer para camadas de base quer para camadas de sub-base (tabela 15) [50].

Tabela 15 - Campo de aplicação dos agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos [50].

Categoria	AGER 1		AGER 2		AGER 3
Classe	C	B	C	B	B
Aplicação em camadas de sub-base - TMDp	≤ 50	≤ 150	≤ 150	≤ 300	≤ 300
Aplicação em camadas de base - TMDp	NR	≤ 150	≤ 150	≤ 150	≤ 300
TMDp - Tráfego médio diário de pesados por via NR – Não recomendado					

2.5.12 RILEM recommendation

A RILEM distingue três tipos de agregados reciclados de acordo com a sua composição [21]:

- Tipo I: Agregados procedentes maioritariamente de escombros de alvenaria;
- Tipo II: Agregados procedentes maioritariamente de escombros de betão com um conteúdo de cerâmicos inferior a 10%;
- Tipo III: Agregados compostos por uma mistura de agregados naturais superior a 80% e agregados Tipo I inferior a 10% (ou até 20% de agregados Tipo II).

2.5.13 Comparativa de Normas e Especificações Internacionais

Na tabela 16, tabela 17 e tabela 18 podem comparar-se as especificações internacionais, a qual compila as recomendações e normas mais relevantes sobre agregados reciclados [47]. Observa-se que na sua maioria estabelecem o controlo de qualidade deste tipo de agregado através da sua densidade e absorção, limitando ainda o conteúdo de impurezas ou outros elementos diferentes do betão. Cada uma das normativas estabelece um critério de classificação próprio dos agregados reciclados a partir do qual se detalham os limites exigidos às suas propriedades.

Comparando os limites das características dos agregados reciclados entre alguns países mencionados anteriormente pode-se fazer os seguintes comentários:

- Quanto à absorção, a norma alemã e a RILEM *recommendation* são as que apresentam maior flexibilidade neste campo já que permitem vários níveis de absorção dependendo da finalidade para a qual vai ser utilizado o agregado reciclado, sendo a categoria mais exigente a da RILEM com um limite de 3% para o agregado reciclado Tipo III, e de 20% em ambas as normas/recomendações para soluções em betão não estrutural. A especificação portuguesa LNEC E 471 2009 permite em betão estrutural até 7% de absorção dos agregados reciclados, não fazendo referência a limites de absorção para soluções em betão não estrutural;
- No que diz respeito a densidade seca os limites variam entre os 1500 Kg/m³ por parte da norma alemã para aplicações em betão sem função estrutural e 2400 Kg/m³ para os agregados reciclados de melhor qualidade, sendo que neste caso é um limite para um material que deve conter pelo menos 80% de agregados convencionais. Já a especificação portuguesa indica limites em que a densidade seca deve ser superior a 2200 Kg/m³ para aplicação estrutural e 2000 Kg/m³ para as restantes aplicações em betão;
- Quanto ao conteúdo de materiais como metais ou vidros a especificação portuguesa a par da belga e alemã são as mais exigentes neste campo com uma limitação para as soluções em betão estrutural de 0,5%. Já para soluções em betão não estrutural a norma brasileira com um limite de 3% e a recomendação da RILEM de 5% da percentagem total da massa são as que possibilitam um maior conteúdo de materiais estranhos;
- A guia LNEC E 471 2009 permite até um 35% da massa total dos agregados reciclados tipo ARB1 e 50% para o tipo ARB2 no que diz respeito ao índice de forma, já a norma de Hong Kong possibilita um limite até 40% para soluções estruturais pouco exigentes, sendo estas normas as únicas que fazem referência a esta característica;

Tabela 16 - Especificações internacionais para os diferentes tipos de agregados (adaptado de [47]).

REQUISITOS	Japão			Hong Kong	Austrália	Portugal		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		Classe 1	ARB1	ARB2	ARC
Densidade seca (Kg/m ³)	≥2200			≥2000	≥2100	≥2200	≥2200	≥2000
Absorção (%)	≤3	≤5	≤7	≤10	≤6	≤7	≤7	-
Conteúdo de material com densidade <2200 kg/m ³ (%)								
Conteúdo de material com densidade <1800 kg/m ³ (%)								
Conteúdo de material com densidade <1000 kg/m ³ (%)				≤0,5				
Conteúdo de materiais estranhos (metais, vidros) (%)	Requisito segundo a tabela 5			≤1	≤2	≤0,5	≤1	≤2
Índice de forma				≤40		≤35	≤50	-
Índice de fragmentação					<30	≤50		
Índice de 10% de finos				100 kN				
Conteúdo de metais (%)								
Conteúdo de matéria orgânica (%)								
Conteúdo de finos (<0,063 mm) (%)				<4		≤4	≤4	≤3
Perdas por limpeza (%)	≤1				<1			
Resistência aos ciclos gelo-degelo (%)	≤12	≤40/≤12						
Conteúdo de areias (<4 mm) (%)				<5				
Conteúdo de sulfatos (SO ₃) (%)				<1		≤0,8	≤0,8	≤0,8
Conteúdo de cloretos (%)				<0,05				
Conteúdo de asfalto (%)								
Conteúdo de material cerâmico (%)						≤10	≤30	
Desclassificado menor (%)								

- Quanto ao índice de fragmentação as únicas normas que fazem referência a esta característica são a portuguesa, espanhola e australiana, sendo que a norma australiana é a mais rigorosa a qual só permite 30% de perdas por fragmentação. Já a norma espanhola e portuguesa permitem até 40 e 50% de perdas respetivamente;

Tabela 17 - Especificações internacionais para os diferentes tipos de agregados (continuação) (adaptado de [47]).

REQUISITOS	Brasil	RILEM			Espanha	Portugal		
		Tipo I	Tipo II	Tipo III		ARB1	ARB2	ARC
Densidade seca (Kg/m ³)	-	≥1500	≥2000	≥2400	-	≥2200	≥2200	≥2000
Absorção (%)	≤12	≤20	≤10	≤3	≤7	≤7	≤7	-
Conteúdo de material com densidade <2200 kg/m ³ (%)		-	≤10	≤10				
Conteúdo de material com densidade <1800 kg/m ³ (%)		≤10	≤1	≤1				
Conteúdo de material com densidade <1000 kg/m ³ (%)		≤1	≤0,5	≤0,5	≤1			
Conteúdo de materiais estranhos (metais, vidros) (%)	≤3	≤5	≤1	≤1	≤1	≤0,5	≤1	≤2
Índice de forma						≤35	≤50	-
Índice de fragmentação					<40	≤50		
Índice de 10% de finos								
Conteúdo de metais (%)		≤1	≤1	≤1				
Conteúdo de matéria orgânica (%)		≤1	≤0,5	≤0,5				
Conteúdo de finos (<0,063 mm) (%)		≤3	≤2	≤2		≤4	≤4	≤3
Perdas por limpeza (%)								
Conteúdo de areias (<4 mm) (%)		≤5			≤5			
Conteúdo de sulfatos (SO ₃) (%)	≤1	≤1			≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8
Conteúdo de cloretos (%)	≤1				≤0,05			
Conteúdo de asfalto (%)					≤1			
Conteúdo de material cerâmico (%)		≤100			≤5	≤10	≤30	
Desclassificado menor (%)					≤10			

- Em relação ao conteúdo de finos (partículas <0,063 mm) a RILEM *recomendation* é a mais exigente pois limita o seu conteúdo a 2% para soluções em betão estrutural. A norma portuguesa e a de Hong Kong fazem referência a um limite até 4% de partículas finas (< 0,063 mm) para soluções estruturais;
- Quanto ao conteúdo de sulfatos Portugal e Espanha são os países mais rigorosos nesta característica quer para aplicação em betão estrutural como também para outro tipo de aplicação, limitando o conteúdo destes a 0,8%;

Tabela 18 - Especificações internacionais para os diferentes tipos de agregados (continuação) (adaptado de [47]).

REQUISITOS	Bélgica		Alemanha				Reino Unido		Portugal		
	GBSB I	GBSB II	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	RCA	RA	ARB1	ARB2	ARC
Densidade seca (Kg/m ³)	≥1600	≥2100	≥2000		≥1800	≥1500	-	-	≥2200	≥2200	≥2000
Absorção (%)	≤18	≤9	≤10	≤15	≤20	-	-	-	≤7	≤7	-
Conteúdo de material com densidade <2200 kg/m ³ (%)		≤10									
Conteúdo de material com densidade <1800 kg/m ³ (%)	≤10	≤1									
Conteúdo de material com densidade <1000 kg/m ³ (%)	≤1	≤0,5					≤0,5	≤1			
Conteúdo de materiais estranhos (metais, vidros) (%)	≤1		Requisito segundo a tabela 7				≤1	≤1	≤0,5	≤1	≤2
Índice de forma									≤35	≤50	-
Índice de fragmentação									≤50		
Índice de 10% de finos											
Conteúdo de metais (%)											
Conteúdo de matéria orgânica (%)	≤0,5										
Conteúdo de finos (<0,063 mm) (%)	<5	<3	<4				<5	<3	≤4	≤4	≤3
Perdas por limpeza (%)											
Conteúdo de areias (<4 mm) (%)											
Conteúdo de sulfatos (SO ₃) (%)	<1						≤1	≤1	≤0,8	≤0,8	≤0,8
Conteúdo de cloretos (%)	<0,06		≤0,04			<0,15					
Conteúdo de asfalto (%)				≤1			≤5	≤10			
Conteúdo de material cerâmico (%)	≤100			≤30	≤80		≤100	≤100	≤10	≤30	
Desclassificado menor (%)											

- A limitação do conteúdo de material cerâmico é dependente da finalidade para o qual vai ser utilizado o agregado reciclado. A especificação portuguesa permite até 10% de conteúdo de cerâmicos para a categoria ARB1 e 30% para a ARB2. A norma espanhola limita ainda mais esta utilização já que com 5% de limite, é a norma mais limitante na incorporação deste material. Algumas normas permitem a total substituição dos agregados naturais por agregados reciclados cerâmicos embora seja para soluções não estruturais, como é o caso do Reino Unido.

2.6 Propriedades dos betões com agregados reciclados

Se estabelecemos uma comparação entre um betão convencional e um betão com agregados reciclados, em geral, pode-se afirmar que a qualidade do betão reciclado é inferior à do betão convencional com as mesmas dosagens. A resistência e o módulo de elasticidade são inferiores, e a retração e a fluência podem aumentar. Estas variações devem-se fundamentalmente ao aumento da quantidade da pasta de cimento aderida ao agregado e aumentam conforme cresce a percentagem de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado. Mesmo que as propriedades do betão com agregados reciclados sejam inferiores em comparação com os betões convencionais há que referenciar que o betão reciclado possui umas prestações suficientes para algumas aplicações habituais do betão (ex. betão ciclópico).

2.6.1 Dosagem do betão reciclado

As dosagens do betão utilizando agregados reciclados pretende estabelecer as quantidades ótimas de cimento, água, agregado natural, agregado reciclado, e aditivos que permitem obter uma determinada trabalhabilidade do betão em estado fresco e um valor estipulado da sua resistência à compressão, a uma idade determinada, uma vez que esteja em estado endurecido [3].

Para a dosagem do betão reciclado, em princípio pode-se utilizar os métodos convencionais. A consulta de alguns estudos revelam que os procedimentos de desenho das misturas com agregados naturais utilizam-se satisfatoriamente para determinar as proporções dos materiais constituintes do betão reciclado [52]. Um parâmetro básico da dosagem é a relação água/cimento que afeta a resistência e a consistência. Por esta razão, é necessário realizar um controlo exaustivo da densidade, absorção, e humidade do agregado reciclado tanto durante o processo de produção como na armazenagem. É necessário, em qualquer dosagem de betão reciclado aplicar correções no conteúdo de água necessárias para obter a trabalhabilidade adequada [53]. É conveniente realizar amassaduras de controlo para estabelecer a quantidade de água livre necessária para obter uma determinada consistência.

2.6.1.1 Conteúdo de água

Há que ter em conta que a absorção de água é muito maior nos agregados reciclados que nos naturais devido a pasta de cimento aderida aos agregados originais. Assim, pode-se considerar que o betão reciclado elaborado com agregados reciclados grossos e areia natural requer entre 5% e 10% mais de água que os betões convencionais para atingir as mesmas consistências [14]. Para obter a mesma trabalhabilidade depois de 30 minutos, o betão com 50% de agregados reciclados grossos requer 10% mais de água, enquanto uma percentagem de substituição de 100% já necessita até 17% mais de água que num betão com agregados naturais [39].

Se se utilizam agregados reciclados finos e grossos completamente secos, seria necessário adicionar 15% mais de água [14], embora pesquisas façam referência a adições de 25% para manter uma consistência mais suave no betão em estado fresco [54].

2.6.1.2 Conteúdo de cimento

Os tipos de cimento a utilizar são, em princípio, os mesmos que se utilizariam num betão com agregados naturais para as mesmas prestações [14]. Devido à pior qualidade do agregado reciclado, para obter a mesma resistência e consistência, o betão reciclado precisa de um maior conteúdo de cimento na sua dosagem [15].

Um betão de resistência à compressão média (30-45 MPa), fabricado com 25% de agregado reciclado grosso atinge as mesmas propriedades mecânicas que o betão convencional utilizando a mesma quantidade de cimento e igual relação água/cimento efetiva. No entanto, o mesmo tipo de betão com substituições na ordem dos 50% a 100% de agregado reciclado grosso precisa uma relação água/cimento efetiva entre os 4% e os 10% maior e entre 5% a 10% mais de cimento que o betão convencional para conseguir a mesma resistência à compressão aos 28 dias [38].

Existe um incremento no conteúdo de cimento de 6,2% utilizando 50% de agregados reciclados grossos para obter uma resistência similar (30 MPa aos 28 dias) e uma consistência

equivalente (assentamentos de 6 cm a 9 cm) entre betão reciclado e o betão convencional [30].

2.6.1.3 Relação água/cimento

O fabrico de betão utilizando agregados reciclados incrementa a quantidade de água na amassadura, comparado com um betão fabricado com agregados naturais com a mesma consistência, devido à maior absorção que apresentam os reciclados. O aumento da consistência no betão fresco é progressivo, conforme aumenta o tempo de amassadura, já que a absorção de água por parte dos agregados acontece de maneira lenta e gradual [3].

Ao aumentar a quantidade de água quando são utilizados agregados reciclados, a quantidade de cimento deverá aumentar na mesma proporção para que a relação água/cimento permaneça invariável. Quando no betão reciclado é substituído tanto o agregado grosso como o fino, produz-se uma queda na resistência à compressão compreendida entre 10% e 50% [21] pelo que a quantidade de cimento adicionada para manter a relação tem de ser maior.

Se o agregado reciclado é saturado previamente antes da sua utilização na confeção do betão, pode-se prevenir o aumento da consistência e o rápido endurecimento do betão. Para atingir este estado de saturação os estudos consultados divergem no que diz respeito ao tempo de submersão dos agregados, com autores que defendem tempos de 24 horas acompanhada por secagem superficial após a imersão do agregado, outros recomendam submergir o agregado uma hora e ainda autores que consideram suficiente 10 minutos. É de salientar que a saturação dos agregados reciclados estaria acompanhada de problemas técnicos à altura da introdução desta etapa numa planta de fabrico de betão [3].

Com o fim de manter a mesma consistência sem aumentar a quantidade de água pode-se adicionar como aditivo um superplastificante [48], que vai melhorar a resistência já que a relação água/cimento efetiva é menor. No entanto esta solução vem acompanhada de um custo mais elevado [55].

2.6.1.4 Relação agregado fino-agregado grosso

O rácio ótimo agregado fino natural-agregado grosso reciclado para obter a coesão desejada no betão reciclado fresco, é muito parecida à utilizada para a confeção do betão convencional. No entanto, a quantidade de finos que se gera durante a amassadura do betão, procedentes da pasta de cimento aderida ao agregado original, provoca um incremento nesta relação [15].

2.6.1.5 Aditivos

Para melhorar as características dos betões reciclados têm sido utilizados aditivos tais como sílica de fumo, cinzas volantes, escória de alto forno, obtendo os mesmos efeitos positivos conseguidos em betões convencionais.

2.6.1.5.1 Sílica de fumo

É possível que as partículas de sílica de fumo na superfície do agregado reciclado dificulte ou impeça a penetração de água nos poros do agregado reciclado, deixando mais água livre na mistura, o que elevaria a relação água/cimento [56].

A adição de 8% de sílica de fumo em misturas que contenham agregados reciclados tem benefícios em termos de resistência à compressão. Da mesma forma, observa-se poucas diferenças na resistência à tração a várias idades. No entanto, este aditivo não melhora a redução do módulo de elasticidade que aparece no betão reciclado [33].

2.6.1.5.2 Cinza volante

A adição de cinza volante pode atenuar o incremento da porosidade e a redução na resistência que provoca a substituição total do agregado natural pelo agregado reciclado [57].

A substituição de cimento por 25% de cinza volante aumenta o assentamento das misturas de betão com e sem agregados reciclados e tem também efeitos benéficos ao reduzir o índice e

a capacidade de exsudação, com poucos efeitos negativos na resistência do betão a 28 dias, mas, efeitos positivos aos 90 dias [34].

Não é possível assumir que todas as fontes de cinzas volantes melhoram necessariamente as propriedades do betão para altos níveis de substituição de cimento [58].

2.6.1.5.3 Escórias de alto forno

As misturas de betão contendo 50% de substituição de cimento por escórias de alto forno contribuem com os melhores resultados em termos de propriedades mecânicas e durabilidade, independentemente de se utilizar agregado natural ou agregado reciclado [58].

2.6.2 Propriedades do betão reciclado fresco

2.6.2.1 Consistência

A introdução de agregados reciclados secos no betão produz um aumento na consistência quando se mantém a mesma relação água/cimento. A perda de trabalhabilidade é devida fundamentalmente á elevada capacidade de absorção do agregado reciclado, embora possam influir outros fatores como a forma angular, a textura rugosa e a variação da granulometria devido a produção de finos durante o processo de amassadura [14]. Como consequência, a quantidade de água absorvida pelos agregados reciclados será mais relevante quanto maior seja a percentagem de substituição de agregado natural, gerando uma redução da relação água/cimento efetiva e um aumento da consistência do betão fresco.

Ainda, a perda de trabalhabilidade com o tempo é mais rápida para o betão contendo agregados reciclados que no caso do betão convencional [59]. Isto deve-se à evolução no tempo da absorção, como comentado anteriormente.

Para reduzir estas perdas de trabalhabilidade, uma alternativa é a adição de um aditivo superplastificante sem adicionar alguma quantidade de água. O conteúdo de aditivo deve

aumentar proporcionalmente ao incremento no nível de substituição dos agregados naturais pelos agregados reciclados [60].

Alternativas aos aditivos seriam:

- Saturar o agregado reciclado antes de seguir para a amassadura;
- Agregar uma quantidade de água adicional ao betão durante o processo.

2.6.2.2 *Densidade e conteúdo de ar retido*

A densidade do betão fresco fabricado com agregados reciclados é inferior a do betão convencional, devido à menor densidade que apresentam os agregados reciclados como consequência da pasta de cimento aderida que envolve a matriz rochosa.

Os valores de densidade oscilam entre 2,13 e 2,40 Kg/dm³ [1].

Alguns estudos existentes determinaram que conforme aumenta a percentagem de substituição de agregados convencionais por reciclados, proporciona incrementos na quantidade de ar retido nos betões reciclados, com variações entre o betão de controlo e o betão reciclado inferiores a 7%, a maioria não apresenta variações consideráveis [15].

2.6.2.3 *Exsudação*

Se o agregado reciclado que se utiliza no fabrico do betão é utilizado previamente saturado, a exsudação será semelhante a dos betões convencionais. Se, pelo contrário, o agregado reciclado é utilizado seco, a exsudação do betão fabricado com agregados reciclados apresentara valores muito abaixo dos que correspondem aos betões de controlo. Devido à elevada absorção, o agregado reciclado de betão retém maior quantidade de água [61].

2.6.3 Propriedades do betão reciclado endurecido

O fato de que os agregados reciclados terem propriedades inferiores aos agregados naturais vai ter uma influência direta nas propriedades do betão com ele fabricado, propriedades essas que são explicadas de seguida.

