Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente

RESÍDUOS CERÂMICOS

Gestão e Valorização como Agregados

Volume I

Tese de Mestrado

Jorge Lima Ribeiro

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Departamento de Engenharia Minas

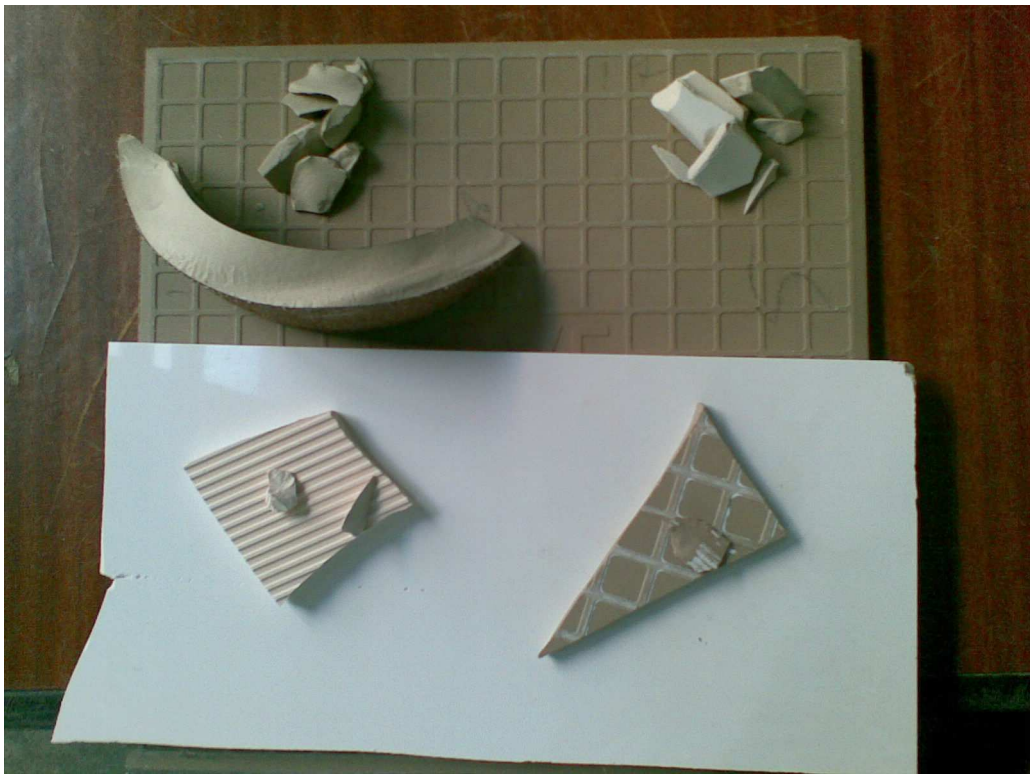
Orientador: **João Manuel Abreu dos Santos Baptista**

Julho de 2009

Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente

RESÍDUOS CERÂMICOS

Gestão e Valorização como Agregados



Agradecimentos

Agradeço às entidades e seus responsáveis que comigo colaboraram para que a realização deste trabalho fosse possível: Drª. Marisa Almeida, do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro; Eng. Cortereal, da Construcer Cerâmica de Construção S.A.; Eng. Paula Monteiro, da Fábrica Cerâmica de Valadares, S.A.; Eng. Catarina Dias, da "Love Tiles Ceramics" - Grés Panaria Portugal, S.A.; Eng. Orlando Tato, da Cerisol - Isoladores Cerâmicos, S.A..

Aos professores, profissionais e colaboradores do Departamento de Minas pelos ensinamentos e ajuda neste percurso académico.

Ao Engenheiro Baptista, pela orientação dada ao longo da tese, pelo apoio e incentivo e pela ajuda nos momentos de maior indecisão e dificuldade.

Aos amigos e à Joana pelo apoio e amizade.

À minha família pela confiança que depositaram em mim. Obrigado por todos os sacrifícios que fizeram ao longo da minha formação académica.

Resumo

A falta de capacidade demonstrada pelos produtores, de proceder a uma correcta gestão dos resíduos cerâmicos cozidos, exige uma avaliação, tanto no que diz respeito à sua prevenção como à sua valorização e eliminação. Em Portugal, estes representam cerca de 61% da produção dos resíduos gerados pela Industria Cerâmica e são essencialmente depositados em aterro ou em solos pertencentes às unidades fabris onde são gerados.

Deste modo, na perspectiva de se desenvolverem tecnologias e aplicações que levem a um destino mais útil e ambientalmente mais correcto para este tipo de resíduos, foi estudada a possibilidade de utilização dos resíduos cerâmicos cozidos na construção civil.

Neste contexto, o presente trabalho teve por principal objectivo caracterizar os resíduos e avaliar as suas características no sentido da sua utilização como agregados para argamassas e betão, em substituição dos agregados naturais.

Na perspectiva da sua caracterização como agregados, foi desenvolvida uma aplicação em Excel segundo as Normas Europeias de Produto (NP EN 13139 e NP EN 12620).

Como principal conclusão do trabalho, verificou-se que um factor de extrema importância na produção dos agregados reciclados cerâmicos é o controlo dos parâmetros de forma (achatamento e alongamento), tendo sido revelado que esse controle pode ser realizado concentrando a curva granulométrica nos calibres entre o valor e o dobro da espessura do material.

Abstract

The lack of capacity showed by the manufacturers, in order to proceed with a correct fired ceramic waste management, demands an evaluation, concerning its prevention, recycling and disposal. In Portugal, this means that about 61% of the waste production obtained by the ceramic Industry are landfilled or laid up on lands that belongs to the factory where they are generated.

In order to develop technologies and applications that lead to a more useful and environmentally correct destination for this kind of waste, it was studied the possibility to use ceramic waste in civil construction.

In this context, this work had as goal the characterization of ceramic wastes with the objective of verifying the possibility of its use in mortars and concrete production, in substitution of the natural aggregates.

In the aggregates characterization perspective, an application in Excel according to Product European Standards was developed (EN 13139 and EN 12620).

As main conclusion of this work we can say that a very important factor, for the production of recycled ceramic aggregates, it is the control of the particle shape (flakiness and elongation). We also achieve that, this control, can be made maximizing the particle size distribution between the thickness value of the material and its double.

ÍNDICE

1 Introdução 1

2 Objectivos, Metodologia e Organização da Tese 2

2.1 Objectivos 2

2.2 Metodologia 2

2.3 Organização da Tese 4

3 O ambiente e os resíduos cerâmicos 5

3.1 Desenvolvimento Sustentável 5

3.2 Resíduos: Conceitos e Legislação 7

3.2.1 Conceito de Resíduo 7
3.2.2 Classificação de Resíduos 7
3.2.3 Resíduos Industriais: Politica de Gestão 9

3.3 Valorização de resíduos industriais 14

3.3.1 Reutilização 14
3.3.2 Reciclagem 14

3.4 Industria Cerâmica 15

3.4.1 Segmentos da indústria cerâmica 16
3.4.2 O ambiente e a indústria cerâmica 19

3.5 Soluções de Valorização dos Resíduos Cerâmicos 25

3.5.1 Reutilização no Processo Produtivo 25
3.5.2 Reciclagem 26

3.6 Eliminação – Deposição final em aterro 31

3.6.1 Recuperação paisagística de pedreiras 32

4 Utilização dos Resíduos cerâmicos como agregados 37

4.1 Normas de Produto das aplicações em estudo 37

4.1.1 Agregados para Argamassa – EN 13139 37
4.1.2 Agregados para Betão – EN 12620 43

4.2 Resíduos utilizados 53

4.2.1 Selecção e Recolha dos resíduos cerâmicos 53
4.2.2 Amostragem 54
4.2.3 Caracterização dos resíduos 56
4.2.4 Selecção das aplicações viáveis 57

4.3 Propriedades dos agregados ensaiadas 59

4.3.1 Granulometria - Análise granulométrica. Método de peneiração. (NP EN 933-1) 60
4.3.2 Forma das partículas – Índice de Achatamento e de Forma 62
4.3.3 Massa volúmica do agregado (NP EN 1097-6) 68
4.3.4 Dureza dos materiais – Escala de Mohs 74

5 Aplicação em Excel 75

6 Apresentação dos resultados dos ensaios 76

6.1 Análise granulométrica. Método de peneiração. (NP EN 933-1) 76

6.2 Forma das partículas 77

6.2.1 Forma das partículas – Índice de Achatamento (NP EN 933-3) 77
6.2.2 Forma das partículas – Índice de Forma (NP EN 933-4) 79

6.3 Massa Volúmica e Absorção - NP EN 1097-6 81

6.4 Dureza dos materiais – Escala de Mohs 81

7 Discussão e Análise dos resultados 82

7.1 Granulometria 82

7.2 Forma das partículas 82

7.3 Massa volúmica e absorção de água 89

7.4 Outras propriedades observadas 90

8 Conclusões 91

9 Perspectivas de desenvolvimento 92

10 Bibliografia 93

11 Documentos normativos e Decretos-Lei 95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Subsectores da Industria Cerâmica – Classificação das Actividades Económicas (CAE-Ver.2) 17

Tabela 2 – Produção nacional de cacos cerâmicos cozidos, em toneladas (segundo CTCV) 22

Tabela 3 – Classificação dos resíduos cerâmicos – segundo a LER 22

Tabela 4 – Normas de Ensaio para a especificação dos Agregados para Argamassa..... 37

Tabela 5 – Limites de sobretamanhos e subtamanhos de agregados para Argamassas.. 39

Tabela 6 – Tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor para agregados de utilização corrente 39

Tabela 7 – Limites para o teor de finos 40

Tabela 8 – Categorias para os valores máximos do teor de sulfatos solúveis em ácido. 42

Tabela 9 – Ensaios a realizar na avaliação da aplicabilidade dos resíduos cerâmicos como Agregados para Betão 43

Tabela 10 – Dimensões dos peneiros para especificação dos agregados para betão (*Basic set, set 1* e *set 2*) 44

Tabela 11 – Limites de sobretamanhos e subtamanhos de agregados para Betão..... 45

Tabela 12 - Limites e tolerâncias para os peneiros intermédios 45

Tabela 13 – Tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor para agregados finos de utilização corrente 45

Tabela 14 – Tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor para os agregados "Natural graded" 0/8 mm 46

Tabela 15 – Granulometrias requeridas para os agregados Tout-venat..... 47

Tabela 16 – Categorias para os máximos valores do Índice de achatamento..... 47

Tabela 17 – Categorias para os máximos valores do Índice de forma 48

Tabela 18 – Categorias para o valor máximo do teor de conchas 48

Tabela 19 – Categorias para o valor máximo do teor de finos consoante o tipo de agregados 48

Tabela 20 – Categorias para os máximos valores do Coeficiente de Los Angeles 50

Tabela 21 – Categorias para os máximos valores do Coeficiente de Los Angeles 50

Tabela 22 – Categorias para os máximos valores do coeficiente de micro-Deval 51

Tabela 23 – Categorias para os máximos valores do Coeficiente de polimento 51

Tabela 24 – Categorias para os máximos valores da Resistência à abrasão 51

Tabela 25 – Categorias para os máximos valores de Resistência ao desgaste provocado por pneus com correntes 52

Tabela 26 – Categorias para os máximos valores de perda de massa no ensaio gelo/degelo 52

Tabela 27 – Categorias para os máximos valores de resistência ao sulfato de magnésio 53

Tabela 28 – Recolha de resíduos cerâmicos - Empresas dos diversos subsectores da indústria cerâmica 53

Tabela 29 – Massa mínima dos provetes de ensaio segundo a máxima dimensão do agregado (933-1) 60

Tabela 30 – Massa mínima do provete para o agregado de dimensão máxima de 19 mm 61

Tabela 31 – Peneiros de barras a utilizar no ensaio consoante a fracção granulométrica 64

Tabela 32 – Massa mínima dos provetes de ensaio segundo a máxima dimensão do agregado (933-4) 67

Tabela 33 – Fracções granulométricas ensaiadas (933-4) 67

Tabela 34 – Massa mínima dos provetes de ensaio para a fracção entre 4 mm e 31,5 mm (1097-6) 71

Tabela 35 – Massa mínima do provete para a fracção entre 4/31,5 mm para uma dimensão máxima de 19 mm 71

Tabela 36 – Escala de dureza de Mohs. 74

Tabela 37 – Resultados dos ensaios da análise granulométrica. Distribuição Granulométrica. 76

Tabela 38 – Resultados dos ensaios do Índice de Achatamento para todos os residuos cerâmicos. 77

Tabela 39 – Resultados dos ensaios do Indice de Forma para todos os residuos cerâmicos. 79

Tabela 40 – Resultados dos ensaios da massa volumica e da absorção de água para a fracção de 0,063 mm a 4 mm. 81

Tabela 41 – Resultados dos ensaios da massa volumica e da absorção de água para a fracção de 4 mm a 31,5 mm. 81

Tabela 42 – Resultados do ensaio de Dureza de Mohs. 81

Tabela 43 – Espessuras médias dos materiais utilizados na reciclagem. 84

Tabela 44 – Comparação das classes granulométricas com índice de achatamento vs índice de forma mais baixos 87

Tabela 45 – Absorção de água de agregados finos de diferentes composições. Fonte: Gonçalves 2007. 90

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Intervenções em pedreiras – tipos de enchimento 35

Ilustração 2 – Britador de maxilas utilizado na preparação dos agregados (à esquerda). 55

Ilustração 3 – Agitador e crivo de 19 mm utilizado na crivagem (à direita). 55

Ilustração 4 – Amostrador Jones (esquema e foto do amostrador utilizado)..... 55

Ilustração 5 – Agitador e coluna de peneiros utilizados no ensaio 62

Ilustração 6 – Partícula alongada (indesejável), à esquerda e particula de forma desejável para o fabrico de betão, à direita. (J. d. Coutinho 1999)..... 63

Ilustração 7 – Foto de um dos peneiros de barras utilizados durante um ensaio 65

Ilustração 8 – Taquímetro utilizado para medição das dimensões L e E das partículas de agregado. 66

Ilustração 9 – Exemplo de um picnómetro (retirado da norma EN 1097-6) 70

Ilustração 10 – Câmara termostática e picnómetros usados no ensaio (à esquerda) 73

Ilustração 11 – Processo de destilação de água (à direita)..... 73

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Fluxograma genérico das etapas da gestão de resíduos industriais (adaptado do PESGRI) 12

Quadro 2 – Fluxograma das etapas de gestão de resíduos da indústria transformadora 13

Quadro 3 – Classificação dos subsectores da indústria cerâmica (segundo o PNAPRI) 18

Quadro 4 – Ciclo de vida de um material cerâmico 19

Quadro 5 – Fluxograma genérico dos processos de fabrico do material cerâmico 23

Quadro 6 – Fases para selecção das aplicações potencialmente viáveis 58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição dos tipos de resíduos gerados no sector da Industria Cerâmica 20

Gráfico 2 – Distribuição dos tipos de resíduos gerados pelo subsector Fabricação de Produtos Cerâmicos não Refractários (Excepto os Destinados a Construção) e Refractários – CAE 262 20

Gráfico 3 – Distribuição dos tipos de resíduos gerados pelo subsector Fabricação de Azulejos, Ladrilhos, Mosaicos e Placas Cerâmicas – CAE 263 21

Gráfico 4 – Distribuição dos tipos de resíduos gerados pelo subsector Fabricação de Tijolos, Telhas e Outros Produtos de Barro para Construção – CAE 264 21

Gráfico 5 – Gráfico e equação da interpolação polinomial quadrática para as massas mínimas dos provetes 61

Gráfico 6 – Gráfico e equação da interpolação polinomial quadrática para a massa mínima do provete 71

Gráfico 7 – Gráfico dos resultados da percentagem cumulativa de material passado de todos os tipos de agregados. 76

Gráfico 8 – Histograma do Índice de achatamento médio para os diferentes resíduos .. 77

Gráfico 9 –Sanitários - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (esquerda) 78

Gráfico 10 – Cerâmica Técnica - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (direita) 78

Gráfico 11 – Tijolos - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (esquerda) 78

Gráfico 12 – Monoporosa - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (direita) 78

Gráfico 13 – Grés - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (esquerda) 78

Gráfico 14 – Monoporosa + Grés - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (direita) 78

Gráfico 15 – Histograma do Índice de forma médio para os diferentes resíduos 79

Gráfico 16 – Sanitários - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (esquerda) 80

Gráfico 17 – Cerâmica Técnica - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (direita) 80

Gráfico 18 – Tijolos - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (esquerda) 80

Gráfico 19 – Monoporosa + Grés - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (direita) 80

Gráfico 20 – Grés - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (esquerda) 80

Gráfico 21 – Monoporosa - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (direita) 80

Gráfico 22 – Cerâmica para usos Sanitários - Histograma do material retido. (esquerda) 88

Gráfico 23 – Cerâmica Técnica - Histograma do material retido. (direita) 88

Gráfico 24 – Cerâmica estrutural (Tijolos) - Histograma do material retido. (esquerda) 88

Gráfico 25 – Monoporosa - Histograma do material retido. (direita) 88

Gráfico 26 – Grés - Histograma do material retido. (esquerda) 88

Gráfico 27 – Monoporosa + Grés - Histograma do material retido. (direita) 88

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Massa volúmica do material impermeável das partículas (ρ_a) 73

Equação 2 – Massa volúmica das partículas secas em estufa (ρ_{rd}) 73

Equação 3 – Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca (ρ_{ssd}) 73

Equação 4 – Absorção de água (%) 73

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos produzidos pelo sector cerâmico possuem, muitas vezes, um destino final pouco digno e condicente com as suas características químicas e mecânicas, ficando em muitos casos, depositados sem o devido controle, nos terrenos das próprias empresas produtoras ou em aterros improvisados.

Deste facto, surge a necessidade de se identificarem aplicações e desenvolverem tecnologias, que resultem num destino mais útil e ambientalmente mais correcto para estes resíduos.

Assim, neste trabalho, será abordada a problemática da gestão de resíduos cerâmicos desta indústria, tendo essencialmente em conta a sua reciclagem e considerando a sua deposição em aterro apenas como medida de "fim-de-vida" para produtos de cuja tecnologia actual não permita a sua valorização. Isto, não ignorando, obviamente, a importância de outras duas perspectivas essenciais na gestão de resíduos como a redução na fonte geradora e a sua reutilização directa ou indirecta.

A valorização sustentável destes resíduos, de forma a reduzir a sua deposição final em aterro, assenta, essencialmente, na sua reutilização na indústria cerâmica e na sua reciclagem como matéria-prima para a construção civil.

A reutilização como matéria-prima é feita após a micronização dos "cacos". No contexto da construção civil, os resíduos cerâmicos são usados na produção de argamassas e betão, aproveitando tanto as suas características ligantes como as de agregados, e ainda na construção de sistemas de drenagem e em pavimentação rodoviária.

Este trabalho incidirá essencialmente na avaliação da viabilidade de utilização de agregados reciclados cerâmicos como substitutos dos agregados pétreos na construção civil, nomeadamente em argamassas e betão.

Esta avaliação parte do cruzamento dos dados provenientes da caracterização de diferentes agregados reciclados da indústria cerâmica, com os requisitos de cada aplicação referida.

Os agregados reciclados cerâmicos analisados foram recolhidos em empresas de diversos subsectores - cerâmica para sanitários, cerâmica de pavimentação e azulejos, cerâmica estrutural (tijolos) e cerâmica técnica (isoladores).

A análise técnica e a caracterização dos agregados reciclados segundo os requisitos de cada aplicação, será realizada com o auxílio de uma aplicação em Excel programada para esse efeito. O desenvolvimento desta aplicação vai além dos objectivos iniciais deste trabalho e apresenta-se como uma ferramenta de potencial utilidade na caracterização de todo o tipo de agregados.

2 OBJECTIVOS, METODOLOGIA E ORGANIZAÇÃO DA TESE

2.1 OBJECTIVOS

Este trabalho tem como objectivo geral:

- Estudar e caracterizar agregados produzidos por vários tipos de produtos cerâmicos;
- Avaliar as possibilidades de reutilização e reciclagem dos resíduos inertes oriundos da indústria cerâmica, nomeadamente como agregados para a construção civil;
- Desenvolver uma aplicação em Excel que permita uma caracterização dos agregados, segundo as normas europeias EN 13139 e EN 12620, com vista a sua utilização em argamassas e betão, respectivamente.

Assim, neste estudo vai proceder-se à caracterização dos resíduos cerâmicos e avaliar uma eventual possibilidade de utilização na construção civil como substituto do tradicional agregado pétreo utilizado na produção de argamassas e betão.

2.2 METODOLOGIA

Este trabalho de pesquisa iniciou-se em parceria com uma empresa de recolha e reciclagem de resíduos cerâmicos com o objectivo de estudar e caracterizar esses resíduos de modo a avaliar alternativas de reutilização e reciclagem e a planear a sua eliminação em aterro numa pedreira a recuperar. Contudo a impossibilidade de

continuar a trabalhar em parceria com a entidade referida por falta de disponibilidade desta, levou a que fosse necessário traçar um novo rumo e seguir um novo plano metodológico.

Embora o planeamento de uma metodologia, de pesquisa a desenvolver e da sequência de actividades a implementar seja objectivamente uma etapa importante, numa tese de pesquisa e desenvolvimento dificilmente seguem uma lógica linear. À partida para um trabalho desta índole traçam-se linhas gerais da metodologia a seguir, contudo este planeamento não pode ser visto como uma sequência rígida de etapas, mas necessariamente como um plano geral a ser adaptado às condições reais ao longo do trabalho.

Frequentemente a necessidade de resolução de problemas, impedimentos técnicos e até novas questões ou descobertas, podem levar a uma necessidade de reorientação e adaptação do plano metodológico e objectivos traçados, como é o exemplo deste trabalho.

O desenvolvimento de um produto utilizando como matéria-prima materiais reciclados, neste caso os resíduos cerâmicos, encerra uma complexidade superior que a utilização de produtos naturais, sendo necessários conhecimentos multidisciplinares em diversas áreas.

Assim, para desenvolvimento deste trabalho de pesquisa e para atingir os objectivos propostos, foi necessária uma aprofundada pesquisa e consulta bibliográfica. Esta primeira etapa da metodologia tem por objectivo enquadrar o trabalho no âmbito legal, social e ambiental, assim como identificar, quantificar e avaliar o tipo de resíduos, as quantidades disponíveis, a sua origem e processos que levam a sua produção. Após a avaliação do processo de produção e origem do resíduo passou-se a uma segunda fase desta etapa de pesquisa, a investigação dos processos de tratamento e gestão dos resíduos, nomeadamente as suas alternativas de valorização (reutilização e reciclagem) e eliminação.

Após consulta bibliográfica e uma reflexão interiorizada, foram seleccionadas as aplicações a serem avaliadas e estudadas a bibliografia e as normas europeias que

definem as especificações, requisitos e ensaios destas – Agregados para argamassas (EN 12620) e Agregados para betão (EN 13139).

De seguida foram recolhidos em empresas dos diversos sectores da Indústria Cerâmica (cerâmica para usos sanitários, cerâmica técnica, cerâmica estrutural – tijolos e cerâmica para pavimentos), diferentes tipos de resíduos a serem avaliados.

A etapa seguinte foi produzir agregados a partir dos resíduos recolhidos, através da sua fragmentação, sucedendo-se a caracterização desses agregados segundo as especificações e ensaios mais importantes referidos nas normas de produto das aplicações em estudo.

Como complemento desta etapa, foi realizado um programa em Excel que auxilia o investigador ou operador na realização dos ensaios e na especificação dos agregados segundo as referidas normas.

Finalmente, foram analisados os resultados obtidos e tiradas as conclusões acerca da viabilidade de utilização destes resíduos nas aplicações estudadas.

2.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese encontra-se organizada em dez pontos principais.

Primeiro é feita uma introdução, onde é apresentada a importância deste estudo e onde se faz um enquadramento das temáticas a serem desenvolvidas.

No segundo ponto é feita a apresentação dos objectivos a que este trabalho se propõe, a metodologia seguida e esquematiza a organização da tese.

No terceiro ponto, *O ambiente e os resíduos cerâmicos*, faz-se um enquadramento legal, social e ambiental da indústria cerâmica e faz-se o estado da arte relativamente à valorização e eliminação dos resíduos cerâmicos.

No ponto seguinte é feita uma apresentação das aplicações a serem avaliadas e das suas normas de produto, assim como da sua recolha, amostragem e caracterização dos resíduos utilizados. São ainda apresentados as propriedades dos resíduos a serem ensaiadas e as normas de ensaio a serem seguidas.

No quinto ponto é feita uma apresentação da aplicação em Excel de auxílio aos ensaios de caracterização dos resíduos. Em seguimento deste ponto, o manual desta aplicação, é apresentado no Volume II desta tese.

No ponto seis são apresentados graficamente e numericamente os resultados dos ensaios de caracterização dos resíduos. No seguimento destes resultados, no sétimo ponto, faz-se a sua análise e discussão.

Finalmente no oitavo e nono pontos deste trabalho são apresentadas, respectivamente, as conclusões finais e as perspectivas futuras de desenvolvimento.

No ponto dez e onze vem descriminada a Bibliografia, Documentos Normativos e Decretos-Lei consultados e citados.

3 O AMBIENTE E OS RESÍDUOS CERÂMICOS

3.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito de Desenvolvimento Sustentável é lançado, primeiramente, na agenda política internacional na Conferência sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas (Rio de Janeiro, 1992). O conceito de desenvolvimento sustentável, definido como *o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades*, atribui-se ao relatório das Nações Unidas, "O Nosso Futuro Comum"(Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future s.d.).

Inicialmente a ideia de Desenvolvimento Sustentável visava, apenas, o princípio da igualdade entre gerações, assentando assim na preservação dos recursos e do meio ambiente de modo a possibilitar às gerações futuras um desenvolvimento em iguais condições. As vertentes preservação ambiental e desenvolvimento económico eram assim a base do conceito. Contudo, em 1995, com a Cimeira Social de Copenhaga, foi integrada no desígnio do Desenvolvimento Sustentável uma vertente social, de igualdade intra-geracional no acesso a esse desenvolvimento. Actualmente, a aplicação

deste modelo, é executada baseando-se em três domínios essenciais*:* crescimento económico, protecção ambiental e justiça social.

Tendo em vista estas três dimensões básicas na formulação do conceito de Desenvolvimento Sustentável, este pode ser definido como todo o desenvolvimento passível de *atender às necessidades básicas de toda a população e garantir a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades* (Vanderley 2000).

Este conceito tem gerado alguma controvérsia e o seu real significado não é um assunto consensual. Contudo, à parte da sua definição, e da sua universalidade e execução, este modelo de desenvolvimento terá necessariamente que resultar numa produção menos consumidora de recursos e menos poluente, isto é, há que produzir maior quantidade de bens consumindo menos recursos naturais e produzindo menor quantidade de resíduos.

Assim sendo, nesta nova linha de orientação social e política, há uma pertinente necessidade de rever os padrões de produção e consumo, ou seja, o actual modelo de produção tem, necessariamente, que ser substituído por um novo modelo que promova um melhor aproveitamento dos recursos utilizados.

Um modelo circular, "Closed Loop" (Vanderley 2000), onde a produção e o consumo têm de se encontrar interligados num ciclo, de modo a optimizar a utilização de recursos na produção e diminuir a geração de resíduos a um mínimo que terá de ser reciclado e reintroduzido no processo produtivo, fechando o ciclo.

Neste contexto, na produção de bens e produtos, deixa de se programar a eliminação destes, após a sua utilização, e passa a projectar-se e a promover-se o prolongamento da sua vida útil, facilitando a sua valorização e reciclagem.

Naturalmente, este modelo cíclico de produção-consumo não será um ciclo completamente fechado, havendo sempre perdas inevitáveis de matéria e energia para o meio ambiente. A minimização dessas perdas nos processos produtivos e durante o ciclo de vida dos produtos, é o grande paradigma de uma sociedade em Desenvolvimento Sustentável e só assim serão possíveis avanços positivos e significativos neste domínio.

3.2 RESÍDUOS: CONCEITOS E LEGISLAÇÃO

3.2.1 Conceito de Resíduo

Segundo a legislação portuguesa, no Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, é considerada resíduo *qualquer substância ou objecto de que o detentor se desfaz ou tem intenção de se desfazer, nomeadamente os identificados na Lista Europeia de Resíduos.*

É interessante analisar e perceber que, em comparação com o conceito empírico, que na generalidade temos de "lixo", como algo sem serventia que deve ser eliminado dos circuitos de consumo e produção, o conceito de resíduo é relativo e não impõe que, mesmo que inútil para quem dele se desfaz, o material não possa apresentar-se como útil para outro processo ou utilizador.

3.2.2 Classificação de Resíduos

A quantidade e diversidade de resíduos sólidos tem, progressivamente, vindo a aumentar a nível global, nas últimas décadas. Este crescente aumento resulta de factores como a explosão demográfica e o aumento do poder de compra das famílias, aliados a uma política de desenvolvimento baseada no consumo, que levam a um crescimento económico e industrial insustentável.

Perante a diversidade de características dos resíduos descartados, tanto no que diz respeito à sua origem, composição e perigosidade, para o ambiente ou saúde pública, como a sua morfologia, torna-se necessária a sua classificação segundo as directivas comunitárias e nacionais.

Essa classificação deve ser realizada com base no disposto da legislação que estabelece o regime geral da gestão de resíduos, o decreto-lei supra-citado. Como verificamos no ponto anterior, este decreto remete-nos, em termos de identificação e classificação de resíduos, para a Lista Europeia de Resíduos.

A Lista Europeia de Resíduos (LER), aprovada pela Decisão da Comissão 2000/532/CE, de 3 de Maio, alterada pelas Decisões da Comissão 2001/118/CE, de 16 de Janeiro e 2001/119/CE, de 22 de Janeiro e 2001/573/CE, do Conselho, de 23 de Julho, encontra-se publicada na Portaria n.º209/2004, de 3 de Março (anexo I).

Nesta lista, os diferentes tipos de resíduos, são identificados por um código de seis dígitos, Código LER. Neste código, os dois e quatro primeiros dígitos correspondem, respectivamente, aos capítulos e subcapítulos em que se integram os resíduos correspondentes.

Os resíduos considerados perigosos, de acordo com os critérios estabelecidos na Directiva 91/689/CEE, são assinalados na LER com o símbolo "*". Resíduo perigoso, segundo o Decreto-Lei nº 178/2006, é *todo o resíduo que apresente, pelo menos, uma característica de perigosidade para a saúde ou para o ambiente, nomeadamente os identificados como tal na Lista Europeia de Resíduos*. As características de perigosidade referidas encontram-se apresentadas na Portaria n.º209/2004, de 3 de Março, em conformidade com a Directiva nº91/689/CEE, do Concelho, de 12 de Dezembro.

A classificação destes resíduos deverá ser efectuada em cumprimento das regras definidas pelo *Regulamento para a notificação de substâncias químicas e para a classificação, embalagem e rotulagem de substâncias perigosas*, dispostas no Decreto-Lei n.º 82/95, de 22 de Abril, e pela Portaria n.º 732-A/96, de 11 de Dezembro.

Quanto às suas características de perigosidade e interacção com o meio ambiente e o ser humano, no regime geral da gestão de resíduos, define-se ainda o conceito de Resíduo Inerte, como sendo todo *o resíduo que não sofre transformações físicas, químicas ou biológicas importantes e, em consequência, não pode ser solúvel nem inflamável, nem ter qualquer outro tipo de reacção física ou química, e não pode ser biodegradável, nem afectar negativamente outras substâncias com as quais entre em contacto de forma susceptível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana, e cuja lixiviabilidade total, conteúdo poluente e ecotoxicidade do lixiviado são insignificantes e, em especial, não põem em perigo a qualidade das águas superficiais e ou subterrâneas*.

Um outro modo de classificação de resíduos é segundo a sua origem. A Lei-Quadro dos Resíduos, Decreto-Lei n.º178/2006, define que as principais tipologias de resíduos, quanto à sua origem, são:

- Resíduo Urbano, *o resíduo proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações*;
- Resíduo Industrial, *o resíduo gerado em processos produtivos industriais, bem como o que resulte das actividades de produção e distribuição de electricidade, gás e água*;
- Resíduo Hospitalar, *o resíduo resultante de actividades médicas desenvolvidas em unidades de prestação de cuidados de saúde, em actividades de prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação e investigação, relacionada com seres humanos ou animais, em farmácias, em actividades médico-legais, de ensino e em quaisquer outras que envolvam procedimentos evasivos, tais como acupunctura, piercings e tatuagens*;
- Resíduo Agrícola, *o resíduo proveniente de exploração agrícola e ou pecuária ou similar*.

3.2.3 Resíduos Industriais: Politica de Gestão

Do ponto de vista de Desenvolvimento Sustentável, no que respeita à gestão de resíduos, o objectivo é capacitar a indústria de uma visão ecológica, onde prevenção da poluição e dos impactes no ambiente, com produções “mais limpas” e menos geradoras de resíduos sejam uma prioridade relativamente aos processos de valorização de resíduos, reutilização e reciclagem, e à eliminação, como medida de “fim-de-linha”.

As políticas de gestão de resíduos da comunidade europeia, e particularmente de Portugal, baseiam-se em estratégias que têm como objectivo a preservação dos recursos naturais, minimizando o seu consumo, e a redução dos impactos negativos dos resíduos na saúde pública e no meio ambiente.

No seguimento desta politica, o incentivo à redução da produção de resíduos na fonte geradora e a sua reutilização e reciclagem, são os objectivos principais. Deste modo, a identificação, planeamento e adopção de materiais recicláveis e de produtos e tecnologias mais ecológicas, é o caminho a seguir para atingir os objectivos propostos.

Neste contexto da gestão de resíduos, além da prevenção na produção de resíduos, é importante a promoção e desenvolvimento de sistemas de recolha, tratamento, valorização e eliminação. Assim, no seguimento destas regras e pressupostos da gestão de resíduos, segundo a legislação em vigor e o PNAPRI (2001), as operações que deverão ser contempladas são, hierarquicamente, as seguintes:

1. Prevenção na fonte (optimização da produção no sentido da redução das perdas)
2. Reutilização do resíduo
3. Valorização - Reciclagem
4. Outras formas de valorização, por exemplo, energética
5. Tratamento
6. Deposição final

O Estado, enquanto entidade reguladora, é responsável pela política nacional de resíduos e tem por obrigação prestar atenção ao planeamento da gestão de resíduos. Nesta medida, o Plano Nacional de Gestão de Resíduos e os Planos Estratégicos de Gestão dos Resíduos estabelecem as orientações estratégicas, necessárias para garantir a auto-suficiência, prevenção, valorização e eliminação dos resíduos. Os seus princípios estão definidos no Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro. As orientações propostas neste diploma sugerem ainda uma *prevalência da valorização dos resíduos sobre a sua eliminação e, no âmbito daquela, ao estabelecimento de uma preferência tendencial pela reutilização sobre a reciclagem, e de uma preferência tendencial da reciclagem sobre a recuperação energética.*

No seguimento destas políticas, rumo a um Desenvolvimento Sustentável, a indústria tem de enquadrar as suas acções em linha com estes princípios de gestão estratégicos, potenciadores da implementação de sistemas produtivos sustentáveis.

Encontram-se actualmente em vigor quatro planos estratégicos, relativos às quatro principais tipologias de resíduos, apresentadas no ponto anterior. No âmbito dos resíduos sectoriais: industrial, agrícola e hospitalar, temos respectivamente, o Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais (PESGRI), Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares (PERH) e Plano Estratégico de Resíduos Agrícolas (PERAGRI) e, no que

diz respeito aos resíduos urbanos, Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016 (PERSU II).

Com o Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais estabelecem-se, para o sector industrial, os objectivos principais a seguir para uma política sustentável e ambientalmente correcta, seguindo as orientações do "Plano de Desenvolvimento Ecológico e Social".

A linha de orientação política ambiental, apresentada pelo PESGRI, segue assim quatro directrizes prioritárias:

I. Gestão sustentável dos recursos naturais

A preservação dos recursos naturais e a sua gestão sustentável, requerem um planeamento adequado do fecho de lixeiras, não controladas, de elevado risco para a saúde pública e meio ambiente. O encerramento destas deve assentar na co-incineração dos resíduos considerados perigosos, e na eliminação adequada, dos resíduos não perigosos através da sua recolha, transporte, tratamento e correcta deposição final em aterro.

Esta intervenção deve preceder as outras fases de desenvolvimento que, sendo distintas, devem complementar-se. Assim, a gestão sustentável dos recursos exige a promoção de uma *infra-estruturação básica, prevenção e redução da produção e da perigosidade, aumento das taxas de reutilização e reciclagem*.

II. Protecção e valorização ambiental do território

Pretende-se a concepção de novos modelos de gestão de resíduos industriais e a eliminação de focos de perturbação, com vista à optimização do ambiente urbano e das periferias, a intervenção em áreas críticas, como a contaminação de solos, e devem implementar-se acções de sensibilização e informação ambiental.

III. Conservação da Natureza, protecção da biodiversidade e da paisagem

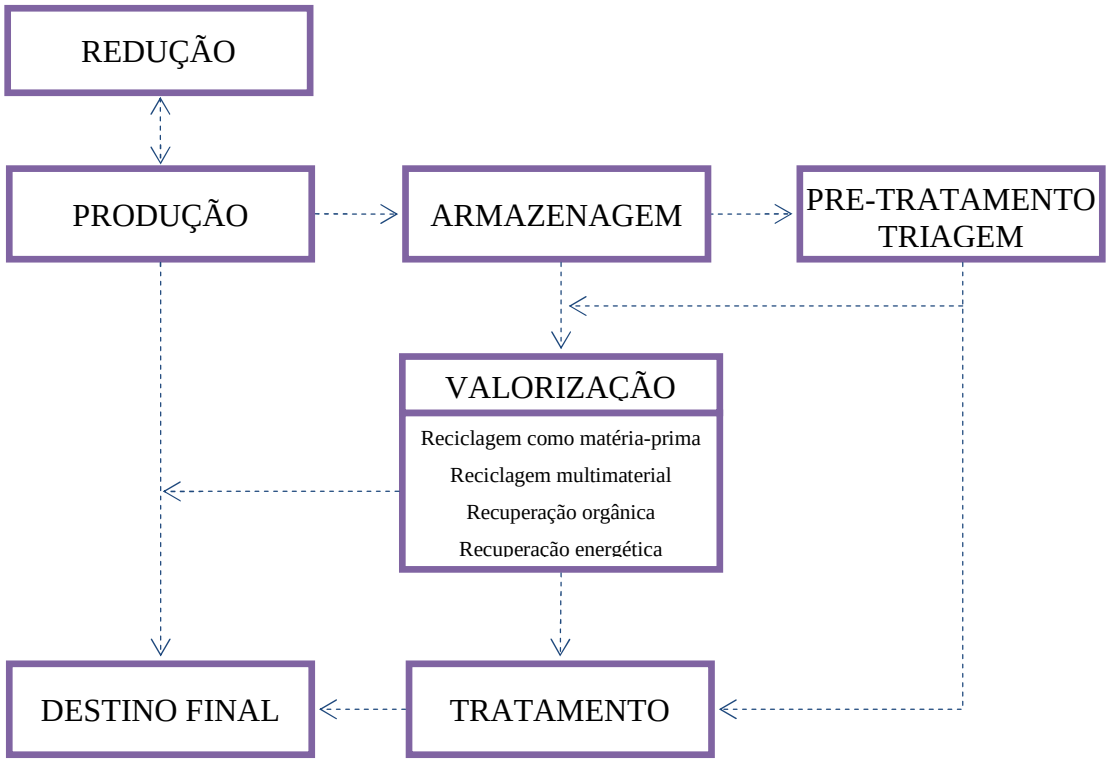
Neste contexto os objectivos estabelecidos são a implementação do projecto Rede Natura 2000, combinando-o com actividades relativas à gestão sustentável, e à programação de um novo mercado de trabalho, direccionado a actividades no âmbito das operações de gestão de resíduos industriais.

IV. Integração ambiental nas politicas sectoriais e de desenvolvimento local e regional

No que diz respeito à interacção entre políticas sectoriais vs meio ambiente, a organização de planos de compatibilização entre a actividade industrial e a protecção do ambiente, assim como, a criação de sistemas de monitorização e a definição de indicadores de pressão ambiental, que permitam avaliar o impacto dos resíduos gerados pelo sector da indústria na natureza, são os objectivos propostos.

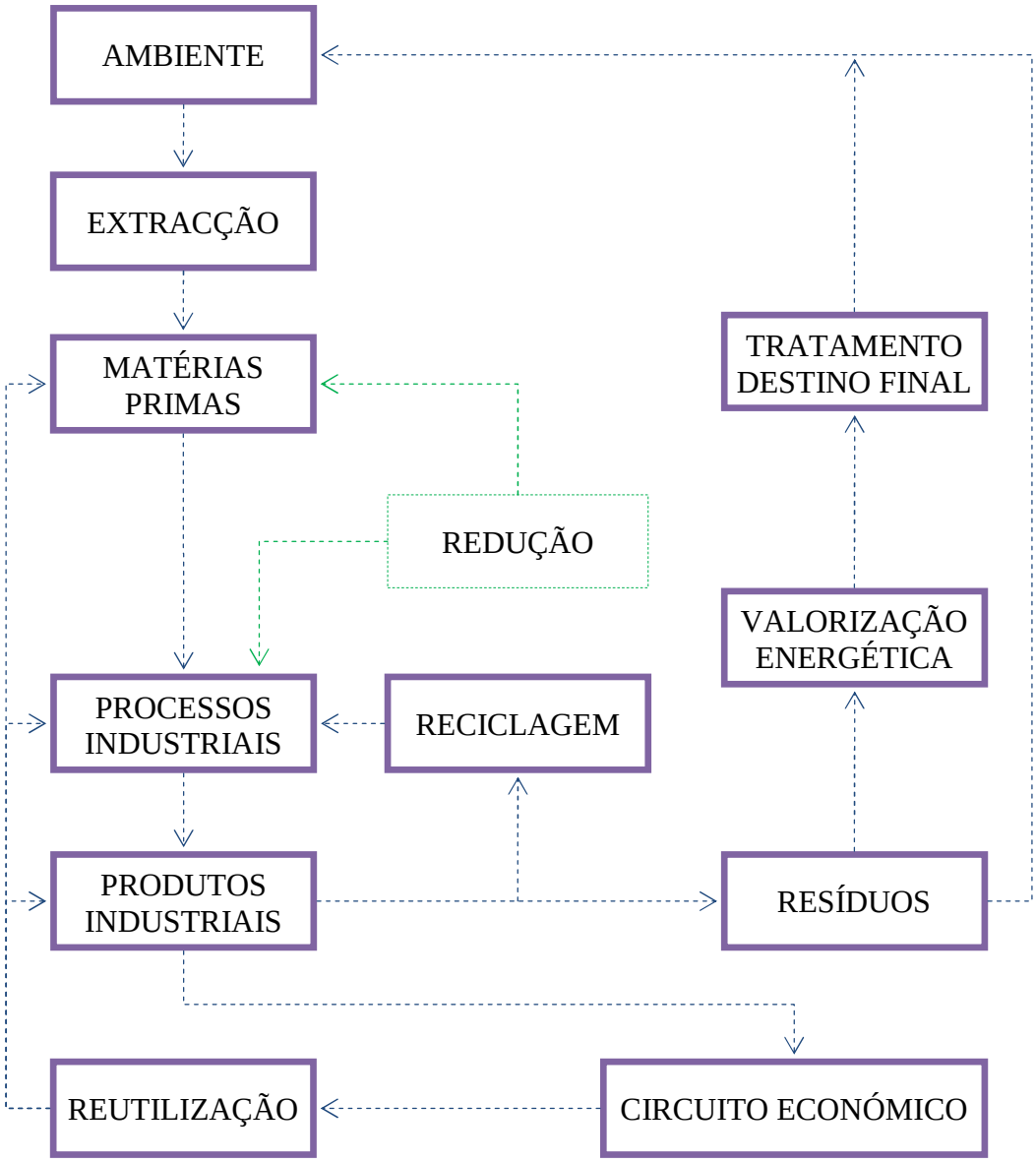
Assim, é fundamental um estudo aprofundado do ciclo de vida dos bens, produtos e resíduos, de forma a conseguir-se uma redução da produção de resíduos, assim como da sua perigosidade e passivo ambiental associados a essa produção.

Apresenta-se, no Quadro 1, o fluxograma com a visão genérica das etapas que devem ser seguidas na gestão integrada de resíduos industriais (adaptado do PESGRI).



Quadro 1 – Fluxograma genérico das etapas da gestão de resíduos industriais (adaptado do PESGRI)

São as empresas da indústria transformadora, nas quais se inclui a Industria Cerâmica, aquelas que contribuem com a generalidade dos resíduos gerados pelo sector industrial. A gestão sectorial dos resíduos industriais segue as etapas elementares da metodologia genérica apresentada, aproximando-as das características de cada sector. Assim, no Quadro 2, apresenta-se a metodologia padrão da gestão de resíduos para o sector da indústria transformadora, visando, tanto uma parte referente à indústria extractiva, como o campo da produção e consumo dos produtos industriais. De notar que, neste esquema (Quadro 2), se encontram excluídos os materiais residuais, tanto dos processos industriais e de extracção, como dos próprios processos de gestão de resíduos.



Quadro 2 – Fluxograma das etapas de gestão de resíduos da indústria transformadora

3.3 VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

3.3.1 Reutilização

Segundo o Decreto-Lei nº 178/2006, **Reutilização** é *a reintrodução, sem alterações significativas, de substâncias, objectos ou produtos nos circuitos de produção ou de consumo de forma a evitar a produção de resíduos*.

A Reutilização é portanto uma forma de poupar energia e matérias-primas e faz, ainda, parte integrante de um conceito mais amplo de minimização de resíduos na indústria. Este conceito, vem no seguimento das políticas a seguir para um Desenvolvimento Sustentável e visa uma redução dos resíduos gerados e consequentemente triados, tratados e eliminados, tanto quanto possível.

Esta alternativa, alem de potencialmente mais vantajosa, é legalmente indicada como preferível, relativamente à reciclagem. Isto porque os processos que envolvem esta operação exigem uma utilização mínima de recursos.

3.3.2 Reciclagem

O crescente aumento do consumo de recursos naturais na produção de bens e infra-estruturas é uma realidade em todas as economias da actualidade. A análise dos fluxos destes recursos em toda a sua vida (extracção, produção, valorização e deposição final) manifesta, no seguimento de um Desenvolvimento Sustentável, uma necessidade crescente de evitar que o destino final de todos os resíduos gerados continue a ser o meio ambiente e de incentivar a sua reciclagem como chave para essa sustentabilidade.

Segundo a Lei-Quadro dos Resíduos, o Decreto-Lei nº 178/2006, **Reciclagem** é *o reprocessamento de resíduos com vista à recuperação e ou regeneração das suas matérias constituintes em novos produtos a afectar ao fim original ou a fim distinto*, ou seja, é um conjunto de técnicas cuja finalidade é aproveitar os resíduos, recuperá-los e reintroduzi-los, como matéria-prima, em novos ciclos produtivos.

As vantagens deste processo em relação à utilização de recursos naturais “virgens” são muitas. Desde logo, a preservação desses recursos naturais, com o prolongamento da sua vida útil, reduzindo assim os impactes no meio ambiente associados à sua extracção. A redução do consumo de energia, as menores emissões poluentes e uma consequente

melhoria da saúde e segurança da população são outras vantagens que podemos imputar à reciclagem.

Para a eficácia da reciclagem é de extrema importância que a recolha, triagem e transformação sejam realizadas correctamente, que a sua utilização como matéria-prima secundária seja económica, energética e socialmente vantajosa e que os produtos dessa reciclagem sejam uma mais-valia para o consumidor.

Na indústria, a gestão dos resíduos gerados no processo produtivo, deve sempre privilegiar a prevenção, minimização e reutilização. Quando a reciclagem se impõe como a alternativa a seguir, esta deve ser realizada preferencialmente na própria instalação, de modo a evitar impactes ambientais adicionais, por exemplo, recorrentes da operação de transporte.

A reciclagem, apesar de ser uma solução de valorização eficaz e importante, tem limitações e condicionantes que importa referir. Desde logo a impossibilidade de reciclar um material *ad eternum*, assim como o balanço financeiro entre reciclagem e outras soluções, como a deposição em aterro, e ainda a existência de um mercado e da necessidade de competitividade económica para os produtos reciclados.

3.4 INDUSTRIA CERÂMICA

A Indústria Cerâmica engloba o conjunto de actividades destinadas à produção de artefactos a partir de barros de qualquer classe, decorados ou não, utilizando a propriedade da argila se moldar facilmente no estado de barro cru (húmido), adquirindo dureza com a sua secagem ou cozedura.

A palavra "Cerâmica" deriva do termo grego KERAMIKE, derivação de KERAMOS, que significa argila, matéria-prima existente em quantidade e qualidade no território português. Assim, a Indústria Cerâmica, tornou-se ao longo dos tempos um dos mais dinâmicos e tradicionais sectores da Indústria Portuguesa.

Foi com a sedentarização do Homem, no Neolítico, com a descoberta de novos meios de usufruir dos recursos naturais e com o desenvolvimento técnico da humanidade e acesso a uma economia produtiva, que teve origem a cerâmica. Desde então a cerâmica tem sido a solução para diversas aplicações durante o desenvolvimento do Homem.

O início da economia de produção, levou a uma necessidade crescente de novos materiais para as diferentes e novas aplicações, tais como o armazenamento de produtos agrícolas, materiais de construção para casas e infra-estruturas, a construção de fornos e outros utensílios. Até aos dias de hoje, a cerâmica é usada nas mais diversas áreas.

Os produtos cerâmicos continuam a ser, tal como há milhares de anos, aplicados na construção civil, em estruturas e revestimentos, e em simples utensílios domésticos de uso corrente e de decoração, como é também utilizada nas indústrias de mais alta tecnologia, como a automóvel e a aeroespacial.

3.4.1 Segmentos da indústria cerâmica

A cerâmica como grande industria que é, engloba um amplo ramo de aplicações o que leva à sua divisão em diferentes segmentos, tendo em conta inúmeros factores, tais como matérias-primas, propriedades e áreas de aplicação.

Deste modo, existem várias divisões possíveis, dependendo de qual a perspectiva com que olhamos o sector. Numa perspectiva empresarial e simplificada, apresentada pela Associação Portuguesa da Industria Cerâmica (APICER s.d.), o sector pode ser dividido nos seguintes segmentos:

Cerâmica Vermelha – cerâmica de materiais avermelhados empregues na construção civil (telhas, tijolos, etc.) e utensílios domésticos e de decoração e ainda argila expandida (agregados leves).

Cerâmica de Revestimento – cerâmica usada em construção civil, em pavimentação e no revestimento de paredes e bancadas (azulejos, placas ou ladrilhos para piso e pastilhas).

Cerâmica Branca – cerâmica constituída por uma massa de cor branca, geralmente recoberta por uma camada vítrea. Actualmente muitos destes produtos, de forma a obterem coloração, são produzidos com matérias-primas impuras, sem que isto prejudique as características técnicas para a aplicação em que são usadas. Este grupo abarca um amplo leque de aplicações, tais como, louça sanitária, louça de mesa, isoladores eléctricos para linhas de transmissão e de distribuição, utensílios domésticos

e de decoração e cerâmica técnica para diferentes utilizações (processos químicos, eléctricos, térmicos e mecânicos).

Cerâmica Refractária – produtos cerâmicos produzidos com o objectivo de serem submetidos a elevadas temperaturas durante processos industriais, sendo ainda sujeitos a possíveis esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações.

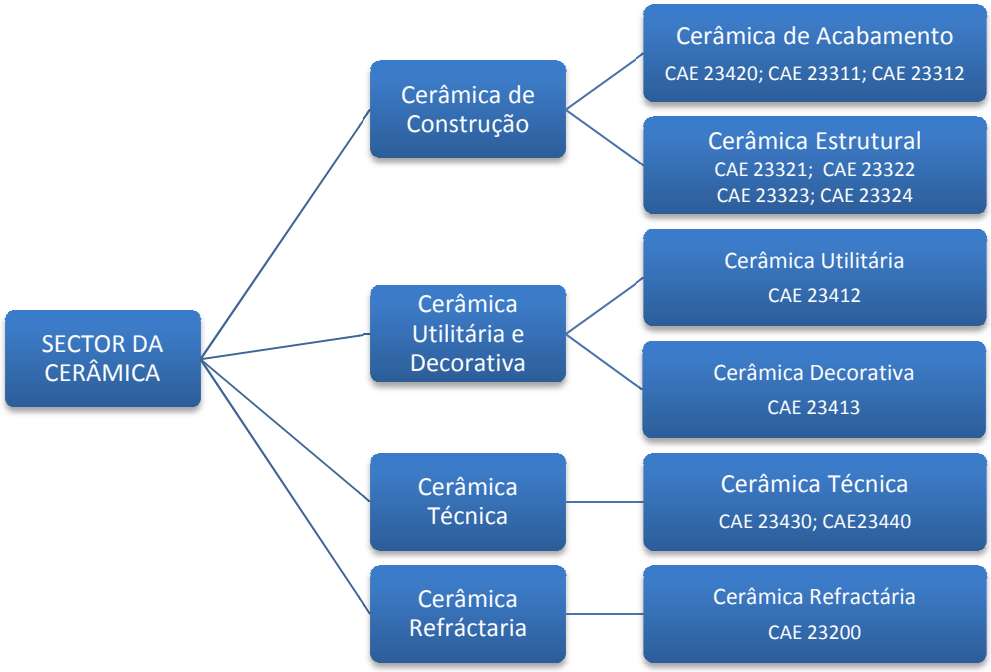
Cerâmica de alta tecnologia / Cerâmica avançada – cerâmica desenvolvida com matérias-primas sintéticas de alta pureza através de processos rigorosamente controlados. Estes produtos têm aplicação nas mais diferentes áreas da tecnologia, electrónica, magnética, óptica, química, térmica, mecânica, biológica e nuclear, e têm nos dias de hoje uma enorme importância na sociedade tecnológica. A sua aplicação é tão diversa, que estes podem ser encontrados tanto em naves espaciais, satélites e carros, como em implantes humanos, brinquedos ou aparelhos de som e vídeo.

Apesar desta classificação mais empírica apresentada pela APICER, as actividades industriais encontram-se classificadas pela *Classificação das Actividades Económicas (CAE-Ver.3), estabelecida pelo Decreto-Lei nº 381/2007, de 14 de Novembro*, que estabelece, para efeitos de legalização, a tabela de classificação das actividades industriais. Segundo esta, a Indústria Cerâmica em Portugal, encontra-se classificada e organizada, em subsectores, como ilustrado na tabela 1. Uma classificação dos subsectores, considerando a aplicação diferenciada dos produtos e a sua classificação pela CAE (Quadro 3), pode ser a mais conveniente, tanto na gestão de resíduos como na própria actividade industrial.

Tabela 1 – Subsectores Subsectores da Industria Cerâmica – Classificação das Actividades Económicas (CAE-Ver.3)

Secção - C	**Industrias Transformadoras**
Divisão - 23	Fabricação de Outros Produtos Minerais Não Metálicos
232	**Fabricação de produtos cerâmicos refractários**
2320	*Fabricação de produtos cerâmicos refractários*
23200	Fabricação de produtos cerâmicos refractários
233	**Fabricação de produtos cerâmicos para a construção**
2331	*Fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica*
23311	Fabricação de azulejos
23312	Fabricação de ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica

2332	*Fabricação de tijolos, telhas e de outros produtos cerâmicos para a construção*
23321	Fabricação de tijolos
23322	Fabricação de telhas
23323	Fabricação de abobadilhas
23324	Fabricação de outros produtos cerâmicos para a construção
234	**Fabricação de outros produtos de porcelana e cerâmicos não refractários**
2341	*Fabricação de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental*
23411	Olaria de barro
23412	Fabricação de artigos de uso doméstico de faiança, porcelana e grés fino
23413	Fabricação de artigos de ornamentação de faiança, porcelana e grés fino
23414	Actividades de decoração de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental
2342	*Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários*
23420	Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários
2343	*Fabricação de isoladores e peças isolantes em cerâmica*
23430	Fabricação de isoladores e peças isolantes em cerâmica
2344	*Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos*
23440	Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos
2349	*Fabricação de outros produtos cerâmicos não refractários*
23490	Fabricação de outros produtos cerâmicos não refractários



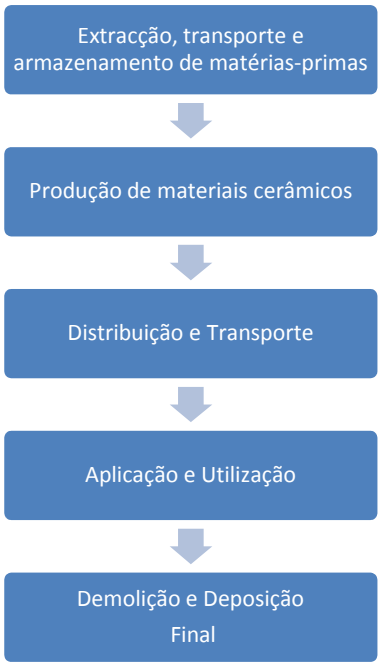
Quadro 3 – Classificação dos subsectores da indústria cerâmica segundo a aplicação diferenciada dos seus produtos e a sua classificação pela CAE (baseada no PNAPRI - 2001)

3.4.2 O ambiente e a indústria cerâmica

O ciclo de vida dos materiais cerâmicos inicia-se nos processos ante produção, como a extracção, transporte e armazenamento das matérias-primas, e termina pós-produção, nos processos de distribuição, aplicação, utilização e demolição (Quadro 3). Contudo, são os processos produtivos que impõem os maiores impactes ambientais.

As emissões gasosas para a atmosfera, resultantes essencialmente dos processos de secagem, cozedura e tratamentos como vidragem e pintura, o consumo de recursos naturais, como matérias-primas, água e energia, as eventuais descargas de efluentes líquidos industriais, as emissões de ruído e a produção de resíduos, são basicamente os impactes ambientais, imputados pela produção de cerâmicos.