2.6.3.1 Resistência à compressão

Em geral os betões reciclados apresentam uma menor resistência à compressão que os originais de composição semelhante. A redução na qualidade do betão quando se substitui o agregado natural por agregado reciclado de betão pode ser atribuída a várias causas:

- A porosidade total do betão reciclado é maior que a de um betão convencional devido ao incremento da quantidade de poros que contém a pasta de cimento, quer a pasta de cimento nova quer a pasta de cimento que faz parte dos agregados reciclados;
- A resistência as ações mecânicas do agregado reciclado é menor que a do agregado natural;
- A quantidade de zonas de uniões débeis no betão reciclado é maior que no betão convencional. Para além de ter zonas de união entre a pasta de cimento nova e velha que se torna numa união fraca.

O betão elaborado com 100% de agregado grosso reciclado tem de 20% a 25% menos resistência à compressão que um betão convencional aos 28 dias com a mesma relação água/cimento efetiva e a mesma quantidade de cimento [38]. No entanto, se apenas for substituído 25% do agregado natural grosso por agregado reciclado grosso não altera muito a resistência à compressão do betão [62].

Quando são utilizados agregados reciclados completamente secos, devido à sua elevada absorção, a relação água/cimento efetiva diminui e, portanto, a resistência à compressão do betão reciclado aumenta. Esta redução de água livre provoca uma diminuição da trabalhabilidade. No entanto, para manter a consistência é comum adicionar um aditivo

superplastificante. Estes dois fatores provocam um aumento na resistência à compressão do betão reciclado à medida que a percentagem de substituição do agregado reciclado é maior, ao contrário do que foi verificado em outros estudos [60].

No que diz respeito à inclusão de agregados reciclados finos no betão, a resistência à compressão não é afetada significativamente pela percentagem de substituição de agregados finos, pelo menos quando não ultrapassa os 30%. Porém, resultados obtidos em laboratório com granulometria e britagem controladas podem diferir do que se obtenha em obra, pois é de esperar que os agregados reciclados finos obtidos de forma convencional contenham impurezas que reduzam a qualidade do betão. Esta é uma das razões pela qual numa boa parte das normativas existentes é rejeitada a utilização de agregados reciclados finos no betão [31].

Resultados em que os betões reciclados (principalmente aqueles em que só se substitui o agregado grosso) possam apresentar resistências semelhantes ou mesmo superiores às dos betões originais também podem ser encontrados na bibliografia. Casos em que a diminuição da relação água/cimento beneficia a obtenção de betões que alcançam as propriedades dos betões originais ou até superam estas propriedades [1]. No entanto, com substituições de agregado grosso de 15%, 30% e 100% e de agregado fino de 15%, 30% e 0% respetivamente, não se considera possível o fabrico de betões reciclados a partir de resíduos de betão convencionais de baixas resistências à compressão que igualem as resistências de betões fabricados com agregados naturais [63].

Pelo contrário, se os agregados reciclados procedem de betões com uma qualidade elevada, betão de origem com resistência elevada e em bom estado, o betão reciclado obtido substituindo o agregado grosso a partir destes poderá apresentar resistências até superiores aos betões convencionais. Assim a partir de agregados procedentes de betão cuja resistência à compressão era de 30 MPa, podem fabricar-se betões reciclados, substituindo o agregado grosso, com resistências superando os 35 MPa reduzindo adequadamente a relação água/cimento [64].

A influência da percentagem de agregado reciclado na resistência do betão é bastante evidente. Na tabela 19 resumem-se alguns estudos consultados em que se faz referência às percentagens de substituição e às variações da resistência à compressão entre o betão de controlo e o betão reciclado.

Verifica-se um agravamento das perdas de resistência à compressão dos betões com agregados reciclados em relação aos betões convencionais à medida que aumenta a percentagem de substituição de agregado reciclado por natural.

Tabela 19 - Resistência à compressão do betão reciclado.

Referência	Resistência à compressão (MPa)			% substituição	Relação a/c	Observações
	Betão convencional	Betão reciclado	% Δ			
(Fonteboa, 2002) [1]	38,3	40,2	+5%	50% AG		Aumento 12% de água e cimento.
	41,8	42,9	+3%	50% AG		
(Soberón, 2002) [65]	39	35,8	-8%	60% AG		400 Kg/m ³ de cimento.
	39	34,5	-12%	100% AG		
(S. C. Kou, 2004) [66]	45,9	43,6	-5%	20% AG		Com cinza volante
	45,9	40,4	-12%	50% AG		
	45,9	38,3	-17%	100% AG		
(De Juan, 2005) [15]	29,3	26,3	-10%	100% AG	0,60	
	40,3	34,4	-15%	100% AG	0,50	
	48,5	41,3	-15%	100% AG	0,50	
(Jianzhuang Xiao, 2005) [67]	26,9	25,4	-6%	20% AG		
	26,9	23,6	-12%	50% AG		
	26,9	23,8	-12%	100% AG		
(M. Etxeberria, 2007) [38]	29	28	-4%	25% AG	0,55	
	29	29	-	50% AG	0,52	
	29	28	-4%	100% AG	0,50	
(L. Evangelista, 2007) [31]	59,3	57,3	-3,4%	20% AF		
		58,8	-0,8%	50% AF		
		54,8	-7,6%	100% AF		
(A. Turatsinze, 2005) [68]	33,5	33,1	-1%	100% AG	0,40	
	24,1	23,6	-2%	100% AG	0,50	
	18,1	17,9	-1%	100% AG	0,60	
(Chi-Sun Poon, 2007) [34]	48,6	45,3	-7%	20% AG	0,55	
		42,5	-13%	50% AG		
		39,2	-19%	80% AG		
		37,1	-24%	100% AG		
(A. Domingo Cabo, 2009) [60]	52,85	52,76	0%	20% AG	0,50	
		48,06	-9%	50% AG		
		48,64	-8%	100% AG		
(Mirjana Malešev, 2010) [39]	43,44	45,22	+4%	50% AG	0,569	a/c efetiva 0,514
		45,66	+5%	100% AG	0,62	

Nota-se que para taxas de substituição abaixo dos 25% as perdas na resistência do betão reciclado são muito pequenas. Já quando a percentagem de substituição atinge os 50% a resistência pode variar num intervalo que vai desde ganhos de 5% a perdas de 13%. Quando é substituído a totalidade do agregado natural por agregado reciclado as perdas vão de 1% a 24% de perdas na resistência do betão à compressão.

Num dos estudos [31] analisados em que são substituídos apenas os agregados finos convencionais por agregados finos reciclados, obtém-se reduções na resistência do betão à compressão de -3,4%, -0,8% e -7,6% para taxas de substituição de 20%, 50% e 100% respetivamente.

De salientar são os resultados positivos obtidos por Fonteboa, 2002 [1] e Mirjana Malešev, 2010 [39], que para taxas de substituição de 50% obtiveram ganhos de 3% a 5% na resistência do betão à compressão e de 5% para uma substituição de 100%, embora, com alteração da relação água/cimento.

Tabela 20 - Condições de utilização de agregados reciclados segundo algumas especificações.

País	Tipo de agregado	Percentagem de substituição (%)	Classe de exposição	Limite de resistência
Japão	Agregado reciclado composto	100%	Soluções pouco solicitadas	18 MPa
Hong Kong	ARB	20%	Betão estrutural	35 MPa
		100%	Soluções pouco solicitadas	20 MPa
RILEM	ARB	20%	Ambiente seco, húmido e marítimo	Sem limite
		100%		C50/60
	Agregado reciclado de alvenaria	100%	Ambiente seco e húmido, sem ação do gelo	C16/20
Alemanha	ARB1	20%	X0, XC1 a XC4, XF1 a XF3, XA1; proíbe pré-esforço	C30/37
	ARB2	35%		C25/30
Holanda	ARB	100%	Ambientes não agressivos	C40/50
	Agregado reciclado de alvenaria			C20/25
Reino Unido	RCA	20% AG	X0, XC1 a XC4, XF1, DC-1	C40/50
Espanha	ARB	20% AG		40 MPa
Portugal	ARB1	25% AG	X0, XC1 a XC4, XS1, XA1	C40/50
	ARB2	20% AG		C35/45

Na tabela 20 reúnem-se algumas limitações quanto à resistência à compressão e classe de exposição admissíveis de acordo com a taxa de substituição de agregados convencionais por agregados reciclados.

Neste aspeto a norma holandesa e a recomendação da RILEM são as mais flexíveis, as quais para altos níveis de resistência permitem taxas de substituição de 100%, sendo que Portugal permite até esses níveis mas com taxas de substituição quatro vezes inferior.

2.6.3.2 Módulo de elasticidade

Geralmente, o menor módulo de elasticidade do betão reciclado comparado com um betão convencional atribui-se a presença da pasta de cimento residual nos agregados reciclados de betão, cujo módulo de elasticidade é menor [69].

O módulo de elasticidade do betão reciclado diminui à medida que aumenta a percentagem de substituição, devido à maior porosidade do agregado reciclado [60]. A variação na percentagem de substituição afeta a relação tensão-deformação da mistura de betão. A curvatura é maior à medida que aumenta esta percentagem, proporcionando desta maneira reduzidos valores do módulo de elasticidade [59].

Tabela 21 - Valores do módulo de elasticidade em betões reciclados [3].

Referência	Módulo de elasticidade do betão reciclado	
	% substituição	% redução
(Fonteboa, 2002) [1]	50% AG	11
(De Juan, 2005) [15]	20% AG	10
	50% AG	20
	100% AG	40
(L. Evangelista, 2007) [31]	30% AF	4
	100% AF	19
(M. Etxeberria, 2007) [38]	25% AG	4
	50% AG	12
	100% AG	15
(M. Casuccio, 2008) [37]	100% AG	13-18
(ACHE, 2006) [14]	50% AG	10
	100% AG	20
	100% AG e AF	80

Na tabela 21 podemos observar os dados obtidos da bibliografia consultada. Quando as taxas de substituição não superam os 30% de agregados naturais por agregados reciclados, as perdas no módulo de elasticidade são inferiores a 10%. Quando a substituição atinge os 50% de agregado grosso por reciclado a redução que atinge o módulo de elasticidade pode chegar

aos 20%. Se o agregado grosso substituído é feito na totalidade, a redução no módulo aumenta até valores na ordem dos 50%. Segundo a ACHE, 2006 [14], quando substituído a totalidade quer dos agregados grossos quer dos agregados finos por agregados reciclados, o módulo de elasticidade pode atingir elevadas perdas na ordem dos 80%.

2.6.3.3 Resistência à tração

A bibliografia proporciona valores dispersos quanto ao ensaio da resistência à tração indireta dos betões reciclados.

Tabela 22 - Variação da resistência à tração em betões reciclados [3].

Referência	% substituição	% de variação
(Hansen T. , 1992) [21]	100% AG e AF	-20; -30
(G. Di Niro, 1998) [70]	50% AG	-3; 2
	100% AG	-31; -32
(Soberón, 2002) [65]	20% AG	0
	50% AG	0
	100% AG	-9; -11
(Fonteboa, 2002) [1]	50% AG	1; -2
(S. C. Kou, 2004) [66]	20% AG	-8
	100% AG	-17
(De Juan, 2005) [15]	50% AG	-1
	100% AG	-10
(M. Etxeberria, 2007) [38]	50% AG	+7
	100% AG	+9
(L. Evangelista, 2007) [31]	30% AF	-5
	100% AF	-30

As perdas de resistência à tração são muito pequenas quando a percentagem de substituição do agregado grosso é inferior a 50%. As perdas variam entre 6% e 32% se a substituição do agregado grosso por agregado reciclado é de 100% (tabela 22).

2.6.3.4 Resistência à flexão

As variações desta característica do betão reciclado são muito similares as que se observam na resistência à tração comentadas no ponto anterior

2.6.3.5 Resistência ao corte

Quando são substituídos os agregados grossos obtêm-se reduções na ordem dos 26%. Enquanto para substituições tanto do agregado grosso como o agregado fino as reduções aumentam, com substituições de 50% AF + 100% AG podem chegar a reduções de 32% a 41% [1].

2.6.3.6 Retração

Nos betões reciclados a retração é maior do que nos convencionais. Este aumento pode ser devido, entre outras causas, a que o módulo de elasticidade do agregado reciclado é inferior ao do agregado convencional pela quantidade de pasta de cimento que tem aderido, à maior quantidade de água utilizada na dosagem para atingir as mesmas consistências do betão convencional e também à maior absorção do agregado reciclado [14].

O valor da retração será tanto maior quanto mais elevada seja a percentagem de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado.

Betões com agregados reciclados podem atingir valores de retração 100% superiores aos valores obtidos em betões convencionais quando é substituído a totalidade dos agregados. Quando só é substituído a porção de agregado grosso, o incremento na retração ronda os 50% dos valores obtidos para um betão convencional, aproximando-se desses mesmos valores quanto menor for a percentagem de substituição (tabela 23).

Foram encontrados diferentes tendências sobre a influência que tem a qualidade do betão de origem sobre a retração do betão. Alguns autores obtêm que o betão reciclado com agregados procedentes de betão de elevada resistência apresenta maior retração que aquele fabricado com agregados procedentes de betão de pior qualidade. Isto pode ser devido ao maior conteúdo de cimento da pasta aderida ao agregado reciclado quando o betão de origem tem uma reduzida relação água-cimento. Outro fator que pode influenciar é que os agregados obtidos de betões de maior resistência tendem a apresentar percentagens de pasta de cimento aderida ligeiramente superiores, pelo que a retração do betão reciclado pode

umentar. No entanto outros estudos encontraram uma tendência totalmente oposta, obtendo maior retração quanto menor é a resistência do betão de origem [15].

Tabela 23 - Variação da retração em betões reciclados [3].

Retração em betões reciclados		
Referência	% substituição	% de variação
(R. Sri Ravindrarajah, 1987) [24]	100% AG	55
	100% AG e AF	100
(R. Sri Ravindrarajah, 1988) [25]	100% AG	Grande aumento
	100% AF	40
	100% AG e AF	100
(N. Kashino, 1988) [71]	100% AF	10
(Hansen T. , 1992) [21]	100% AG	70-80
(J. D. Merlet, 1993) [72]	100% AG e AF	50
(S. C. Kou, 2004) [66]	20% AG	8
	50% AG	15
	100% AG	25
(De Juan, 2005) [15]	20% AG	5
	100% AG	60
(M. Batayneh, 2006) [73]	50% AG	19
	100% AG	45

Quanto maior for o tamanho máximo do agregado, menor será a retração já que se precisa de uma quantidade menor de pasta para o fabrico do betão. Por outro lado, ao incorporar as frações maiores do agregado, menor quantidade de pasta de cimento aderido será utilizado, logo a retração também diminuirá [3].

Como a retração está ligada ao conteúdo de pasta de cimento aderido ao agregado reciclado, quando este fica submetido a vários processos de trituração, a retração pode melhorar consideravelmente [15].

A retração é uma das características que mais diferenças apresenta entre o uso de agregados convencionais ou de agregados reciclados. A maior absorção destes e a sua menor rigidez são a chave destas divergências [63].

2.6.3.7 Fluência

De igual maneira que a retração, e devido ao maior conteúdo de pasta de cimento aderido nos betões com agregados reciclados, a fluência destes é superior à dos betões convencionais [1].

Quando é utilizado 100% de agregado reciclado, alguns autores obtiveram incrementos entre 30% e 60%, enquanto outros obtiveram resultados mais favoráveis compreendidos entre 20% e 30% [15].

Como ocorre no resto das propriedades, quanto maior é o conteúdo de agregado reciclado utilizado, maior é a deformação por fluência [74]. Assim com uma percentagem de utilização de 50%, a fluência experimenta um incremento entre 15% a 22%, e com 30% de substituição as diferenças são praticamente inexistentes, obtendo-se incrementos entre 1% e 2% [15].

A RILEM estabelece um coeficiente de correção para o valor da fluência em betões reciclados igual a 1,25 quando são utilizados agregados Tipo I e Tipo II. Para os agregados Tipo III este coeficiente é 1,0. Na Bélgica o coeficiente corretor da fluência em betões reciclados, quando são utilizados agregados GBSB I e GBSB II, é de 1,25 enquanto o valor é de 1,0 quando se utilizam misturas. Na Holanda o coeficiente adota valores semelhantes aos anteriores.

2.6.4 Durabilidade do betão reciclado

2.6.4.1 Permeabilidade

A maioria dos processos de degradação do betão dependem da sua permeabilidade. O coeficiente de permeabilidade é uma característica do material que descreve o fluxo dos gases e dos líquidos através de um material poroso, devido à aplicação de um gradiente de pressões.

Ao utilizar agregados reciclados no fabrico do betão, a porosidade, a absorção e a permeabilidade aumentam segundo defendem alguns estudos realizados [3]. O aumento é mais notável ao incrementar a percentagem de substituição. Os valores destes incrementos

oscilam entre 15% e 70%. Quando também é substituída a fração fina do agregado os valores da porosidade e a permeabilidade ao ar chegam a duplicar-se [75]. Se a percentagem de substituição do agregado grosso for inferior a 30% as diferenças apenas conseguem ser detetadas nos valores da porosidade e absorção [76].

A permeabilidade do betão reciclado, para diferentes níveis de resistência, chega a atingir valores que oscilam entre duas a sete vezes a permeabilidade de um betão convencional quando se substitui 100% do agregado grosso por agregado reciclado [74].

2.6.4.2 Resistência aos ciclos gelo-degelo

A degradação do betão devido aos ciclos gelo-degelo produz-se principalmente na pasta de cimento como consequência de vários fenómenos, com o aumento do volume devido a formação de gelo, a variação do ponto de congelação da água em função do diâmetro dos poros e a existência de difusão das moléculas de água em direção aos cristais já formados [15].

Os betões reciclados costumam apresentar uma menor resistência aos ciclos gelo-degelo devido a que estes são mais permeáveis e também os agregados reciclados que os compõem são mais suscetíveis a estes ciclos devido à sua elevada absorção [15].

Os valores muito reduzidos de resistência aos ciclos gelo-degelo, que se obtêm com betões em que se substitui tanto a fração grossa como a fração fina de agregados, levam a que seja recomendado não utilizar os agregados reciclados quando se prevê que o betão vai estar submetido a um ambiente de exposição severo [1].

Investigações paralelas, não obstante resumem que substituições de agregado grosso natural por agregado reciclado grosso de até 30% não implicará nenhum problema de perda de resistência aos ciclos gelo-degelo [21].

2.6.4.3 Carbonatação

Neste aspeto surgem divergências sobre o comportamento do betão reciclado no que diz respeito ao processo de carbonatação. Alguns estudos realizados determinam que este processo e o desenvolvimento da frente de carbonatação depende dos valores relativos de permeabilidade da pasta de cimento nova e do agregado reciclado. Se a pasta de cimento nova é mais permeável que o agregado reciclado a propagação da frente de carbonatação terá lugar na própria pasta de cimento nova, o dióxido de carbono penetrará pela pasta de cimento nova sendo este processo parecido ao de um betão convencional. Se, pelo contrário, o agregado reciclado possui uma permeabilidade maior que a pasta de cimento nova a frente de carbonatação vai-se propagar através do agregado reciclado. Este terá um aspeto mais irregular e apresentará picos que coincidem com os agregados porosos [3].

O rácio de carbonatação de um betão fabricado com agregados reciclados procedentes de um betão que já sofreu carbonatação é muito superior (65%) ao de um betão de controlo. Desta forma, no betão armado o processo de corrosão das armaduras será mais rápido [21].

No entanto, Limbachiya [74] constata escassas, ou mesmo nulas as diferenças no estado da frente de carbonatação entre betões reciclados e betões convencionais.

Pode afirmar-se, que ao substituir o agregado grosso natural por agregado reciclado grosso em pequenas percentagens, a profundidade de carbonatação nos betões quase não aumenta. Quando as percentagens de substituição são maiores a profundidade da frente de carbonatação tendem a ser maiores nos betões reciclados [3].

2.6.4.4 Resistência aos sulfatos

Apesar dos poucos estudos existentes sobre a avaliação do comportamento do betão reciclado face ao ataque por sulfatos, cabe esperar um comportamento mais desfavorável, devido a maior permeabilidade que estes apresentam, facilitando assim o acesso dos sulfatos [15].

Deve-se considerar ainda, que os agregados reciclados podem conter uma maior percentagem de sulfatos, assim seja dos procedentes da pasta de cimento ou pela incorporação de impurezas como o gesso, o qual pode ser muito prejudicial para o betão. Por este motivo, inclusive nos betões com a mesma permeabilidade, o betão reciclado pode ser mais vulnerável frente ao ataque por sulfatos [15].