Tal como acontece noutros sectores, os resíduos são uma das fontes de agressão ambiental mais importantes. Contudo, na indústria cerâmica, estes resíduos sólidos são, na sua grande maioria, inertes ou não perigosos, constituindo os resíduos perigosos, como óleos e compostos lubrificantes e solventes, uma pequena parte dos resíduos produzidos.



Quadro 4 – Ciclo de vida de um material cerâmico

Dos subsectores da indústria, a cerâmica de construção é a que apresenta maior produção de resíduos, com a cerâmica estrutural a representar 46% e a cerâmica de acabamento 40%.

Os resíduos gerados na Cerâmica são essencialmente constituídos de material cerâmico não conforme, provenientes do processo de fabrico, ante ou após os processos térmicos, ou seja, material verde, seco ou cozido. Na realidade, nos três subsectores da indústria, verifica-se que os cacos crus e cozidos são a maior fracção de resíduos gerados, como se encontra ilustrado nas figuras 1 a 4.

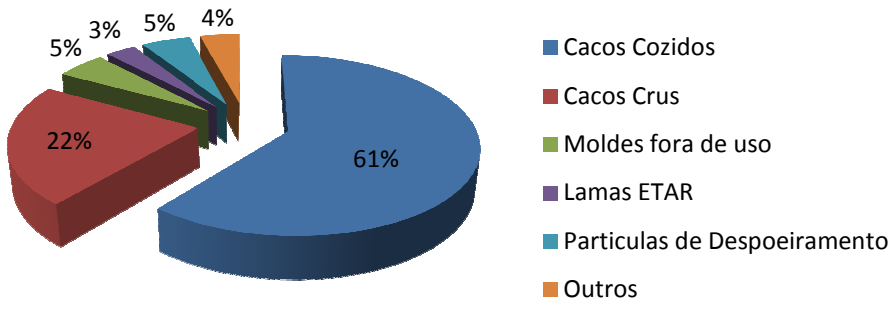


Gráfico 1 – Distribuição dos tipos de resíduos gerados no sector da Industria Cerâmica

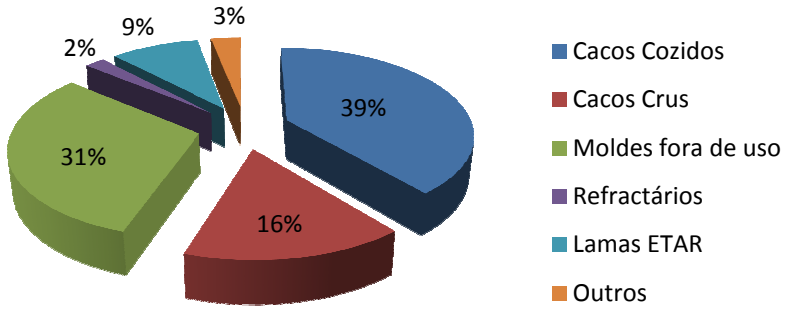


Gráfico 2 – Distribuição dos tipos de resíduos gerados pelo subsector Fabricação de Produtos Cerâmicos não Refractários (Excepto os Destinados a Construção) e Refractários – CAE 262

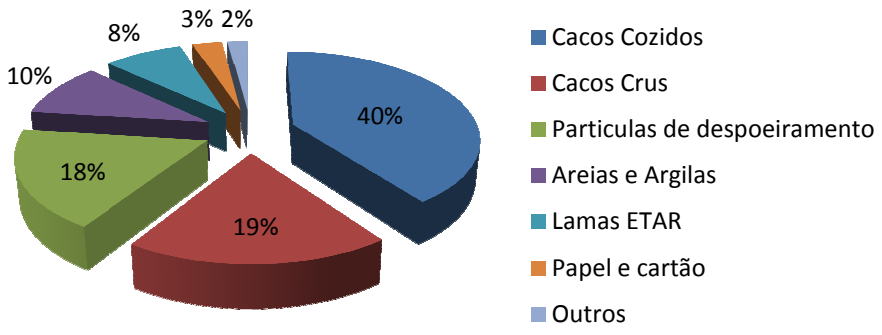


Gráfico 3 – Distribuição dos tipos de resíduos gerados pelo subsector Fabricação de Azulejos, Ladrilhos, Mosaicos e Placas Cerâmicas – CAE 263

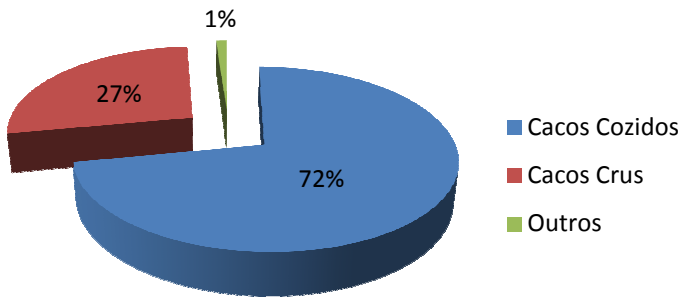


Gráfico 4 – Distribuição dos tipos de resíduos gerados pelo subsector Fabricação de Tijolos, Telhas e Outros Produtos de Barro para Construção – CAE 264

Os resíduos não sujeitos aos processos térmicos, que representam cerca de 22% da produção do sector, são normalmente reincorporados no processo produtivo, podendo por isso, na maior parte das vezes, ser encarados como subprodutos e não como resíduos.

De facto a indústria cerâmica tem revelado uma forte capacidade de incorporação e inertização de resíduos, tanto do próprio sector como provenientes de outras actividades industriais. Esta prática tem ganho uma frequência e importância cada vez maiores, nomeadamente na reincorporação dos resíduos cozidos, como abordaremos adiante.

São os resíduos cerâmicos cozidos que pela sua elevada produção, sensivelmente 61% dos resíduos gerados, e pela falta de capacidade, demonstrada pelos produtores, de

proceder a sua correcta gestão, que exigem uma avaliação, tanto no que diz respeito à sua valorização, como à sua prevenção.

Tabela 2 – Produção nacional de cacos cerâmicos cozidos, em toneladas (segundo CTCV)

Cerâmica Estrutural	78200
Pavimento e revestimento	46500
Sanitário	15800
Cerâmica Utilitária e Decorativa	18650
Produção de Refractário	1500

3.4.2.1 Identificação do resíduo

Os resíduos da indústria cerâmica encontram-se identificados, segundo a Lista europeia de resíduos, pelo código 1012.

Dado que a recirculação da pasta cerâmica pode não ser de 100%, podemos eventualmente encontrar, nos processos de valorização e eliminação, *resíduos da preparação da mistura (antes do processo térmico)*, necessitando de registar a sua ocorrência e encontrar alternativas de gestão ambientalmente correctas.

Contudo, como foi referido, de todos os resíduos gerados no sector, a maior parte são constituídos por peças cerâmicas danificadas no decorrer dos processos térmicos, no transporte e na embalagem, ou seja, cacos cozidos. É sobre estes resíduos que assenta este estudo de valorização e eliminação.

Assim, apresenta-se na tabela 2 a classificação/identificação dos resíduos cerâmicos, que serão alvo dos processos de valorização e eliminação.

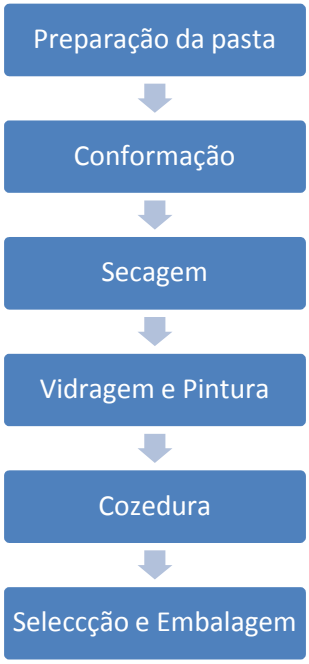
Tabela 3 – Classificação dos resíduos cerâmicos – segundo a LER

10	**Resíduos de processos térmicos**
1012	Resíduos do fabrico de peças cerâmicas, tijolos, ladrilhos, telhas e produtos de construção
101208	**Resíduos do fabrico de peças cerâmicas, tijolos, ladrilhos, telhas e produtos de construção (após o processo térmico)**
101201	Resíduos da preparação da mistura (antes do processo térmico)

3.4.2.2 Processo de Fabrico vs Resíduo Cerâmico

Estudar e entender o processo de fabrico que leva à produção do resíduo fornece, na maior parte dos casos, informação indispensável na concepção da estratégia a implementar para uma reciclagem tecnológica, económica e ambientalmente viável.

Este processo varia naturalmente com o subsector e o tipo de artigo cerâmico em produção. Contudo, todos eles envolvem um mesmo conjunto de operações básicas, como o apresentado esquematicamente no quadro 5.



Quadro 5 – Fluxograma genérico dos processos de fabrico do material cerâmico

Antes de ser submetida às operações de cozedura, como já foi referido, a pasta cerâmica é geralmente reintegrada a 100% no processo de fabrico. Assim, os cacos crus, que representam aproximadamente 22% dos resíduos da indústria, são, na maior parte das vezes, classificados como subprodutos do próprio sector.

Os resíduos cerâmicos depois de submetidos aos processos térmicos são essencialmente depositados em aterro ou em solos pertencentes às unidades fabris onde são gerados, e a

sua reutilização, segundo o PNAPRI, apesar de cada vez mais frequente em algumas linhas de produção, não ultrapassa os 3%.

Para estes resíduos, correspondentes a peças cozidas danificadas, as estratégias de prevenção passam por garantir a qualidade das matérias-primas e a redução dos produtos quebrados, nos processos de fabrico e transporte.

Para tal é necessária uma armazenagem adequada das matérias-primas, controlando os níveis de humidade, uma inspecção cuidada na sua recepção e a aquisição de materiais com menores teores de impurezas.

No que diz respeito ao processo de fabrico, a automatização das linhas de produção, antes realizadas de forma manual, e a modernização do equipamento leva a processos mais rentáveis, com menor percentagem de quebras e aumento da eficiência da cozedura, com diminuição do tempo de cozedura e quantidade de peças defeituosas.

Deste modo, a aposta numa inovação tecnológica para o sector, visando um aumento de produtividade e qualidade, leva necessariamente a uma minimização na produção de resíduos com vantagens económicas, não só pela diminuição dos custos associados à gestão dos resíduos e do consumo de matérias-primas e energia, como pelo aumento do rendimento e qualidade dos produtos.

Tendo em consideração o elevado número de resíduos cerâmicos resultantes dos processos de fabrico é imperativo, na Indústria Cerâmica, além da adopção de estratégias de prevenção, conduzindo a uma redução significativa desses resíduos, a implementação de estratégias de reciclagem e reutilização. Assim, os destinos dos resíduos cerâmicos deverão ser potencializados, diminuindo-se simultaneamente a utilização de recursos naturais e os custos de deposição final em aterro, aumentando-se desse modo o seu período de vida.

Estas alternativas à deposição em aterro permitem uma maior harmonia entre a indústria e o meio ambiente, uma diminuição da exploração dos recursos naturais e uma diminuição dos custos de fabrico.

3.5 SOLUÇÕES DE VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS CERÂMICOS

A par da reavaliação e organização dos métodos de deposição final dos resíduos cerâmicos, é urgente promover a análise do ciclo de vida destes materiais com o objectivo de alcançar o seu máximo reaproveitamento e valorização.

Um requisito essencial para a viabilização do novo produto é que este tenha um custo de produção competitivo com a solução técnica já estabelecida. Assim, a viabilidade financeira é naturalmente um elemento fundamental na avaliação das alternativas de valorização possíveis. Esta deve ser avaliada considerando o valor de mercado do produto, os custos do processo de reciclagem e os custos relativos à produção e manuseamento dos resíduos, como os de licenças ambientais, deposição em aterro, transporte, acondicionamento e multas.

3.5.1 Reutilização no Processo Produtivo

Uma das soluções possíveis de valorização para os resíduos cerâmicos é a possibilidade de reintroduzi-los no próprio sistema produtivo, sendo esta a solução técnica económica e ambientalmente mais eficaz. Por este motivo, este processo tem ganho uma aplicação cada vez mais frequente, com evidentes vantagens económicas, tecnológicas e ambientais.

Os resíduos gerados no processo produtivo, antes de submetidos aos processos térmicos (material verde e seco), podem ser reincorporados praticamente a 100% nesse processo.

A par desta realidade, tem-se verificado um aumento na recirculação dos resíduos cozidos, não vidrados, através da sua moagem e posterior reutilização na preparação da pasta. Esta reincorporação pode ser realizada mediante a moagem das peças cerâmicas cozidas, geralmente em moinhos de martelos, reduzindo-as a uma granulometria adequada ao processo.

A adição destes resíduos cerâmicos à argila, para preparação da massa cerâmica, tem revelado reflexos positivos sobre o processo produtivo, como reduções nos tempos de secagem e nos efeitos de retracção.

Paralelamente a estas melhorias dos parâmetros de secagem, este processo tem permitido uma redução de possíveis defeitos nas peças, tanto na etapa de secagem como

no processo de cozedura, actuando assim, além do seu carácter de sustentabilidade ambiental, como um factor de qualidade. Assim, o aproveitamento destes resíduos como subproduto, reintegrando-os no processo produtivo, permite a fabricação de produtos de boa qualidade e uma redução da quantidade de resíduos gerados e de matérias-primas originais consumidas, diminuindo os impactos inerentes à sua extracção.

Contudo, a incorporação destes resíduos moídos não ultrapassa os 10% da composição final da pasta, sendo por isso necessário procurar e avaliar outras soluções de valorização em maior escala para os resíduos cerâmicos cozidos.

3.5.2 Reciclagem

As soluções de reciclagem dos resíduos cerâmicos são várias e diversos sectores industriais têm demonstrado uma grande disponibilidade para os incorporar, nos seus processos produtivos. A utilização destes resíduos como inertes, a sua aplicação, após moagem, em arruamentos, como enchimento na construção civil e na pavimentação de campos de ténis, ou a utilização dos cacos vidrados como subproduto da indústria cimenteira ou do subsector dos refractários, são exemplos de soluções de reciclagem possíveis. É importante que os destinos a dar na reciclagem dos resíduos cerâmicos seja realizada de acordo com as directrizes comunitárias e a legislação em vigor. De seguida apresentam-se algumas alternativas de reciclagem.

3.5.2.1 Matéria-prima da Construção Civil

O aumento dos custos dos recursos minerais naturais, a par da crescente actividade industrial, obriga a que seja revista a logística de fornecimento das matérias-primas virgens. Torna-se, assim, interessante a promoção da utilização dos desperdícios, de sectores industriais como o da cerâmica, em matérias-primas alternativas e de aplicação em grande escala, nomeadamente no sector da construção civil.

O sector da construção civil apresenta várias características potenciadoras de um papel de enorme importância na reciclagem de resíduos. Como a maior consumidora de materiais na economia, a construção civil, tem uma enorme capacidade recicladora.

Por outro lado, *os diferentes ramos da cadeia produtiva estão presentes em todas as regiões, o que facilita projectos de simbiose industrial e permite uma reciclagem local,*

já que a questão geográfica é crítica neste tipo de trabalho (Vanderley 2000). Este factor revela-se de enorme importância porque a produção regional baixa os custos, inerentes à reciclagem, nomeadamente no que diz respeito ao transporte dos resíduos.

A produção dos componentes usados na construção civil, não faz uso de técnicas muito complicadas e as suas matérias-primas não estão sujeitas, na maioria das aplicações, a requisitos de qualidade muito estreitos, como esterilidade e elevados graus de pureza, o que simplifica o processo de reciclagem.

Assim, nos dias de hoje, a reciclagem de resíduos na construção civil revela-se uma potencial alternativa na minimização de impactos ambientais. Além da redução do volume de resíduos encaminhados para aterros, verifica-se uma possível redução de custos de energia e de produção, inerentes a uma consequente economia de matérias-primas originais.

Possivelmente, através da utilização de matérias-primas recicladas, como os resíduos cerâmicos, será possível obter materiais diferentes dos utilizados tradicionalmente, mas adequados a aplicações específicas. *Do ponto de vista da construção civil, a reciclagem de resíduos vai resultar no oferecimento de uma maior quantidade de produtos alternativos para uma mesma função e, possivelmente, de soluções mais adequadas para situações específicas, com ganhos de eficiência geral do processo* (Vanderley 2000).

Deste modo, os estudos associados ao aproveitamento destes resíduos como novos materiais de construção e o desenvolvimento tecnológico de processos associados à sua reciclagem, assumem uma enorme importância.

A utilização de resíduos cerâmicos na construção civil verifica-se há milhares de anos, desde o Império Romano e da Grécia antiga, mas o seu grande crescimento dá-se após a II Guerra Mundial, com a utilização de resíduos provenientes das construções destruídas pela guerra, na reconstrução das infra-estruturas. Os resíduos cerâmicos eram assim utilizados, aproveitando-se, tanto as suas propriedades de resistência mecânica em agregados, como explorando a sua capacidade ligante, dadas as suas propriedades pozolânicas.

As argamassas são, geralmente, constituídas por cimento, areia e água, contudo, a adição de outros materiais para a obtenção de propriedades especiais é um procedimento que ganha, nos dias de hoje, grande relevância.

O cimento é um material mineral com propriedades hidráulicas que fazem dele uma substância ligante. Assim sendo, é o principal material usado na construção civil como aglomerante, e actualmente é um dos produtos mais usado pela Humanidade, sendo o seu consumo apenas superado pelo da água e dos agregados. Quando em contacto com a água, produz uma reacção exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim uma elevada resistência mecânica. Por este motivo, os aglomerados hidráulicos usados na construção civil consistem, essencialmente, de cimento Portland e algumas modificações.

Na indústria de argamassas e betão têm sido desenvolvidos cimentos especiais como os cimentos pozolânicos.

As pozolanas são materiais siliciosos ou silico-aluminosos que contêm um elevado teor de sílica não cristalina, finamente pulverizada, com capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio, na presença de água e à temperatura normal. São, normalmente, mais baratas do que o cimento Portland que substituem, e possuem características como uma hidratação lenta e uma baixa taxa de desenvolvimento de calor, o que se revela de elevada importância na construção civil. Por este motivo, os cimentos Portland-pozolana ou substituições parciais de cimento Portland por pozolanas tornam-se cada vez mais comuns. Assim, dada a crescente procura da construção civil, os materiais pozolânicos começam a escassear, pelo que a industria procura uma alternativa para estes materiais na utilização de cimento e produção de betão.

Os resíduos de cerâmica apresentam, na sua estrutura, sílica numa forma passível de ser combinada com os hidróxidos de cálcio do cimento Portland. Através da sua adequação física, estes resíduos podem, eventualmente, ser utilizados em argamassas pozolânicas, como alternativa a pozolanas naturais. Deste modo, contribuirão para a reutilização dos desperdícios gerados nos processos de fabricação do sector, desempenhando, assim, um papel importante como matéria-prima na indústria da construção civil.

A incorporação de materiais reciclados cerâmicos na produção de argamassas, além da sua utilização como pozolanas, para redução do teor de cimento, pode ser realizada tanto através da simples adição de finos para obtenção de argamassas mais compactas, como através da utilização dos reciclados cerâmicos como agregados da argamassa, ou seja, da substituição dos agregados de origem natural por agregados reciclados, de origem cerâmica, com uma curva granulométrica idêntica.

A argamassa convencional, dada a falta de material fino, apresenta espaços vazios que afectam as suas características mecânicas. O efeito fíler, preenchimento desses vazios, que a adição de finos dos materiais cerâmicos pode trazer, levará a que se obtenham argamassas mais compactas.

Alem da utilização de agregados cerâmicos reciclados na produção das argamassas, pode ainda ser viável a utilização de agregados cerâmicos graúdos na produção de betão, pela substituição total ou parcial, da componente de agregados grossos pétreos por estes.

Cerca de três quartos do volume do betão são ocupados pelos agregados que se sabe, actualmente, serem responsáveis por importantes propriedades do betão, além das propriedades de inerte de enchimento, que lhe são imputadas.

Devido tratar-se de um material de características diferentes do agregado natural, pétreo, é espectável, sob vários aspectos, um comportamento diferente. Assim, esta substituição terá como consequência betões de características mecânicas, previsivelmente inferiores aos com agregados pétreos.

Deste modo, a aplicação destes betões será realizada, essencialmente, em artefactos de características mecânicas que não sejam particularmente exigentes, tal como a confecção de blocos pré-fabricados de betão para pavimentação. Este tipo de produtos, utilizados essencialmente, em meio urbano, tem tido uma crescente aplicação no mercado da construção. A utilização dos resíduos cerâmicos tanto nestes como em pavimentos asfálticos, pode revelar-se de grande importância dado o baixo custo, tanto de produção como de execução de obra, dadas as qualidades até aqui demonstradas por estes materiais.

A produção de materiais para construção civil pode constituir assim uma forma ambientalmente correcta de gerir os resíduos cerâmicos. Do ponto de vista da preservação ambiental e da sustentabilidade desta prática de gestão de resíduos, importa garantir que a qualidade dos materiais de construção e infra-estruturas em que estes são utilizados, permaneça dentro de limites aceitáveis e sempre em conformidade com o estipulado legalmente. É ainda essencial que os produtos fabricados tenham carácter garantidamente inerte e possuam as características de qualidade adequadas ao seu uso.

3.5.2.2 Produção de solos artificiais

Devido às elevadas quantidades de resíduos, novas tecnologias e aplicações encontram-se em constante estudo e desenvolvimento, tanto como forma de solucionar os problemas ambientais, como para encontrar novos produtos de diferentes características e potencial de utilização.

Os solos artificiais, pela sua aparente simplicidade de produção e pelo potencial de consumo de material mineral, podem ser vistos como uma solução de valorização muito interessante para os resíduos cerâmicos. Além de ser uma alternativa para este tipo de resíduos, a sua produção tem um valor ambiental acrescentado, pela possibilidade de consumo de outros tipos de resíduos.

Um solo natural é constituído por uma fracção sólida, de matéria mineral associada a matéria orgânica, uma fracção líquida (solução do solo), composta por água e sais minerais dissolvidos, e uma fracção gasosa (atmosfera do solo). A matéria mineral tem origem na alteração física e química das rochas, apresentando por isso minerais primários e alguns minerais secundários gerados pela alteração dos primeiros. Por sua vez, a matéria orgânica presente, provém da decomposição através da actividade de microrganismos, de restos vegetais e cadáveres animais existentes na superfície do solo. Este material, também conhecido como húmus, pode compor quase a totalidade de um solo ou, pelo contrário, ser quase inexistente.

A matéria orgânica contribui activamente para a manutenção da estrutura do solo, para uma melhoria na infiltração e retenção da água e aumenta a sua capacidade de troca. Por

este motivo, apesar de não intervir directamente na alimentação da flora existente, a fertilidade de um solo é directamente influenciada pela quantidade de matéria orgânica presente.

Os solos artificiais são misturas realizadas pelo homem respeitando as características essenciais de um solo gerado por processos naturais. Na sua produção, para atingir as características físico-químicas desejáveis num solo fértil, têm de ser avaliadas as diferentes matérias-primas a adicionar e as suas quantidades relativas.

A utilização dos resíduos cerâmicos supre as necessidades de matéria mineral, contudo, devido às suas características inertes e estéreis, será naturalmente necessária a adição de uma fonte de matéria orgânica à mistura.

A utilização de resíduos sólidos orgânicos, vegetais e animais, após compostagem, é muitas vezes a solução adoptada na requalificação de solos agrícolas, deficitários em matéria orgânica. Deste modo, a introdução de um composto orgânico juntamente com a componente mineral, proveniente dos resíduos cerâmicos, na mistura do solo artificial, será possivelmente a solução mais indicada nesta situação. O uso deste tipo de composto permite ainda a reciclagem de resíduos orgânicos de diversas proveniências, que não sendo o alvo deste trabalho, vai de encontro às linhas definidas para um desenvolvimento sustentável

3.6 ELIMINAÇÃO – DEPOSIÇÃO FINAL EM ATERRO

No âmbito da gestão ambiental dos resíduos industriais, a última solução a adoptar, para os resíduos que não foi possível introduzir nos circuitos de valorização, deve ser a eliminação.

O Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, define eliminação como

"*operação que visa dar um destino final adequado aos resíduos nos termos previstos na legislação em vigor (…)*".

Nesta operação de "fim-de-linha", deve optar-se pela solução que minimize os riscos para o meio ambiente e saúde pública.

Neste contexto, a solução de eliminação adoptada para os resíduos cerâmicos, é a sua deposição "*sobre o solo ou no seu interior*", ou seja, em aterro de resíduos inertes. Esta

solução, somente deverá ser permitida após estes resíduos serem submetidos a uma correcta triagem e ser excluída a viabilidade imediata de se proceder à reutilização ou reciclagem dos mesmos, sendo por isso considerada uma solução de "fim-de-linha". Deste modo, *só se confina o que não pode ser aproveitado de nenhum modo conhecido*.

A deposição em aterro deve ser projectada de modo que a disposição dos diferentes tipos ou diferentes granulometrias de resíduos cerâmicos, seja realizada de forma selectiva, para na eventualidade de se tornar viável a reutilização ou reciclagem de um determinado tipo de resíduo, poder proceder-se à sua posterior recolha e valorização (reutilização ou reciclagem).

Os critérios para a construção dos aterros para as diferentes tipologias de resíduos, nomeadamente os resíduos inertes, encontram-se definidos pelo Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de Agosto.

A localização de um aterro está naturalmente dependente dos locais disponíveis para a sua instalação, que são actualmente reduzidos. A implementação destes em pedreiras abandonadas deve ser considerada como uma solução, pois evita a utilização de áreas "virgens" para este fim. Paralelamente, segundo directrizes da UE para implementação de uma política ambiental comum, aconselha-se a recuperação de pedreiras através da deposição estabilizada de resíduos inertes.

Assim, tratando-se os resíduos cerâmicos de inertes, no planeamento da deposição em aterro, deverá proceder-se em conformidade com esta directriz e aproveitar uma pedreira abandonada para o efeito.

3.6.1 Recuperação paisagística de pedreiras

A recuperação paisagística de pedreiras é um requisito obrigatório, previsto pela legislação em vigor, no Decreto-Lei 270/2001, de 6 de Outubro, que estabelece o regime jurídico em matéria de exploração de pedreiras.

Segundo este decreto impõe-se a realização de um "Plano ambiental e de recuperação paisagística" (PARP), que é definido como um "*documento técnico constituído pelas medidas ambientais e pela proposta de solução para o encerramento e a recuperação paisagística das áreas exploradas*".

A revegetação dos locais afectados pela actividade extractiva com a flora primitiva, é actualmente, a prática mais comum no que diz respeito à recuperação de pedreiras. Esta solução pode permitir, eventualmente, a utilização do espaço como floresta de produção, mas leva na grande maioria das situações a que estes espaços deixem, a prazo, de prestar um serviço vantajoso para a natureza e para o Homem. Por norma, verificam-se tentativas deficitárias de repor a situação primitiva, o que revela falta de criatividade e empenho, que resulta numa insipidez de soluções, de fraco valor acrescentado. Frequentemente, de forma a obter a aprovação do projecto de recuperação, este tipo de soluções preconiza uma densidade florestal exagerada, que em nada abona a área a requalificar.

Na maior parte dos casos, é evidente, por parte das empresas e proprietários dos terrenos, a apologia de soluções de exequibilidade imediata e de baixo custo, não olhando para os terrenos como potenciadores de novas alternativas, de retorno económico, ambiental e social mais elevado.

É por isso importante a realização de um projecto de recuperação paisagística que vise tirar partido e maximizar outras potencialidades do terreno. Colocar a tecnologia e criatividade ao serviço deste objectivo, assim como o estudo cuidado do terreno e meio ambiente envolvente, pode levar à execução de projectos inovadores e potenciadores de mais-valias desejadas.

O projecto de recuperação de uma pedreira depende de inúmeros factores e não pode ser realizado de forma sistemática e repetitiva de soluções anteriormente aplicadas, em outras explorações a céu aberto. É necessária uma avaliação, a cada caso, dos objectivos pretendidos, das limitações e potencialidades do espaço, em causa, e do material e capital de investimento disponíveis.

Além do aspecto ambiental, a reabilitação da área afectada pela exploração, tem de visar a estabilização do próprio terreno, garantindo a segurança de futuros usufrutuários, uma melhoria paisagística, em harmonia com o ambiente envolvente, e a restituição do espaço ao serviço público.

A recuperação assenta, essencialmente, em três modelos distintos: a restauração, que visa a restituição do estado primitivo e remoção da causa da degradação; a reabilitação,

cujo objectivo é, assumindo a perturbação gerada, criar um novo ecossistema compatível com o meio envolvente; e a reconversão, que englobando uma visão mais ampla de recuperação, não limita a área em intervenção, ao ecossistema nativo, permitindo soluções alternativas.

Como já foi referido, a reposição do ambiente primitivo à exploração, mesmo que viável, pode não ser a solução mais adequada e a sua implementação, só se justifica quando o ecossistema original se revele de extrema importância para a estabilidade e harmonia da natureza da zona.