2.6.4.5 Penetração de cloretos

Igual ao que acontece com outras propriedades, a maior permeabilidade do betão reciclado implica uma maior penetração de cloretos [74].

O coeficiente de difusão de iões de cloreto é calculado pela profundidade de penetração após um teste de penetração rápida de cloreto. O coeficiente de difusão para betões utilizando cimento de Portland normal que contém agregados reciclados obtêm valores mais altos em todas as idades, enquanto uma diminuição acentuada no coeficiente de difusão verifica-se para betões com 30% de cinzas volantes e betões com 60% de escória de alto forno contendo agregados reciclados. Aos 91 dias, o coeficiente de difusão para betão com 30% de cinza volante e betões com 60% de escória de alto forno contendo agregados reciclados, sofre uma redução significativa. Isto tem uma implicação importante ao avaliar a resistência do betão com agregados reciclados a ataques por cloretos. O aumento da porosidade dos betões reciclados pode produzir uma estrutura mais porosa contra agressões externas por parte dos iões, mas uma substituição com materiais pozolânicos mais finos enchem os espaços vazios, e a sua posterior hidratação (isto é, a hidratação latente) pode bloquear parcialmente a rede porosa. Assim, a mobilidade dos iões cloreto nos betões reciclados poderia ser reduzida para o nível de um betão convencional [77].

2.6.4.6 Reação álcalis-sílica

Esta reação acontece, na presença de água, entre aqueles agregados que contêm sílica amorfa ou parcialmente cristalizada e compostos alcalinos de cimento. Provoca expansões que podem provocar a desagregação do betão.

Nos betões reciclados a reação álcalis-sílica é controlada de igual maneira que num betão convencional só que este controlo apresenta maiores dificuldades devido às diversas origens dos resíduos que chegam à planta de reciclagem. Quando os RCD procedem de um só local o controlo da reação álcalis-sílica não apresenta qualquer inconveniente. Quando são utilizados agregados reativos, às vezes, esta reação só acontece quando o cimento utilizado no novo betão tem um alto conteúdo alcalino.

Nos agregados reciclados, cuja matriz rochosa não seja reativa, pode-se distinguir quatro tipos diferentes de reatividade residual devido à pasta de cimento aderido [78]:

- Agregado reciclado cuja pasta de cimento aderido não contém partículas reativas;
- Agregados reciclados onde a reação álcalis-sílica na pasta de cimento aderido já aconteceu previamente à sua reutilização;
- Agregado reciclado cuja pasta de cimento aderido contém partículas reativas em que a reação álcalis-sílica que se está a produzir, é originária de expansões;
- Agregado reciclado cuja pasta de cimento aderido, apesar de conter partículas reativas, não cria condições para a reação álcalis-sílica por falta de humidade ou de alcalinidade.

2.7 Conclusões do estado da arte

De seguida é feita a compilação das principais conclusões a retirar da análise dos vários estudos consultados:

- A opção de uma demolição seletiva aumenta os níveis de aproveitamento dos materiais passíveis de serem reciclados;
- Ao submeter os escombros de betão a um maior número de processos para ser transformado em agregado reciclado melhora a sua qualidade devido à diminuição que se verifica na quantidade de pasta de cimento aderido;
- A utilização de diferentes mecanismos tem implicações nas granulometrias obtidas, sendo que as trituradoras de impacto são as que permitem obter diâmetros mais

reduzidos o que implica maior quantidade de finos. No caso das trituradoras rotativas e de mandíbulas a quantidade obtida de finos é mais reduzida. Os agregados reciclados grosso apresentam similaridades granulométricas comparado com agregados convencionais, o mesmo já não acontece com os agregados reciclados finos que apresentam granulometria de maior dimensão que os finos convencionais;

- Os agregados reciclados apresentam em geral formas mais rugosas e angulosas o que é prejudicial a nível de trabalhabilidade, isto devido à pasta de cimento aderido;
- A pasta de cimento aderido que faz parte da composição do agregado reciclado é a principal causa do decaimento da qualidade de um agregado convencional para um agregado reciclado, já que esta pasta por ocupar em torno a 50% do agregado reciclado, afeta diretamente o conjunto devido a sua baixa densidade, baixa resistência à fragmentação, elevada absorção, entre outras propriedades;
- A dureza dum agregado reciclado é inferior ao dum agregado convencional já que para além da perda de massa da pedra natural durante o ensaio de Los Angeles, este também perde a totalidade da pasta de cimento aderido que faz parte do agregado reciclado;
- Em geral os agregados reciclados apresentam uma maior quantidade de impurezas que um agregado convencional;
- A análise à regulamentação de vários países mostra que a utilização de agregados reciclados é limitada consoante a sua composição, características (absorção, densidade, quantidade de impureza) e finalidade para o qual vai ser utilizado;
- Para as dosagens de um betão reciclado podem ser utilizados os mesmos métodos que num betão convencional, embora seja necessário alterar relações água/cimento ou incluir aditivos para manter as mesmas consistências ou melhorar algumas características do betão reciclado;
- Relativamente às propriedades do betão reciclado em estado fresco estes apresentam uma maior consistência para relações água/cimento iguais à dos betões convencionais o que dificulta a trabalhabilidade;

- Quanto às propriedades do betão reciclado em estado endurecido constata-se que a resistência à compressão diminui em relação a um betão convencional, sendo que as causas desta diminuição deve-se principalmente a percentagem de substituição de agregado e a quantidade de pasta de cimento aderido existente no agregado;
- O módulo de elasticidade, a retração e a fluência são as características mais afetadas quando é substituído a totalidade do agregado convencional por agregado reciclado;
- No que diz respeito à durabilidade do betão reciclado este ao apresentar maior porosidade, permeabilidade e absorção que um betão convencional implica que os processos de carbonatação serão mais rápidos, sendo que a frente de carbonatação pode variar entre a pasta de cimento nova e o agregado reciclado;
- Os betões reciclados são menos resistentes a ambientes agressivos tendo em conta a resistência aos sulfatos e a penetração de cloretos. As reações álcalis-sílica devem ser controladas da mesma maneira que um betão convencional embora este controlo seja mais difícil num betão reciclado já que este pode ser composto por materiais de diversas origens (uns materiais mais reativos que outros).

3

GESTÃO DE RESÍDUOS DE BETÃO PROCEDENTES DE RCD NA RAM

3.1 Produção

Em Portugal a maior parte dos RCD é enviado para aterro. Segundo L. H. Pereira, 2002 [79], cerca de 76% dos RCD são enviados para aterro, 11% é reutilizado e 4% é incinerado, o que deixa em torno de 9% de RCD que é realmente reciclado. No entanto algumas valiosas iniciativas foram realizadas em diversas localidades, especialmente perto dos centros urbanos [10], o presente é claro: a quantidade de RCD reciclado/reutilizado em Portugal é pequena, comparado com outros países como o Reino Unido – 52%, a Holanda – 92%, a Bélgica – 89%, Áustria – 48%, Dinamarca – 81% [80]. De fato, a quantidade de RCD reciclado/reutilizado em Portugal está longe dos compromissos estabelecidos pela Comunidade Europeia, que indica que pelo menos 70% de todo o RCD produzido deve ser preparado para a sua reutilização e reciclagem para o ano 2020 [81].

Na RAM e considerando um valor de referência de 500 Kg.RCD/per capita.ano, estima-se uma produção de RCD na ordem das 350 ton RCD/dia. A maioria dos RCD tem como destino final a descarga em aterros de obras próprias [82].

3.2 Plantas de tratamento

Ao contrário do que sucede em Portugal continental, na Região Autónoma da Madeira não existem plantas de produção de agregados reciclados, embora alguns operadores licenciados na região façam um trabalho preparatório, fragmentando os resíduos de betão armado para remover as armaduras e afirmam que os materiais que obtêm após triagem são passíveis de sofrer operações de reciclagem (fragmentação, britagem) e serem reutilizados em obra.

3.3 Modo de gestão

A gestão de RCD realiza-se de acordo com o regime geral da gestão dos resíduos, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, bem como pela legislação específica referente aos fluxos especiais frequentemente contidos nos RCD.

No entanto, a aplicabilidade do Decreto – Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, teve algumas dificuldades quanto às soluções técnicas de valorização de RCD, incluindo ao nível da triagem, e aos locais apropriados e disponíveis para a instalação de unidades de deposição final destes resíduos, que se pretendia que viessem, no futuro, a ser limitadas aos resíduos não passíveis de valorização.

Cria-se então um regime jurídico próprio, o decreto-lei 46/2008, de 12 de Março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho, que estabelece o regime das operações de gestão de resíduos resultantes de obras ou demolições de edificações ou de derrocadas, abreviadamente designados ‘resíduos de construção e demolição’ ou ‘RCD’, compreendendo a sua prevenção e reutilização e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, tratamento, valorização e eliminação (Anexo IV).

Quanto à gestão de RCD em obras públicas, esta caracteriza-se pela introdução na fase de projeto de um plano de prevenção de resíduos, o qual acompanha o projeto de execução e assegura o cumprimento dos princípios de gestão de RCD. O plano de prevenção deve conter:

- Os métodos de acondicionamento e triagem de RCD seja em obra ou noutra local;

- A descrição dos métodos construtivos, a metodologia de incorporação de reciclados de RCD, a metodologia de prevenção de RCD realizando estimativas que indiquem a quantidade de material que pode ser reutilizado em obra ou noutra local;
- Por último deve ser feita a estimativa de RCD a produzir independentemente do destino final (reciclagem, valorização, eliminação).

A figura 13 representa uma guia de procedimentos burocráticos relacionados com a gestão de RCD em obras públicas, onde se observa que tanto o processo de triagem como o processo de adequação/fragmentação em obra apenas precisa de respeitar requisitos mínimos para efetuar o procedimento (Anexo IV – IV.II.IV - Triagem e Fragmentação de RCD). Para além dos requisitos mínimos ficam sujeitos a licenciamento os processos de triagem e adequação/fragmentação sempre que estas operações sejam realizadas em outra zona fora do local da obra (Anexo IV – IV.VI - Licenciamento de operações de RCD).

Sempre que seja necessário transportar (Anexo IV – IV.V - Transporte) o resíduo para outro local, é obrigatória a utilização das guias de acompanhamento de RCD cujo modelo pode ser consultado no Anexo III. No caso em que o destinatário dos resíduos não seja um operador licenciado este deve fornecer ao produtor/detentor dos resíduos uma cópia da guia num prazo máximo de 30 dias, sendo que para um mesmo prazo e caso os resíduos tenham como destino um operador licenciado estes devem fornecer um certificado de receção (Anexo IV – IV.VIII - Certificado de receção dos RCD).

Quando o processo de triagem não é possível ser feito no local da obra, este deve seguir para local afeto a obra ou operador licenciado estando estes submetidos a processos de licenciamento por parte das autoridades competentes (Anexo IV – IV.VI - Licenciamento de operações de RCD). O armazenamento de resíduos perigosos só pode permanecer no local da obra até 3 meses em locais devidamente acondicionados (figura 14), sendo que os resíduos não perigosos podem permanecer durante todo o período da realização da obra, no entanto é recomendado que estes permaneçam o mínimo tempo possível em obra.

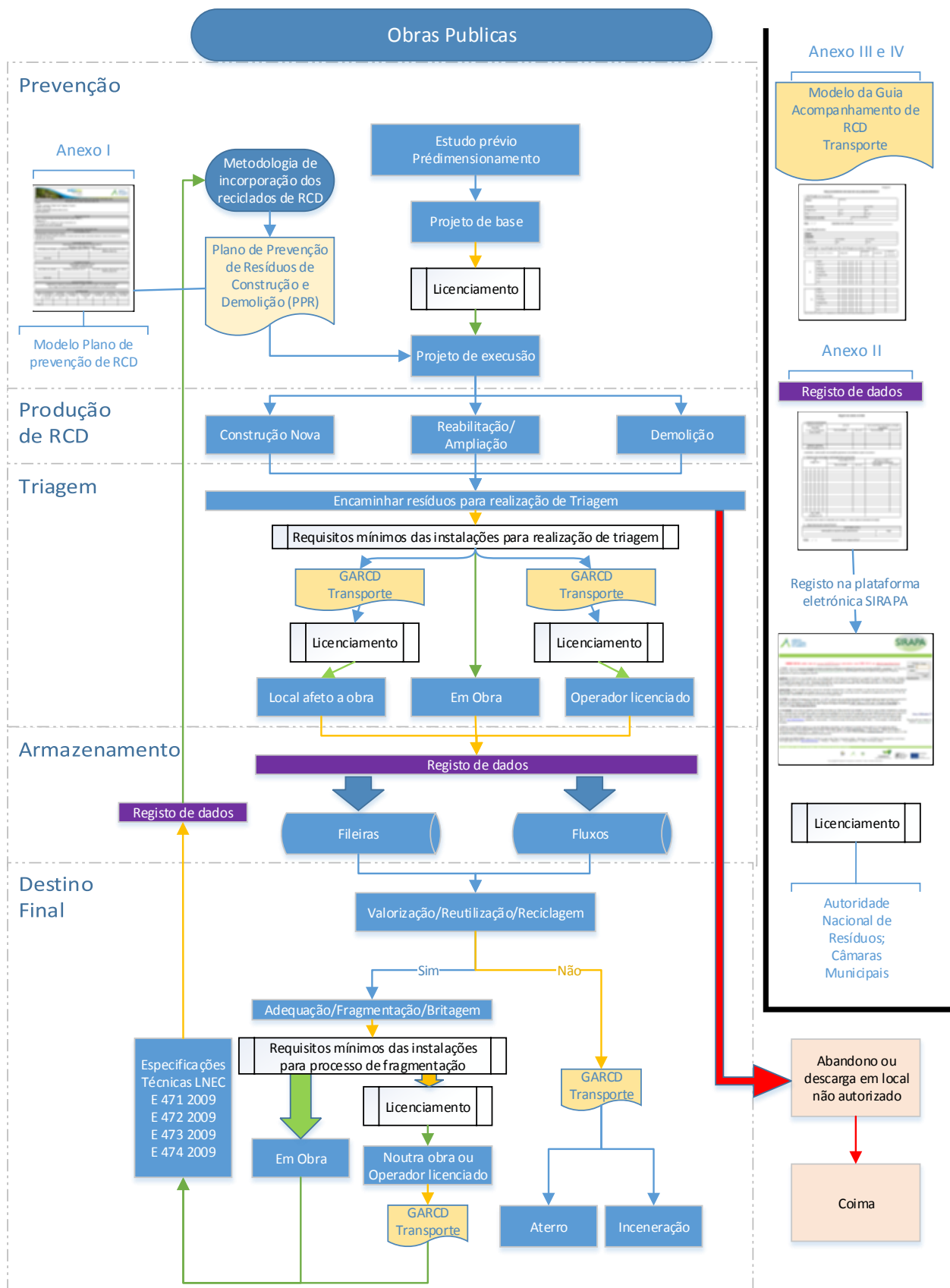


Figura 13 - Fluxograma das etapas de gestão de RCD em obras públicas.



Figura 14 - Armazenamento de resíduos [83].

No que diz respeito as obras privadas não é obrigatória a realização do plano de prevenção de RCD para acompanhar o projeto de execução, embora deva passar por processos semelhantes aos realizados no âmbito das obras públicas a nível de transporte, triagem, armazenamento, registo de dados (figura 15), cabe ao produtor promover a reutilização/reciclagem de RCD em obra.

As obras particulares sujeita a licenciamento ou comunicação prévia estão ainda obrigados a efetuar e manter, conjuntamente com o livro de obra, o registo de dados de RCD, de acordo com o modelo constante do anexo II ou ainda preenchendo estes dados na plataforma *online* SIRAPA disponibilizada pela agência portuguesa do ambiente (Anexo II pág. 109).

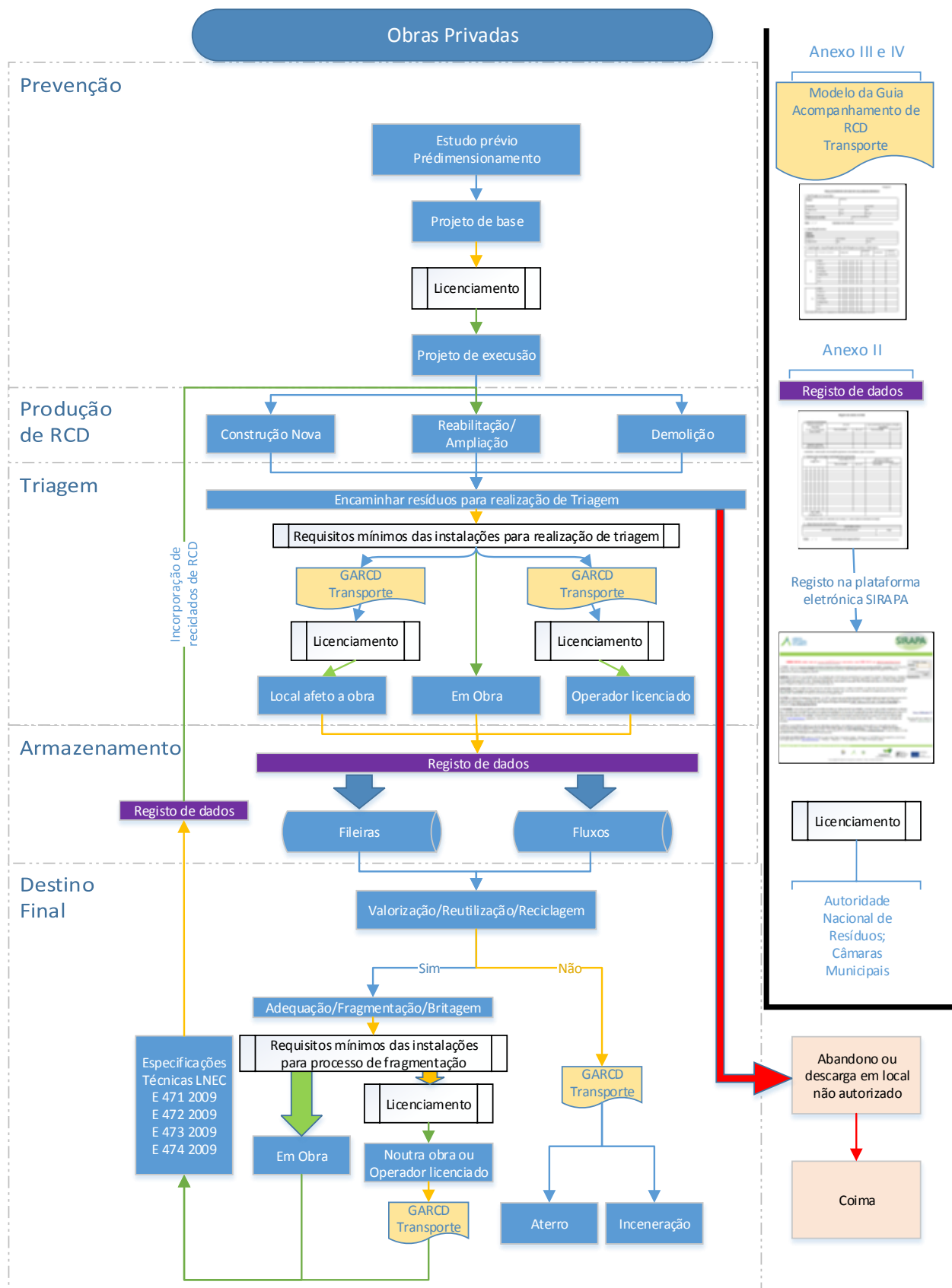


Figura 15 - Fluxograma das etapas de gestão de RCD em obras privadas.

3.4 Descrição dos resíduos ou produtos finais

Os resíduos gerados são na maioria dos casos misturas de inertes que podem sofrer operações de reciclagem e serem reutilizados como bases e sub bases na própria obra e os restantes poderão vir a ser transformados em tout-venant ou britas. Para tal é necessário que as empresas invistam em plantas de produção móveis para o seu próprio proveito já que estas são fáceis de transportar a outro local embora com baixas taxas de produção, ou plantas de produção fixas de modo a disponibilizar a compra deste produto a outras empresas.

3.5 Caracterização do sector da construção civil na RAM.

O sector da construção na RAM tem sido muito afetado pela situação financeira que atualmente vivemos, a qual leva à queda do volume de obras, perda de inúmeros postos de trabalho levando a insolvência de muitas empresas ligadas a este sector. Esta situação é corroborada pela análise de obras concluídas e licenciadas ao longo dos últimos anos na Região, registando as maiores quedas entre os anos de 2006 a 2009 (figura 16).