As soluções adoptadas têm, antes de mais, de ser implementadas com o intuito de serem vantajosas para a natureza, para as populações envolventes e para o promotor. A implementação de projectos de urbanização ou industrialização, a criação de áreas de carácter turístico, ecológico ou sociocultural, são algumas das estratégias possíveis, contudo, o mais importante é a escolha de uma solução que, além de agradar aos intervenientes, esteja de acordo com o enquadramento legal, ambiental e social da região. Um exemplo de elevado valor técnico e criativo, é o estádio municipal de Braga, construído como alternativa de reabilitação paisagística e ambiental de uma antiga pedreira.

A exploração de recursos geológicos não implica a desafectação dos terrenos explorados, da sua classificação e regime de protecção, como REN (Reserva Ecológica Nacional), RAN (Reserva Agrícola Nacional), espaços florestais ou outros, contudo, exige que o Plano ambiental e de recuperação da pedreira, contemple uma solução em consonância com a classificação do terreno antes da exploração. Deste modo, como foi referido, qualquer projecto de reabilitação de uma paisagem degradada por uma pedreira tem, necessariamente, que analisar o enquadramento legal da zona e respeitar os plano directores para o terreno em questão.

À luz destas realidades, o conceito de recuperação é hoje mais amplo, não se limitando a uma tentativa de reprodução do meio ambiente primitivo, mas procurando alternativas de utilização dos terrenos agredidos, compatíveis com o meio ambiente envolvente e com as directrizes legais, visando sempre um retorno positivo para as populações e promotores do projecto de recuperação.

Frequentemente, uma das soluções implementadas na corta provocada pelo desmonte, na pedreira, é encher a mesmo com água, evitando assim elevados custos e adoptando uma solução prática e rápida. Contudo, a solução mais correcta passa pelo preenchimento da zona desmontada com material estéril. Neste contexto, Sousa (Sousa 1993), refere quatro intervenções possíveis: enchimento completo ou renivelamento; enchimento médio (parcial, quase completo e reduzido); manutenção com enchimento mínimo; e abandono controlado com ausência de enchimento.

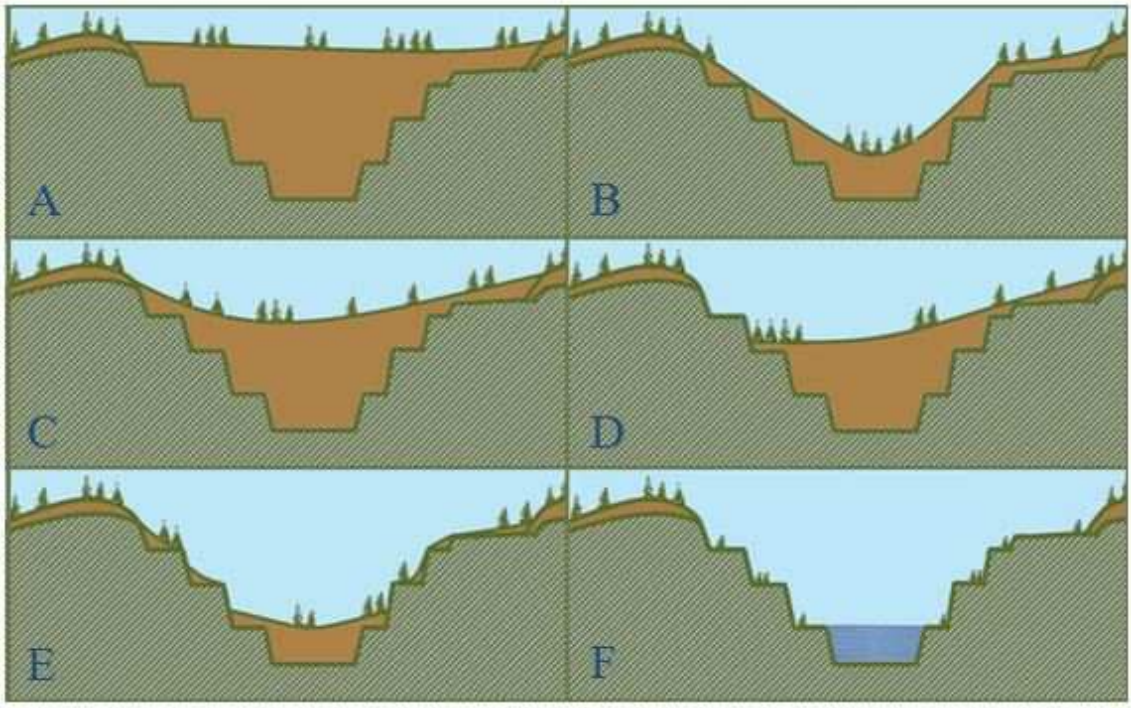


Ilustração 1 – Intervenções em pedreiras – tipos de enchimento

A – Enchimento completo; B – Enchimento reduzido; C – Enchimento quase completo; D – Enchimento parcial; E – Enchimento mínimo; F – Ausência de enchimento.

As pedreiras são, do ponto de vista da gestão de resíduos, uma solução de localização ideal, dado que a existência de uma corta criada pelo desmonte evita a utilização de áreas virgens para a deposição destes. Esta utilização, além de solucionar um problema ambiental, como a deposição de resíduos, contribui em grande escala, para a recuperação paisagística da pedreira, eliminando a maior causa de agressão.

Naturalmente, a utilização da corta da pedreira como aterro de resíduos, como é o caso, o seu renivelamento, ou pelo menos o seu enchimento quase completo, estão garantidos, pelo que a recuperação paisagística será realizada perante esta realidade.

As soluções a adoptar, no que diz respeito à ocupação da área, posteriormente à implementação do aterro, vão depender dos padrões de ordenamento do território, em vigor na região e do seu interesse económico.

Como vimos, uma solução comum após o aterro da corta, é a revegetação da zona e a recriação de um ecossistema idêntico ou pelo menos compatível com o ambiente primitivo e espaço envolvente. Esta solução recorrente pode, eventualmente, ser a mais correcta, no caso de não se encontrarem alternativas ambientalmente eficazes e que possam ser encaradas como mais-valias para todos os intervenientes.

Contudo, além da restauração do ecossistema primitivo e da revegetação da área a recuperar, existem outras alternativas possíveis no que diz respeito à ocupação do espaço, exigindo-se assim, que em cada caso, se realize um exaustivo estudo económico, ambiental e social, das soluções passíveis de serem aplicadas.

A urbanização da zona, a sua utilização como espaço agrícola, a criação de espaços lúdicos, com aproveitamento turístico e social, como campos de golfe, e outros, dependem essencialmente das condições geofísicas e biofísicas da zona, dos padrões de ocupação e ordenamento do território e até da história local.

4 UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS CERÂMICOS COMO AGREGADOS

Como foi referido, a valorização dos resíduos cerâmicos como agregados reciclados para a produção de argamassas e betão pode eventualmente ser viável, mediante a sua utilização como substituto dos agregados naturais pétreos.

Pelo facto dos agregados reciclados cerâmicos se tratarem de materiais diferentes dos agregados naturais pétreos, possivelmente verificar-se-á que originarão produtos de características diferentes, o que não invalida a sua possibilidade de utilização, eventualmente até com vantagens, não só a nível ambiental, mas também técnico.

Nesta perspectiva este trabalho incidirá sobre a análise e caracterização dos resíduos cerâmicos para uma possível valorização como agregados para a construção civil, pelo que se apresenta de seguida as Normas Europeias de Produto para este tipo de aplicações.

4.1 NORMAS DE PRODUTO DAS APLICAÇÕES EM ESTUDO

A caracterização e avaliação da conformidade dos agregados reciclados cerâmicos aos fins desejados serão realizadas segundo as Normas Europeias de Produto para os agregados. Estas especificam as propriedades a ensaiar e os requisitos para as diferentes aplicações, assim como a classificação do agregado mediante os resultados da caracterização.

4.1.1 Agregados para Argamassa – EN 13139

Tabela 4 – Normas de Ensaio para a especificação dos Agregados para Argamassa

Agregados para Argamassa – EN 13139	
EN 933-1	Análise granulométrica. Método de peneiração
EN 933-3	Forma das partículas. Índice de achatamento
EN 933-7	Percentagem de conchas nos agregados grossos
EN 933-8	Teor de finos - Ensaio do equivalente de areia
EN 933-9	Teor de finos - Ensaio do azul metileno
EN 933-10	Granulometria do Filer
EN 1097-6	Massa volúmica e absorção de água
EN 1367-1	Resistência ao gelo/degelo
EN 1367-2	Ensaio do sulfato de magnésio
EN 1744-1	Análise química

As propriedades exigidas aos agregados para argamassas encontram-se divididas em 3 grupos: requisitos geométricos, físicos e químicos.

4.1.1.1 Requisitos Geométricos

Os requisitos geométricos dos agregados são as suas dimensões, a sua granulometria, a forma das partículas e o teor de finos. A especificação ou não destes requisitos pode variar consoante a aplicação e tipo de agregados.

Dimensões do agregado

Os agregados deverão ser definidos, segundo a sua dimensão, através da designação d/D, correspondentes respectivamente às aberturas dos peneiros de menor e maior dimensão, entre os quais se encontram a maioria das partículas.

Para a utilização em argamassas são aplicados preferencialmente agregados das seguintes dimensões: 0/1 mm, 0/2 mm, 0/4 mm, 0/8 mm, 2/4 mm e 2/8 mm.

Granulometria

A granulometria dos agregados é especificada segundo a norma europeia EN 933-1 e deve responder, em função da sua dimensão (d/D), aos requisitos a seguir apresentados.

I. Limites de sobretamanhos e subtamanhos

Os agregados devem respeitar os limites de sobretamanhos e subtamanhos definidos no na Tabela 5.

Entende-se por sobretamanho a parte do agregado que fica retida no peneiro correspondente à maior dimensão definida para o agregado e por subtamanho a parte que passa no peneiro de menor dimensão.

Tabela 5 – Limites de sobretamanhos e subtamanhos de agregados para Argamassas

Dimensão dos agregados (mm)	**Limite em percentagem de passados, em massa**				
	Sobretamanho			Subtamanho	
	2D [a]	1,4D [b]	D [c]	d	0,5d [b]
0/1	100	95 - 100	85 - 99	-	-
0/2	100	95 - 100	85 - 99	-	-
0/4	100	95 - 100	85 - 99	-	-
0/8	100	98 - 100	90 - 99	-	-
2/4	100	95 - 100	85 - 99	0 - 20	0 - 5
2/8	100	98 - 100	85 - 99	0 - 20	0 - 5

[a] Quando seja essencial para utilizações especiais, a abertura do peneiro correspondente a 100% de passados pode ser inferior ao valor 2D. Para argamassa utilizada em camada fina (0/1 mm), no peneiro de abertura D devem passar 100% das partículas.

[b] Quando as aberturas dos peneiros calculados como 0,5 d e 1,4 D não corresponderem a números exactos das dimensões exactas das malhas das séries de peneiros R20 da ISSO 565:1990, deve ser adoptado o peneiro com a abertura mais próxima.

[c] Se a percentagem de passados em D for superior a 99% em massa, o produtor deve documentar e declarar a granulometria típica incluindo os peneiros identificados na tabela 6.

II. Granulometrias típicas e tolerâncias

O produtor deve documentar e declarar a granulometria típica para cada dimensão do agregado fino produzido. (…) pelo menos 90% dos últimos 20 resultados de granulometrias devem situar-se dentro das tolerâncias apropriadas definidas no quadro (tabela 6).

Tabela 6 – Tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor para agregados de utilização corrente

Abertura do peneiro (mm)	**Tolerância máxima em percentagem de passados, em massa [a b]**			
	Dimensão do agregado			
	0/8	0/4	0/2	0/1
8	± 5	-	-	-
4	-	± 5	-	-
2	± 10	-	± 5	-
1	± 10	± 20	± 20	± 5
0,25	± 10	± 20	± 25	± 25
0,063	± 2	± 3	± 5	± 5

[a] Não obstante as tolerância referidas acima, os agregados devem satisfazer os requisitos apresentados na Tabela 5.

[b] Para utilizações especiais, o produtor e o comprador podem concordar com tolerâncias de granulometria reduzidas.

Forma das partículas e teor de conchas

A forma das partículas e o teor de conchas podem, quando requerido, ser determinadas de acordo com a EN 933-3 e a EN 933-7, respectivamente. Estes ensaios são realizados para as fracções de agregado superiores a 4mm porque no caso dos agregados finos estas características não influem o comportamento da argamassa.

Teor e qualidade dos finos

Os limites máximos do teor de finos para cada categoria de agregado encontram-se definidos na Tabela 7, em função da sua dimensão.

Tabela 7 – Limites para o teor de finos

Dimensão do agregado (mm)	Percentagem mássica de passados no peneiro de 0,063 mm, em massa				
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5
0/1 [a]	3	5	8	30	> 30
0/2	3	5	8	30	-
0/4 ; 2/4 [b]	3	5	8	30	-
0/8 ; 2/8 [b]	3	5	8	11	-

[a] Valor a declarar pelo produtor.

[b] As dimensões 2/4 e 2/8 são usadas apenas em argamassa com as dimensões 0/1, 0/2, 0/4 e 0/8. As combinações das diferentes dimensões devem respeitar os limites para os teores de finos à dimensão combinada apropriada.

Exemplos de utilizações para as diferentes categorias, apresentadas na EN 13139:

Categoria 1. Argamassas para pavimentos, argamassas projectadas, argamassa para reparação, injecções (todos os agregados).

Categoria 2. Argamassas para reboco e estuque (todos os agregados).

Categoria 3. Argamassas para alvenaria (todos os agregados, excepto britados).

Categoria 4. Argamassas para alvenaria (agregados britados).

A realização de ensaios adicionais, para verificar a qualidade dos finos, só será necessária quando o teor total de finos do agregado for superior a 3%. Quando se verifica um valor superior a este a avaliação dos finos será realizada através dos ensaios EN 933-8 – *Ensaio do equivalente de areia* e EN 933-9 – *Ensaio do azul de metileno.*

Segundo o especificado no Anexo C da presente Norma de Produto (NP EN 13139), os finos podem ser considerados não prejudiciais quando cumprida uma das seguintes condições:

a) *Teor total de finos do agregado fino inferior a 3% ou a outro valor de acordo com as disposições em vigor no local de utilização do agregado;*

b) *valor do equivalente de areia (SE), quando determinado de acordo com a EN 933-8, superior a um limite especificado;*

c) *valor do equivalente de areia inferior ao limite particular (SE), mas o valor determinado no ensaio do azul de metileno inferior ao limite (MB);*

d) *valor do azul de metileno (MB), determinado de acordo com a EN 933-9, inferior a um limite superior especificado.*

4.1.1.2 Requisitos físicos

Os requisitos físicos necessários especificar e declarar para os agregados variam de acordo com a aplicação específica e origem do agregado.

Assim, quando requerido devem ser realizados os ensaios da Massa volúmica e absorção de água – EN 1097-6 – e da Resistência ao gelo e ao degelo – EN 1367-1 ou EN 1367-2.

4.1.1.3 Requisitos químicos

Analogamente aos requisitos físicos, a necessidade de ensaiar e declarar os requisitos químicos varia com a aplicação e/ou origem do agregado.

Relativamente a estes, as características químicas dos agregados que podem produzir alterações nas argamassas em que são incorporados e por isso poderão ter de ser especificadas são as seguintes:

a) Teor de iões cloro solúveis em água – EN 1744-1:1998, secção 7;
b) Compostos contendo enxofre

Deve ser determinado o teor de sulfatos solúveis em ácido – EN 1744-1:1998, secção 12 – declarado pela categoria correspondente (Tabela 8).

Tabela 8 – Categorias para os valores máximos do teor de sulfatos solúveis em ácido

Agregado	**Teor de sulfatos solúveis em ácido** Percentagem de perda, em massa	**Categoria** AS
Agregados, excepto escória de alto-forno arrefecidas ao ar	≤ 0,2	$AS_{0,2}$
	≤ 0,8	$AS_{0,8}$
	> 0,8	$AS_{Declarado}$
	Não requerido	AS_{NR}
Escória de alto-forno arrefecida ao ar	≤ 1,0	$AS_{1,0}$
	> 1,0	$AS_{Declarado}$
	Não requerido	AS_{NR}

Deve ainda determinar-se o teor de enxofre total – EN 1744-1:1998, secção 11 – não devendo este exceder 1% em massa para agregados naturais ou 2% para escórias de alto-forno.

c) Constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência mecânica da argamassa

Quando os agregados contêm substâncias orgânicas ou outras, em proporções capazes de provocar alterações importantes no tempo de presa e na resistência da argamassa, devem ser sujeitos a uma avaliação relativamente a esses efeitos, segundo a EN 1744-1:1998, secção 15.3.

A presença destes materiais não pode provocar tempos de presa superiores a 120 minutos, relativamente ao tempo de presa de uma argamassa padrão, nem uma resistência à compressão aos 28 dias, 20% inferior aos valores de uma argamassa padrão.

d) Durabilidade – Reactividade álcalis-sílica

As reacções álcalis-sílica podem levar à expansão da argamassa provocando a sua fissuração ou desagregação, pelo que, quando requerido, este tipo de reacção deve ser avaliado segundo as disposições em vigor.

Nota: O anexo D da NP EN 13139 fornece orientação sobre os efeitos da reacção alcalis-sílica e a sua avaliação.

4.1.2 Agregados para Betão – EN 12620[1]

Tabela 9 – Ensaios a realizar na avaliação da aplicabilidade dos resíduos cerâmicos como Agregados para Betão

Agregados para Betão EN 12620	
EN 933-1	Análise granulométrica. Método de peneiração
EN 933-3	Forma das partículas. Índice de achatamento
EN 933-4	Forma das partículas. Índice de forma
EN 933-7	Percentagem de conchas nos agregados grossos
EN 933-8	Teor de finos - Ensaio do equivalente de areia
EN 933-9	Teor de finos - Ensaio do azul metileno
EN 933-10	Granulometria do Filer
EN 1097-1	Resistência ao desgaste (micro-Deval)
EN 1097-2	Resistência à fragmentação
EN 1097-3	Massa volúmica e vazios
EN 1097-6	Massa volúmica e absorção de água
EN 1097-8	Coeficiente de polimento
EN 1097-9	Resistência ao desgaste por abrasão por pneus com correntes - Teste nórdico
EN 1367-1	Resistência ao gelo/degelo
EN 1367-2	Ensaio do sulfato de magnésio
EN 1367-4	Retracção por secagem
EN 1744-1	Análise química

4.1.2.1 Requisitos Geométricos

Dimensões do agregado

Os agregados deverão ser definidos, segundo a sua dimensão, através da designação d/D, correspondentes respectivamente às aberturas dos peneiros de menor e maior dimensão, entre os quais se encontram a maioria das partículas. A dimensão dos agregados deve ser especificada utilizando um par de peneiros (d/D) seleccionados do *Basic set*, do *Basic set + set 1* ou do *Basic set + set 2*, apresentados na Tabela 10, não podendo ser utilizada uma combinação de peneiros dos *set 1* e *set 2*. A razão entre D/d não deve ser inferior a 1,4.

[1] Para efeitos deste trabalho foi seguida a versão europeia da norma pelo que, durante a sua descrição, são apresentados os termos em inglês para os quais não foi possível identificar o termo usado na versão portuguesa da norma (NP EN 12620).

Tabela 10 – Dimensões dos peneiros para especificação dos agregados para betão (*Basic set*, *set 1* e *set 2*)

Basic set (mm)	Basic set + set 1 (mm)	Basic set + set 2 (mm)
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6	-
-	-	6,3
8	8	8
-	-	10
-	11,2	-
-	-	12,5
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4	-
31,5	31,5	31,5
-	-	40
-	45	-
63	63	63

Granulometria

A granulometria dos agregados é especificada segundo a norma europeia EN 933-1 e deve responder, em função da sua dimensão (d/D), aos requisitos a seguir apresentados.

I. Agregados - Limites de sobretamanhos e subtamanhos

- Todos agregados devem respeitar os limites de sobretamanhos e subtamanhos definidos na Tabela 11. Os agregados grossos de dimensões nominais onde D > 11,2 mm e D/d > 2, ou D ≤ 11,2 mm e D/d > 4 devem ainda ser cumprir com os seguintes requisitos adicionais:Tabela 12;
- O produtor deve declarar a granulometria típica nos peneiros intermédios referidos na Tabela 11 e as tolerâncias definidas.

Tabela 11 – Limites de sobretamanhos e subtamanhos de agregados para Betão

Agregado	**Dimensão dos agregados**	**Limite em percentagem de passados, em massa**					**Categoria** G^d
		Sobretamanho			**Subtamanho**		
		2D [a]	1,4D [b]	D	d	0,5d [b]	
Grossos	D/d ≤ 2mm ou D ≤ 11,2mm	100 100	98 – 100 98 – 100	85 – 99 80 - 99	0 – 20 0 - 20	0 – 5 0 - 5	Gc85/20 Gc80/20
	D/d > 2mm e D > 11,2mm	100	98 - 100	90 - 99	0 - 15	0 - 5	Gc90/15
Finos	D ≤ 4mm e d = 0mm	100	95 - 100	85 - 99	-	-	Gf85
***Natural graded* 0/8mm**	D = 8mm e d = 0mm	100	95 - 100	85 - 99	-	-	Gng90
Tout-venant (*All-in*)	D ≤ 45mm e d = 0mm	100 100	98 – 100 98 - 100	90 – 99 85 - 99	-	-	Ga90 Ga85

Tabela 12 - Limites e tolerâncias para os peneiros intermédios

D/d	**Dimensão do peneiro intemédio**	**Limites e tolerâncias para os peneiros intermédios**		**Categoria** G^d
		Limites	Tolerâncias à granulometria típica	
< 4 mm	D/1,4	25 – 70	± 15	Gt15
≥ 4 mm	D/2	25 - 70	± 17,5	Gt17,5

II. Finos - Granulometrias típicas e tolerâncias

Alem dos requisitos apresentados na Tabela 11 o produtor deve documentar e declarar a granulometria típica para cada dimensão do agregado fino produzido, segundo as tolerâncias apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor para agregados finos de utilização corrente

Abertura do peneiro (mm)	**Tolerância máxima em percentagem de passados, em massa** [a b] Dimensão do agregado		
	0/4 mm	0/2 mm	0/1 mm
4	± 5	-	-
2	-	± 5	-
1	± 20	± 20	± 5
0,25	± 20	± 25	± 25
0,063	± 3	± 5	± 5

[a] Não obstante as tolerância referidas acima, os agregados devem satisfazer os requisitos apresentados na Tabela 11

III. *"Natural graded"* 0/8 mm

A designação de *"Natural graded"* 0/8 mm dá-se aos agregados naturais de origem glaciar ou fluvial com dimensão máxima D igual ou inferior a 8 mm.

Alem dos requisitos especificados na Tabela 11 o produtor deve documentar e declarar a granulometria típica para cada dimensão do agregado produzido, segundo as tolerâncias apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Tolerâncias da granulometria típica declarada do produtor para os agregados "Natural graded" 0/8 mm

Abertura do peneiro (mm)	**Tolerância máxima em percentagem de passados, em massa [a b]**
8	± 5
4	± 10
2	± 10
1	± 10
0,25	± 3
0,063	± 2

IV. Tout-venat (*"All-in aggregate"*)

Com excepção dos agregados definidos como "Natural graded" 0/8 mm todos os agregados de dimensões entre D ≤ 45 mm e d = 0 mm são definidos nesta categoria e devem respeitar os requisitos para esta, estabelecidos na Tabela 11.

Os agregados Tout-venat devem respeitar ainda os limites estabelecidos para dois os peneiros intermédios apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Granulometrias requeridas para os agregados Tout-venat

Agregados		**Limites dos peneiros intermédios indicados**	
Basic set + set 1 (mm)	Basic set + set 2 (mm)	40 ± 20	70 ± 20
		Peneiros intermédios	
-	0/6,3	1	4
0/8	0/8	1	4
-	0/10	1	4
0/11,2	-	2	5,6
-	0/12,5	2	6,3
-	0/14	2	8
0/16	0/16	2	8
0/22,4	0/20	2	10
-	-	2	11,2
0/31,5	0/31,5	4	16
-	0/40	4	20
0/45	-	4	22,4

Forma das partículas

A forma das partículas, quando requerido, deve ser determinada de acordo com a EN 933-3 e a EN 933-4 e dizem respeito, respectivamente, ao Índice de achatamento e Índice de forma. Os resultados devem ser declarados segundo as categorias especificadas nas Tabela 16 e Tabela 17.

Tabela 16 – Categorias para os máximos valores do Índice de achatamento

Índice de achatamento	**Categoria – FI**
≤ 15	FI_{15}
≤ 20	FI_{20}
≤ 35	FI_{35}
≤ 50	FI_{50}
> 50	$FI_{DECLARADO}$
Não requerido	FI_{NR}

Tabela 17 – Categorias para os máximos valores do Índice de forma

Índice de Forma	Categoria - SI
≤ 15	SI_{15}
≤ 20	SI_{20}
≤ 40	SI_{40}
≤ 55	SI_{55}
> 55	$SI_{DECLARADO}$
Não requerido	SI_{NR}

Teor de conchas

O teor de conchas do agregado, quando requerido, deve ser determinado de acordo com a EN 933-7 e ser declarados segundo as categorias especificadas na tabela.

Tabela 18 – Categorias para o valor máximo do teor de conchas

Teor de conchas	Categoria - SC
≤ 10 %	SC_{10}
> 10 %	$SC_{DECLARADO}$
Não requerido	SC_{NR}

Teor de finos

Define-se como teor de finos a percentagem de agregado passada no peneiro de 0,063 mm. Os limites máximos do teor de finos, determinados pela EN 933-1, devem ser declarados de acordo com a categoria definida na Tabela 19, em função do tipo de agregados.

Tabela 19 – Categorias para o valor máximo do teor de finos consoante o tipo de agregados

Tipo de agregado	Teor de finos	Categoria - f
Grosso	≤ 1,5	$f_{1,5}$
	≤ 4	f_4
	> 4	$f_{DECLARADO}$

Tipo de agregado	Teor de finos	Categoria - f
"Natural graded" **0/8 mm**	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	> 16	$f_{DECLARADO}$
Tout-venant	≤ 3	f_3
	≤ 11	f_{11}
	> 11	$f_{DECLARADO}$
Finos	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	> 22	$f_{DECLARADO}$
Não requerido	f_{NR}	

Qualidade dos finos

A realização de ensaios adicionais, para verificar a qualidade dos finos, só será necessária quando o teor total de finos do agregado for superior a 3%. Quando se verifica um valor superior a este a avaliação dos finos será realizada através dos ensaios EN 933-8 – *Ensaio do equivalente de areia* e EN 933-9 – *Ensaio do azul-de-metileno.*

Segundo o especificado no Anexo D da presente Norma de Produto (NP EN 12620), os finos podem ser considerados não prejudiciais quando cumprida uma das seguintes condições:

a) Teor total de finos do agregado fino inferior a 3% ou a outro valor de acordo com as disposições em vigor no local de utilização do agregado;

b) valor do equivalente de areia (SE), quando determinado de acordo com a EN 933-8, superior a um limite especificado;

c) valor do equivalente de areia inferior ao limite particular (SE), mas o valor determinado no ensaio do azul de metileno inferior ao limite (MB);

d) valor do azul de metileno (MB), determinado de acordo com a EN 933-9, inferior a um limite superior especificado.

4.1.2.2 Requisitos físicos

Os requisitos físicos necessários especificar e declarar para os agregados variam de acordo com a aplicação específica e origem do agregado.

Assim, quando requerido devem ser realizados os ensaios referidos, segundo as normas indicadas e declarados o especificado nas tabelas correspondentes.

Resistência à fragmentação – EN 1097-2

Tabela 20 – Categorias para os máximos valores do Coeficiente de Los Angeles

Coeficiente de Los Angeles	Categoria - LA
≤ 15	LA_{15}
≤ 20	LA_{20}
≤ 25	LA_{25}
≤ 30	LA_{30}
≤ 35	LA_{35}
≤ 40	LA_{40}
≤ 50	LA_{50}
> 50	$LA_{DECLARADO}$
Não requerido	LA_{NR}

Tabela 21 – Categorias para os máximos valores do Coeficiente de Los Angeles

Coeficiente de Impacto	Categoria - SZ
≤ 18	SZ_{18}
≤ 22	SZ_{22}
≤ 26	SZ_{26}
≤ 32	SZ_{32}
> 32	$SZ_{DECLARADO}$
Não requerido	SZ_{NR}

O Coeficiente de Los Angeles deve figurar como o ensaio de referência para a resistência à fragmentação, só quando requerido é realizado o ensaio da resistência ao impacto.

Resistência ao desgaste (micro-Deval) – EN 1097-1

Tabela 22 – Categorias para os máximos valores do coeficiente de micro-Deval

Coeficiente micro-Deval	Categoria - MDE
≤ 10	MDE_{10}
≤ 15	MDE_{15}
≤ 20	MDE_{20}
≤ 25	MDE_{25}
≤ 35	MDE_{35}
> 35	$MDE_{DECLARADO}$
Não requerido	MDE_{NR}

A sigla do coeficiente de micro-Deval apresentada (MDE) remete ao ensaio realizado a húmido pelo que no caso da realização do ensaio a seco deverá usar-se a terminologia MDS.