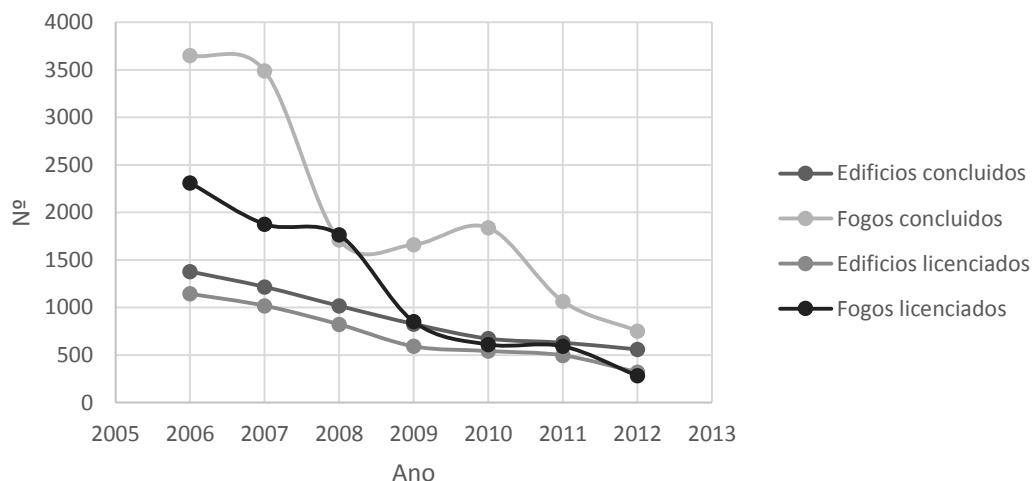


Figura 16 - Edifícios e fogos licenciados e concluídos 2006 a 2012 na RAM [84].

No que diz respeito às empresas detentoras de alvará de construção, em 2013 existiam 433 empresas sediadas na RAM [85], estando a maioria das empresas localizadas nos concelhos do Funchal (36%) e Camara de Lobos (16%), sendo que 91% das empresas estavam sediadas no sul da Ilha da Madeira (figura 17).

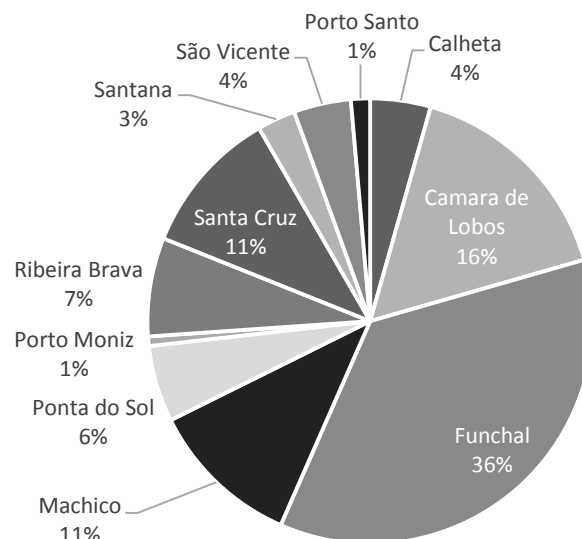


Figura 17 – Percentagem de empresas detentoras de alvarás de construção por Concelho na RAM.

Relativamente à idade das empresas de construção, verificou-se que 48% das empresas têm menos de 6 anos de atividade, e 93% menos de 20 anos.

Quanto à classe de alvará de construção, é de salientar que mais de metade das empresas de construção caracterizam-se por possuir apenas alvará classe 1 (52%), e que menos de 5% das empresas têm classe de alvará igual ou superior a 6 (4%) (figura 18).

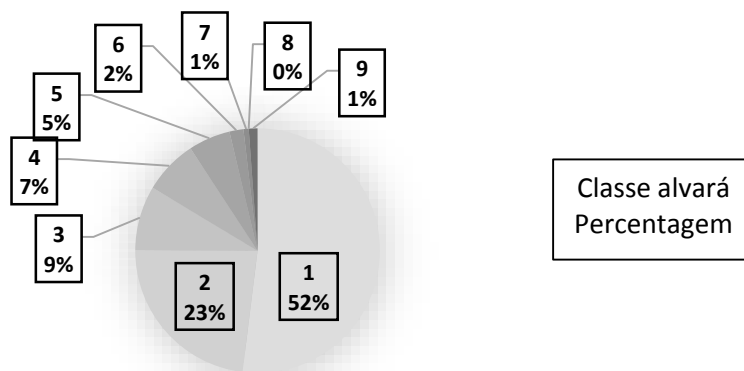


Figura 18 - Percentagem de Empresas por classe de alvará ativo na RAM.

3.6 Inquérito às empresas de construção da RAM

Os inquéritos são utilizados como uma ferramenta muito útil para obter informação em primeira mão do que acontece numa determinada área científica através de um questionário bem planeado que recolhe dados com um bom nível de confiança.

A metodologia do inquérito fornece dados que depois podem ser estatisticamente tratados de forma a garantir o propósito do mesmo.

Neste estudo, o preenchimento do inquérito foi realizado em plataforma *online* com assistência ao inquirido caso surgisse alguma dúvida ou informação adicional que servisse de complemento a resposta dada.

O inquérito foi elaborado de forma a garantir os seguintes pontos:

- Eficiência – O correio eletrónico (email) é a ferramenta mais eficiente usado pelas partes interessadas numa empresa de construção. O inquérito foi encaminhado para uma base de dados onde são compilados todos os inquéritos e realizada a análise estatística;
- Confidencialidade – É necessário garantir em todo momento que o bom nome da empresa e da pessoa que a representa não sejam postos em causa, sendo que não existiam estes campos no inquérito para serem preenchidos;
- Tamanho do inquérito – Um inquérito *online* permite a entidade inquirida tomar o seu tempo para responder como também rever ou corrigir as questões que lhe suscitem mais dúvidas. Por outro lado um inquérito feito de maneira tradicional no momento de entrevistar uma pessoa que não pode manter uma chamada de longa duração ou que não tem disponibilidade para estar presente numa entrevista pessoal, pode tornar o processo um pouco entediante.

3.6.1 Metodologia

As etapas que fizeram parte deste estudo resumem-se na tabela 24, a qual indica os passos que foram realizados na elaboração deste inquérito.

Tabela 24 - Metodologia e passos a seguir para a realização do inquérito aos produtores de RCD.

Etapas	Passos a seguir
Elaboração do inquérito	➤ Formulação das questões.
Seleção da amostra	➤ Compilação de todas as empresas de construção sediadas na RAM; ➤ Escolha da amostra a inquirir.
Recolha de dados	➤ Solicitação da colaboração e marcação da entrevista. ➤ Entrevista/inquérito às empresas;
Tratamento e análise de dados	➤ Análise dos resultados; ➤ Conclusões.

3.6.1.1 Inquérito

O inquérito, com o título “Inquérito a Produtores de RCD”, foi dividido nas seguintes secções:

- Caracterização da empresa;
- Gestão dos RCD produzidos;
- Destino dos RCD produzido;
- Redução, reutilização e reciclagem;
- Custos associados;
- Materiais de construção com RCD reciclados;
- Betão com agregados reciclados.

Este inquérito teve como objetivo:

- Saber o estado de conhecimento das empresas acerca da utilização dos RCD como material de construção, em especial os resíduos de betão;

- Caracterizar as empresas de construção a nível da dimensão da empresa e os conhecimentos da mesma acerca do modelo de gestão atualmente em vigor sobre RCD (planos de prevenção, registo de dados, transporte, etc);
- Qualificar as práticas de redução, reutilização e reciclagem seguidas pelas empresas;
- Saber as opiniões das empresas acerca dos custos que têm com a gestão dos RCD bem como os níveis de confiança no que diz respeito a materiais procedentes de RCD.

3.6.1.2 *Amostra*

O universo de todas as empresas com alvará de construção ativo na RAM foi obtido da base de dados do Instituto da Construção e do Imobiliário [85] (figura 19), entidade que regula esse sector.

3.6.1.3 *Dimensão da amostra*

Tendo em conta o universo de empresas existentes, a dimensão da amostra a inquirir foi determinada de acordo com os seguintes critérios:

- Abranger a totalidade das empresas de classe de alvará igual ou superior a 5, já que estas em teoria representam um maior volume de obras;
- Atingir pelo menos uma amostra inquirida de 10% das empresas de cada concelho, entrevistando pelo menos uma empresa nos concelhos em que a representatividade escolhida não atinge um valor inteiro, chegando assim a uma meta de pelo menos 47 empresas a inquirir.

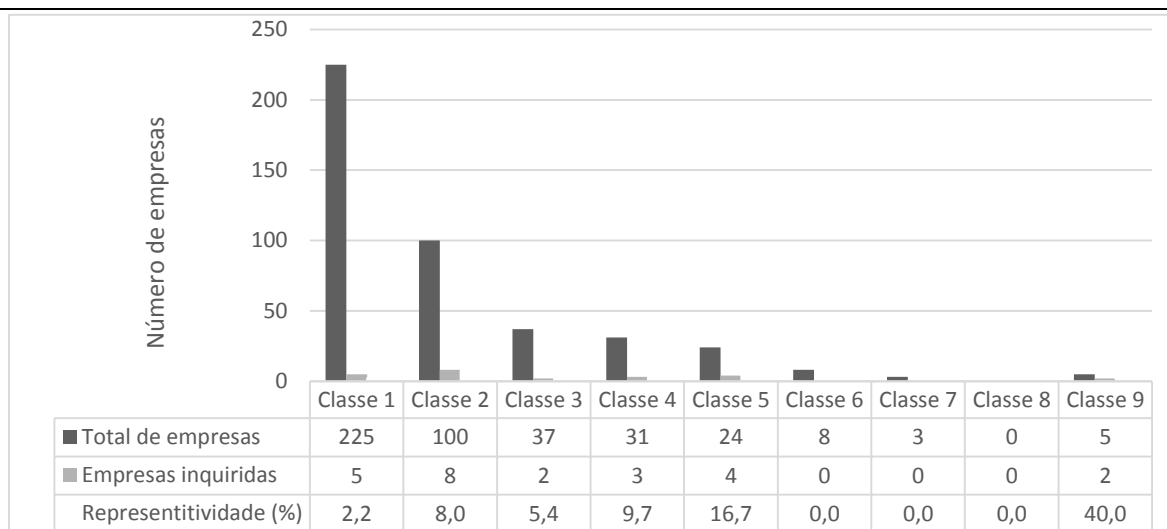
3.6.1.4 *Recolha de dados*

A escolha das empresas a inquirir teve como principal critério a facilidade de contacto, ou seja, foi dada prioridade de contacto as empresas em que havia um representante conhecido,

critério que foi essencial para a obtenção das entrevistas já que a maioria das empresas se mostravam relutantes quando não conheciam o inquiridor. Foram então realizados contactos telefónicos as empresas explicando o objetivo do estudo, e solicitando a marcação para a realização da entrevista para a resposta ao inquérito.

Pode-se considerar que em termos gerais as empresas inquiridas tiveram uma boa aceitação do questionário que lhes foi apresentado. A maioria das empresas contactadas não quiseram colaborar com este estudo, em parte dos casos devido a que as empresas se encontravam envolvidas em processos de insolvência e na maioria dos casos não de maneira direta mas através de sucessivos adiamentos, o que levou a não atingir o mínimo de respostas pretendidas.

Na figura 19 pode-se analisar a representatividade das empresas inquiridas por classe de alvará em relação ao total de empresas existentes na RAM. Das 433 empresas ligadas ao sector da construção foram inquiridas um total de 24 empresas, sendo que as classes mais representativas são a classe 5 e 9, das classes 6, 7 e 8 não foi inquirida nenhuma empresa, sendo que das inquiridas a classe 1 é a que tem uma amostra menos representativa.



Conselho	Calheta	Camara de Lobos	Funchal	Machico	Ponta do Sol	Porto Moniz	Ribeira Brava	Santa Cruz	Santana	São Vicente	Porto Santo
Empresas inquiridas	1	4	6	3	1	0	2	6	1	0	0

Figura 19 – Representatividade das empresas inquiridas por classe de alvará e localização da sede.

3.6.2 Resultados

3.6.2.1 As empresas.

Na figura 19 verifica-se o número de empresas em relação à localização das suas sedes. A maior parte das empresas inquiridas encontram-se sediadas nos concelhos do Funchal e Santa Cruz, os quais contribuem com 50% das empresas que responderam ao inquérito.

Número de trabalhadores das empresas inquiridas

Em relação ao número de trabalhadores associados às empresas inquiridas, podemos observar na tabela 25 que mais de 50% das empresas inquiridas empregam menos de 10 trabalhadores, isto deve-se a que a maioria das empresas inquiridas são de classe 1 e 2 que de certo modo indica um menor volume de negócios destas empresas, o que implica uma menor capacidade de contratação de colaboradores.

Tabela 25 - Empresas inquiridas por número de trabalhadores.

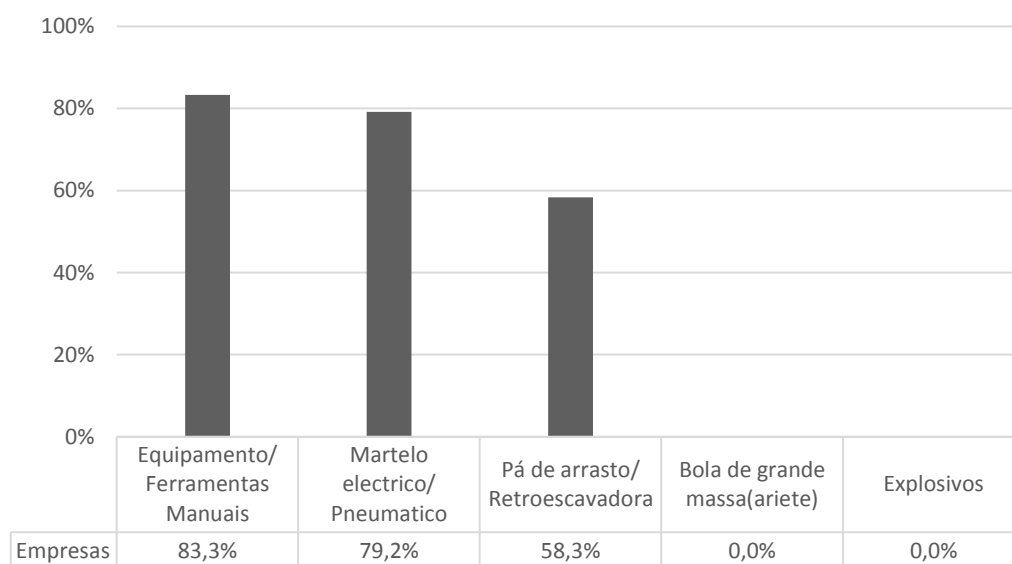
Número de trabalhadores?	< 10	10 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100	> 100
Empresas inquiridas	14	3	2	1	0	4

Tipo de obras realizadas

Quanto ao tipo de obras realizadas a maior parte das obras realizadas pelas empresas inquiridas correspondem a construção nova (59%). É de salientar no que diz respeito ao aproveitamento dos RCD, os tipos de obras que contribuem mais para a produção deste resíduo corresponde a 36% das obras realizadas (Demolição + Reabilitação/Ampliação) pelas empresas inquiridas, o que representa uma boa base de mercado para a rentabilização de produtos procedentes de RCD. Geralmente as grandes empresas encarregam-se da construção nova, deixando para as empresas pequenas as reabilitações/ampliações e demolições.

Método de demolição

A maioria das empresas refere que utiliza como técnicas de demolição global, a seletiva (58%), embora mais moroso que uma demolição tradicional este procedimento, permite maximizar o aproveitamento de resíduos passíveis de serem reutilizados ou reciclados. Dos diferentes meios de demolição existentes, os equipamentos manuais são os mais utilizados, sendo que a recorrência a explosivos e bola de grande massa nas empresas inquiridas não é uma opção para a execução dos trabalhos (figura 20). Há que ter em atenção que para a demolição seletiva devem ser utilizados os meios de demolição que proporcionem a menor mistura de materiais possível.



Nota: pergunta de múltipla escolha

Figura 20 - Meios utilizados para demolições por parte das empresas inquiridas.

Interlocutor representante da empresa

No caso das empresas maiores à hora do pedido do preenchimento do inquérito fui encaminhado na maioria das vezes para o responsável pela higiene e segurança no trabalho. No caso das empresas de menor volume de obras o interlocutor tratava-se ou do dono da empresa ou do encarregado da gestão dos resíduos na empresa.

A difícil situação pela que passa o sector da construção civil em Portugal e na RAM implica um menor investimento no desenvolvimento tecnológico que obriga as empresas a utilizar os produtos que embora possam ser mais caros, lhes dão mais confiança em detrimento de produtos reciclados. A grande maioria das empresas de construção (75%) possuem classe de alvará 1 ou 2, empresas que em princípio não contemplam na sua organização, fundos de formação. Tomar medidas que promovam ações de formação que instruem as empresas do modo correto de gestão de RCD em obra seria de grande interesse por parte das instituições públicas para assim atingir os objetivos mínimos delimitados pela comunidade europeia. Também a certificação (marcação CE) de materiais obtidos da reciclagem de RCD, seria um grande avanço para a promoção destes materiais.

3.6.2.2 *Gestão dos RCD produzidos*

Responsabilidade

Quanto a responsabilidade 88% das empresas inquiridas indicam que o empreiteiro geral é quem detém a responsabilidade da gestão de resíduos em obra. Duas empresas (8%) de classe de alvará 1 indicaram que o responsável era o dono de obra, as quais indicam esta resposta para o caso de obras particulares. De acordo com a lei a responsabilidade da gestão dos RCD é de todos os intervenientes no seu ciclo de vida, desde o produto original até ao resíduo produzido, na medida da respetiva intervenção no mesmo.

Plano de prevenção e gestão de RCD em obras públicas

Quando questionados se já elaboraram planos de prevenção e gestão de RCD no caso de obras públicas, 67% das empresas inquiridas mencionam que nunca elaboraram um plano deste género, sendo que 29% das empresas respondem que já o fizeram, as quais correspondem a empresas com classe de alvará superior a 4. De acordo com a lei o projetista é o encarregado da elaboração do PPGRCD, Incumbe ao empreiteiro ou ao concessionário a execução de dito plano.

Registo de dados

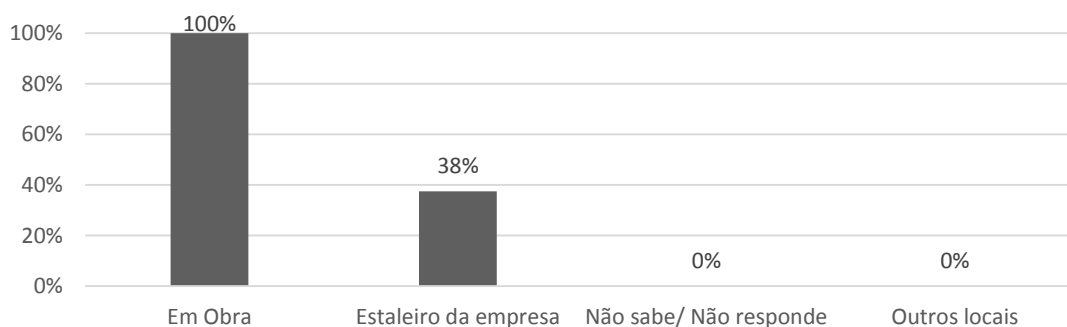
No que diz respeito ao registo de dados, 58% das empresas inquiridas efetuam o registo de dados de RCD, este registo que nos últimos anos tornou-se mais simples para as empresas já que através da plataforma *online* SIRAPA (Anexo II) disponibilizada pela Agência Portuguesa do Ambiente, é possível não só fazer o registo de RCD produzidos como também a consulta de todos os processos registados na mesma. Por outro lado algumas empresas inquiridas (38%) indicam que não efetuam o registo de dados, esta elevada taxa pode dever-se a que nem todas as obras particulares estão sujeitas a licenciamento ou comunicação prévia, estas que normalmente são realizadas por empresas com baixa classe de alvará.

Estimativas de produção de RCD

Quanto a estimativas de produção de RCD, 33% das empresas inquiridas referem que já realizaram estimativas, sendo que todas elas recorreram a indicadores para a realização das mesmas. Das empresas inquiridas que nunca realizaram estimativas (63%) de produção, 58% não tem conhecimento do que são indicadores de produção de RCD.

Triagem

A grande maioria das empresas inquiridas refere que só efetuam alguma triagem, sendo que apenas uma empresa indica que não realiza triagem o que vai contra a legislação. As empresas referem que a triagem efetua-se em obra, sendo que para além da triagem em obra 38% das empresas inquiridas também realizam triagem em estaleiro próprio da empresa (figura 21). Só é permitida a deposição de RCD após a triagem.

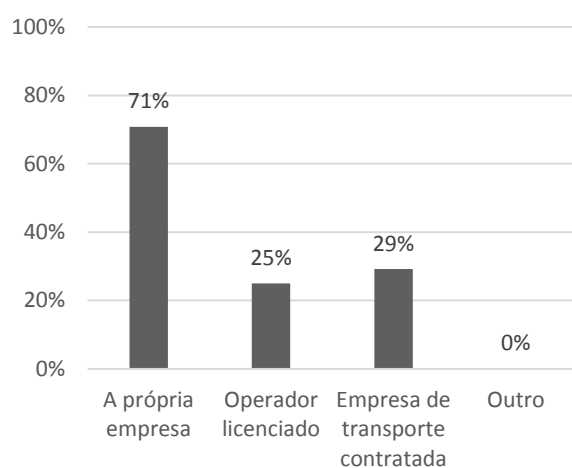


Nota: pergunta de multipla escolha

Figura 21 - Local onde realiza a triagem.

Transporte

Relativamente a responsabilidade pelo transporte de RCD na figura 22 verifica-se que a maioria das empresas inquiridas refere que a própria (71%) é a responsável pelo transporte dos resíduos, embora também utilizem outras opções como um operador licenciado ou uma empresa de transporte contratada quando se trata de algum tipo de resíduo específico. Ainda neste contexto 13% das empresas (figura 23) referem que não utilizam as guias de acompanhamento de RCD, o que é punível por lei já que qualquer transporte de RCD deve ser devidamente acompanhado pela guia de transporte (Anexos III). Na generalidade das empresas o transporte dos resíduos é efetuado quando se atinge um determinado valor acumulado de forma a otimizar o transporte dos mesmos.



Nota: pergunta de multipla escolha

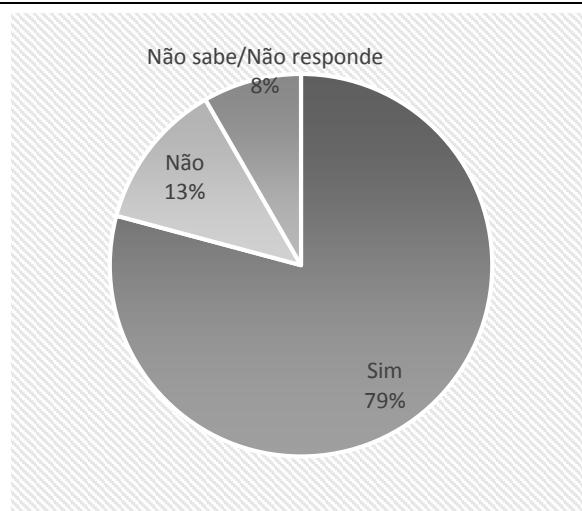


Figura 22 - Responsabilidade do transporte de RCD não valorizado.

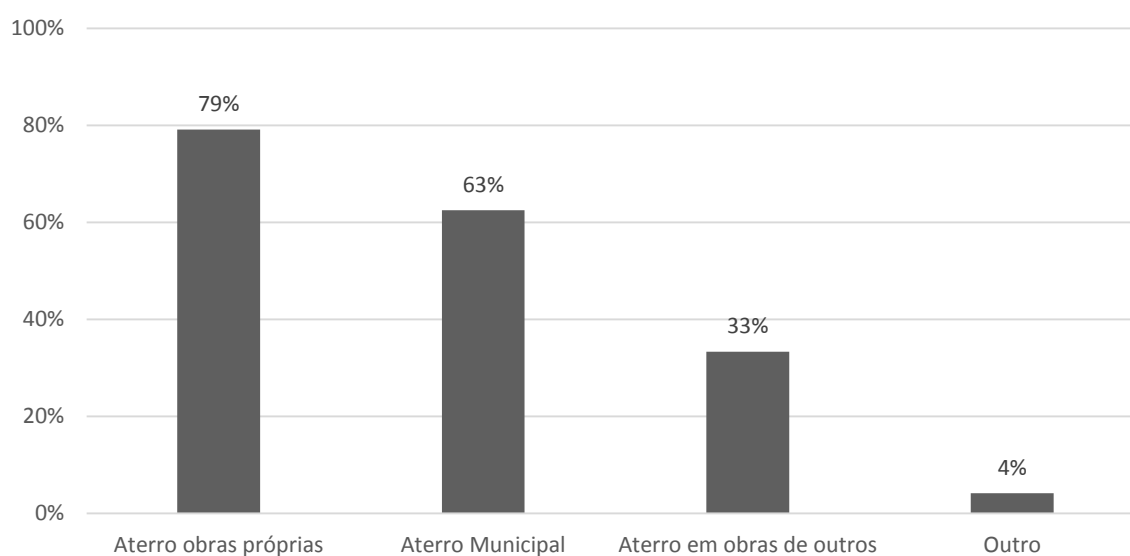
Figura 23 - A empresa utiliza guias de acompanhamento de RCD?

3.6.2.3 Destino dos RCD produzidos

Resíduos “inertes” (betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos) produzidos

No que diz respeito a triagem de misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos que correspondem ao capítulo 17 01 07 da lista europeia de resíduos (LER), 67% das empresas inquiridas afirmaram que efetuam a triagem destes materiais e os reutilizam em obra.

Quanto ao destino final dos RCD não valorizados, as empresas inquiridas optam mais pelo aterro em obras próprias (79%), sendo que na maioria dos casos (63%) esta opção é escolhida junto com os destinos aterro municipal e aterro em obras de outros. A resposta mais interessante surgiu de uma empresa de classe de alvará 2 a qual referiu que o destino final dos RCD de misturas de betão (LER 17 01 01 e LER 17 01 07) são encaminhados para uma fábrica de blocos, isto deixa em aberto a realização de futuros estudos já que realizando ensaios pode ser verificada a viabilidade destes produtos reduzindo a falta de conhecimento por parte das empresas e aumentando os níveis de confiança na utilização destes materiais (figura 24).



Nota: pergunta de múltipla escolha

Figura 24 - Destino final de resíduos (LER 17 01 07) não valorizados.

RCD de betão

Na figura 25 verifica-se que 29% das empresas inquiridas refere que é feita a separação do resíduo betão (LER 17 01 01), utilizando na maioria das vezes este resíduo em enchimentos quando reutilizado/reciclado, na maioria dos casos as empresas ficaram satisfeitas com a aplicação deste material. É de salientar que nenhuma das empresas utiliza betão reciclado como solução estrutural.

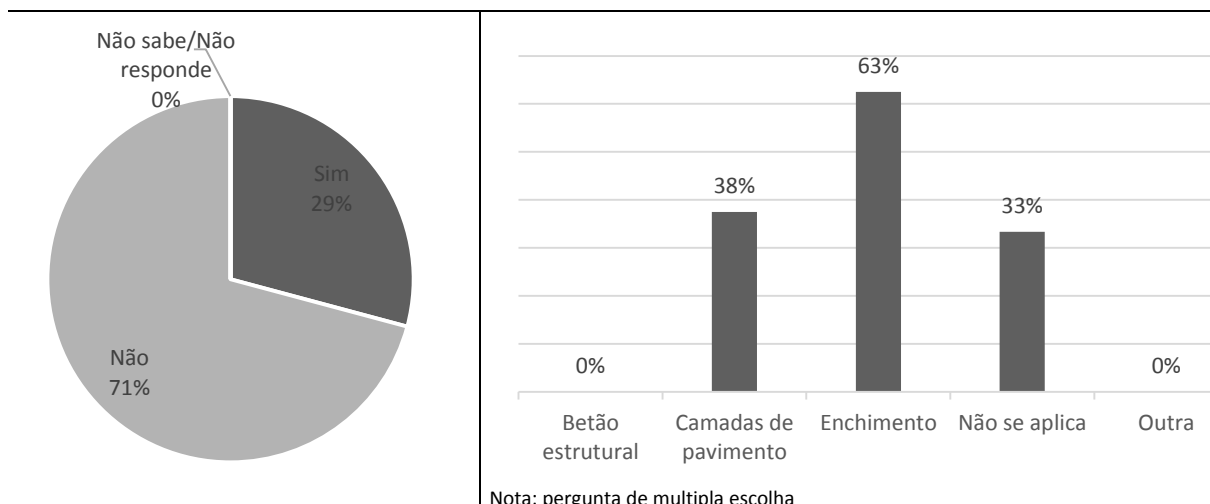


Figura 25 - Percentagem de resposta à pergunta: "É feita a separação apenas do RCD betão (LER 17 01 01) para depois reutilizar/reciclar?".

Figura 26 - Principal aplicação do RCD betão (LER 17 01 01).

Esta secção do inquérito reforça a ideia do pouco aproveitamento dos RCD como material de construção por parte das empresas da RAM, principalmente os resíduos de betão. Para inverter esta situação a criação de leis que promovam benefícios fiscais, taxas de aterro e políticas verdes, incentivariam a utilização de betão reciclado a grande escala pelos utilizadores.

3.6.2.4 Redução, Reutilização e Reciclagem

Quando questionadas acerca das práticas de redução, a maioria das empresas inquiridas reivindicam que atingem um nível médio (71%) de redução, sendo que nenhuma das empresas indica um nível elevado como se pode verificar na figura 27. As práticas de redução em causa não tem uma relação direta com a redução da geração de resíduos mas sim com a redução de custos de aquisição de produtos de modo a tornar eficiente a utilização dos materiais evitando o desperdício.

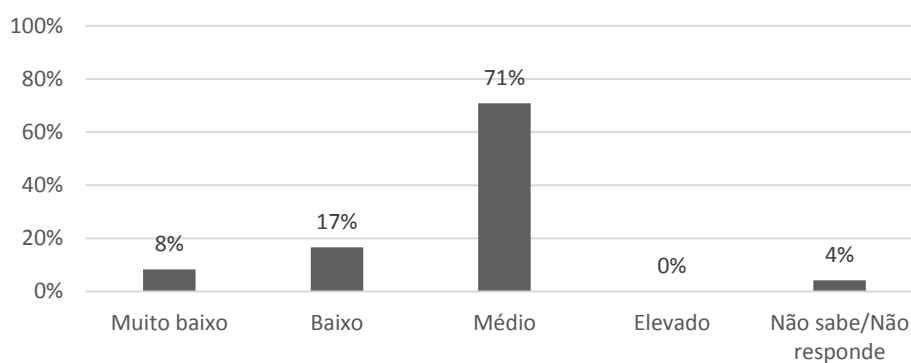


Figura 27 - Nível de práticas de Redução nas empresas inquiridas.

No que diz respeito às práticas de reutilização a figura 28 revela que uma boa parte das empresas inquiridas referem que têm um nível médio (46%), sendo que 21% das empresas dizem que atingem valores elevados de reutilização. As principais práticas de reutilização referidas pelas empresas inquiridas incidem na reutilização de madeiras para cofragens, entulho para enchimento de aterros, solos e rochas para enchimento de aterro e construção de muros.

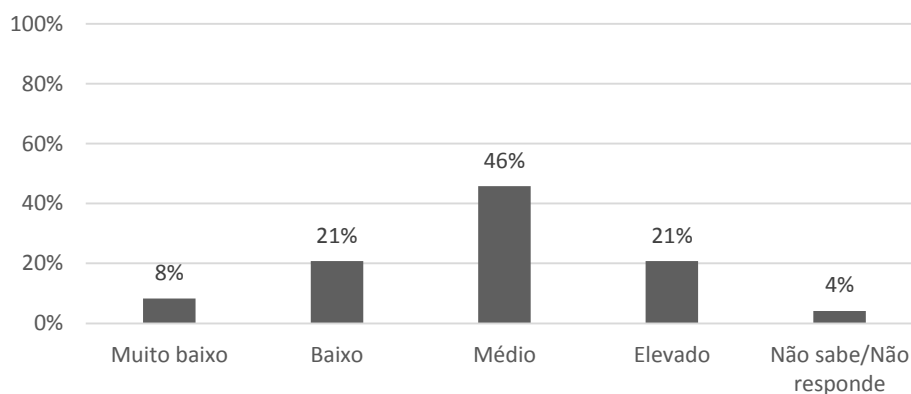


Figura 28 – Nível da prática de Reutilização nas empresas inquiridas.

Já a nível da reciclagem a figura 29 revela que a maioria das empresas inquiridas apresentam níveis baixos (46%) a muito muito baixos (8%), sendo que 42% das mesmas considera estar a um nível médio de reciclagem. As principais práticas de reciclagem referidas pelas empresas resumem-se à reciclagem de rochas procedentes de escavações as quais são submetidas a britagem para serem utilizadas como agregados.

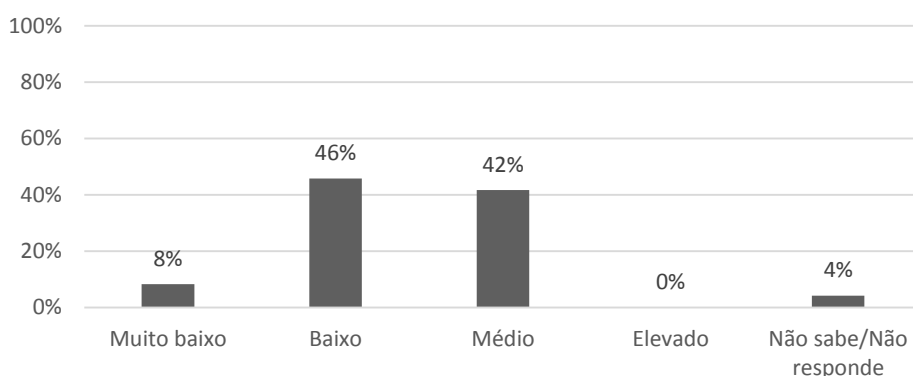


Figura 29 - Nível da prática de Reciclagem nas empresas inquiridas.

A legislação referente a redução, reciclagem e reutilização, ainda peca por escassa. As empresas evidenciam níveis baixos de reciclagem. A aplicação de limites mínimos de reciclagem elevariam os níveis de aproveitamento de RCD e proporcionaria um mercado estável para as empresas gestoras destes resíduos, nesse sentido uma empresa ao ter disponíveis produtos ecológicos ou que reutiliza os seus próprios resíduos, fomentaria a procura deste material dado o aumento da preocupação ambiental por parte da sociedade, isto partindo do princípio que estes materiais possuem preços competitivos.

3.6.2.5 Custos associados

Das empresas inquiridas 33% refere que não faz qualquer contabilização de custos associados à gestão de RCD, sendo que a maioria menciona que faz alguma contabilização (59%) destacando-se as empresas de maior envergadura (classe 9), as quais fazem total contabilização de custos. Quando questionadas sobre a dimensão dos custos associados a gestão de RCD, 71% das empresas consideram ter um gasto médio. Nenhuma das empresas revelou qualquer informação acerca de valores gastos com a gestão de RCD com a exceção de uma, a qual revelou que os gastos da empresa rondavam valores na ordem dos 2% a 4% do valor da obra.

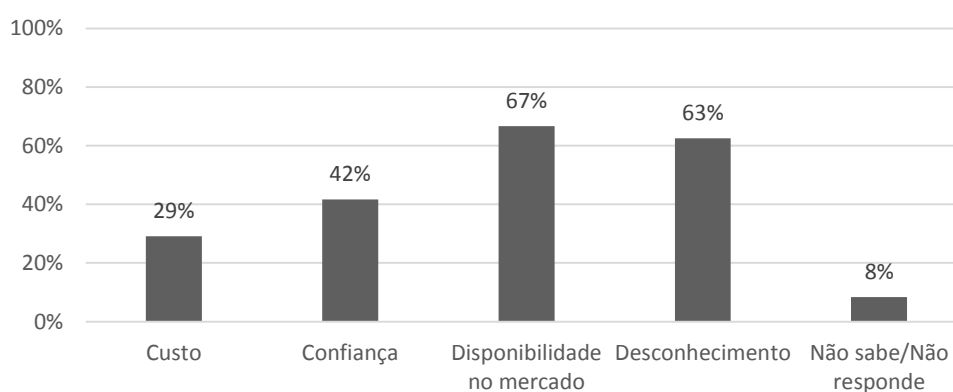
3.6.2.6 Materiais de construção com RCD reciclados

Especificações LNEC para a utilização de RCD

Em relação às guias elaboradas pelo LNEC já referenciadas neste trabalho, 67% das empresas dizem não ter conhecimento destas guias de utilização de RCD. Esta falta de conhecimento é generalizada independentemente da classe de alvará das empresas inquiridas.

Para concluir o inquérito foram colocadas questões sobre a utilização de RCD constituídos por betão quer seja em mistura com outros materiais (materiais cerâmicos, ladrilhos, tijolos) quer seja apenas constituídos só por betão, de modo a definir quais as principais razões que levam a não utilização deste tipo de material.

Em relação às misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos (LER 17 01 07), foi referido anteriormente que a maioria das empresas reutiliza estes materiais. A análise a figura 30 revela que os principais impedimentos à utilização desta mistura de materiais procedentes de RCD são: a disponibilidade no mercado e o desconhecimento das utilidades deste material.



Nota: pergunta de multipla escolha

Figura 30 - Principais impedimentos a utilização de materiais de construção com incorporação de RCD.

Uma pergunta mais específica evidência que a maioria das empresas inquiridas (54%) têm confiança na utilização destes materiais embora uma importante parte não responde à questão em consequência do analisado na figura 30. Sendo a disponibilidade no mercado o

principal impedimento à utilização deste material, a grande maioria das empresas inquiridas (88%) refere que caso estes materiais estivessem disponíveis, o custo de aquisição/produção do mesmo seria um fator chave na decisão de escolha deste material em detrimento de um convencional.

A maioria das empresas inquiridas (92%) fazem referência a que se existissem estudos que comprovassem a viabilidade da utilização destes materiais aumentaria a confiança na utilização destes e estariam recetivos a adotar estes materiais caso existissem no mercado.

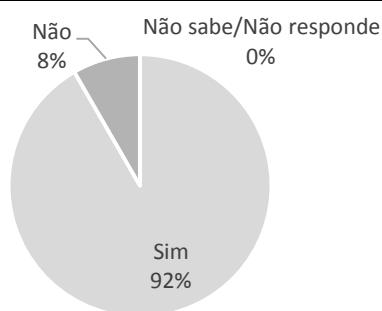
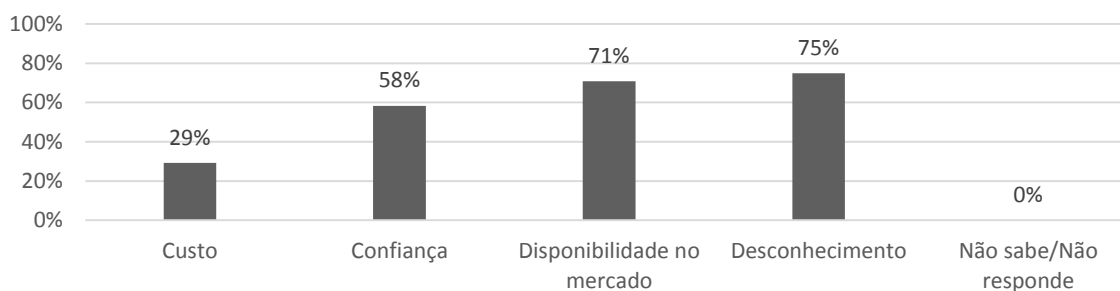


Figura 31 - Percentagem de resposta à pergunta: " Considera que se estudos comprovassem a adequabilidade destes materiais aumentaria a sua confiança na sua utilização?".

Betão com agregados reciclados

Quanto a utilização do material betão (LER 17 01 01) procedente de RCD como agregado para a confeção de betão reciclado, as dúvidas sobre este são substanciais, já que as empresas inquiridas indicam que o principal motivo pela sua não utilização, é o desconhecimento (75%) da utilização deste material como agregado reciclado e ainda a disponibilidade no mercado (figura 32).