Coeficiente de polimento e Resistência à abrasão – EN 1097-8

Tabela 23 – Categorias para os máximos valores do Coeficiente de polimento

Coeficiente de polimento	Categoria – PSV
≥ 68	PSV_{68}
≥ 62	PSV_{62}
≥ 56	$PSV5_{6}$
≥ 50	PSV_{50}
≥ 44	PSV_{44}
< 44	$PSV_{DECLARADO}$
Não requerido	PSV_{NR}

Tabela 24 – Categorias para os máximos valores da Resistência à abrasão

Resistência à abrasão	Categoria – AAV
≤ 10	AAV_{10}
≤ 15	AAV_{15}
≤ 20	AAV_{20}
> 20	$AAV_{DECLARADO}$
Não requerido	AAV_{NR}

Resistência ao desgaste provocado por pneus com correntes – EN 1097-9

Tabela 25 – Categorias para os máximos valores de Resistência ao desgaste provocado por pneus com correntes

Resistência ao desgaste por pneus com correntes	Categoria – A_N
≤ 7	A_N7
≤ 10	A_N10
≤ 14	A_N14
≤ 19	A_N19
≤ 30	A_N30
> 30	A_NDeclarado
Não requerido	A_NNR

Massa volúmica e absorção de água – EN 1097-6

A massa volúmica e a absorção de água do agregado, quando requerido, devem ser determinadas de acordo com a EN 1097-6 e os seus valores nominais deve ser declarados.

Baridade e volume de vazios – EN 1097-3

A baridade e volume de vazios do agregado, quando requerido, devem ser determinadas de acordo com a EN 1097-3 e os seus valores nominais deve ser declarados.

Resistência ao gelo/degelo – EN 1367-1 ou EN 1367-2

Tabela 26 – Categorias para os máximos valores de perda de massa no ensaio gelo/degelo

Perda de massa após ciclos de gelo/degelo	Categoria – F
≤ 1	F_1
≤ 2	F_2
≤ 4	F_4
> 4	$F_{DECLARADO}$
Não requerido	F_{NR}

Tabela 27 – Categorias para os máximos valores de resistência ao sulfato de magnésio

Resistência ao sulfato de magnésio	Categoria – MS
≤ 18	MS_{18}
≤ 25	MS_{25}
≤ 35	MS_{35}
> 35	$MS_{DECLARADO}$
Não requerido	F_{NR}

Nota: Este ensaio é utilizado como substituição ao ensaio de gelo/degelo comum.

4.1.2.3 Requisitos químicos

A necessidade de ensaiar e declarar os requisitos químicos varia com a aplicação e/ou origem do agregado. Na generalidade as propriedades a ensaiar e o modo como devem ser declaradas correspondem ao exposto na norma EN 13139 para as argamassas, tendo já sido expostas no ponto 4.1.1.3.

4.2 RESÍDUOS UTILIZADOS

4.2.1 Selecção e Recolha dos resíduos cerâmicos

Os resíduos cerâmicos ensaiados são provenientes de empresas de diferentes subsectores da indústria cerâmica, identificadas na Tabela 28.

Tabela 28 – Recolha de resíduos cerâmicos - Empresas dos diversos subsectores da indústria cerâmica

Cerâmica de Construção	**Cerâmica de Acabamento**	Cerâmicos para Usos Sanitários	Fábrica Cerâmica de Valadares, S.A.
		Azulejos	Grés Panaria Portugal, S.A. Love Tiles Ceramics
		Ladrilhos, Mosaicos e Placas de Cerâmica	
	Cerâmica Estrutural	Tijolos	Construcer Cerâmica de Construção S.A.
Cerâmica Técnica		Isoladores e Peças Isolantes em Cerâmica	Cerisol, Isoladores Cerâmicos, S.A.

Foram recolhidas amostras de peso mínimo de 40kg dos resíduos, tal qual estes se encontravam nas empresas produtoras.

4.2.2 Amostragem

Como foi referido os resíduos cerâmicos foram cedidos para este trabalho por diversas empresas do sector da indústria cerâmica tal qual se encontravam nas instalações fabris. Deste modo a amostragem e preparação de provetes de ensaio, depende do estado em que estes foram recolhidos.

No caso dos resíduos se encontrarem nas instalações fabris já em forma de agregados, ou seja, as próprias empresas produtoras procedem à sua britagem, estes serão amostrados tal qual foram recolhidos. Este é o caso dos agregados para usos Sanitários e da mistura Monoporosa + Grés.

Por outro lado, nos restantes resíduos, cedidos na forma de peças danificadas, que não foram submetidas a qualquer processo de redução granulométrica, estes foram britados em laboratório de modo a poderem ser avaliadas as suas potencialidades como agregados.

A britagem foi realizada num britador de maxilas (Ilustração 2) até toda a amostra recolhida se encontrar abaixo de 19 mm. Para tal, paralelamente ao processo de britagem, efectuou-se uma crivagem com o peneiro correspondente de modo a recircular todo o material acima do tamanho pretendido (Ilustração 3), para o britador.

No caso dos resíduos recolhidos em forma de agregados, realizou-se também a verificação neste peneiro se a sua máxima dimensão se encontrava acima ou abaixo deste. Verificou-se no caso dos sanitários que grande parte das partículas apresentava uma dimensão superior a 19 mm e que a dimensão máxima dos agregados constituídos pela mistura de grés e monoporosa se encontrava abaixo deste valor.

Os resultados dos diferentes ensaios realizados dizem respeito ao provete de ensaio analisado, pelo que, para uma correcta generalização dos resultados ao universo dos resíduos, a amostragem dos provetes tem de ser realizada de forma a ser representativa desse universo.

De forma a essa representatividade ser possível, a amostragem dos agregados cerâmicos, foi realizada segundo a norma europeia EN 932, “Tests for general properties of aggregates – Part 1: Methods for sampling”.

Ilustração 2 – Britador de maxilas utilizado na preparação dos agregados (à esquerda).
Ilustração 3 – Agitador e crivo de 19 mm utilizado na crivagem (à direita).

Deste modo, para a preparação dos provetes, usou-se um Amostrador Jones, como o representado na Ilustração 4. Este tipo de equipamento é constituído por uma série de calhas, de igual abertura, inclinadas alternadamente para os dois lados, no mínimo a 45º. Deve ser usado um amostrador cuja abertura das calhas seja, pelo menos, 5 mm superior ao dobro do diâmetro da maior partícula do agregado.

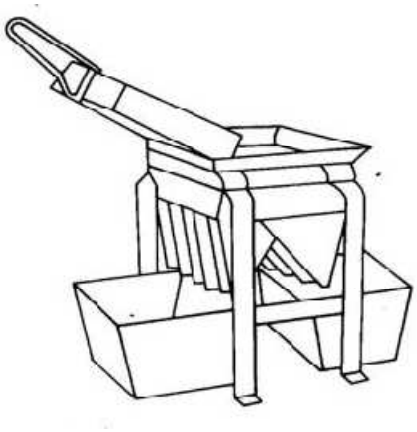


Ilustração 4 – Amostrador Jones (esquema e foto do amostrador utilizado)

A alimentação foi realizada de forma lenta e contínua, de modo a minimizar a projecção de partículas de agregado e a obstrução das calhas durante o processo, e uniformemente distribuída por toda a largura do amostrador. Para tal foi utilizada uma pá ou recipiente de abertura igual à secção longitudinal do amostrador. A cada operação foi obtida, em cada um dos dois colectores, uma parte igualmente representativa da totalidade do agregado. Para obter provetes de massas inferiores repetiu-se sucessivamente a operação, com o material de um dos colectores, tantas vezes quanto as necessárias. *"Este sistema dá resultados menos variáveis que os esquartelamento"*.(J. d. Coutinho 1999)

4.2.3 Caracterização dos resíduos

As informações disponíveis sobre os resíduos, fornecidas pela entidade geradora, são escassas e limitam-se apenas às necessárias ao controle do processo de fabrico e eventualmente, a dados que permitam uma classificação quanto à sua perigosidade, segundo a legislação em vigor. Esta classificação, apesar da sua grande importância, não satisfaz as necessidades de conhecimento do resíduo para uma decisão coerente e correcta do processo de reciclagem a implementar. Por este motivo, alem da classificação ambiental dos resíduos, é necessária a sua caracterização detalhada e realizada segundo o disposto nas normas aplicáveis. Esta foi a primeira etapa na metodologia a seguida.

Regra geral, a caracterização de resíduos para efeitos de reciclagem deve compreender uma análise física, estudando entre outros parâmetros, a sua densidade, granulometria e resistência, uma análise química e teor de humidade.

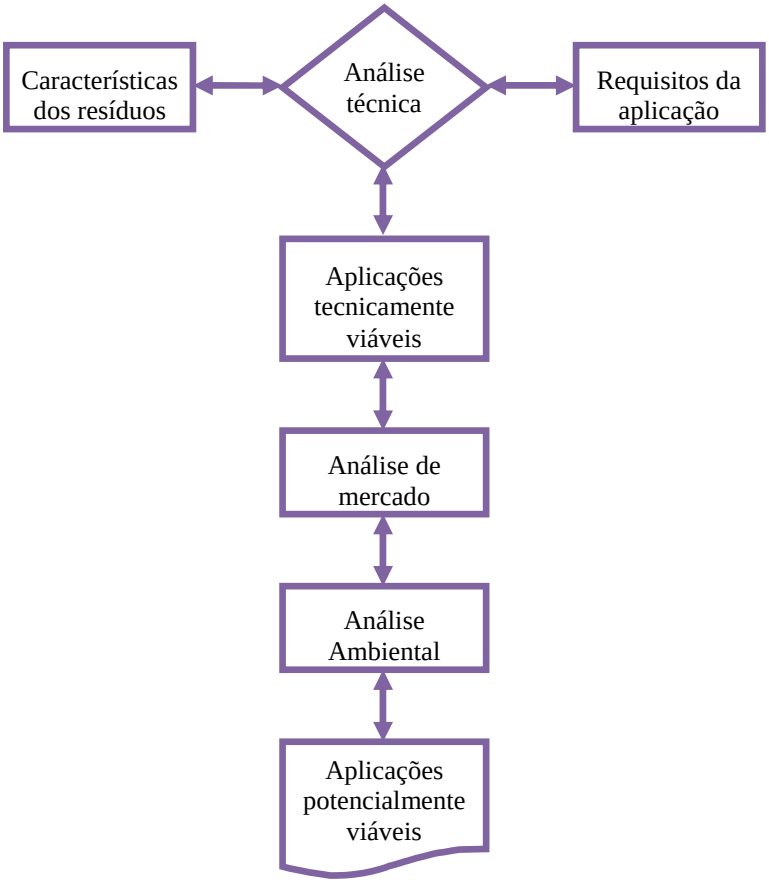
Contudo, os diferentes tipos de soluções, o seu desenvolvimento e implementação, podem exigir ensaios específicos e eventualmente caracterizações mais aprofundadas, pelo que esta fase do projecto deve ser realizada em interacção com as etapas de análise e selecção das aplicações possíveis. A selecção das soluções de reciclagem deve ser realizada através da comparação das características físico-químicas dos resíduos com os requisitos das diversas soluções propostas, impondo-se deste modo, que a caracterização dos resíduos responda aos parâmetros necessários para classificar uma

alternativa como sendo ou não viável. Assim, os ensaios a realizar na caracterização dos resíduos serão programados tendo conhecimento das alternativas de reciclagem que pertencemos testar e dos seus requisitos.

4.2.4 Selecção das aplicações viáveis

Após a realização dos ensaios necessários e da análise dos requisitos mínimos de cada aplicação, é necessário o cruzamento destas informações, de modo a avaliar a viabilidade técnica de utilização de cada tipo de agregado reciclado nas diferentes aplicações em estudo.

A avaliação técnica não é o único estudo necessário realizar para que uma alternativa de reciclagem seja potencialmente viável. Como já foi referido o conceito de Desenvolvimento Sustentável assenta na aliança de três elementos chave: desenvolvimento económico e social e a preservação ambiental. Assim uma solução tecnicamente viável apenas se assegura como potencialmente útil se responder positivamente a uma análise económica e ambiental. Naturalmente, uma solução de reciclagem só se efectiva como uma solução real e viável, quando se verificam os seus benefícios ambientais e económicos, mesmo que por vezes o interesse de um se sobreponha ao outro.



Quadro 6 – Fases para selecção das aplicações potencialmente viáveis

Contudo, e salvaguardando a importância da avaliação económico-ambiental de cada solução, este trabalho incidirá apenas na análise da viabilidade técnica de utilização dos agregados reciclados cerâmicos nas aplicações apresentadas.

A caracterização dos resíduos segundo os requisitos de cada aplicação será realizada em conformidade com as normas de ensaio já apresentadas e com o auxílio de uma aplicação (em Excel). Esta aplicação será desenvolvida de modo a responder aos requisitos técnicos dos agregados aplicados na construção civil, tanto para produção de argamassas como na produção de betão.

O interesse de desenvolvimento desta aplicação estende-se para lá do âmbito inicial do trabalho pois, não só será aplicável a agregados reciclados, como é o caso dos resíduos cerâmicos em estudo, mas a todos os outros tipos de agregados, nomeadamente os agregados naturais, provenientes de minas e pedreiras.

4.3 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS ENSAIADAS

Alem da massa volúmica que tem naturalmente uma influência na própria massa volúmica do betão, propriedades como a granulometria, a forma, as características da superfície das partículas, a absorção de água, a porosidade e propriedades físicas como a elasticidade e a resistência mecânica, são as características que mais influem no comportamento do betão endurecido ou fresco.

Uma questão muito importante na produção do betão é a sua trabalhabilidade.

"É importante que o betão fresco seja trabalhável, isto é, que possa ser rápida mas eficientemente amassado para que se obtenha uma distribuição uniforme dos vários constituintes na mistura e que seguidamente o betão seja colocado, compactado e acabado sem demasiadas bolhas de ar ou água, nem outras cavidades."(J. d. Coutinho 1999)

Como vimos anteriormente, dos constituintes do betão os agregados são os que se encontram em maior percentagem, ocupando entre 70 a 80% do volume destes.

As propriedades dos agregados têm uma grande influência na trabalhabilidade do betão, nomeadamente no que diz respeito às suas propriedades reológicas, onde a granulometria e forma das partículas têm uma acção directa. Verifica-se ainda o problema da quantidade de água lubrificante necessária adicionar à mistura para obter a trabalhabilidade desejada, que alem de influenciada indirectamente pelas características enunciadas, é função de outras características do agregado, como a superfície das partículas e a sua capacidade de absorção de água.

Assim, as propriedades ensaiadas neste trabalho dizem respeito essencialmente às características geométricas dos agregados, tais como a sua granulometria e forma das partículas. Foram ainda ensaiadas para estes a sua massa volúmica e absorção de água.

Os ensaios serão realizados segundo as Normas Europeias de Ensaios que estabelecem os procedimentos laboratoriais a seguir de modo a caracterizar correctamente os agregados segundo as propriedades requeridas nas Normas de Produto.

4.3.1 Granulometria - Análise granulométrica. Método de peneiração. (NP EN 933-1)

A granulometria é provavelmente a mais importante propriedade a definir para o agregado. Esta propriedade, além da sua influência na trabalhabilidade do betão e argamassas enquanto frescos, influi significativamente a compacidade, condicionando portanto todas a propriedades destes produtos.

Análise granulométrica. Método de peneiração. (NP EN 933-1)

Princípio do ensaio

"O ensaio consiste na separação, por meio de um conjunto de peneiros, do agregado em diversas classes granulométricas de granulometria decrescente." (EN 933-1)

A selecção das classes granulométricas e consequentemente dos peneiros a utilizar no ensaio, é realizada em conformidade com as características da amostra de agregado a ensaiar e da precisão necessária, seguindo o especificado na EN 933-2 (Determinação da distribuição granulométrica. Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas).

Assim, neste trabalho serão utilizados os peneiros de aberturas, 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.125mm, 0.063mm.

Preparação dos provetes de ensaio

O modo de redução das amostras e preparação dos provetes de ensaio é realizado segundo a norma EN 932-2.

Para que a distribuição granulométrica obtida esteja em conformidade com a norma EN 933-1 a massa mínima do provete de ensaio deve corresponder ao apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 – Massa mínima dos provetes de ensaio segundo a máxima dimensão do agregado (933-1)

Máxima dimensão – D (mm)	**Massa do provete** (g)
4 mm	200 g
8 mm	600 g
16 mm	2600 g
32 mm	10000 g
63 mm	40000 g

A presente norma refere que *para os agregados de tamanho diferente, a massa mínima do provete de ensaio pode ser interpolada a partir das massas dadas no quadro* (NP EN 933-1). Assim, foi calculada a equação de uma linha de tendência polinomial quadrática para encontrar a massa mínima para os provetes de ensaio dos agregados britados em laboratório, com dimensão máxima de 19mm.

Tabela 30 – Massa mínima do provete para o agregado de dimensão máxima de 19 mm

19 mm	3483 g

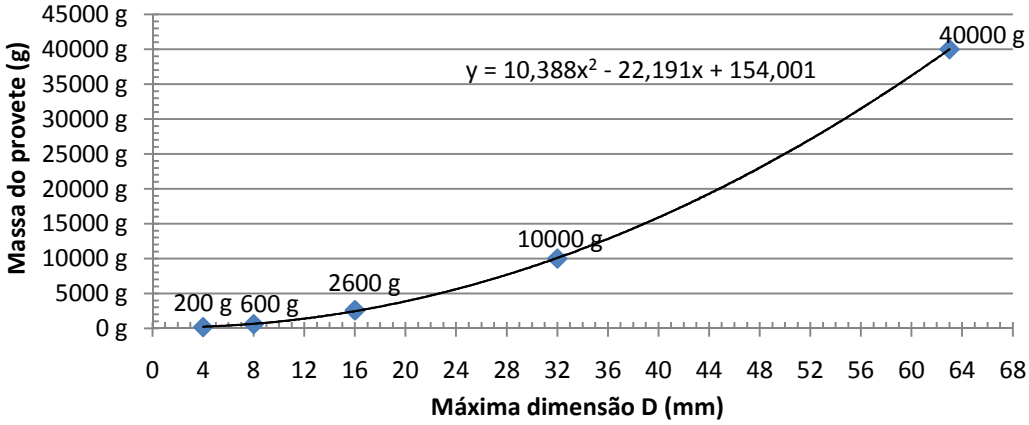


Gráfico 5 – Gráfico e equação da interpolação polinomial quadrática para as massas mínimas dos provetes

Procedimento

Neste trabalho os ensaios de distribuição granulométrica serão realizados com peneiração a seco, pelo que não se procede à lavagem do material.

Colocar o material, ou parte, na coluna de peneiros previamente preparada. Os peneiros devem ser dispostos, sobre o recipiente do fundo, em sequência, de modo a que o peneiro de maior abertura se encontre no topo da coluna.

Dado que a agitação irá ser realizada mecanicamente num agitador de peneiros, será impossível a utilização de uma coluna completa com todas as classes granulométricas, pelo que esta classificação será efectuada numa primeira fase procedendo-se à peneiração do material grosso, superior a 4mm, e posteriormente completando a série com os peneiros inferiores a este.

Ilustração 5 – Agitador e coluna de peneiros utilizados no ensaio

Após a massa retida em cada peneiro permanecer constante, o material é separado em diferentes lotes, correspondentes às diferentes classes granulométricas. De seguida pesa-se e regista-se a massa de cada lote e do material retido no fundo.

O registo das massas e os cálculos a efectuar são apresentados no protótipo de relatório de ensaio em anexo (anexo 1).

4.3.2 Forma das partículas – Índice de Achatamento e de Forma

Para a caracterização da forma das partículas é necessário definir parâmetros geométricos claros. Simplificadamente a forma das partículas de um agregado pode ser caracterizada pelas suas três dimensões: espessura, largura e comprimento. As normas europeias de produto para as argamassas e betões referem, como base desta análise geométrica da forma das partículas, o índice de achatamento e o índice de forma.

O *Índice de achatamento* (Flakiness índex) corresponde ao quociente da massa das partículas achatadas ou lamelares, sobre a massa da amostra, sendo consideradas partículas lamelares, aquelas cuja sua espessura seja inferior a metade da sua dimensão nominal. É calculado segundo a norma europeia "NP EN 933-3: Forma das partículas. Índice de achatamento".

O *Índice de forma* corresponde à percentagem de partículas não-cúbicas relativamente à massa da amostra, considerando uma partícula como não cúbica quando a razão entre a

sua maior e menor dimensão (comprimento e espessura) é superior a 3. Esta relação reflecte em parte a percentagem de partículas alongadas do agregado.

De uma maneira geral a caracterização dos agregados, relativamente à forma, expressando a quantidade relativa de partículas lamelares e alongadas serve o propósito de uma análise quanto a sua influência nos betões e argamassas.

"A forma das partículas influi muito sobre as propriedades do betão tais como trabalhabilidade, ângulo de atrito interno, compacidade e, em última análise, sobre todas as que dependem da quantidade de água de amassadura." (A. d. Coutinho 1988).

Essencialmente pode considerar-se que *as partículas mais indesejáveis são as que são simultaneamente lamelares e alongadas* (J. d. Coutinho 1999), ou seja, os agregados com maior percentagem destas influirão negativamente em algumas características do betão e das argamassas. Por sua vez, os agregados com maior percentagem de partículas de elevada esfericidade, ou seja, menor alongamento e achatamento, serão os mais desejados.

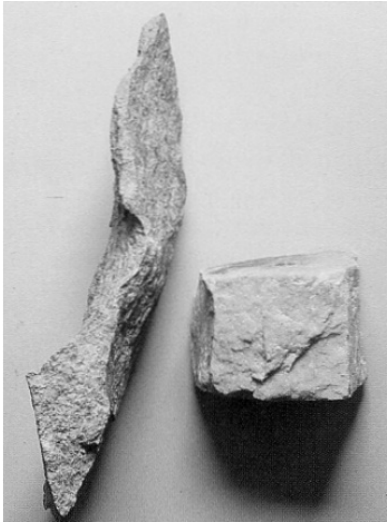


Ilustração 6 – Partícula alongada (indesejável), à esquerda e particula de forma desejável para o fabrico de betão, à direita. (J. d. Coutinho 1999)

Ainda relativamente à forma do agregado, outro aspecto importante, são as características da sua superfície. Por exemplo, um agregado de origem glaciar ou fluvial composto por partículas roladas apresenta faces arredondadas e sem arestas, o que, quando aplicado na produção de betão, origina alem de uma melhor trabalhabilidade, a

um arranjo das partículas mais eficiente, dando origem a uma maior compacidade. Por outro lado, a superfície deste tipo de agregado não apresenta qualquer rugosidade o que dificulta a aderência do agregado à mistura de cimento e água. Por este motivo verifica-se que, com agregados britados de arestas vivas e faces planas, dada a sua elevada rugosidade, é possível produzir betões que apresentam resistências até 15% superiores às conseguidas em betões produzidos com agregados rolados(J. d. Coutinho 1999).

Forma das partículas. Índice de achatamento (NP EN 933-3)

Princípio do ensaio

Este ensaio consiste na determinação do índice de achatamento dos agregados através de duas operações de peneiração. Após separação do provete em fracções granulométricas di/Di, cada fracção é peneirada, utilizando peneiros de barras paralelas de largura $D_i/2$.

As fracções granulométricas em que é necessário separar o provete e os respectivos peneiros de barras a utilizar, encontram-se definidos pela norma e são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Peneiros de barras a utilizar no ensaio consoante a fracção granulométrica

Fracção Granulométrica (di/Di) [mm]	Largura das ranhuras do peneiro de barras [mm]
63/80	40 mm
50/63	31,5 mm
40/50	25 mm
31,5/40	20 mm
25/31,5	16 mm
20/25	12,5 mm
16/20	10 mm
12,5/16	8 mm
10/12,5	6,3 mm
8/10	5 mm
6,3/8	4 mm
5/6,3	3,15 mm
4/5	2,5 mm

Nota: Este ensaio só se aplica às fracções granulométricas entre 4mm e 80mm.

Procedimento

A peneiração com peneiros de ensaio é realizada como descrito na NP EN 933-1, utilizando os peneiros apresentados na Tabela 31.

Regista-se separadamente a massa de todas as classes granulométricas. As partículas menores que 4mm e maiores que 80mm são pesadas e rejeitadas.

Após concluída a separação granulométrica, cada fracção obtida é peneirada manualmente no peneiro de barras correspondente, até a massa retida permanecer constante. De seguida, regista-se a massa de partículas que passa no peneiro de barras em cada fracção granulométrica.

Ilustração 7 – Foto de um dos peneiros de barras utilizados durante um ensaio

A percentagem de massa total de partículas que passam nos peneiros de barras relativamente à massa de partículas ensaiadas, corresponde ao índice total de achatamento. Pode ainda determinar-se o índice de achatamento relativo a cada fracção granulométrica, calculando, neste caso, a percentagem da massa de partículas que passa no peneiro de barras correspondente, relativamente à massa da fracção granulométrica.

O registo das massas e os cálculos a efectuar são apresentados no exemplo de relatório de ensaio em anexo (anexo 2).

Forma das partículas. Índice de forma (NP EN 933-4)

Princípio do ensaio

Este ensaio consiste na classificação individual das partículas de uma amostra de agregado grosso, entre 4mm e 63mm, baseada na relação entre a sua espessura – E – (dimensão mínima) e o seu comprimento – L – (dimensão máxima). Dessa classificação é calculado o índice de forma do agregado, ou de cada fracção granulométrica que o compõe.

O índice de forma corresponde à percentagem de massa de partículas com razão L/E > 3 (não cúbicas) em relação à massa total da amostra ou da fracção granulométrica.

Ilustração 8 – Taquímetro utilizado para medição das dimensões L e E das partículas de agregado.

Preparação de provetes

O modo redução das amostras e preparação dos provetes de ensaio é realizado como foi referido no ponto relativo a amostragem, segundo a norma EN 932-2.

A aplicação deste ensaio cinge-se a agregados com dimensões entre D ≤ 63mm e d ≥ 4mm. Assim, na preparação dos provetes devem rejeitar-se todas as partículas de agregado retidas no peneiro de 63mm e passadas no de 4mm.

A massa mínima do provete de ensaio deve corresponder ao apresentado na Tabela 32.

Tabela 32 – Massa mínima dos provetes de ensaio segundo a máxima dimensão do agregado (933-4)

Máxima dimensão – D (mm)	Massa do provete (Kg)
8 mm	0,1 Kg
16 mm	1 Kg
32 mm	6 Kg
63 mm	45 Kg

Tal como no ensaio EN 933-1, para agregados com partículas de dimensão máxima diferente das apresentadas, a massa mínima apropriada para o provete de ensaio, poderá ser interpolada a partir dos valores da Tabela 32.

Neste caso como as massas mínimas dos provetes, para as classes granulométricas que trabalhamos, são inferiores às especificadas pela EN 933-1, tomamos como valor de referência os apresentados na tabela e gráfico desse ensaio (Tabela 30 e Gráfico 5).

Procedimento

Este ensaio deve realizado para cada fracção granulométrica d_i/D_i, com $D_i \leq 2d_i$. Assim, para agregados com D > 2d, como é o caso, este deve ser separado em fracções granulométricas que respondam a esse requisito. Deste modo, e tendo em conta as dimensões máximas dos agregados reciclados em estudo, as fracções granulométricas ensaiadas são apresentadas na Tabela 33.

Tabela 33 – Fracções granulométricas ensaiadas (933-4)

Fracção Granulométrica (di/Di onde di ≤ 2Di) [mm]
16/31,5 mm
8/16 mm
4/8 mm

Para cada fracção granulométrica que contenha no mínimo 10% da massa do provete, com o auxilio de um paquímetro, mede-se o comprimento L e espessura E de todas as

partículas, separando as que apresentam uma razão L/E > 3 e registando a sua massa. Estas são classificadas como partículas não cúbicas.

Este ensaio deve ser realizado com um mínimo de 100 partículas para cada fracção granulométrica, podendo as fracções do provete que apresentem um número excessivo de partículas, ser reduzidas segundo a EN 932-2.

O índice de forma corresponde à média pesada das partículas não cúbicas do agregado.

Os cálculos a efectuar e os dados a apresentar são expostos no exemplo de relatório de ensaio em anexo (anexo 3).

4.3.3 Massa volúmica do agregado (NP EN 1097-6)

Segundo Brito (em Gonçalves 2007), a massa volúmica dos agregados é uma medida indirecta da sua "qualidade" e em princípio leva a um melhor desempenho do betão.

A massa volúmica define-se como a propriedade do agregado que correspondente à massa contida por unidade de volume, ou seja, reflecte a proporção entre a massa e o volume do agregado. Assim podemos dizer que a massa volúmica mede o grau de concentração de massa em determinado volume de agregado.

Segundo a massa volúmica do agregado este pode ser classificado genericamente como:

Agregados Leves	< 2 Mg/m^3
Agregados Normais	2 a 3 Mg/m^3
Agregados Pesados	> 3 Mg/m^3

Os agregados de maior utilização são os que apresentam massa volúmica normal, entre 2 e 3 Mg/m^3, de origem natural, como areias ou agregados obtidos por britagem de materiais naturais, ou mais recentemente, como é o caso deste estudo, agregados obtidos por reciclagem de materiais.

"A massa volúmica dos agregados é das propriedades dos agregados reciclados que melhor representa a qualidade dos mesmos. Pode medir-se a baridade, massa volúmica seca e massa volúmica saturada com superfície seca, sendo equivalente a tendência seguida por todas elas." (Gonçalves 2007).