Nota: pergunta de multipla escolha

Figura 32 - Principais impedimentos a utilização de agregados reciclados na confeção de betão.

A confiança na utilização deste material por parte das empresas fica afetada pelo desconhecimento já que apenas 42% das empresas inquiridas admitem ter confiança na utilização deste material (figura 33). A esmagadora maioria das empresas (92%) refere que o custo de aquisição/produção dos agregados reciclados também seria um fator relevante à hora de optar por este produto em vez de materiais convencionais (figura 34).

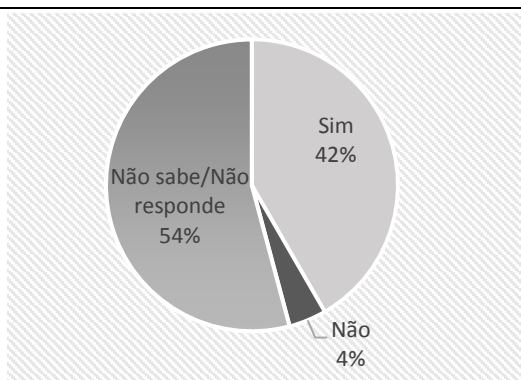


Figura 33 - Percentagem de resposta à pergunta: "Tem confiança na utilização de betão com agregados reciclados?".

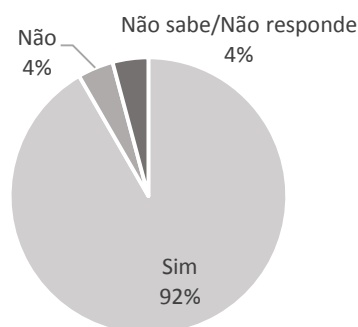


Figura 34 - Percentagem de resposta à pergunta: "O custo de aquisição/produção de betão com agregados reciclados influenciaria a sua decisão sobre a utilização deste material?".

Mais uma vez quase a totalidade das empresas inquiridas (96%) referem que tanto a existência como a divulgação de estudos que comprovem a adequabilidade dos agregados reciclados traria confiança e aumentaria a utilização de betão reciclado (figura 35), para além disso as empresas admitem que estariam recetivas à utilização deste material caso estivesse disponível no mercado.



Figura 35 - Percentagem de resposta à pergunta: "Considera que aumentaria a utilização de betão reciclado se estudos comprovassem a adequabilidade dos agregados reciclados?".

A análise a esta última secção do inquérito reforça a ideia de que a divulgação das potencialidades dos materiais procedentes de RCD, acompanhado de estudos que comprovem a sua viabilidade é de extrema importância para o aumento dos níveis de confiança na utilização destes materiais.

4

CONCLUSÃO

4.1 Considerações finais

Em Portugal, embora passados 5 anos da publicação do Decreto-Lei N. 46/2008 de 12 de Março a qual ratifica de forma efetiva a gestão de RCD, continua-se a abordar a reciclagem ou reutilização de RCD como um tema recente. Enquanto não houver legislação que crie limites mínimos de reciclagem de RCD e os planos de prevenção de resíduos não abrangerem também as obras particulares, será difícil atingir os níveis de reutilização/reciclagem destes materiais pretendidos pela comunidade europeia. Nalguns países a criação de legislação fez com que as práticas de reutilização e reciclagem de RCD em vez de uma obrigação se tornassem numa prática rotineira trazendo grandes benefícios.

Segundo o sistema regional de informação ambiental da Madeira, para a RAM é estimada uma produção de 350 ton RCD/dia. Este valor pode ser inferior aos dias de hoje dada a situação pela qual atravessa a região, onde o volume de obras é claramente inferior ao registado em anos anteriores.

Em Portugal continental existem algumas empresas que produzem agregados reciclados, isto não se verifica na RAM onde a maior parte dos resíduos de betão ou que contêm betão são enviados para aterro. A gestão de RCD na RAM realiza-se de acordo com o Decreto-lei 46/2008 de 12 de Março, alterado pelo Decreto-lei 73/2011 de 17 de Junho, o qual estabelece o regime

das operações de gestão de resíduos resultantes de obras ou demolições de edifícios ou de derrocadas.

A gestão de RCD nas obras públicas caracteriza-se pela introdução na fase de projeto de um plano de prevenção de resíduos que acompanha o projeto de execução, e prevê a correta gestão de RCD em obra criando métodos que permitem a introdução de reciclados de RCD no processo de produção. Nas obras privadas sujeitas a licenciamento não é necessário a elaboração de um plano de prevenção de resíduos mas, está sujeito à correta gestão dos RCD a nível de triagem, armazenamento, transporte, sendo que o produtor deve promover a utilização de reciclados de RCD.

A crise que se verifica no país afetou muito o setor da construção com a perda de empregos e o encerramento de mais de 50% das empresas nos últimos anos [85]. Em 2013 estavam registadas na RAM 433 empresas portadoras de alvará de construção, grande parte delas sediadas nos concelhos do Funchal e Camara de Lobos. A maioria apenas possui classe de alvará 1, sendo que as empresas com classe de alvará 1 e 2 representam 75% das empresas sediadas na RAM.

Da realização do inquérito às empresas de construção sediadas na RAM foram retiradas as seguintes conclusões:

- O maior volume de obras das empresas é composto por construção nova, sendo que 36% das obras são de reabilitação/ampliação e demolição o que representa alguma base de mercado para produtos procedentes de RCD;
- A maior parte das empresas praticam demolição seletiva o que maximiza o aproveitamento dos resíduos de forma a serem reciclados ou reutilizados;
- A maioria das empresas reconhece que o responsável pela gestão de RCD em obra é o empreiteiro geral;
- 67% das empresas inquiridas nunca realizou um plano de prevenção de resíduos;
- A grande maioria das empresas referiram que efetuam alguma triagem, esta realizada sempre no local da obra ou no estaleiro da própria empresa. As empresas de alvará superior indicam que realizam muita triagem;

- O transporte de RCD é geralmente realizado pela própria empresa (71%), recorrendo nalguns casos a operadores licenciados ou empresas de transporte. Normalmente os RCD são devidamente acompanhados pela documentação legal, sendo que 13% das empresas efetuam o transporte de RCD sem qualquer tipo de documentação correndo o risco de serem multadas;
- Quanto à triagem das misturas de betão e materiais cerâmicos (LER 17 01 07) a maioria das empresas (67%) realiza triagem destes resíduos e afirma que os reutiliza. Quando não valorizados estes resíduos têm como principal destino o aterro em obras próprias, aterro municipal ou aterro em obras de outros;
- Algumas empresas inquiridas (29%) referem que fazem triagem de betão por separado (LER 17 01 01) para depois o reciclar/reutilizar, a maior parte das vezes em enchimentos. Nenhuma das empresas inquiridas utiliza o resíduo betão como agregado reciclado para aplicações estruturais;
- Em relação a redução, reutilização e reciclagem as empresas inquiridas favorecem mais a reutilização, referindo ter níveis médios a elevados de aproveitamento dos materiais. As principais práticas de redução nas empresas referem-se mais a redução de custos do que propriamente a redução da geração de resíduos. As práticas de reciclagem são baixas na maioria das empresas inquiridas;
- Relativamente aos custos associados a gestão de RCD as empresas indicam que fazem alguma contabilização de custos e consideram ter um nível médio de gastos. Uma das empresas refere que estes custos importam 2% a 4% do valor total da obra realizada;
- A maioria das empresas desconhece a existência das guias de utilização de RCD elaboradas pelo LNEC, estas que foram publicadas em 2006.

A maioria das empresas de construção sediadas na RAM desconhecem as potencialidades dos RCD como material de construção daí alguma falta de confiança nestes materiais. A esmagadora maioria das empresas inquiridas refere que a existência de estudos e a divulgação dos mesmos comprovando a viabilidade de utilização destes materiais os levaria a utilizá-los, desde que estes tenham preços competitivos e estejam disponíveis no mercado.

4.2 Conclusões gerais

O sector da construção é responsável por grande parte dos resíduos produzidos dentro do ecossistema em que vivemos. A falta de locais apropriados para a extração de recursos naturais associado ao impacto visual provocado pela deposição de resíduos em aterros é um problema que é necessário resolver. Deve-se olhar esta situação não só como um problema senão como uma oportunidade, já que a reutilização destes resíduos cria uma alternativa que pode trazer benefícios quer económicos quer ambientais.

A bibliografia analisada revela que apesar da qualidade dos agregados reciclados procedentes de betão ser inferior ao dos agregados convencionais, este possui um bom desempenho para a grande maioria dos objetivos, sendo que para aplicações mais especializadas (ex. betão estrutural) este deve cumprir com os requisitos normativos referidos neste trabalho.

Relativamente às práticas de gestão de RCD e utilização destes na Região Autónoma da Madeira, este trabalho permitiu verificar que em geral as empresas de construção estão consciencializadas para as práticas de armazenamento, triagem, transporte e eliminação de RCD. No entanto no que diz respeito à valorização dos RCD as empresas ficam marcadas pelo desconhecimento dos possíveis aproveitamentos destes materiais o que lhes provoca falta de confiança à hora de utilizar os mesmos. Para inverter esta situação teriam que surgir várias iniciativas como por exemplo:

A nível legislativo:

- Ser obrigatório a elaboração de planos de prevenção e gestão de RCD também nas obras particulares.
- Criar um limite mínimo de utilização de reciclados de RCD tanto nas obras públicas como nas privadas.

A nível empresarial:

- Promover com incentivos fiscais a utilização de reciclados de RCD.
- Incentivar a criação de indústrias para a valorização de RCD principalmente para os fluxos em que a atual capacidade é deficitária ou inexistente (ex. Resíduos procedentes de betão).

4.3 Propostas de investigação

A bibliografia analisada baseia-se maioritariamente em trabalhos realizados no estrangeiro, sendo que os agregados reciclados utilizados para realizar esses estudos possuem composições diferentes uns dos outros.

Sendo a Ilha da Madeira de origem vulcânica e maioritariamente de composição basáltica, seria pertinente e importante a realização de estudos que incorporassem agregados reciclados de betão procedentes de RCD de origem regional.

São então recomendadas as seguintes propostas de investigação:

- Caracterização de agregados reciclados procedentes de RCD.
- Caracterização de betão reciclado composto por vários tipos de RCD (alvenaria, telhas, tijolos, betão e mistos).
- Caracterização de betão armado reciclado, ensaios de vigas a flexão e esforço transversal.
- Estudos de durabilidade em betão com agregados reciclados.

BIBLIOGRAFIA

- [1] B. G. Fonteboa, Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante, A Coruña: ACHE, 2002.
- [2] K. Tuutti, "Environmental properties of building materials," em *Concrete technology for a sustainable development in the 21st century*, 2000, pp. 246-252.
- [3] F. Gayarre, Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas, Gijón: Universidad de Oviedo, 2008.
- [4] Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, "UICN," 05 2014. [Online]. Available: <http://www.iucn.org/es/sobre/union/donantes/?12904/Los-paises-de-la-UE-deben-contribuir-mas-a-la-proteccion-de-la-biodiversidad>.
- [5] S. L. Correia, F. L. Souza, G. Segadães e A. M. Dienstmann, "Assessment of the recycling potential of fresh concrete waste using a factorial design of experiments. Waste Management," 2886-2891. doi:10.1016/j.wasman.2009.06.014, p. 29 (11), 2009.
- [6] P. Lima, M. Leite e E. Santiago, "Recycled lightweight concrete made from footwear industry waste and CDW," *Waste Management Volume 30, Issue 6*, p. 1107–1113, 2010.
- [7] J. Guzmán, M. Marrero, M. Delgado e A. d. Arellano, "A Spanish model for qualification and management of construction waste," *Waste Management 29*, pp. 2542-2548, 2009.
- [8] Eurostat, "European commission - eurostat," Lithuanian EU Presidency 2013, 2013. [Online]. Available: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>.
- [9] J. Brito, "A reciclagem de residuos de construção e demolição," em *Workshop "A reciclagem na casa do futuro"*, Aveiro, 2006.
- [10] A. Coelho e J. Brito, "Construction and demolition waste management in Portugal," em *Luis Bragança; et al.*, Lisboa, 2007.
- [11] F. Torgal e S. Jalali, "Breve análise crítica sobre a gestão de rcd em portugal: desempenho comparado com práticas internacionais," *CONSTRULINK portal da construção*, pp. ISSN 1645-5576, 2012.
- [12] C. Meyer, "The greening of the concrete industry," *Cement and Concrete Composites Volume 31, Issue 8*, p. 601–605, 2009.
- [13] N. D. Oikonomou, "Recycled concrete aggregates," *Cement & Concrete Composites 27*, p. 315–318, 2005.
- [14] ACHE, Grupo de Trabajo 2/5 "Hormigón reciclado", "Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural," *Monografía M-11 ACHE*, 2006.
- [15] M. De Juan, "Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de Hormigón Estructural," *Tesis Doctoral*, 2005.
- [16] V. W. Tam, "Economic comparison of concrete recycling: A case study approach," *Resources, Conservation and Recycling Volume 52, Issue 5*, p. 821–828, 2008.

- [17] K. Eguchi e e. al., "Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction," *Construction and Building Materials Volume 21, Issue 7*, pp. 1542-1551, 2007.
- [18] S. Nagataki, A. Gokce, T. Saeki e M. Hisada, "Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates," *Cement and Concrete Research Volume 34, Issue 6*, p. 965-971, 2004.
- [19] M. M. Morales, M. Zamorano, A. R. Moyano e I. V. Espinosa, "Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08," *Construction and Building Materials*, pp. 742-748, 2011.
- [20] C. F. Hendriks, A. A. Nijkerk e A. E. V. Koppen, *The Building Cycle*, Holanda: Aeneas Technical Publishers, 2000.
- [21] T. Hansen, *Recycling of Demolished Concrete and Masonry*, Londres: Taylor & Francis, 1992.
- [22] J. Brito, *Agregados reciclados e sua influência nas propriedades dos betões. Lição de Síntese, Provas de agregação em Engenharia Civil*, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2005.
- [23] T. C. Hansen e H. Narud, "Strength of Recycled Concrete Made From Crushed Concrete Coarse Aggregate," *Concrete International*, pp. 79-83, 1983.
- [24] R. S. Ravindrarajah, Y. H. Loo e C. T. Tam, "Recycled concrete as fine and coarse aggregates in concrete," *Magazine of Concrete Research, Volume 39, Issue 141*, p. 214-220, 1987.
- [25] R. S. Ravindrarajah, Y. H. Loo e C. T. Tam, "Methods of improving the quality of recycled aggregate concrete," em *Demolition and reuse of concrete and masonry, Vol. 2 Reuse of demolition waste*, Proceedings of second international RILEM symposium, 1988, pp. 575-584.
- [26] F. Yagashita, M. Sano e M. Yamada, "behavior of reinforced concrete beams containing recycled coarse aggregate," em *Demolition and reuse of concrete and masonry*, Proceedings of the third international RILEM symposium, 1993, pp. 331-342.
- [27] M. Barra, *Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón estructural*, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 1996.
- [28] S. Nagataki, A. Gokce e T. Saeki, "Effects of recycled aggregate characteristics on the performance parameters of recycled aggregate concrete," em *Proceedings of the Fifth Canmet/ACI international conference on durability of concrete*, Barcelona, 2000.
- [29] E. Vazquez e M. Barra, "Hormigón de áridos reciclados: retracción," em *V Seminario desenvolvimento sustentavel e a reciclagem na construção civil.*, Brazil, 2002.
- [30] B. G. Fonteboa e F. M. Abella, "Recycled aggregates concrete: Aggregate and mix properties," *Materiales De Construccion, Volume 55, Issue 279*, pp. 53-66, 2005.
- [31] L. Evangelista e J. d. Brito, "Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates," *Cement and Concrete Composites, Volume 29, Issue 5*, p. 397-401, 2007.
- [32] R. Sato, I. Maruyama, T. Sogabe e M. Sogo, "Flexural behavior of reinforced recycled concrete beams," *Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 5, No. 1*, pp. 43-61, 2007.
- [33] B. G. Fonteboa e F. M. Abella, "Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. Materials and mechanical properties," *Building and Environment, Volume 43, Issue 4*, p. 429-437, 2008.
- [34] C.-S. Poon e D. Chan, "Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates," *Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 1*, p. 164-175, 2007.
- [35] V. Corinaldesi, "Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates," *Construction and Building Materials, Volume 24, Issue 9*, p. 1616-1620, 2010.



- [36] F. Debieb, L. Courard, S. Kenai e R. Degeimbre, "Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates," *Cement and Concrete Composites, Volume 32, Issue 6*, p. 421–426, 2010.
- [37] M. Casuccio, M. Torrijos, G. Giaccio e R. Zerbino, "Failure mechanism of recycled aggregate concrete," *Construction and Building Materials*, p. 1500–1506, 2008.
- [38] M. Etxeberria, E. Vázquez, A. Marí e M. Barra, "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete," *Cement and Concrete Research, Volume 37, Issue 5*, p. 735–742, 2007.
- [39] M. Malešev, V. Radonjanin e S. Marinković, "Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production," *Sustainability, 2(5)*, pp. 1204-1225, 2010.
- [40] F. Agrela, M. d. Juan, J. Ayuso, V. Galdes e J. Jiménez, "Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete," *Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 10*, p. 3950–3955, 2011.
- [41] T. C. Hansen, "Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945–1985," *Materials and Structures*, 1996.
- [42] LNEC, E 471-2009 Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos, Lisboa, 2009.
- [43] EHE, Ministerio de Fomento, Instrucción de Hormigón Estructural, Madrid: Centro de Publicaciones, 2008.
- [44] WBTC, Works Bureau Technical Circular, Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates, Hong Kong, 2002.
- [45] Organisation, Commonwealth Scientific and Industrial Research, HB 155-2002 Guide to the use of recycled concrete and masonry materials, Sydney: Standards Australia, 2002.
- [46] (ABNT), Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos, Rio de Janeiro, 2004.
- [47] A. R. Páramo, Tipología de áridos reciclados en Cataluña y su aplicabilidad, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.
- [48] GEAR, Guía Española de Áridos Reciclados procedentes de Residuos de Construcción y Demolición, 2011.
- [49] LNEC, E 472-2009 Guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central, Lisboa, 2009.
- [50] LNEC, E 473-2009 Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos, Lisboa, 2009.
- [51] LNEC, E 474-2009 Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte, Lisboa, 2009.
- [52] V. Bhikshma e R. Kishore, "Development of stress – strain curves for recycled aggregate concrete," *Asian journal of civil engineering (building and housing), Vol. 11, nº. 2*, pp. 253-261, 2010.
- [53] A. Ajdukiewicz e A. Kliszczewicz, "Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC," *Cement and Concrete Composites, Volume 24, Issue 2*, p. 269–279, 2002.
- [54] W. Tangchirapat, R. Buranasing e C. Jaturapitakkul, "Use of High Fineness of Fly Ash to Improve Properties of Recycled Aggregate Concrete," *Journal of Materials in Civil Engineering, Volume 22, Issue 6*, p. 565–571, 2010.

- [55] C. Lemmer, M. Rühl e A. Nealen, "Correction of consistency of concrete made with aggregate derived from concrete rubble," 1998. [Online]. Available: <http://www.b-i-m.de/public/tudmassiv/dacon13lemmerruehl.htm>.
- [56] A. Katz, "Treatments for the Improvement of Recycled Aggregate," *Journal of Materials in Civil Engineering*, pp. 597-603, 2004.
- [57] D. Sani, G. Moriconi, G. Fava e V. Corinaldesi, "Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates," *Waste Management, Volume 25*, pp. 177-182, 2005.
- [58] M. Berndt, "Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate," *Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 7*, p. 2606-2613, 2009.
- [59] N. Bairagi, K. Ravande e V. Pareek, "Behaviour of concrete with different proportions of natural and recycled aggregates," *Resources, Conservation and Recycling, Volume 9, Issues 1-2*, p. 109-126, 1993.
- [60] A. D. Cabo e e. al., "Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete," *Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 7*, p. 2545-2553, 2009.
- [61] R. K. Dhir, N. A. Henderson e M. C. Limbachiya, *Use of Recycled Materials*, Reino Unido, 1998.
- [62] M. C. Rao, S. K. Bhattacharyya e S. V. Barai, "Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete," *Materials and Structures, Volume 44, Issue 1*, pp. 205-220, 2011.
- [63] M. Kikuchi, A. Yasunaga e K. Ehara, "The total evaluation of recycled aggregate and recycled concrete," em *Demolition and reuse of concrete and masonry, proceedings of the Third International RILEM Symposium*, London, E&FN Spon, 1993, pp. 367-378.
- [64] R. S. Ravindrarajah e C. T. Tam, "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate," *Magazine of Concrete Research, Volume 37, nº.130*, pp. 29-38, 1985.
- [65] J. Soberón, "Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: An experimental study," *Cement and Concrete Research, Volume 32, Issue 8*, p. 1301-1311, 2002.
- [66] S. C. Kou, C. S. Poon e D. Chan, "Properties of steam cured recycled aggregate fly ash concrete," em *Conference on the use of recycled materials in buildings and structures*, Barcelona, 2004.
- [67] J. Xiao, J. Li e C. Zhang, "Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading," *Cement and Concrete Research, Volume 35, Issue 6*, p. 1187-1194, 2005.
- [68] A. Turatsinze, S. Bonnet e J. L. Granju, "Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres," *Building and Environment, Volume 40, Issue 2*, p. 221-226, 2005.
- [69] G. Fathifazl e e. al., "New Mixture Proportioning Method for Concrete Made with Coarse Recycled Concrete Aggregate," *Journal of Materials in Civil Engineering, Volume 21, Issue 10*, p. 601-611, 2009.
- [70] G. D. Niro, E. Dolara e R. Cairns, "Properties of hardened rac for structural purposes," em *Sustainable Construction: Use of recycled concrete aggregate*, London, Thomas Telford Limited, 1998, pp. 178-187.
- [71] N. Kashino e Y. Takahashi, "Experimental studies of placement of recycled aggregate concrete," em *Demolition and reuse of concrete and masonry, Vol. 2 Reuse of demolition waste*, Proceedings of second international RILEM symposium, 1988, pp. 699-708.
- [72] J. D. Merlet e P. Pimenta, "Mechanical and Physico-Chemical properties of concrete produced with coarse and fine recycled concrete aggregate," em *Demolition and reuse of concrete and masonry*, Proceedings of the third international RILEM symposium, 1993, pp. 343-354.
- [73] M. Batayneh, I. Marie e I. Asi, "Use of selected waste materials in concrete mixes," *Waste Management, Volume 27*, pp. 1870-1876, 2006.

- [74] M. C. Limbachiya, T. Leelawat e R. K. Dhir, "Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete," *Materials and Structures, Volume 33, Issue 9*, pp. 574-580, 2000.
- [75] P. J. Wainwright, A. Trevorrow, Y. YU e Y. Wang, "modifying the performance of concrete made with coarse and fine recycled concrete aggregate," em *Demolition and reuse of concrete and masonry, proceedings of the Third International RILEM Symposium*, London, E&FN Spon, 1994, pp. 319-330.
- [76] K. R. Dhir, M. C. Limbachiya e T. Leelawat, "Suitability of recycled concrete aggregate for use in BS 5382 designated mixes," *Structures and buildings*, 1999.
- [77] J. P. Hwang, H. B. Shim, S. Lim e K. Y. Ann, "Enhancing the durability properties of concrete containing recycled aggregate by the use of pozzolanic materials," *KSCCE Journal of Civil Engineering*, pp. 155-163, 2013.
- [78] F. R. Gottfredsen e F. Thogersen, "Recycling of concrete in aggressive environments," em *Demolition and reuse of concrete and masonry, proceedings of the Third International RILEM Symposium*, London, E&FN Spon, 1993, pp. 309-318.
- [79] L. H. Pereira, *Construction and Demolition Waste recycling: The Case of the Portuguese Northern Region (in Portuguese)*, Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, 2002.
- [80] Symonds Group, "Report to DGXI, European Commission, Final Report. Construction and Demolition Waste Management Practices and Their Economic Impacts," Symonds Group Ltd., 1999.
- [81] A. Coelho e J. d. Brito, "Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal e part I: location, materials, technology and economic analysis," *Journal of Cleaner Production*, pp. 338-352, 2013.
- [82] SRIA, Sistema Regional de Informação Ambiental, "Resíduos Construção Demolição," 28 06 2013. [Online]. Available: <http://drota.gov-madeira.pt/berilio/berwpage0.listctn?pCtn=98>.
- [83] T. C. P. Firm, "Construía al día," [Online]. Available: <http://www.miconstruía.com/reduccion-de-desechos-de-construccion/>. [Acedido em 2014].
- [84] DRE, "Direção regional de estatística da Madeira," Setembro 2013. [Online]. Available: <http://estatística.gov-madeira.pt/>.
- [85] INCI, "Instituto da Construção e do Imobiliário," Setembro 2013. [Online]. Available: <http://www.inci.pt/Portugues/Paginas/INCIHome.aspx>.
- [86] P. D. Pauw, P. Thomas, J. Vyncke e J. Desmyter, "Shrinkage and Creep of Concrete with Recycled Materials as Coarse Aggregates," em *R. K. Dhir; N. A. Henderson; M. C. Limbachiya*, Wokingham, ISBN: 0-7277-2726-5, 1998, pp. 213-226.
- [87] A. Nealen e S. Schenk, "The influence of recycled aggregate core moisture on freshly mixed and hardened concrete properties," 1998. [Online]. Available: <http://www.b-i-m.de/public/tudmassiv/dacon13nealenschenk.htm>.
- [88] Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, "Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho," *Diário da República, 1.ª série — N.º 116 — 17 de Junho de 2011*, pp. 3251-3300, 2011.
- [89] T. Y. Tu, Y. Y. Chen e C. L. Hwang, "Properties of HPC with recycled aggregates," *Cement and Concrete Research, Volume 36, Issue 5*, p. 943-950, 2006.
- [90] European Parliament and of the Council, 19 November 2008, "2008/98/CE waste and repealing certain Directives," *Official Journal of the European Union*, 2008.

ANEXOS

6.1 Anexo I – Plano de prevenção e gestão de RCD

 							
Modelo do plano de prevenção e gestão de resíduos de construção e demolição (PPG)							
Dados gerais de entidade responsável pela obra							
Nome							
Morada, Localidade, Código Postal, Freguesia, Conselho							
Telefone, Fax, E-Mail							
Número Identificação Pessoal Coletiva (NIPC)							
CAE Principal Rev3							
Dados gerais da obra							
Tipo de obra (construção/demolição de estrada, ponte, edifício...)							
Código do CPV							
Nº de processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA)							
Identificação do local de implantação							
Resíduos de Construção e Demolição (RCD)							
Caracterização da obra							
Caracterização sumária da obra a efetuar							
Descrição sucinta dos métodos construtivos a utilizar tendo em vista os princípios referidos no artº 2º do Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março							
Incorporação de reciclados							
Metodologia para a incorporação de reciclados de RCD							
Reciclados de RCD integrados na obra							
Identificação dos reciclados	Quantidade integrada na obra (t ou m ³)			Quantidade integrada relativamente ao total de materiais usados (%)			
Valor total							
Prevenção de resíduos							
Metodologia de prevenção de RCD							
Materiais a reutilizar em obra							
Identificação dos materiais	Quantidade a reutilizar (t ou m ³)			Quantidade a reutilizar relativamente ao total de materiais usados (%)			
Valor total							
Acondicionamento e triagem							
Referência aos métodos de acondicionamento e triagem de RCD na obra ou em local afeto à mesma							
Caso a triagem não esteja prevista, apresentação da fundamentação para a sua impossibilidade							
Produção de RCD							
Código LER	Quantidades produzidas (t ou m ³)	Quantidade para reciclagem (%)	Operação de reciclagem	Quantidade para a valorização (%)	Operação de valorização	Quantidade para eliminação (%)	Operação de eliminação
Total							

6.2 Anexo II – Registo de dados de RCD

I – Materiais Reutilizados*

Materiais Reutilizados (Tipologia) Ex: solo, rocha, lâmpadas portas, janelas.	Em obra		Outros (enchimento de pedreiras, alteração topográfica)	
	Tipo de utilização	ton. ou m ³	Tipo de utilização	ton. ou m ³
Materiais reutilizados Totais (toneladas ou m3)				

* Reutilizados – Reintrodução, sem alterações significativas, de substâncias, objetos ou produtos.

II – Resíduos de Construção e Demolição (RCD) produzidos

RCD Código LER**	Incorporação em obra		Operador de Gestão*** Outros Destinos Autorizados	
	Tipo de utilização	ton. ou m ³	Identificação	ton. ou m ³
RCD - Totais (toneladas ou m3)				

** De acordo com a Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março *** Anexar cópia dos certificados de receção

III – Responsável pelo preenchimento

Identificação da Obra:	
Identificação do responsável pelo preenchimento:	Cargo:

Data: / /

Assinatura do responsável: _____

RESUMO DA LISTA EUROPEIA DOS RESÍDUOS PARA O SECTOR DA CONTRUÇÃO CIVIL

Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março

A leitura da presente lista não dispensa a consulta da LER

RESÍDUOS INERTES

- 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 não contendo substâncias perigosas
- 17 05 04** Solos e rochas

RESÍDUOS METÁLICOS

- 15 01 04 Embalagens de metal
- 17 04 02 Alumínio
- 17 04 05** Ferro e aço
- 17 04 07** Mistura de metais
- 17 04 11 Cabos

EMBALAGENS

- 15 01 01** Embalagens de papel e cartão
- 15 01 02** Embalagens de plástico
- 15 01 03 Embalagens de madeira
- 15 01 04** Embalagens de metal
- 15 01 10(*)** Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas

OUTROS

- 17 02 01 Madeira
- 17 02 02 Vidro
- 17 02 03 Plástico
- 17 06 04 Materiais de isolamento isentos de substâncias perigosas
- 17 08 02 Materiais de construção à base de gesso

MISTURAS

- 17 01 07** Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos não contendo substâncias perigosas
- 17 03 02 Misturas betuminosas não contendo alcatrão
- 17 09 03(*) Mistura de resíduos de construção e demolição contendo substâncias perigosas
- 17 09 04 Mistura de resíduos de construção e demolição não contendo substâncias perigosas

RESÍDUOS PERIGOSOS

- 15 01 10(*) Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas
- 17 01 06(*) Misturas ou frações separadas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos contendo substâncias perigosas
- 17 03 01(*) Misturas betuminosas contendo alcatrão
- 17 03 03(*) Alcatrão e produtos de alcatrão
- 17 06 01(*) Materiais de isolamento contendo amianto
- 17 06 03(*) Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas
- 17 06 05(*) Materiais de construção contendo amianto

(*) Resíduos Perigosos

Plataforma eletrónica de registo de resíduos

http://sirapa.apambiente.pt/SIRAPA_Ext_Org/Principal.aspx



MIRR 2012: saiba mais em www.mirr2012.com e submeta o seu MIRR 2012 em silamb.apambiente.pt

1) SIRAPA: a leitura do [Guia de Utilização do Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente \(SIRAPA - atualizado\)](#) e das Perguntas Frequentes, relativas à temática SIRAPA <http://apambiente.pt/FAQSIRAPA/>, disponibilizadas no portal da Agência Portuguesa do Ambiente é imprescindível à sua boa utilização do SIRAPA.

ALERTA: O SIRAPA é uma aplicação Web, cuja utilização está condicionada às características do navegador do utilizador. Recomenda-se a utilização do Internet Explorer 8.0 ou superior (em modo de compatibilidade) ou outro compatível. A resolução adequada é 1024x768. A inexistência destas condições no navegador pode determinar a não visualização adequada das várias janelas da aplicação. Esta informação está disponível no Guia de Utilização do sistema Integrado da Agência Portuguesa do Ambiente (pág. 24).

QUESTÕES: qualquer questão SIRAPA deverá ser colocada prioritariamente via Gestor de Pedidos, em detrimento de outros meios, de forma a permitir com mais eficácia a agregação de questões relativas ao mesmo utilizador, bem como para prevenir situações de congestionamento da linha 707 201 190 (10h00-13h00, 14h00-16h00), em fase de cumprimento de obrigações legais.

2) MIRR: A Agência Portuguesa do Ambiente, I. P. (APA), informa que, os sujeitos abrangidos pela obrigatoriedade de registo de dados nos termos do Artigo 48.º do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, que o prazo de preenchimento e consequente submissão do Mapa Integrado de Registo de Resíduos (MIRR), referente ao ano 2012, na plataforma **SILiAmb**, foi prolongado até **dia 15 de abril de 2013**.

3) FU-REGEE: o Formulário do Relatório de Emissões de Gases com Efeito de Estufa (FU-REGEE) no âmbito do regime CELE, estabelecido no Decreto-Lei n.º 233/2004, de 14 de Dezembro, relativo ao reporte de emissões de CO2 do ano 2012, está disponível para preenchimento a partir de 17 de Janeiro até ao dia 28 de Março de 2013. Sublinha-se que apenas as instalações que se encontram identificadas pela APA como estando abrangidas por este regime deverão preencher o FU-REGEE. Os Guias de preenchimento e documentação associada encontram-se disponíveis no site de internet desta Agência, <http://apambiente.pt/>, acedendo a: Instrumentos -> Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) -> Comunicação e Verificação das Emissões.

4) PRTR: O ciclo PRTR relativo ao ano de referência de 2012, irá realizar-se entre 29 de abril e 15 de julho de 2013. Toda a documentação encontra-se disponível na página PRTR desta Agência, em <http://apambiente.pt/> -> Instrumentos -> Registo de Emissões e Transferências de Poluentes (PRTR) -> Relatório Único -> Formulário PRTR. Por favor, utilize o endereço prtr@apambiente.pt, no que se refere a dúvidas de preenchimento ou necessidade de esclarecimentos adicionais.

5) ÓLEOS ALIMENTARES: reporte no âmbito do regime dos Óleos Alimentares Usados - Decreto-Lei n.º 267/2009 de 29 de setembro, encontra-se informação disponível em <http://apambiente.pt/> -> Políticas -> Resíduos -> Fluxos Específicos -> Óleos Alimentares Usados

SIRAPA - Portal

Utilizador

Senha

Relembrar Login

[Esqueceu Senha?](#)

Novo Utilizador?

Se ainda não tem acesso ao SIRAPA, [registre-se agora](#).

Rua de Marquês, 93A - Zambujal • 2511-865 Amadora • telefone: (351) 707 201 190 • fax: (351) 21 471 90 74



Copyright©2008 Agência Portuguesa do Ambiente. Todos os direitos reservados.

6.3 Anexo III - Guias de acompanhamento de RCD (GARCD)

RCD provenientes de um único produtor/detentor

I – Identificação do transportador

Nome:		Morada:	
Localidade:		Concelho:	
Código Postal:	CAE:	NIF:	
TEL:	FAX:	E-mail:	
Matrícula do Camião:		Matrícula do Reboque:	

Data: / /

Assinatura do motorista: _____

II – Identificação da obra

Nome:		
Morada:		
Alvará n.º:	Localidade:	Concelho:
Código Postal:	TEL:	FAX:

III – Identificação do Produtor ou Detentor

Nome:		
Morada:		
Alvará n.º:	Localidade:	Concelho:
Código Postal:	TEL:	FAX:

IV – Classificação e quantificação dos RCD e identificação do respetivo destinatário

Movimentos	Código LER*	Quantidade (t. ou m3)	Destinatário	Assinatura do Destinatário
1				
2				
3				

* De acordo com a Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março (Lista Europeia de Resíduos). Ver Verso.

RESUMO DA LISTA EUROPEIA DOS RESÍDUOS PARA O SECTOR DA CONTRUÇÃO CIVIL

Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março

A leitura da presente lista não dispensa a consulta da LER

RESÍDUOS INERTES

- 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 não contendo substâncias perigosas
- 17 05 04** Solos e rochas

RESÍDUOS METÁLICOS

- 15 01 04 Embalagens de metal
- 17 04 02 Alumínio
- 17 04 05** Ferro e aço
- 17 04 07** Mistura de metais
- 17 04 11 Cabos

EMBALAGENS

- 15 01 01** Embalagens de papel e cartão
- 15 01 02** Embalagens de plástico
- 15 01 03 Embalagens de madeira
- 15 01 04** Embalagens de metal
- 15 01 10(*)** Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas

OUTROS

- 17 02 01 Madeira
- 17 02 02 Vidro
- 17 02 03 Plástico
- 17 06 04 Materiais de isolamento isentos de substâncias perigosas
- 17 08 02 Materiais de construção à base de gesso

MISTURAS

- 17 01 07** Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos não contendo substâncias perigosas
- 17 03 02 Misturas betuminosas não contendo alcatrão
- 17 09 03(*) Mistura de resíduos de construção e demolição contendo substâncias perigosas
- 17 09 04 Mistura de resíduos de construção e demolição não contendo substâncias perigosas

RESÍDUOS PERIGOSOS

- 15 01 10(*) Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas
- 17 01 06(*) Misturas ou frações separadas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos contendo substâncias perigosas
- 17 03 01(*) Misturas betuminosas contendo alcatrão
- 17 03 03(*) Alcatrão e produtos de alcatrão
- 17 06 01(*) Materiais de isolamento contendo amianto
- 17 06 03(*) Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas
- 17 06 05(*) Materiais de construção contendo amianto

(*) Resíduos Perigosos

RCD provenientes de mais de um produtor/detentor

I – Identificação do transportador

Nome:	Morada:		
Localidade:		Concelho:	
Código Postal:	CAE:	NIF:	
TEL:	FAX:	E-mail:	
Matrícula do Camião:		Matrícula do Reboque:	

Data: / /

Assinatura do motorista: _____

II – Identificação da obra

Nome:		
Morada:		
Alvará n.º:	Localidade:	Concelho:
Código Postal:	TEL:	FAX:

III – Classificação* e quantificação dos RCD, identificação do produtor e destinatário

Movimentos	ID Produtor ou Detentor	Código LER	Quantidade (t. ou m3)	Destinatário	Assinatura Destinatário
1	Nome:				
	Alvará n.º:				
	Morada:				
	Localidade:				
	Código Postal				
	Tel.:				
	Fax.:				
2	Nome:				
	Alvará n.º:				
	Morada:				
	Localidade:				
	Código Postal				
	Tel.:				
	Fax.:				

* De acordo com a Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março (Lista Europeia de Resíduos). Ver Verso.

RESUMO DA LISTA EUROPEIA DOS RESÍDUOS PARA O SECTOR DA CONTRUÇÃO CIVIL

Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março

A leitura da presente lista não dispensa a consulta da LER

RESÍDUOS INERTES

- 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 não contendo substâncias perigosas
- 17 05 04** Solos e rochas

RESÍDUOS METÁLICOS

- 15 01 04 Embalagens de metal
- 17 04 02 Alumínio
- 17 04 05** Ferro e aço
- 17 04 07** Mistura de metais
- 17 04 11 Cabos

EMBALAGENS

- 15 01 01** Embalagens de papel e cartão
- 15 01 02** Embalagens de plástico
- 15 01 03 Embalagens de madeira
- 15 01 04** Embalagens de metal
- 15 01 10(*)** Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas

OUTROS

- 17 02 01 Madeira
- 17 02 02 Vidro
- 17 02 03 Plástico
- 17 06 04 Materiais de isolamento isentos de substâncias perigosas
- 17 08 02 Materiais de construção à base de gesso

MISTURAS

- 17 01 07** Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos não contendo substâncias perigosas
- 17 03 02 Misturas betuminosas não contendo alcatrão
- 17 09 03(*) Mistura de resíduos de construção e demolição contendo substâncias perigosas
- 17 09 04 Mistura de resíduos de construção e demolição não contendo substâncias perigosas

RESÍDUOS PERIGOSOS

- 15 01 10(*) Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas
- 17 01 06(*) Misturas ou frações separadas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos contendo substâncias perigosas
- 17 03 01(*) Misturas betuminosas contendo alcatrão
- 17 03 03(*) Alcatrão e produtos de alcatrão
- 17 06 01(*) Materiais de isolamento contendo amianto
- 17 06 03(*) Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas
- 17 06 05(*) Materiais de construção contendo amianto

(*) Resíduos Perigosos

6.4 Anexo IV - Resumo da legislação referente a gestão de RCD

IV.I - Responsabilidade

O regime jurídico das operações de gestão de RCD estabelece que a responsabilidade da gestão dos RCD é de todos os intervenientes no seu ciclo de vida, desde o produto original até ao resíduo produzido, na medida da respetiva intervenção no mesmo.

Excetuam-se do referido anteriormente:

- Os RCD produzidos em obras particulares isentas de licença e não submetidas a comunicação prévia, cuja gestão cabe à entidade responsável pela gestão de resíduos urbanos.