Determinação da massa volúmica e da absorção de água (NP EN 1097-6)

Princípio do ensaio

"A massa volúmica das partículas é calculada a partir da razão entre a massa e o volume. A massa é determinada pela pesagem do provete com as partículas saturadas com superfície seca e a partir de outra pesagem do mesmo provete após secagem em estufa. O volume é calculado a partir da massa da água deslocada, quer pela redução de massa no método do cesto de rede metálica, quer por pesagens no método do picnómetro." (NP EN 1097-6)

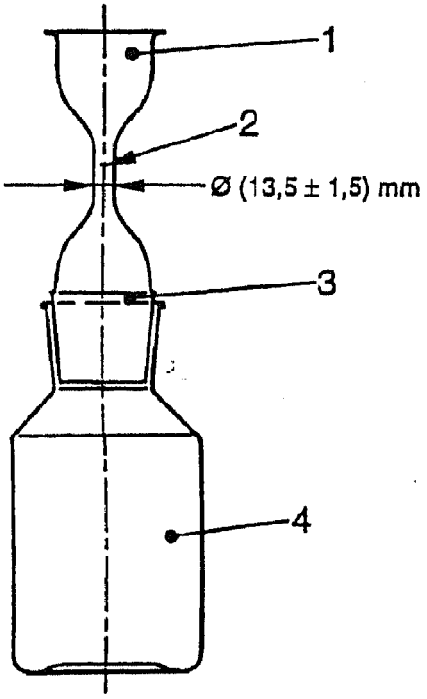
Este ensaio é realizado separadamente nas fracções 0,063/4 mm, 4/31,5 mm e 31,5/63 mm, pelo que, no caso do agregado compreender mais que uma fracção granulométrica estas devem ser separadas e registada a percentagem de cada uma.

Esta norma estabelece essencialmente dois tipos de ensaios:

- Método do picnómetro, para agregados das fracções 0,063/4 mm e 4/31,5 mm;
- Método do cesto de rede metálica para agregados que passam no peneiro de 63 mm e são retidos no peneiro de 31,5 mm (31,5/63mm)

Dadas as dimensões máximas dos agregados a caracterizar apenas aplicaremos o método do Picnómetro, nas fracções 0,063/4 mm e 4/31,5 mm.

O Picnómetro é composto por um frasco de vidro de volume entre 1000 ml e 5000 ml e um funil de vidro correspondente. O volume do picnómetro deve ser adequado à dimensão do provete, podendo ainda assim, caso seja necessário, serem utilizados dois picnómetros mais pequenos, procedendo-se à soma das massas antes de efectuados os cálculos.



1	Funil de vidro
2	Marca
3	Secção esmerilada de modo a encaixar um frasco de fundo plano e abertura larga
4	Frasco de fundo plano e abertura larga

Ilustração 9 – Exemplo de um picnómetro (retirado da norma EN 1097-6)

Preparação dos provetes

O modo redução das amostras e preparação dos provetes de ensaio é realizado como será referido no ponto relativo a amostragem, segundo a norma EN 932-2.

Tal como foi referido este ensaio deverá ser realizado separadamente nas fracções granulométricas 0,063/4 mm e 4/31,5 mm, sendo exigido em cada um dos ensaios provetes de massas diferentes.

No que diz respeito à fracção granulométrica 0,063/4 mm o ensaio deve ser realizado com uma massa mínima de 1kg.

A massa mínima do provete de ensaio para a fracção 4/31,5 mm deve corresponder ao apresentado na Tabela 34.

Tabela 34 – Massa mínima dos provetes de ensaio para a fracção entre 4 mm e 31,5 mm (1097-6)

Máxima dimensão – D (mm)	Massa do provete (Kg)
8 mm	1 Kg
16 mm	2 Kg
31,5 mm	5 Kg

Tabela 35 – Massa mínima do provete para a fracção entre 4/31,5 mm para uma dimensão máxima de 19 mm

19 mm	**2,14 Kg**

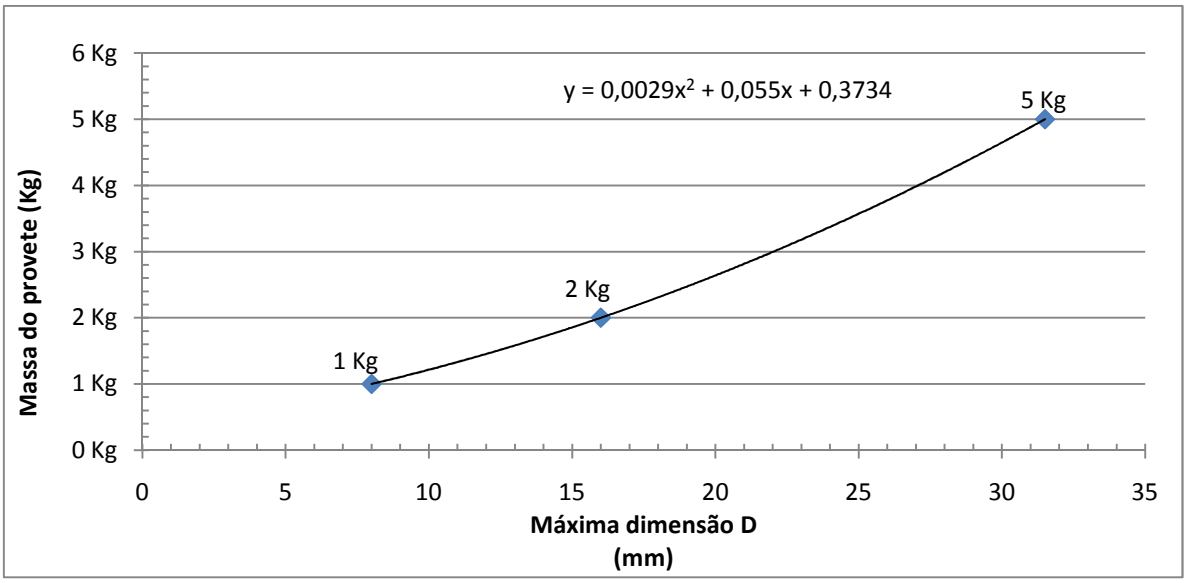


Gráfico 6 – Gráfico e equação da interpolação polinomial quadrática para a massa mínima do provete

Lavar o provete sobre os peneiros D e d, ou seja, de maior e menor dimensão da fracção, rejeitando as partículas fora dos limites.

Procedimento

1. Imergir o provete preparado no picnómetro com água a (22 ± 3ºC) [a]
2. Rodar e agitar o picnómetro em posição inclinada de modo a eliminar o ar ocluído;
3. Colocar o picnómetro em banho-maria (22 ± 3ºC) durante 24 ± 0,5h; [b]

4. Repetir o passo número dois;
5. Transbordar o picnómetro por adição de água e colocar a tampa (cuidado para não deixar ar ocluído);
6. Secar o picnómetro por fora e registar a sua massa (M_2); Registar a temperatura da água (T_2);
7. Remover o agregado do picnómetro e deixar escorrer;
8. Encher o picnómetro com água e colocar a tampa;
9. Secar o picnómetro por fora e registar a sua massa (M_3); Registar a temperatura da água (T_3); Nota: a diferença entre as temperaturas T_2 e T_3 não deve exceder 2ºC.
10. Secar ao ar a superfície das partículas de agregado; [c d]
11. Pesar o agregado saturado com a superfície seca ao ar (M_1);
12. Secar o agregado em estufa ventilada à temperatura de (110 ± 5ºC) até massa constante (M_4).

[a] No ensaio, em vez de água fervida como sugerido na norma, foi utilizada água destilada.

[b] Para garantir uma temperatura constante de (22 ± 3ºC), em vez do banho-maria, foi utilizada uma câmara termostática.

[c] A secagem da superfície do agregado ao ar na fracção 4/31,5 mm é realizada com o auxilio de panos secos sob o agregado, espalhado sobre estes, até que seja absorvida toda a humidade exterior das partículas, sem auxilio de luz solar ou qualquer outra fonte de calor.

[d] Na fracção 0,063/4 mm a secagem deve ser realizada espalhando o provete molhado numa camada uniforme sobre um tabuleiro exposto a uma fonte de ar morno, protegido da acção directa da luz solar, de forma a fazer evaporar toda a humidade superficial. É necessário remexer o agregado de maneira a assegurar uma secagem homogénea até que não seja visível humidade superficial e as partículas do agregado não adiram entre si.

Ilustração 10 – Câmara termostática e picnómetros usados no ensaio (à esquerda)

Ilustração 11 – Processo de destilação de água (à direita)

Os cálculos e resultados do ensaio a apresentar em relatório são os seguintes:~

$$\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)]/\rho_w} \; [Mg/m^3] \;\; (1) \qquad \rho_{rd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)]/\rho_w} \; [Mg/m^3] \;\; (2)$$

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)]/\rho_w} \; [Mg/m^3] \;\; (3) \qquad WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4} \; [\%] \; (4)$$

M_1 – Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar (g)

M_2 – Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado (g)

M_3 – Massa do picnómetro apenas cheio de água (g)

M_4 – Massa no ar do provete seco em estufa (g)

Equação 1 – Massa volúmica do material impermeável das partículas (ρ_a)

Equação 2 – Massa volúmica das partículas secas em estufa (ρ_{rd})

Equação 3 – Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca (ρ_{ssd})

Equação 4 – Absorção de água (%)

4.3.4 Dureza dos materiais – Escala de Mohs

Foi ainda realizado um ensaio para caracterizar a dureza dos materiais cerâmicos.

Para esta classificação foi usado o método de classificação da dureza para os minerais: a escala de Mohs. A Escala de Mohs quantifica a dureza dos minerais segundo a resistência que um determinado mineral oferece ao risco.

Esta escala é uma escala de dureza relativa estabelecida segundo os valores padrão de dez minerais diferentes. O valor mais baixo da escala é 1 e corresponde ao Talco e o valor mais alto corresponde ao diamante.

Esta propriedade está relacionada com o tipo de ligações entre as partículas e a sua resistência. *"A dureza é uma medida da resistência da estrutura de um mineral, relativamente à resistência das suas ligações químicas."* (Lopes 2002).

Tabela 36 – Escala de dureza de Mohs.

Escala de Mohs	
Talco	1
Gipsite	2
Calcite	3
Flourite	4
Apatite	5
Feldspato	6
Quartzo	7
Topázio	8
Corindo	9
Diamante	10

Assim, fazendo numa analogia aos resíduos cerâmicos, quanto maior for a dureza relativa dos materiais em estudo, maior a sua resistência da sua estrutura, apresentado menor friabilidade.

5 APLICAÇÃO EM EXCEL

Foi desenvolvida uma aplicação em Excel que permite a especificação e caracterização dos agregados, segundo as normas europeias EN 13139 – Agregados para Argamassa e EN 12620 – Agregados para Betão. Esta terá uma utilidade e campo de aplicação mais vasto que o âmbito da tese, podendo vir a ser utilizada como auxilio à analise laboratorial de todo o tipo de agregados.

A explicação da aplicação e o manual de utilização encontram-se desenvolvidos no segundo volume desta tese.

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

6.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA. MÉTODO DE PENEIRAÇÃO. (NP EN 933-1)

Tabela 37 – Resultados dos ensaios da análise granulométrica. Distribuição Granulométrica.

	Percentagem de material retido					
Dimensão das aberturas do peneiro	Sanitários	Monoporosa	Grés	Monoporosa + Grés	Tijolos	Técnica
31,5 mm	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
25 mm	15,87%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20 mm	9,83%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
16 mm	11,79%	8,95%	14,79%	12,78%	10,17%	22,81%
12,5 mm	15,64%	13,12%	18,16%	22,95%	14,64%	19,15%
10 mm	7,61%	20,63%	13,99%	21,07%	12,40%	13,73%
8 mm	7,89%	12,12%	15,62%	19,60%	13,38%	10,43%
6,3 mm	6,52%	8,45%	8,63%	8,89%	9,21%	7,77%
5 mm	4,69%	6,40%	5,65%	4,13%	5,95%	5,87%
4 mm	3,68%	5,48%	4,38%	2,31%	4,74%	4,17%
2 mm	7,16%	9,98%	8,42%	3,48%	8,55%	7,10%
1 mm	4,57%	5,98%	4,95%	1,88%	7,71%	4,08%
0,5 mm	2,28%	3,19%	2,43%	0,95%	5,18%	1,98%
0,25 mm	1,23%	1,90%	1,33%	0,54%	3,28%	1,20%
0,125 mm	0,58%	1,14%	0,76%	0,57%	1,87%	0,73%
0,063 mm	0,38%	1,11%	0,49%	0,57%	1,19%	0,50%
0 mm	0,28%	1,55%	0,38%	0,27%	1,73%	0,48%

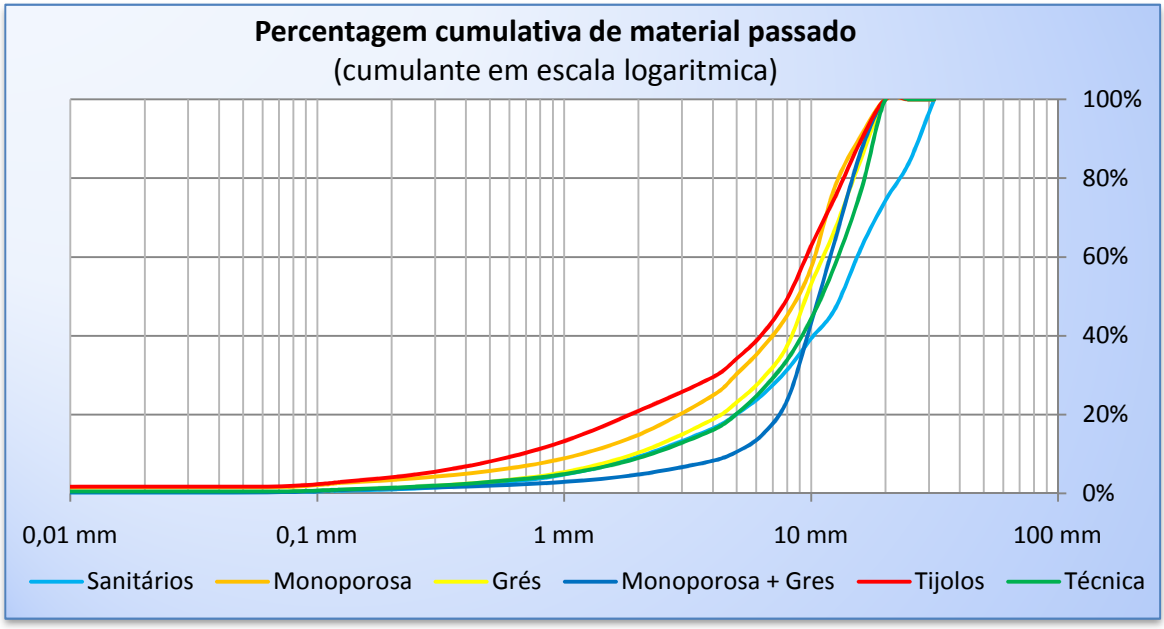


Gráfico 7 – Gráfico dos resultados da percentagem cumulativa de material passado de todos os tipos de agregados.

6.2 FORMA DAS PARTÍCULAS

6.2.1 Forma das partículas – Índice de Achatamento (NP EN 933-3)

Tabela 38 – Resultados dos ensaios do Índice de Achatamento para todos os residuos cerâmicos.

Fracção Granulométrica (di/Di) [mm]	Índice de achatamento					
	Sanitários	Técnica	Tijolos	Monoporosa	Grés	Monoporosa + Grés
25/31,5	64,52%	----	----	----	----	----
20/25	78,84%	----	----	----	----	----
16/20	50,08%	28,80%	72,42%	3,41%	97,28%	52,34%
12,5/16	30,53%	25,40%	58,41%	1,00%	0,70%	8,65%
10/12,5	26,03%	34,83%	9,56%	7,62%	3,03%	3,48%
8/10	32,17%	41,29%	7,50%	18,20%	11,92%	5,27%
6,3/8	47,22%	45,32%	10,15%	26,87%	34,07%	10,40%
5/6,3	52,09%	48,57%	14,94%	27,30%	41,95%	13,82%
4/5	60,00%	53,02%	15,38%	29,48%	45,89%	18,82%
	49%	**35%**	**29%**	**13%**	**30%**	**13%**

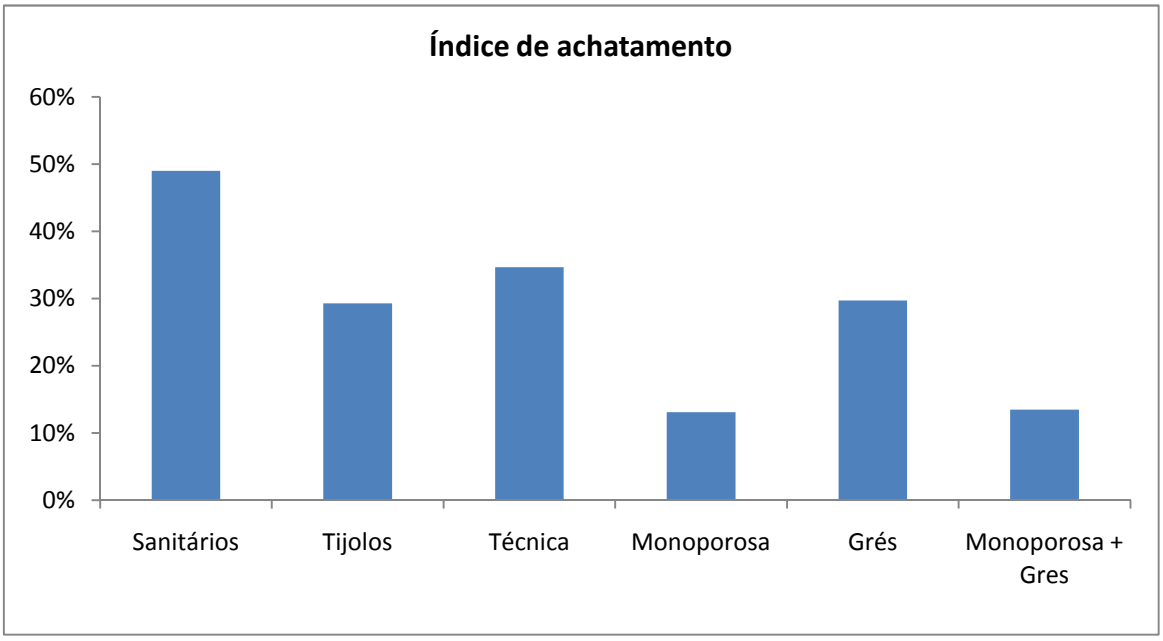
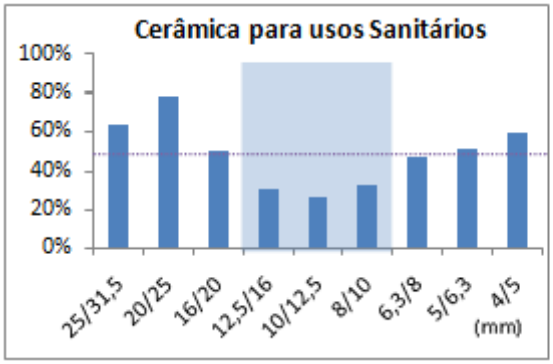


Gráfico 8 – Histograma do Índice de achatamento médio para os diferentes resíduos

Gráficos - Índice de Achatamento [1] [2]



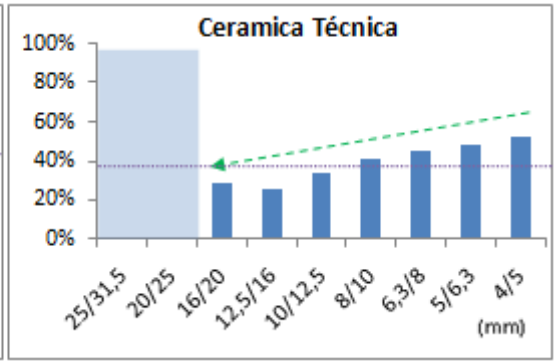
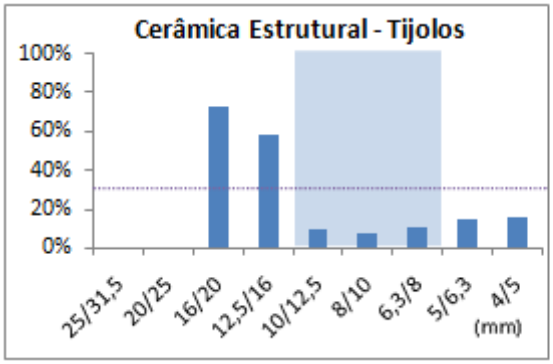


Gráfico 9 –Sanitários - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (esquerda)
Gráfico 10 – Cerâmica Técnica - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (direita)
(a seta apresentada indica a tendência do valor do índice de achatamento)



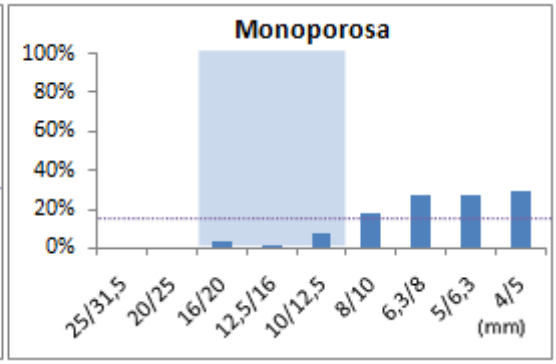
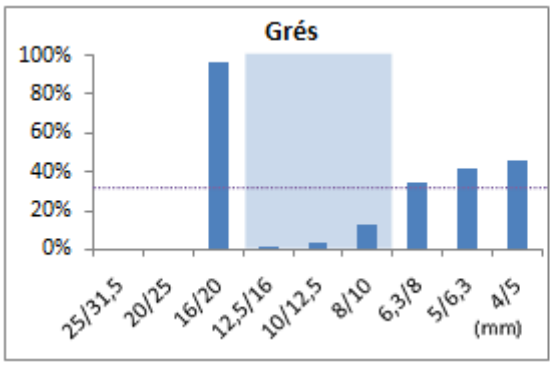


Gráfico 11 – Tijolos - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (esquerda)
Gráfico 12 – Monoporosa - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (direita)



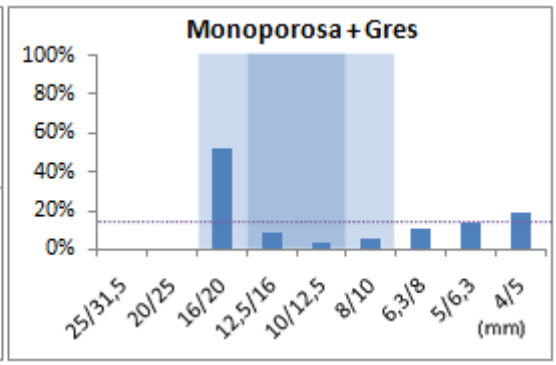


Gráfico 13 – Grés - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (esquerda)
Gráfico 14 – Monoporosa + Grés - Índice de achatamento para as diferentes classes granulométricas (direita)

---

[1] As linhas horizontais tracejadas dos gráficos representam o valor médio do Índice de Achatamento para cada material.

[2] As zonas sombreadas representam as classes granulométricas dos calibres de dimensão entre o valor e o dobro da espessura máxima do material original antes da redução granulométrica. No gráfico Monoporosa + Grés estão representadas as classes granulométricas de cada material em separado e a zona mais escura é relativa à sua sobreposição.

6.2.2 Forma das partículas – Índice de Forma (NP EN 933-4)

Tabela 39 – Resultados dos ensaios do Indice de Forma para todos os residuos cerâmicos.

Fracção Granulométrica (di/Di) [mm]	Índice de forma (% de partículas não cúbicas)					
	Sanitários	Técnica	Tijolos	Monoporosa	Grés	Monoporosa + Gres
16/31,5 mm [1)]	69,59%	40,44%	77,13%	22,44%	84,26%	20,21%
8/16 mm	51,51%	56,59%	35,10%	16,28%	27,44%	5,20%
4/8 mm	88,42%	71,79%	24,56%	51,75%	58,25%	23,61%
	66%	**55%**	**38%**	**27%**	**45%**	**10%**

[1)] Apesar dos resultados do ensaio serem declarados segundo a fracção granulométrica 16/31,5 mm, tal como indicado na norma de ensaio EN 933-4, é importante ter em consideração que, à excepção dos Cerâmicos para usos Sanitários, a dimensão máxima de todos os outros agregados reciclados cerâmicos é de 19 mm.

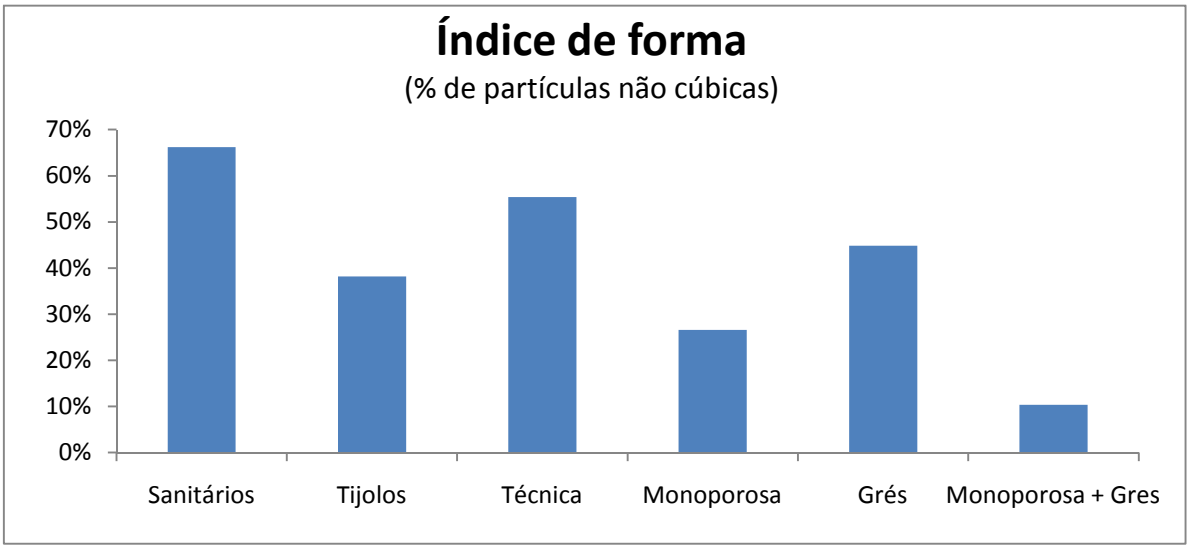
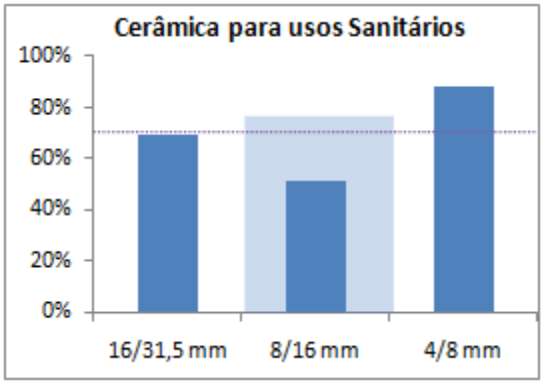


Gráfico 15 – Histograma do Índice de forma médio para os diferentes resíduos

Gráficos - Índice de Forma [1] [2]



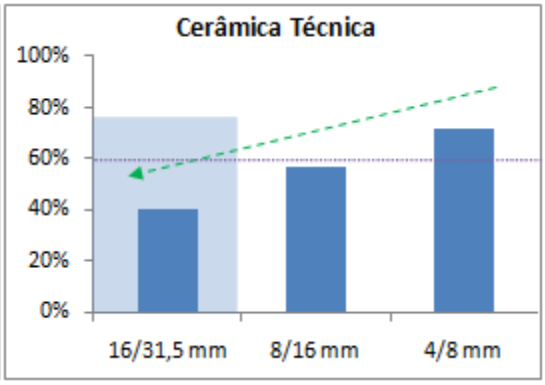
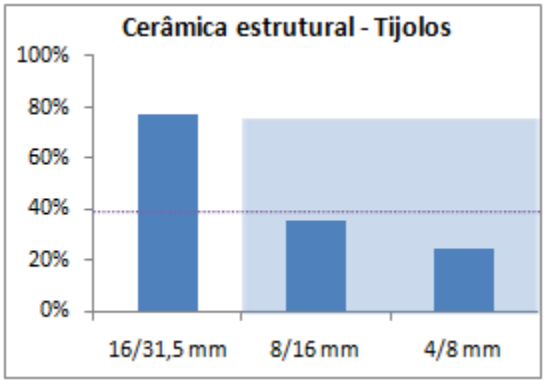


Gráfico 16 – Sanitários - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (esquerda)

Gráfico 17 – Cerâmica Técnica - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (direita)
(a seta apresentada indica a tendência do valor do índice de forma)



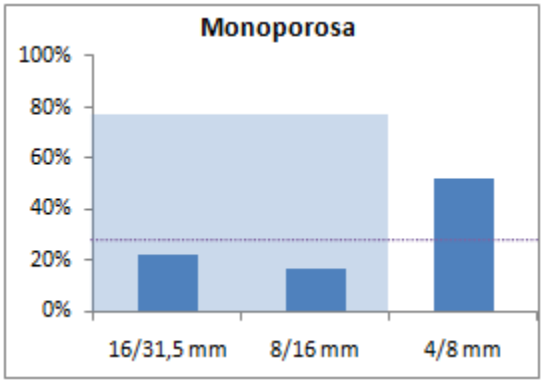
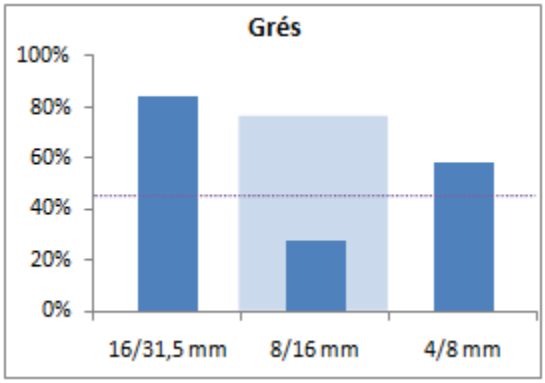


Gráfico 18 – Tijolos - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (esquerda)

Gráfico 19 – Monoporosa + Grés - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (direita)



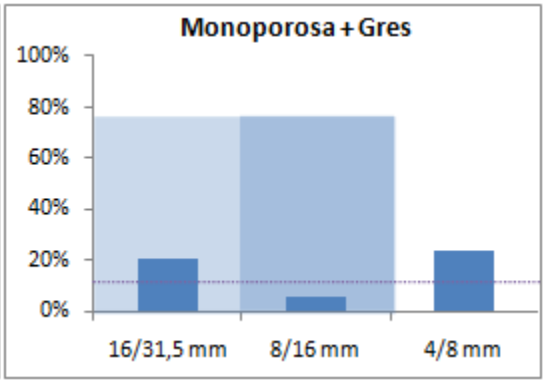


Gráfico 20 – Grés - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (esquerda)

Gráfico 21 – Monoporosa - Histograma do Índice de forma para as diferentes classes granulométricas (direita)

---

[1] As linhas horizontais tracejadas dos gráficos representam o valor médio do Índice de Forma para cada material.
[2] As zonas sombreadas representam as classes granulométricas dos calibres de dimensão entre o valor e o dobro da espessura máxima do material original antes da redução granulométrica. No gráfico Monoporosa + Grés estão representadas as classes granulométricas de cada material em separado e a zona mais escura é relativa à sua sobreposição.