Em caso de impossibilidade de determinação do produtor do resíduo, a responsabilidade pela respetiva gestão recai sobre o seu detentor.

A responsabilidade extingue-se pela transmissão dos resíduos a:

- Operador licenciado de gestão de resíduos;
- Entidades responsáveis por sistemas de gestão de fluxos de resíduos.

IV.II - Operações de RCD

IV.II.I - Fase de projeto

Devem ser adotadas metodologias e práticas nas fases de projeto e de execução da obra que:

- Minimizem a produção e a perigosidade dos RCD, designadamente por via da reutilização de materiais e da utilização de materiais não suscetíveis de originar RCD contendo substâncias perigosas;
- Maximizem a valorização de resíduos, designadamente por via da utilização de materiais reciclados e recicláveis;
- Favoreçam os métodos construtivos que facilitem a demolição orientada para a aplicação dos princípios da prevenção e redução e da hierarquia das operações de gestão de resíduos.

IV.II.II - *Reutilização de solos e rochas*

Os solos e as rochas que não contenham substâncias perigosas provenientes de atividades de construção devem ser reutilizados no trabalho da obra de origem.

Os solos e as rochas referidos no número anterior que não sejam reutilizados na respetiva obra de origem podem ser utilizados:

- Noutra obra sujeita a licenciamento ou comunicação prévia;
- Na recuperação ambiental e paisagística de explorações mineiras e de pedreiras;
- Na cobertura de aterros destinados a resíduos;
- Em local licenciado pela câmara municipal para alteração do relevo natural (aterro) nos termos do Regime Jurídico de Urbanização e Edificação.

IV.II.III - *Utilização em obra*

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, relativas à utilização de RCD discriminadas na tabela 13.

IV.II.IV - *Triagem e fragmentação de RCD*

Os RCD são obrigatoriamente objeto de triagem em obra com vista ao seu encaminhamento, por fluxos e fileiras de materiais, para reciclagem ou outras formas de valorização.

Caso não seja possível a triagem, na obra, deverá ser encaminhado para operador de gestão licenciado para esse efeito.

As instalações de triagem e de operação de corte e ou britagem de RCD, abreviadamente designada fragmentação de RCD, estão sujeitas aos requisitos técnicos mínimos constantes do Anexo I, do Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 Junho.

IV.II.V - *Deposição de RCD em aterro*

Só é permitida a deposição após a triagem.

IV.III - Plano de prevenção e gestão de RCD

Nas empreitadas e concessões de obras públicas, o projeto de execução é acompanhado de um plano de prevenção e gestão de RCD que assegura o cumprimento dos princípios gerais de gestão de RCD e das demais normas aplicáveis constantes do Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março e do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 05 de Setembro, alterados pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 Junho.

Do plano de prevenção e gestão de RCD consta obrigatoriamente:

- A caracterização sumária da obra a efetuar, com descrição dos métodos construtivos a utilizar tendo em vista os princípios referidos no artigo 2.º e as metodologias e práticas referidas no artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março;
- A metodologia para a incorporação de reciclados de RCD;
- A metodologia de prevenção de RCD, com identificação e estimativa dos materiais a reutilizar na própria obra ou noutros destinos;
- A referência aos métodos de acondicionamento e triagem de RCD na obra ou em local afeto à mesma, devendo, caso a triagem não esteja prevista, ser apresentada fundamentação da sua impossibilidade;
- A estimativa dos RCD a produzir, da fração a reciclar ou a sujeitar a outras formas de valorização, bem como da quantidade a eliminar, com identificação do respetivo código da lista europeia de resíduos.

Um exemplo do modelo de plano de prevenção e gestão de RCD pode ser consultado no Anexo I. Incumbe ao empreiteiro ou ao concessionário executar o plano de prevenção e gestão de RCD, assegurando designadamente:

- A promoção da reutilização de materiais e a incorporação de reciclados de RCD na obra;
- A existência na obra de um sistema de acondicionamento adequado que permita a gestão seletiva dos RCD;

- A aplicação em obra de uma metodologia de triagem de RCD ou, nos casos em que tal não seja possível, o seu encaminhamento para operador de gestão licenciado;
- A manutenção em obra dos RCD pelo mínimo tempo possível que, no caso de resíduos perigosos, não pode ser superior a três meses.

O plano de prevenção e gestão de RCD pode ser alterado pelo dono da obra na fase de execução, sob proposta do produtor de RCD, ou, no caso de empreitadas de conceção-construção, pelo adjudicatário com a autorização do dono da obra, desde que a alteração seja devidamente fundamentada.

O plano de prevenção e gestão de RCD deve estar disponível no local da obra, para efeitos de fiscalização pelas entidades competentes, e ser do conhecimento de todos os intervenientes na execução da obra.

IV.IV - Gestão de RCD em obras particulares

Nas obras sujeitas a licenciamento ou comunicação prévia, o produtor de RCD está, designadamente, obrigado a:

- Promover a reutilização de materiais e a incorporação de reciclados de RCD na obra;
- Assegurar a existência na obra de um sistema de acondicionamento adequado que permita a gestão seletiva dos RCD;
- Assegurar a aplicação em obra de uma metodologia de triagem de RCD ou, quando tal não seja possível, o seu encaminhamento para operador de gestão licenciado;
- Assegurar que os RCD são mantidos em obra o mínimo tempo possível, sendo que, no caso de resíduos perigosos, esse período não pode ser superior a três meses;
- Cumprir as demais normas técnicas respetivamente aplicáveis;
- Efetuar e manter, conjuntamente com o livro de obra, o registo de dados de RCD, de acordo com o modelo constante do anexo II ao Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 Junho, do qual faz parte integrante.

Um exemplo do modelo de registo de dados de RCD pode ser consultado no Anexo II.

IV.V - Transporte

O transporte de RCD está sujeito às regras gerais de transporte de resíduos (Portaria 335/97, de 16 de Maio), contudo o seu registo passa a ser realizado, de uma forma simplificada, nas Guias de Acompanhamento de RCD – GARCD, nos termos definidos pela Portaria n.º 417/2008, de 11 de Junho. Poderá ser efetuado o *download* dos modelos das GARCD e posterior adaptação (formato, personalização, pré-preenchimento de alguns campos, número de alíneas) à realidade da empresa, com o cuidado de manter os campos que constam do modelo. Sugere-se a produção de livros de guias numeradas, em papel autocopiativo em triplicado.

As guias tipo 1 (Anexo III) e tipo 2 (Anexo IV) devem acompanhar, respetivamente, o transporte de RCD provenientes de um único produtor/detentor, ou de mais do que um produtor/detentor. Em ambos os casos poder-se-á registar mais do que um movimento de resíduos.

O **PRODUTOR/DETENTOR** preenche as guias de acompanhamento (campos II, III e IV na caso do tipo 1, e campos II e III na caso do tipo 2), devendo certificar-se que o destinatário do transporte detém as licenças necessárias, caso seja um operador de gestão de RCD.

O **TRANSPORTADOR** preenche o campo I e verifica se o preenchimento dos demais foi feito de forma clara e legível.

O **DESTINATÁRIO** confirma a receção dos RCD apondo a sua assinatura nos campos respetivos.

O transportador e o destinatário dos RCD devem conservar por um período de 3 anos, respetivamente, os originais e as cópias das guias [82].

IV.VI - Licenciamento de operações de gestão de RCD

As operações de armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de RCD estão sujeitas ao regime de licenciamento estabelecido no D.L. n.º 178/2006, de 05 de Setembro, alterado pelo D.L. n.º 73/2011, de 17 Junho.

A deposição de RCD em aterro está sujeita a licenciamento nos termos do Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto.

Estão dispensadas de licenciamento:

- A armazenagem de RCD na obra;
- A triagem e fragmentação de RCD na obra;
- A reincorporação de RCD no processo produtivo de origem;
- A realização de ensaios;
- A utilização de RCD em obra desde que cumpra as especificações técnicas definidas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- A utilização de solos e rochas, na recuperação ambiental e paisagística de explorações mineiras, pedreiras ou na cobertura de aterros destinados a resíduos.

IV.VII - Dever de informação

Estão obrigados ao registo no SIRER e à prestação de informação nela exigida os produtores e operadores de gestão de RCD, nos termos do artigo 48.º do D.L. n.º 178/2006, de 05 de Setembro, alterado pelo D.L. n.º 73/2011, de 17 Junho nomeadamente:

- Estabelecimentos que empreguem mais de 10 trabalhadores e que produzam resíduos não urbanos;
- As pessoas singulares ou coletivas responsáveis por estabelecimentos que produzam resíduos perigosos;
- As pessoas singulares ou coletivas que procedam ao tratamento de resíduos a título profissional;
- As pessoas singulares ou coletivas que procedam à recolha ou ao transporte de resíduos a título profissional;

- As entidades responsáveis pelos sistemas de gestão de resíduos urbanos;
- As entidades responsáveis pela gestão de sistemas individuais ou integrados de fluxos específicos de resíduos;
- Os operadores que atuam no mercado de resíduos, designadamente, como corretores ou comerciantes;
- Os produtores de produtos sujeitos à obrigação de registo nos termos da legislação relativa a fluxos específicos.

IV.VIII - Certificado de receção dos RCD

O operador de gestão de RCD está obrigado:

- A enviar ao produtor, no prazo máximo de 30 dias, um certificado de receção dos RCD;
- Disponibilizar cópia às autoridades de fiscalização sempre que solicitado.

IV.IX - Fiscalização

A fiscalização do cumprimento das disposições constantes do D.L. n.º 46/2008, de 12 de Março, alterado pelo D.L. n.º 73/2011, de 17 Junho, é exercida pela:

- Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAOT);
- Comissões de coordenação e desenvolvimento regional (CCDR);
- Municípios;
- Autoridades policiais.

As autoridades policiais prestam toda a colaboração necessária às restantes entidades fiscalizadoras.

Compete às entidades fiscalizadoras, com exceção das autoridades policiais, instruir os processos relativos às contra-ordenações estabelecidas no Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março, alterado pelo D.L. n.º 73/2011, de 17 de Junho, e decidir da aplicação da coima e sanções acessórias.

Quando a entidade atuante não tenha competência para instruir o processo, o mesmo é instruído e decidido pela Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território.

IV.X - Contra ordenações

Constitui contra-ordenação ambiental muito grave, punível nos termos da Lei n.º 50/2006, de 29 de Agosto, alterada pela Lei n.º 89/2009, de 31 de Agosto, e retificada pela Declaração de Retificação n.º 70/2009. D.R. n.º 191, Série I de 2009-10-01, a prática dos seguintes atos:

- O abandono e a descarga de RCD em local não licenciado ou autorizado para o efeito.

Constitui contra-ordenação ambiental grave, punível nos termos da Lei n.º 50/2006, de 29 de Agosto, alterada pela Lei n.º 89/2009, de 31 de Agosto, e retificada pela Declaração de Retificação n.º 70/2009, de 1 de Outubro, a prática dos seguintes atos:

- Incumprimento do dever de assegurar a gestão dos RCD incumprimento da obrigação de assegurar, na obra ou em local afeto à mesma, a triagem de RCD ou o seu encaminhamento para operador de gestão licenciado;
- Realização de operações de triagem e fragmentação de RCD em instalações que não observem os requisitos técnicos;
- Não elaboração do plano de prevenção e gestão de RCD;
- Inexistência de um sistema de acondicionamento;
- Deposição em aterro de RCD sem triagem;
- Incumprimento das regras sobre transporte de RCD;
- Não envio de certificado de receção dos RCD.

Constitui contra-ordenação ambiental leve, punível nos termos da Lei n.º 50/2006, de 29 de Agosto, alterada pela Lei n.º 89/2009, de 31 de Agosto, e retificada pela Declaração de Retificação n.º 70/2009, de 1 de Outubro:

- Alteração não fundamentada do plano de prevenção e gestão de RCD;
- Não disponibilização do plano de prevenção e gestão de RCD;
- Não efetuar o registo de dados de RCD ou não manter o registo de dados de RCD conjuntamente com o livro de obra.

IV.XI - Sanções acessórias e apreensão cautelar

Relativamente às infrações muito graves e graves previstas no D.L. n.º 46/2008, de 12 de Março, alterado pelo D.L. n.º 73/2011, de 17 Junho, pode a autoridade competente, simultaneamente com a coima, determinar a aplicação das sanções acessórias que se mostrem adequadas, nos termos previstos na Lei n.º 50/2006, de 29 de Agosto, alterada pela Lei n.º 89/2009, de 31 de Agosto, e retificada pela Declaração de Retificação n.º 70/2009. D.R. n.º 191, Série I de 2009-10-01 (tabela 26).

A autoridade administrativa pode ainda, sempre que necessário, determinar a apreensão provisória de bens e documentos, nos termos previstos no artigo 42.º da Lei n.º 50/2006, de 29 de Agosto, alterada pela Lei n.º 89/2009, de 31 de Agosto, e retificada pela Declaração de Retificação n.º 70/2009, de 1 de Outubro.

Tabela 26 - Montante das coimas a aplicar

		Pessoa Singular (€)	Pessoa Coletiva (€)
Leve	Negligência	200 a 1000	3000 a 13000
	Dolo	400 a 2000	6000 a 22500
Grave	Negligência	2000 a 10000	15000 a 30000
	Dolo	6000 a 20000	30000 a 48000
Muito Grave	Negligência	20000 a 30000	38500 a 70000
	Dolo	30000 a 37500	200000 a 2500000

6.5 Anexo V – Inquérito a produtores de RCD

1 Caracterização da empresa

1.1 Classe Alvará? _____

1.2 Concelho? _____

1.3 Número de trabalhadores? _____

1.4 Tipo de Obras realizadas?

Construção Nova	<input type="checkbox"/>	%
Reabilitação/Ampliação	<input type="checkbox"/>	%
Demolição	<input type="checkbox"/>	%
Outras	<input type="checkbox"/>	%

1.5 Em demolições totais e/ou parciais realiza normalmente demolição tradicional ou seletiva ^[1]?

Tradicional	<input type="checkbox"/>
Seletiva	<input type="checkbox"/>

1.6 Quais os meios mecânicos utilizados para realizar as demolições?

Equipamentos/Ferramentas manuais	<input type="checkbox"/>
Martelo elétrico/pneumático	<input type="checkbox"/>
Pá de arrasto, retroescavadora	<input type="checkbox"/>
Bola de grande massa	<input type="checkbox"/>
Explosivos	<input type="checkbox"/>

2 Gestão dos RCD produzidos

2.1 Quem detém a responsabilidade da gestão de resíduos nas obras realizadas?

Empreiteiro geral	<input type="checkbox"/>
Subempreiteiro	<input type="checkbox"/>
Dono de obra	<input type="checkbox"/>
Outros _____	<input type="checkbox"/>

2.2 Já elaborou Planos de Prevenção e Gestão de RCD (obras públicas) ^[2]?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

2.3 Conjuntamente com os Livros de Obra efetua o Registo de Dados de RCD (obras particulares sujeitas a licenciamento ou comunicação prévia)?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

2.4 Já realizou estimativas de produção de RCD?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

2.5 De que forma procedeu às estimativas de produção de RCD?

Indicadores	<input type="checkbox"/>
Outros _____	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

2.6 Efetua triagem (separação) de algum tipo de RCD?

Nenhuma (0%)	<input type="checkbox"/>
Alguma (0-25%)	<input type="checkbox"/>
Muita (25-75%)	<input type="checkbox"/>
Totalidade (75-100%)	<input type="checkbox"/>

2.7 Em que local faz a triagem?

Em obra	<input type="checkbox"/>
Estaleiro da empresa	<input type="checkbox"/>
Outros locais	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

2.8 Quem é o responsável pelo transporte de RCD não valorizados ^[3]?

A própria empresa	<input type="checkbox"/>
Operador licenciado	<input type="checkbox"/>
Empresa de transporte contratada	<input type="checkbox"/>

2.9 Utiliza as guias de acompanhamento de RCD?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

3 Tipo de RCD produzido

3.1 Efetua triagem de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos (17 01 07)?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

3.2 São reutilizados/reciclados os RCD betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos (17 01 07)?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

3.3 Qual o destino final do RCD betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos (17 01 07)?

Aterro obras próprias	<input type="checkbox"/>
Aterro municipal	<input type="checkbox"/>
Aterro em obras de outros	<input type="checkbox"/>
Outros _____	<input type="checkbox"/>

3.4 É feita a separação apenas do RCD betão (17 01 01) para depois reutilizar/reciclar?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

3.5 Se sim, qual a aplicação do RCD betão (17 01 01)?

Betão estrutural	<input type="checkbox"/>
Camadas de pavimentos	<input type="checkbox"/>
Enchimento	<input type="checkbox"/>
Outro _____	<input type="checkbox"/>

3.6 Ficou satisfeito com a aplicação do RCD betão (17 01 01)?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

4 Redução, Reutilização e Reciclagem

4.1 A que nível considera estar a prática de redução de RCD na empresa ^[4]?

Muito baixo (0-10%)	<input type="checkbox"/>
Baixo (10-30%)	<input type="checkbox"/>
Médio (30-60%)	<input type="checkbox"/>
Elevado (60-100%)	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

4.2 A que nível considera estar a prática de reutilização de RCD na empresa ^[5]?

Muito baixo (0-10%)	<input type="checkbox"/>
Baixo (10-30%)	<input type="checkbox"/>
Médio (30-60%)	<input type="checkbox"/>
Elevado (60-100%)	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

4.3 A que nível considera estar a prática de reciclagem de RCD na empresa [6]?

Muito baixo (0-10%)	<input type="checkbox"/>
Baixo (10-30%)	<input type="checkbox"/>
Médio (30-60%)	<input type="checkbox"/>
Elevado (60-100%)	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

5 Custos associados

5.1 Existe contabilização de custos associados a gestão de RCD?

Não existe qualquer contabilização	<input type="checkbox"/>
Existe alguma contabilização	<input type="checkbox"/>
É feita total contabilização	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

5.2 Como considera o nível de custos com a gestão de RCD?

Muito baixo	<input type="checkbox"/>
Baixo	<input type="checkbox"/>
Médio	<input type="checkbox"/>
Elevado	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

5.3 Tem contrato com algum operador licenciado de resíduos?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

6 Materiais de construção com RCD reciclados

6.1 Tem conhecimento das guias para a utilização de RCD elaboradas pelo laboratório nacional de engenharia civil (LNEC)?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

6.2 Tem confiança na utilização de materiais de construção com RCD?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

6.3 Considera que se estudos comprovassem a adequabilidade destes materiais aumentaria a sua confiança na sua utilização?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

6.4 O custo de aquisição destes materiais influenciaria a sua decisão?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

6.5 O que o impede de utilizar este tipo de material?

Custo	<input type="checkbox"/>
Confiança	<input type="checkbox"/>
Disponibilidade no mercado	<input type="checkbox"/>
Desconhecimento	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

6.6 Estaria recetivo a utilizar materiais de construção com RCD se estivessem disponíveis no mercado?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

7 Betão com agregados reciclados

7.1 Tem confiança na utilização de betão com agregados reciclados?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

7.2 Considera que aumentaria a utilização de betão reciclado se estudos comprovassem a adequabilidade dos agregados reciclados?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

7.3 O custo de aquisição/produção de betão com agregados reciclados influenciaria a sua decisão?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

7.4 O que o impede de utilizar betão com agregados reciclados?

Custo	<input type="checkbox"/>
Confiança	<input type="checkbox"/>
Disponibilidade no mercado	<input type="checkbox"/>
Desconhecimento	<input type="checkbox"/>
Não sabe/não responde	<input type="checkbox"/>

7.5 Estaria recetivo a utilizar betão com agregados reciclados se estivesse disponível no mercado?

Sim	<input type="checkbox"/>
Não	<input type="checkbox"/>
Não sabe/Não responde	<input type="checkbox"/>

[1] A demolição seletiva é, a separação dos diferentes materiais constituintes de um edifício antes da demolição da sua estrutura principal

[2] Assegura o cumprimento dos princípios gerais de gestão de RCD e das demais normas aplicáveis

[3] RCD não valorizados – RCD que não foram reciclados ou reutilizados que são encaminhados para aterro.

[4] Reduzir significa comprar bens e serviços de acordo com as nossas necessidades para evitar desperdícios.

[5] Reutilizar é utilizar várias vezes os materiais ou aproveitar sobras de materiais para outras funcionalidades

[6] Reciclagem significa transformar o resíduo em matéria-prima ou novos produtos.