6.3 MASSA VOLÚMICA E ABSORÇÃO - NP EN 1097-6

Tabela 40 – Resultados dos ensaios da massa volumica e da absorção de água para a fracção de 0,063 mm a 4 mm.

	Fracção do Agregado de 0,063 mm a 4 mm (Método do picnómetro)					
	Sanitários	Tijolos	Técnica	Monoporosa	Grés	Monoporosa + Gres
ρ_a	2,44 Mg/m3	2,54 Mg/m3	2,28 Mg/m3	2,44 Mg/m3	1,69 Mg/m3	2,13 Mg/m3
ρ_{rd}	2,31 Mg/m3	1,75 Mg/m3	2,18 Mg/m3	1,62 Mg/m3	1,60 Mg/m3	1,55 Mg/m3
ρ_{ssd}	2,36 Mg/m3	2,06 Mg/m3	2,22 Mg/m3	1,96 Mg/m3	1,66 Mg/m3	1,82 Mg/m3
WA_{24}	2,20	17,94	2,02	20,74	3,40	17,79

Tabela 41 – Resultados dos ensaios da massa volumica e da absorção de água para a fracção de 4 mm a 31,5 mm.

	Fracção do Agregado de 4 mm a 31,5 mm (Método do picnómetro)					
	Sanitários	Tijolos	Técnica	Monoporosa	Grés	Monoporosa + Gres
ρ_a	2,40 Mg/m3	2,66 Mg/m3	2,38 Mg/m3	2,49 Mg/m3	2,42 Mg/m3	2,44 Mg/m3
ρ_{rd}	2,32 Mg/m3	1,89 Mg/m3	2,34 Mg/m3	1,68 Mg/m3	2,34 Mg/m3	1,84 Mg/m3
ρ_{ssd}	2,35 Mg/m3	2,18 Mg/m3	2,36 Mg/m3	2,00 Mg/m3	2,37 Mg/m3	2,09 Mg/m3
WA_{24}	1,31	15,34	0,73	19,52	1,35	13,23

ρ_a	*Massa volúmica do material impermeável das partículas*
ρ_{rd}	*Massa volúmica das partículas secas em estufa*
ρ_{ssd}	*Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca*
WA_{24}	*Absorção de água (em percentagem da massa seca) após a imersão durante 24h*

6.4 DUREZA DOS MATERIAIS – ESCALA DE MOHS

Tabela 42 – Resultados do ensaio de Dureza de Mohs.

	Dureza de Mohs
Tijolos	5,5
Monoporosa	6
Grés	7,5
Sanitários	7,5
Técnica	8

7 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

7.1 GRANULOMETRIA

Relativamente às curvas granulométricas (Gráfico 7) verifica-se que, em relação aos agregados britados em laboratório (britador de maxilas), todas apresentam a mesma tendência ainda que seja claramente visível que a percentagem de material de granulometrias mais baixas, abaixo dos 4mm, é mais elevada nos tijolos, depois na monoporosa, grés e finalmente na cerâmica técnica.

A produção de finos mais ou menos elevada está relacionada com a dureza e friabilidade do material, ou seja, a fragmentação de um material menos friável produz uma menor quantidade de finos.

Tal como a mistura monoporosa+grés, os agregados de cerâmica para sanitários também não foram britados em laboratório e foram analisados tal como recolhidos. Estes apresentam relativamente aos outros agregados, uma dimensão máxima superior (31,5 mm) sendo por isso visível um desvio nas granulometrias mais elevadas.

A curva granulométrica relativa à mistura de grés e monoporosa é a que se apresenta mais próxima do ideal. Ao contrário do que poderia ser esperado, os dois materiais que a compõem, quando britados em laboratório, apresentam separadamente valores mais elevados nas granulometrias mais baixas do que a própria mistura. Este facto e a melhor distribuição granulométrica deve-se, provavelmente, a este material ter sido submetido a uma redução granulométrica num tipo de britador diferente do utilizado por nós em laboratório.

7.2 FORMA DAS PARTÍCULAS

Uma das propriedades que tem maior influência na trabalhabilidade do betão fresco e, naturalmente, nas suas características depois de compactado e endurecido é a forma das partículas que compõem esse agregado. *"A forma das partículas do agregado afecta o comportamento do betão pois tem influência na trabalhabilidade, no ângulo de atrito interno, compacidade, etc, isto é, nas propriedades que dependem da quantidade de água de amassadura,"* (A. d. Coutinho 1988).

As partículas de forma lamelar e alongadas são as mais indesejadas pois afectam negativamente o betão e as argamassas. Agregados com um número excessivo de partículas achatadas, em forma de placas ou laminas, e alongadas, em forma de agulha, produzem argamassas e betões ásperos e de baixa trabalhabilidade, exigindo acréscimos na quantidade de água de hidratação e comprometendo a resistência do produto final.

Além destes factores, a existência de partículas lamelares e achatadas é de extrema importância pois estas tendem a orientar-se horizontalmente, originando planos de rotura privilegiados. Sob estes planos pode haver a acumulação de água, impedindo uma correcta aderência entre o agregado e a pasta de cimento, resultando num "*aumento considerável da permeabilidade"* e na "*diminuição da tensão de rotura*" (A. d. Coutinho 1988). Caso sujeito a temperaturas negativas, pode ainda suceder-se, ainda que raramente, que congelação dessa água leve à rotura do betão nessas zonas.

Índice de Achatamento

O Índice de achatamento corresponde à percentagem de partículas achatadas ou lamelares numa dada amostra, ou seja, à percentagem de partículas cuja espessura seja inferior a metade da sua dimensão nominal.

À excepção dos cerâmicos técnicos e dos sanitários, cujos agregados provêm de estruturas de diferentes formas e espessuras, os restantes materiais provêm de materiais por si só lamelares, como os cerâmicos para pavimentos (Grés e Monoporosa), ou constituídos por várias lâminas, como os tijolos. Este tipo de materiais cerâmicos cuja estrutura é lamelar parece apresentar um padrão no que diz respeito ao Índice de Achatamento do agregado que originam.

Para melhor poder analisar os resultados e avaliar o efeito da espessura do material de origem no índice de achatamento, apresenta-se na Tabela 43 as espessuras predominantes deste tipo de material antes de fragmentado.

Tabela 43 – Espessuras médias dos materiais utilizados na reciclagem

	e - Espessura (mm)
Cerâmica estrutural - Tijolos	6 mm
Monoporosa	11 mm
Grés	8 mm
Cerâmica técnica [1)]	20 mm
Sanitários	8 mm

[1)] No caso da cerâmica técnica a espessura apresentada é a espessura mínima de cada peça a reciclar.

Observando os gráficos é visível uma zona a sombreado que delimita a zona correspondente à fracção granulométrica cuja dimensão corresponde à espessura do material original, até à fracção correspondente ao dobro dessa espessura.

Analisando primeiramente os gráficos dos últimos materiais referidos, Tijolos (Gráfico 11), Monoporosa (Gráfico 12) e Grés (Gráfico 13), verificamos claramente que estes agregados apresentam um índice de achatamento significativamente mais reduzido na zona sombreada, ou seja, desde os calibres de igual dimensão à espessura do material (e) até ao dobro dessa espessura (2e).

Relativamente aos calibres superiores a 2e, observamos que nos agregados produzidos com tijolos (Gráfico 11) e com grés (Gráfico 13) há um aumento significativo do índice de achatamento assim que o calibre das partículas ultrapassa esse valor. Em relação à monoporosa (Gráfico 12), este facto não é observável devido ao calibre máximo das partículas não ultrapassar o dobro da espessura original deste material, contudo é expectável que este facto se suceda também para este tipo de material.

Naturalmente, se um dado material tem uma dada espessura, os agregados produzidos com esse material terão como espessura máxima esse valor. Se o índice de achatamento reflecte a percentagem de partículas cuja espessura é inferior a metade da dimensão nominal da partícula, então, todas as partículas acima do calibre igual a duas vezes a espessura do material terão um perfil lamelar e achatado.

Ainda assim, verifica-se que ao contrário do que acontece no grés, nos agregados de tijolos o índice de achatamento nos calibres acima da espessura preferencial do material original, apesar de uma subida significativa, fica longe dos 100%. Isto deve-se ao facto

de os tijolos não serem constituídos por apenas uma peça de espessura sempre igual e no cruzamento das várias lâminas que o constituem a espessura ser mais elevada que nas próprias lâminas, permitindo algumas partículas de calibre superior e não lamelares.

Quando o calibre é inferior à espessura do material original, os resultados não são iguais para todo o tipo de agregados. Apesar de em todos os agregados haver um aumento do índice de achatamento com a diminuição dos calibres a valores inferiores à espessura dos materiais originais, verifica-se que esse aumento não é da mesma ordem de grandeza para todos eles.

E observável que nos agregados reciclados a partir de tijolos esse aumento é menos significativo que nos de monoporosa, que por sua vez apresentam um índice de achatamento inferior aos de grés.

Esta diferença no padrão do índice de achatamento para os calibres inferiores à espessura do material, deve-se essencialmente ao tipo de fractura, influenciada pela dureza e friabilidade do próprio material.

Os tijolos dado serem um material menos duro e mais friável, quando submetidos a uma redução granulométrica a um calibre abaixo do da espessura do material, têm tendência a esfarelar, levando a uma maior produção de finos. Por sua vez, os agregados de grés dada a elevada dureza (7,5 na escala de Mohs) e homogeneidade textural do material, têm tendência a uma fracturação concoidal, dando origem a lamelas finas, que sendo mais duras e portanto menos friáveis, têm menor tendência a fragmentar e originar material mais fino. Naturalmente, a monoporosa sendo um material mais duro que os tijolos e mais friável que o grés apresenta, como foi referido, uma percentagem de partículas achatadas intermédia.

Os resultados obtidos para a mistura de monoporosa e grés estão coerentes com o que foi apresentado separadamente para cada um dos materiais que o constituem. Com a sobreposição das áreas representativas dos limites granulométricos de cada material, verifica-se uma reduzida percentagem de partículas achatadas nas fracções intermédias, ou seja, onde se sobrepõem. Observa-se ainda, que acima dos 16 mm, valor correspondente ao dobro da espessura do grés, há um aumento do índice de

achatamento para valores intermédios entre os obtidos nesta granulometria para cada material em separado.

Seria de esperar que os resultados da mistura de grés e monoporosa se aproximassem da média dos valores obtidos para cada um dos materiais em separado. Este facto verifica-se para as granulometrias mais elevadas, contudo não é real para as granulometrias mais baixas. Nestas, onde o índice de achatamento depende essencialmente do tipo de fracturação, provavelmente, tal como na distribuição granulométrica, o tipo de britador terá influenciado e optimizado a fragmentação das partículas, nomeadamente, reduzindo a lamelaridade das partículas mais duras.

Os cerâmicos para usos sanitários e os isoladores cerâmicos (cerâmica técnica), apesar de apresentarem diferentes formas, volumes e até diferentes espessuras dentro das mesmas peças a reciclar, parecem respeitar o mesmo padrão.

Através da sua análise, verificou-se que a espessura mínima dos isoladores técnicos era de 20mm e que os produtos sanitários apresentavam uma espessura média de 7mm.

Observa-se pelo Gráfico 9 que os agregados sanitários, apesar de em média terem valores mais elevados do índice de achatamento, apresentam percentagens mais baixas nas granulometrias entre o valor e o dobro da sua espessura.

Relativamente à cerâmica técnica, dadas as dimensões do agregado comparativamente com a espessura mínima dos materiais originais, não se pode avaliar os índices de achatamento para valores superiores a essa espessura. Ainda assim, é visível no Gráfico 10 uma diminuição tendencial da percentagem de partículas achatadas com a aproximação do calibre igual à espessura mínima na cerâmica técnica.

Nestes dois últimos materiais, analogamente ao que acontece com o grés, dada a sua elevada dureza, 7,5 para os sanitários e 8 para a cerâmica técnica, apresentam uma fracturação concoidal motivo pelo qual para os calibres mais finos apresentam um índice de achatamento elevado.

Forma das partículas – Índice de Forma

A percentagem de partículas não-cúbicas de um agregado dá-nos o índice de forma. Este parâmetro reflecte indirectamente a percentagem de partículas alongadas, menor

esfericidade, de um dado agregado. Como foi referido no ponto respectivo, considera-se partícula não-cúbica aquela cuja razão entre a sua maior e menor dimensão (comprimento e espessura) é superior a 3.

Este parâmetro parece seguir um padrão idêntico ao índice de achatamento. Ainda que este ensaio seja realizado apenas em três classes granulométricas (4/8mm, 8/16mm e 16/31,5mm (19mm)), verifica-se que a percentagem média de partículas não cúbicas diminui nas classes em que o índice de achatamento dos mesmos materiais é mais baixa.

Tabela 44 – Comparação das classes granulométricas com índice de achatamento vs índice de forma mais baixos

	Índice de achatamento mais baixo	**Índice de forma mais baixo**
Tijolos	4 mm a 12,5 mm	4/8 mm e 8/16 mm
Monoporosa	10 mm a 20 mm	8/16 mm e 16/31,5 mm
Grés	6,3 mm a 16 mm	8/16 mm
Monoporosa + Grés	6,3 a 16 mm	8/16 mm
Sanitários	8 mm a 16 mm	8/16 mm
Técnica	> 16 mm	16/31,5 mm

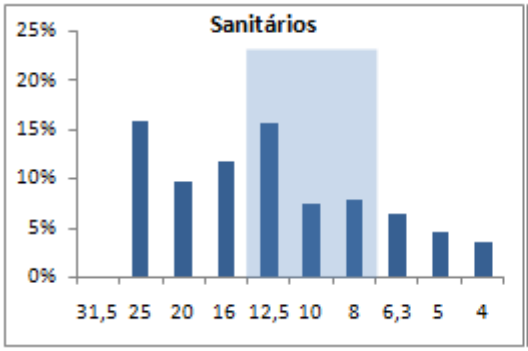
Considerações finais

Como verificamos pela análise dos resultados dos ensaios realizados, os parâmetros de forma, achatamento e alongamento, dos agregados produzidos com este tipo de materiais está directamente relacionado com as espessuras originais das peças a reciclar.

"A*s partículas mais indesejáveis são as que são simultaneamente lamelares e alongadas"*. (J. d. Coutinho 1999)

Assim será necessário concentrar as curvas granulométricas do material a reciclar entre o valor e o dobro da espessura do material original, para que se obtenham melhores índices de forma e achatamento. Nos Gráficos 22 a 27 verifica-se a sombreado os calibres onde deveria ser concentrada a curva granulométrica para optimizar os valores dos índices de forma e achatamento dos agregados reciclados cerâmicos.

Histogramas do material retido para cada material *(acima dos 4mm)* [1]



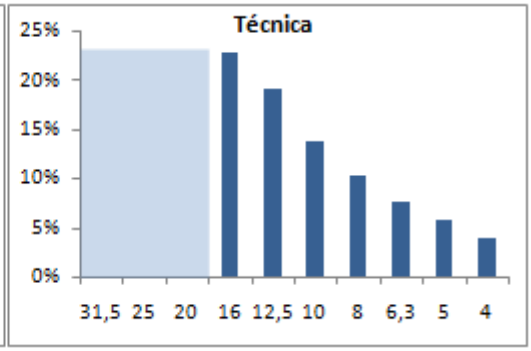
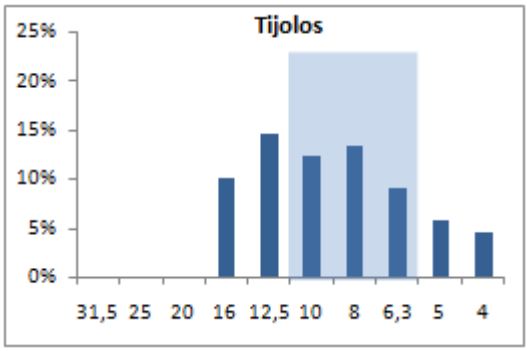


Gráfico 22 – Cerâmica para usos Sanitários - Histograma do material retido. (esquerda)

Gráfico 23 – Cerâmica Técnica - Histograma do material retido. (direita)



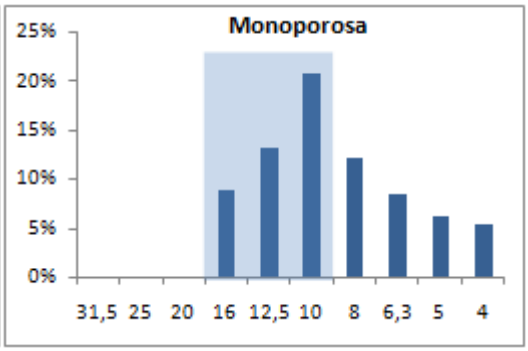
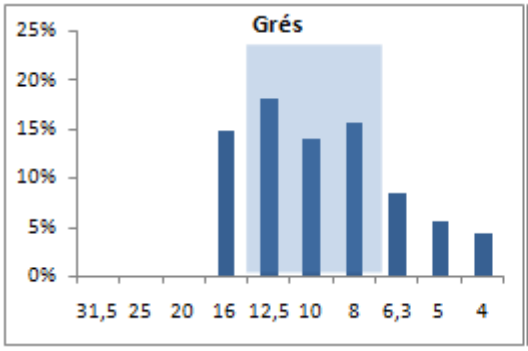


Gráfico 24 – Cerâmica estrutural (Tijolos) - Histograma do material retido. (esquerda)

Gráfico 25 – Monoporosa - Histograma do material retido. (direita)



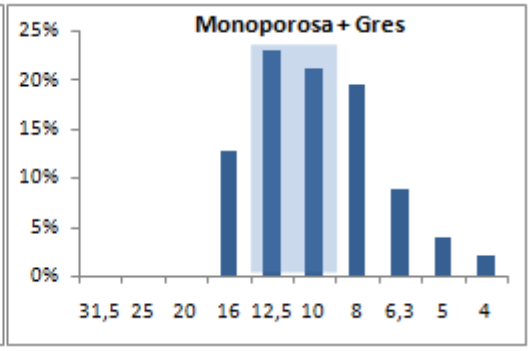


Gráfico 26 – Grés - Histograma do material retido. (esquerda)

Gráfico 27 – Monoporosa + Grés - Histograma do material retido. (direita)

[1] As zonas sombreadas representam as classes granulométricas nas quais deveria ser concentrada a curva granulométrica para minimizar os índices de achatamento e forma em cada tipo de agregado.

7.3 MASSA VOLÚMICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Observamos que nos ensaios realizados aos agregados reciclados cerâmicos, a massa volúmica e absorção de água variam de forma inversa, ou seja, se por um lado nas granulometrias superiores (4/31,5mm) a absorção é mais baixa e a massa volúmica é mais elevada, pelo contrário, nos calibres inferiores a 4 mm verifica-se que temos uma absorção mais elevada e uma massa volúmica inferior.

De facto *"a absorção de água é tanto maior quanto mais porosos forem os componentes do resíduo"* (Gonçalves 2007) e portanto, quanto menor for a massa volúmica das partículas dos agregados maior será a absorção de água.

De facto verifica-se que a massa volúmica das partículas (secas ou saturadas) dos materiais que apresentam menor absorção de água (Técnica, Grés e Sanitários) é superior à dos agregados cuja absorção é superior (Monoporosa+Grés, Tijolos e Monoporosa).

De realçar o facto de que os agregados com mais baixo índice de absorção de água são os provenientes de materiais que apresentam maior dureza, o que parece coerente com o aumento da massa volúmica.

Destes resultados ressalta ainda que, para todos os agregados estudados, se verifica um aumento de absorção de água com a redução granulométrica. Este facto deve-se ao aumento da superfície específica dos mesmos com a redução granulométrica. *"Brito (2005) concluiu que a absorção de água aumenta com a diminuição da granulometria, muito por força do aumento de superfície específica, sendo esta tendência comum aos agregados reciclados e naturais."* (Gonçalves 2007)

A título de comparação com os resultados obtidos apresenta-se, na Tabela 45, valores de referência apresentados para absorção de água em agregados finos naturais e reciclados.

Tabela 45 – Absorção de água de agregados finos de diferentes composições. Fonte: Gonçalves 2007

Material	Absorção de água (%)
Areia	0,7
Blocos cerâmicos	9,6
Tijolos	17,4
Blocos de betão	5,6

Verifica-se pelos dados da tabela e pelos resultados obtidos nos ensaios realizados, que os valores de absorção de água dos agregados pétreos, como a areia, são significativamente mais baixos que os obtidos para os reciclados cerâmicos ensaiados, nomeadamente para os materiais mais porosos como os tijolos. De referir que o resultado da absorção apresentado na Tabela 45 é igual ao valor obtido nos ensaios realizados no âmbito desta tese.

A absorção de água nos agregados é um factor de elevada importância e influência nas características dos betões. Quanto mais elevado o seu valor *"maior a diferença entre a relação água / cimento aparente (a que é introduzida na mistura) e a efectiva (a que contribui para a hidratação do cimento e para a trabalhabilidade da mistura)"* (Santos, Branco e Brito 2007), o que influência directamente características como a compacidade e resistência do betão depois de endurecido.

Assim, para os agregados reciclados que apresentam um elevado teor de absorção de água, nomeadamente os agregados cerâmicos estudados, *"é frequentemente sugerido efectuar-se uma pré-saturação dos agregados reciclados para a produção de betão, de modo a manter uma qualidade uniforme do betão durante a sua produção."* (Gonçalves 2007).

7.4 OUTRAS PROPRIEDADES OBSERVADAS

Um aspecto importante, observável quando se trabalha este tipo de agregados, à excepção dos provenientes de tijolos, diz respeito às superfícies vidradas deste tipo de material. A rugosidade da superfície do agregado é um factor importante e contribui significativamente para a aderência entre este e a pasta de cimento que constituem o betão ou argamassa. Analogamente aos agregados rolados de superfícies lisas, que

originam betões que apresentam resistências inferiores aos produzidos com agregados naturais britados, também os agregados reciclados a partir de produtos cerâmicos podem revelar esse tipo de défice dadas as suas superfícies vidradas. Este problema será tanto ou mais evidente em partículas de maiores dimensões, isto porque nestas a superfície apresenta uma maior área vidrada. Após uma redução granulométrica este efeito poderá ser minimizado.

8 CONCLUSÕES

Os resíduos cerâmicos recolhidos dos diferentes subsectores, foram caracterizados segundo as Normas Europeias para Agregados. Foram realizados os seguintes ensaios: *Análise granulométrica. Método de peneiração. (933-1)*; *Forma das partículas – Índice de Achatamento (NP EN 933-3); Forma das partículas – Índice de Forma (NP EN 933-4); Determinação da massa volúmica e da absorção de água (NP EN 1097-6).*

A avaliação da possibilidade de utilização dos agregados reciclados cerâmicos como substitutos dos agregados naturais pétreos utilizados em argamassas e betão revelou que um factor de extrema importância é o controlo da forma desses agregados produzidos.

Concluiu-se que a melhor forma de realizar o controlo desses parâmetros de forma (achatamento e alongamento) será concentrando a curva granulométrica nos calibres de dimensão entre o valor e o dobro da espessura do material, tal como mostramos, para os agregados estudados, nos gráficos – Gráfico 22 a Gráfico 27.

Em paralelo com este estudo dos resíduos cerâmicos, foi desenvolvida uma aplicação em Excel que permite uma caracterização dos agregados, segundo as normas europeias EN 13139 e EN 12620, com vista a sua utilização em argamassas e betão, respectivamente. Esta aplicação terá uma utilidade e campo de aplicação mais vasto que o âmbito da tese, podendo vir a ser utilizada como auxilio à analise laboratorial de todo o tipo de agregados, nomeadamente a nível didáctico.

9 PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO

Dada a natureza do trabalho realizado no âmbito desta tese, as perspectivas de desenvolvimento que se apresentam são em duas vertentes diferentes.

A primeira será em relação à aplicação dos resíduos cerâmicos como agregados para argamassas e betão. Nesta vertente é importante que no futuro sejam avaliada as características destes produtos quando produzidos com estes materiais reciclados e que sejam estudadas formas de minimizar os elevados índices de achatamento e forma nos calibres inferiores à espessura do material original.

Uma segunda vertente será relativamente à aplicação em Excel. Será importante a optimização da aplicação nomeadamente na introdução da possibilidade de guardar dados de vários ensaios sobre o mesmo produto e incluir a possibilidade de comparação desses resultados. A inclusão de novos ensaios e da possibilidade de especificação segundo mais normas de produto, como por exemplo a NP EN 13450 – Agregados para Balastro de vias Férreas, é uma melhoria a desenvolver na aplicação.

10 BIBLIOGRAFIA

Almeida, E. S. de, e J. S. da Costa. “Confecção de blocos para pavimentação utilizando rejeitos de piso cerâmicos derivados da construção civil.” *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat.* http://www.cbecimat.com.br/resumos_ceramicos2.asp?Id=644 (acedido em Julho de 2009).

Andrade, Inês Duarte. “Produção de resíduos industriais na Indústria Cerâmica em 2003.” 2004.

Ângulo, Sérgio Cirelli, Sérgio Eduardo Zordan, e Vanderley Moacyr. John. “Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.” *Reciclagem de residuos como materiais de construção.* Junho de 2009. http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV_CT206_2001.pdf.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli, Sérgio Edurado ZORDAN, e Vanderley Moacyr JOHN. “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil.”

APICER. *Portugal Cerâmica - Associação Portuguesa da Industria Cerâmica.* http://www.apicer.pt/ (acedido em Jun de 2009).

Bastos, Mário, e Isabel Azevedo e Silva. “Restauração, Reabilitação e Reconversão na Recuperação Paisagistica de Minas e Pedreiras.”

Costa, Bruno Cordeiro. “Estudo da Viabilidade Técnica de Incorporação de Residuo Cerâmico em Argamassas.” 2006.

Coutinho, A. de Sousa. *Fabrico e Propriedades do Betão.* Lisboa: LNEC, 1988.

Coutinho, Joana de Sousa. *Agregados para Argamassas e Betões.* 1999.

CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro. http://www.ctcv.pt/ (acedido em Agosto de 2009).

Fernandes, Maria de Almeida, Augusto Serra Sousa, e António Baio Dias. *Impactes ambientais e comércio de emissões: indústria cerâmica (um caso de estudo).* Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica, 2004.

Fernandes, Maria Isabel Azevedo de Almeida, Augusto Vaz Serra Sousa, e António Manuel Baio Dias.

Fiuza, António M. A. *Legislação mineira e ambiental.* 2009.

Góes, Maria Alice C. de, Adão Benvindo da Luz, e Mario Valente Possa. "Amostragem." In *Tratamento de Minérios - CETEM*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral do Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004.

Gonçalves, Paulo César Magalhães. "Betão com agregados reciclados. Análise comentada da regulamentação existente." 2007.

Industriais, Plano Nacional de Prevenção de Residuos. *PNAPRI.* 2001.

Júnior, João Baptista de Oliveira. *Desactivação de empreendimentos mineiros: estratégias para diminuir o passivo ambiental.* São Paulo, 2001.

Leite, Márcia, e Maria João Ferreira. "Produção de Solo Artificial." 2006.

Lopes, Ana Maria Castilho Ramos. *Propriedades fisicas dos minerais.* Coimbra, 2002.

Martins, Isabel, e Arlindo Gonçalves. "Incorporação de Resíduos Cerâmicos em Blocos Prefabricados de Betão para Pavimentação." *2º Congresso Nacional da Prefabricação em Betão - LNEC.* Março de 2008.

Meira, João M. L. "A adequabilidade das pedreiras para a instalação de aterros de residuos." 1999.

Menezes, R.R., H.G.Malzac Neto, L.N.L. Santana, H.L.Lira, H.S. Ferreira, e G.A. Neves. "Optimization of waste content in ceramic tiles using statistical design of mixture experiments." *Journal of the European Ceramic Society*, Março 2008.

Modler, Luis Eduardo Azevedo, e Cristina Eliza Pozzobon. "Avaliação da Viabilidade Técnica de Concreto Elaborado com Agregado Graúdo Reciclado." *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, Abril 2008: 43-55.

Monfort, E., e J.E. Enrique. "Economia Energética e Vantagens Meioambientais da Reutilização de Resíduos." *Cerâmica Industrial*, 1996: 14-20.

Pereira, Luiz A. P., e Pedro M. S. Santos. "Resíduos reciclados como componentes de argamassas."

PESGRI. “Plano Estratégico dos Residuos Industriais.” 2001.

PNAPRI. “Plano Nacional de Prevenção de Residuos Industriais.” 2001.

“Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.” *UN Documents - Gathering a Body of Global Agreements.* http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm (acedido em Junho de 2009).

Santos, José Roberto dos, Fernando Branco, e Jorge de Brito. “Tarefa 5 – Casos de Estudo de Valorização de Agregados Reciclados de RCD.” *“Projecto REAGIR - Reciclagem de Entulho no Âmbito da Gestão Integrada de Resíduos”*, 2007.

Silva, J., J. Brito, e Maria do Rosário Veiga. “Argamassas com incorporação de agregados reciclados cerâmicos - avaliação do seu desempenho face à agua.” *Teoria e prática na Engenharia Civil*, Abril 2008: 13-21.

Silva, J., J. Brito, e Maria do Rosário Veiga. “Argamassas com incorporação de agregados reciclados cerâmicos - avaliação do seu desempenho mecânico.” *Concreto e construções*, Jan a Mar 2008: 73-84.

Sousa, N. V. “Recuperação de Paisagens Degradadas e Recuperação das Pedreiras de Secil.” Lisboa, 1993.

Vanderley, John M. *Reciclagem de resíduos na construção civil.* São Paulo, 2000.

Vieira, C., E. de Souza, e S. N. Monteiro. “Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha.” *Cerâmica*, 2004: 254-260.

11 DOCUMENTOS NORMATIVOS E DECRETOS-LEI

Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro

Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de Agosto

Decreto-Lei 270/2001, de 6 de Outubro

Decreto-Lei n.º 82/95, de 22 de Abril

Decreto-Lei nº 182/93, de 14 de Maio

Portaria n.º209/2004, de 3 de Março

EN 13139 – Agregados para Argamassa

EN 12620 - Agregados para Betão

EN 933-1 – Análise granulométrica. Método de peneiração.

EN 933-3 – Forma das partículas. Índice de achatamento

EN 933-4 – Forma das partículas. Índice de forma

EN 933-5 – Percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos

EN 933-7 – Percentagem de conchas nos agregados grossos

EN 933-8 – Teor de finos - Ensaio do equivalente de areia

EN 933-10 – Granulometria do Filer

EN 1097-1 – Resistência ao desgaste (micro-Deval)

EN 1097-2 – Resistência à fragmentação

EN 1097-3 – Determinação da baridade e do volume de vazios

EN 1097-6 – Massa volúmica e absorção de água

EN 1367-1 – Resistência ao gelo/degelo

EN 1367-2 – Ensaio do sulfato de magnésio

EN 1367-4 – Retracção por secagem

EN 1744-1 – Análise química

Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente

RESÍDUOS CERÂMICOS

Gestão e Valorização como Agregados

CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS – APLICAÇÃO EM EXCEL

Volume II

Tese de Mestrado

Jorge Lima Ribeiro

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Departamento de Engenharia Minas

Orientador: **João Manuel Abreu dos Santos Baptista**

Julho de 2009

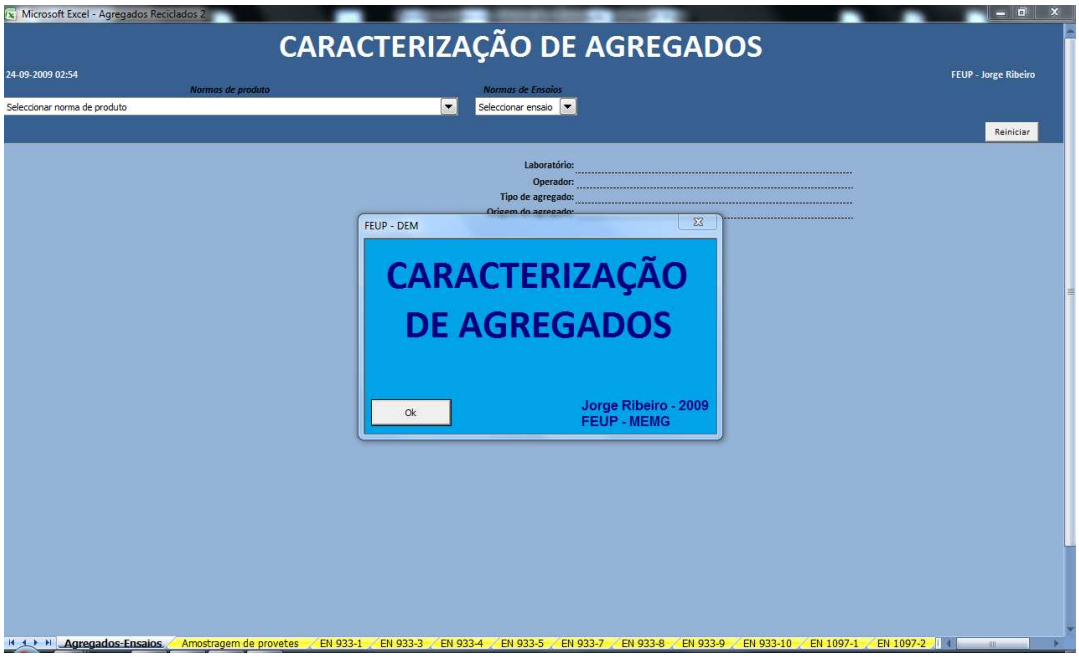
Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente

RESÍDUOS CERÂMICOS

Gestão e Valorização como Agregados

CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS – APLICAÇÃO EM EXCEL

Volume II



ÍNDICE

1 Caracterização de Agregados - Aplicação em Excel 1

2 Manual de Utilização 3

2.1 Página Principal.....3

2.2 Páginas das Normas de Ensaio.....4

2.2.1 Amostragem 5

2.2.2 NP EN 933-1 - Análise granulométrica. Método de peneiração. 6

2.2.3 NP EN 933-3 - Determinação da forma das partículas. Índice de achatamento. 7

2.2.4 NP EN 933-4 - Determinação da forma das partículas. Índice de Forma. .. 8

2.2.5 NP EN 933-5 - Percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos. 10

2.2.6 NP EN 933-7 - Percentagem de conchas nos agregados grossos..... 12

2.2.7 NP EN 933-8 - Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia. 14

2.2.8 NP EN 933-9 - Determinação do teor de finos - Ensaio do azul-de-metileno. 16

2.2.9 NP EN 933-10 - Avaliação dos finos - Granulometria do fíler..... 18

2.2.10 NP EN 1097-1 - Resistência ao desgaste (micro-Deval) 18

2.2.11 NP EN 1097- 2 - Resistência à fragmentação 20

2.2.12 NP EN 1097-3 - Determinação da baridade e do volume de vazios 23

2.2.13 NP EN 1097-6 - Determinação da baridade e do volume de vazios 24

2.2.14 NP EN 1367-1 - Determinação da resistência ao gelo/degelo 26

2.2.15 NP EN 1367- 2 - Ensaio do sulfato de magnésio 27

2.2.16 NP EN 1744-1 - Análise química..... 28

2.3 Páginas das Normas de Produto 30

2.3.1 EN 13139 - Agregados para Argamassa 30

2.3.2 EN 12620 - Agregados para Betão..... 32

ÍNDICE DE IMAGENS

Imagem 1 – Página principal (geral) 3

Imagem 2 – Página principal (A) 3

Imagem 3 – Caixa de selecção da norma de produto 3

Imagem 4 – Página principal (B).....4

Imagem 5 – Exemplo do cabeçalho das páginas de ensaios e da página de amostragem .4

Imagem 6 – Visão geral da página “Amostragem” 5

Imagem 7 – Caixa de mensagem de ajuda da página “Amostragem”.....5

Imagem 8 – Visão geral da página “933-1” 6

Imagem 9 – Visão geral da página “933-3” 7

Imagem 10 – Visão geral da página “933-4” 8

Imagem 11 – Tabela de introdução de dados para agregados com D ≤ 2d (933-4) 8

Imagem 12 – Tabela de introdução de dados para agregados com D > 2d (933-4) 9

Imagem 13 – Visão geral da página “933-5” 10

Imagem 14 – Tabela de introdução de dados para agregados com D ≤ 2d (933-5) 10

Imagem 15 – Tabela de introdução de dados para agregados com D > 2d (933-5) 11

Imagem 16 – Visão geral da página “933-7” 12

Imagem 17 – Tabela de introdução de dados para agregados com D ≤ 2d (933-7) 12

Imagem 18 – Tabela de introdução de dados para agregados com D > 2d (933-7) 13

Imagem 19 – Visão geral da página “933-8” 14

Imagem 20 – Caixa de ajuda com imagem de apoio às medições h1 e h2 (EN 933-8) ..15

Imagem 21 – Visão geral da página 933-9 16

Imagem 22 – Tabela de introdução de dados para a fracção granulométrica 0/2mm (933-9).....16

Imagem 23 – Tabela de introdução de dados para a fracção granulométrica 0/0,125mm (933-9) 17

Imagem 24 – Tabela de introdução de dados para a determinação do valor de azul-de-metileno da caulinite (933-9).....17

Imagem 25 – Visão geral da página 933-10.....18

Imagem 26 – Visão geral da página 1097-1.....18

Imagem 27 – Caixa de mensagem de ajuda da página 1097-1.....19

Imagem 28 – Visão geral da página 1097-2.....20

Imagem 29 – Relatório a preencher para a opção “Los Angeles”.....20

Imagem 30 – Caixa de mensagem de ajuda da página 1097-2 (ensaio de Los Angeles) 21

Imagem 31 – Relatório a preencher para a opção “Fragmentação por impacto”.....22

Imagem 32 – Visão geral da página 1097-3.....23

Imagem 33 – Visão geral da página 1097-6.....24

Imagem 34 – Exemplo dos relatórios das fracções 4/31,5 mm e 51,5/63 mm.....25

Imagem 35 – Visão geral da página 1367-1.....26

Imagem 36 – Tabela de dados relativa à perda de resistência após ciclos de gelo/degelo.27

Imagem 37 – Visão geral da página 1367-2.....27

Imagem 38 – Visão geral da página 1744-1.....28

Imagem 39 – Visão geral da página EN 13139 Agregados para argamassa.....30

Imagem 40 – Caixa de selecção da dimensão do agregado (1) e botão para imprimir ficha técnica do produto (2).....31

Imagem 41 – Visão geral da página EN 12620 Agregados para betão.....32

Imagem 42 – página EN 12620 Agregados para betão (A).....32

1 CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS - APLICAÇÃO EM EXCEL

Neste volume será efectuada a apresentação da aplicação em Excel desenvolvida e que permite a especificação e caracterização dos agregados, segundo as normas europeias EN 13139 – Agregados para Argamassa e EN 12620 – Agregados para Betão. Esta terá uma utilidade e campo de aplicação mais vasto que o âmbito da tese, podendo vir a ser utilizada como auxilio à analise laboratorial de todo o tipo de agregados.

No ponto seguinte é apresentado o manual de utilização da aplicação. A utilização desta aplicação não dispensa a consulta das normas de ensaio e, pelo contrário, deve ser utilizada como apoio ao procedimento e cálculos que nessas se encontra especificado.

2 MANUAL DE UTILIZAÇÃO

2.1 PÁGINA PRINCIPAL

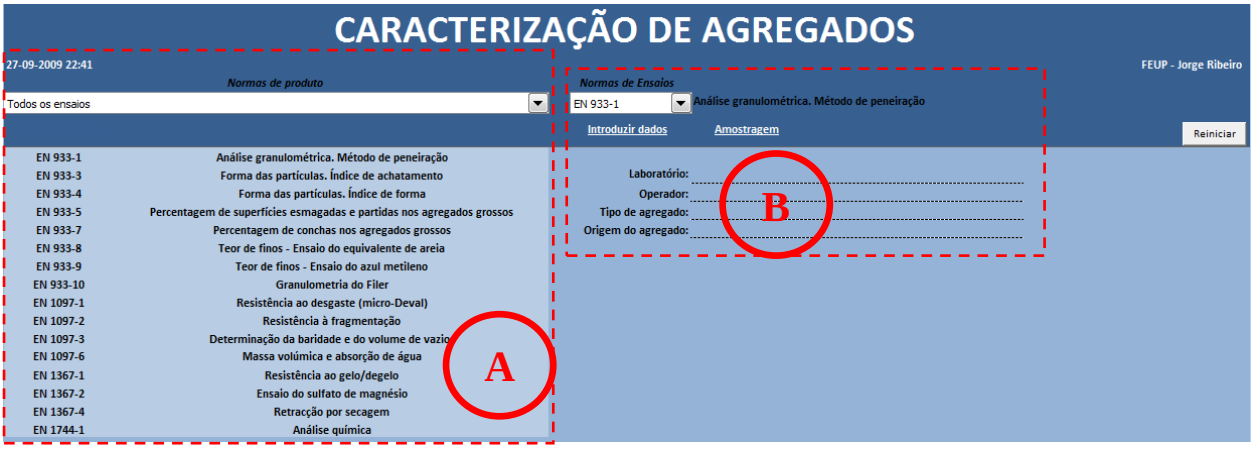


Imagem 1 – Página principal (geral)

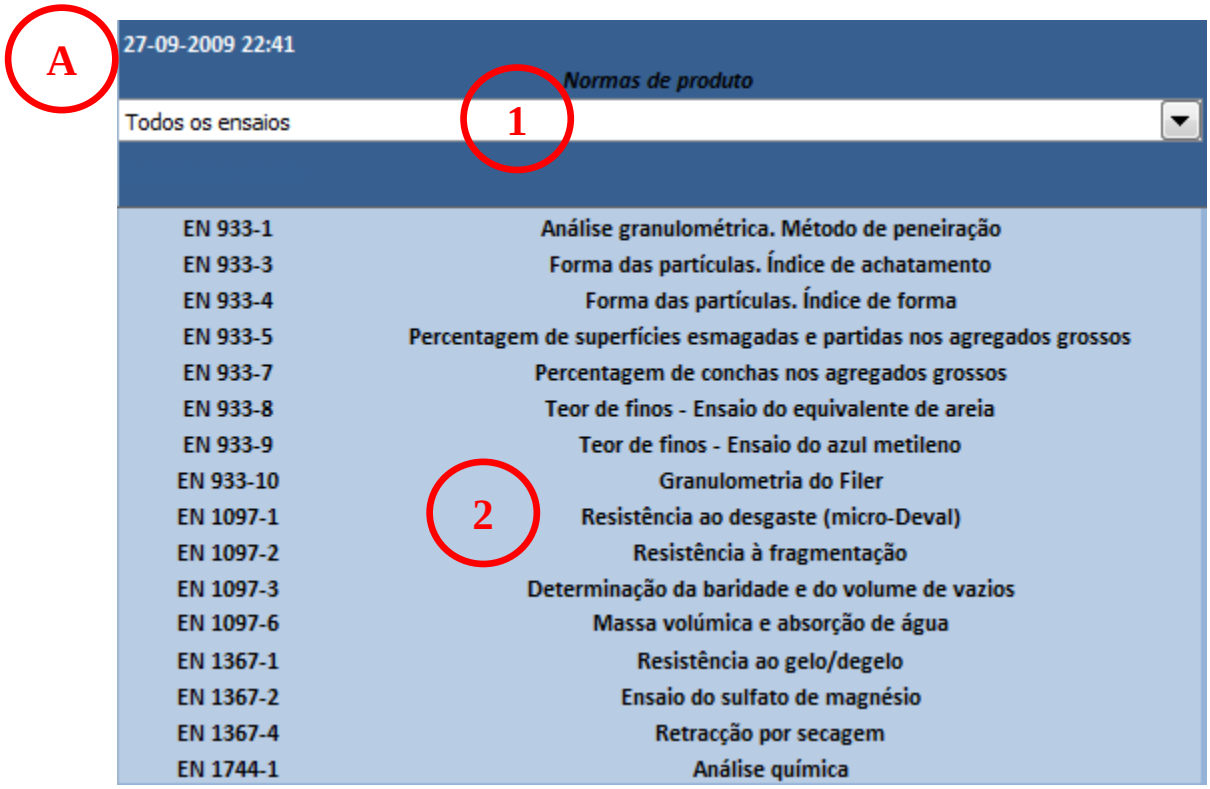


Imagem 2 – Página principal (A)

1. Caixa de selecção da Norma de Produto da aplicação:

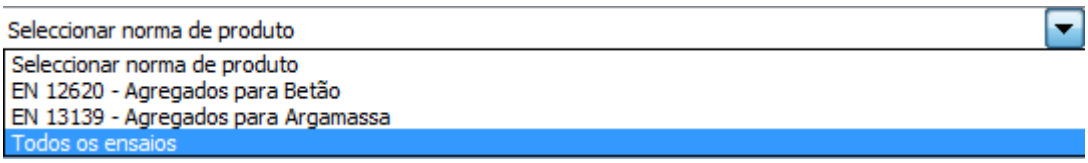


Imagem 3 – Caixa de selecção da norma de produto

2. Lista discriminada dos ensaios a realizar no âmbito da aplicação seleccionada, para apoio da selecção no item (3).

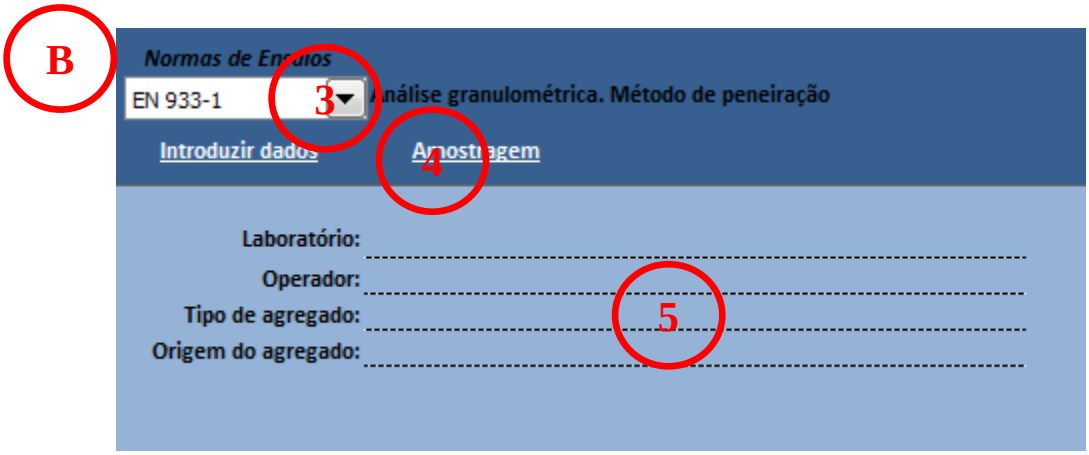


Imagem 4 – Página principal (B)

3. Caixa de selecção do ensaio a realizar consoante a aplicação seleccionada em (1).
4. À esquerda a hiperligação "*Introduzir dados*", para o relatório de ensaio seleccionado em (3) e à direita a hiperligação "*Amostragem*", para a página de apoio à preparação de provetes.
5. Neste campo são introduzidos os dados relativos ao Laboratório, Operador, Tipo e Origem do agregado para figurarem nos respectivos relatórios de ensaio.

2.2 Páginas das Normas de Ensaio

De seguida apresentam-se as páginas relativas às normas de ensaio e à amostragem (preparação de provetes).

Todas as células destas páginas, em que, de algum modo, o utilizador terá de introduzir ou seleccionar dados, são apresentadas a cinzento. Todas as outras são células de informação e encontram-se bloqueadas.

Todas as páginas relativas a normas de ensaio, assim como a página da amostragem, apresentam um cabeçalho como apresentado na imagem. Neste é feita referência à norma de ensaio respectiva e são mostrados os dados introduzidos no número (5) da Pagina Principal.

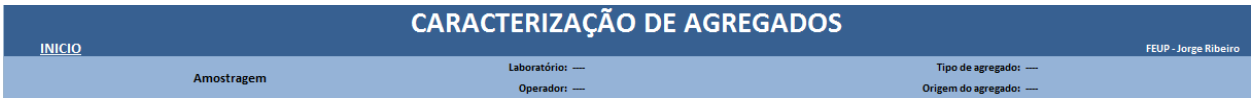


Imagem 5 – Exemplo do cabeçalho das páginas de ensaios e da página de amostragem

Do lado esquerdo é apresentada uma hiperligação, "*INICIO*", que permite ao utilizador voltar à página principal.

2.2.1 Amostragem

Esta página permite ao utilizador, a partir dos valores padrão das dimensões máximas dos provetes e massas respectivas, definidos na secção 'Preparação de provetes' da norma de ensaio a ser seguida, obter um valor interpolado para a massa do agregado a ensaiar, segundo a sua dimensão máxima.

A interpolação é feita por aproximação polinomial de segundo grau (quadrática).

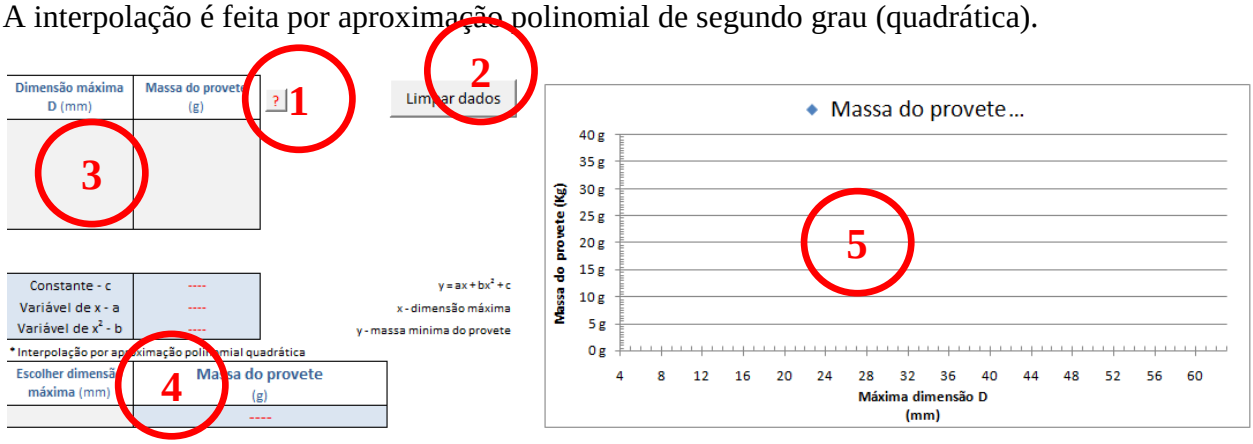


Imagem 6 – Visão geral da página "Amostragem"

1. Botão de ajuda com resumo e explicação da página "*Amostragem*". (Imagem 7)
2. Opção "*Limpar dados*" – Apaga todos os dados introduzidos e reinicia a página.
3. Tabela de introdução dos dados da secção 'Preparação de provetes' da norma do ensaio a realizar. Nesta tabela são introduzidos os valores padrão das dimensões máximas dos agregados (lado esquerdo) e respectivas massas de provete (lado direito).

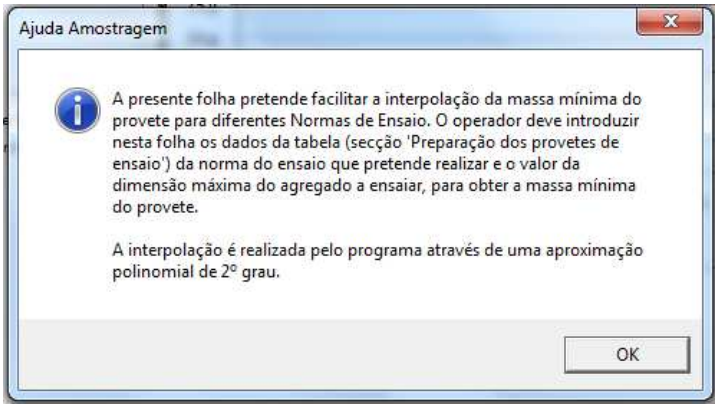


Imagem 7 – Caixa de mensagem de ajuda da página "Amostragem"

4. Tabela para introdução da dimensão máxima do agregado a ensaiar, à esquerda, e valor interpolado da massa mínima do provete de ensaio, à direita.
5. Gráfico ilustrativo da aproximação polinomial quadrática.

2.2.2 NP EN 933-1 - Análise granulométrica. Método de peneiração.

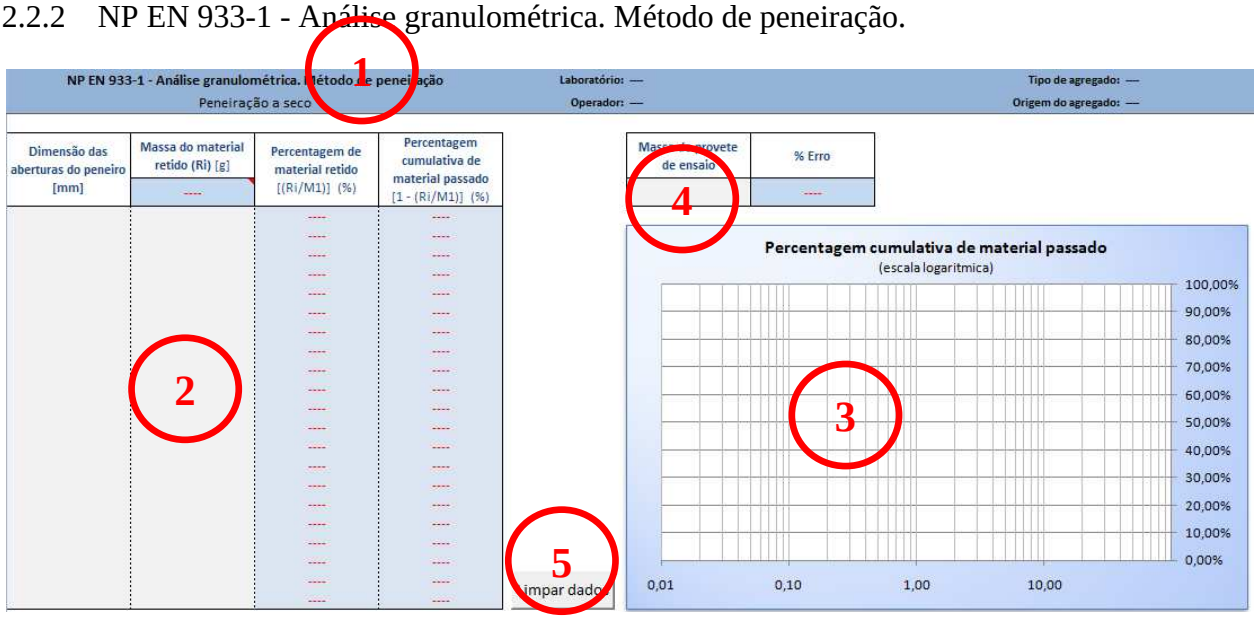


Imagem 8 – Visão geral da página “933-1”

1. Deve seleccionar-se no cabeçalho o tipo de ensaio realizado: “Lavagem e peneiração” ou “Peneiração a seco”.
2. Tabela de introdução de dados. Na primeira coluna são seleccionadas as dimensões dos peneiros utilizados na crivagem do material. Na segunda deve imputar-se as massas retidas em cada peneiro (em gramas). Nas colunas a azul, terceira e quarta, são apresentadas, respectivamente, as percentagens de material retido e a percentagem cumulativa de material passado (cumulante).
3. Gráfico relativo aos valores cumulativos de material passado.
4. Tabela para introdução da massa do provete, à esquerda, e apresentação do erro relativamente ao somatório da massa retida apresentado em (2).
5. Opção “Limpar dados” – Apaga todos os dados introduzidos e reinicia a página.

2.2.3 NP EN 933-3 - Determinação da forma das partículas. Índice de achatamento.

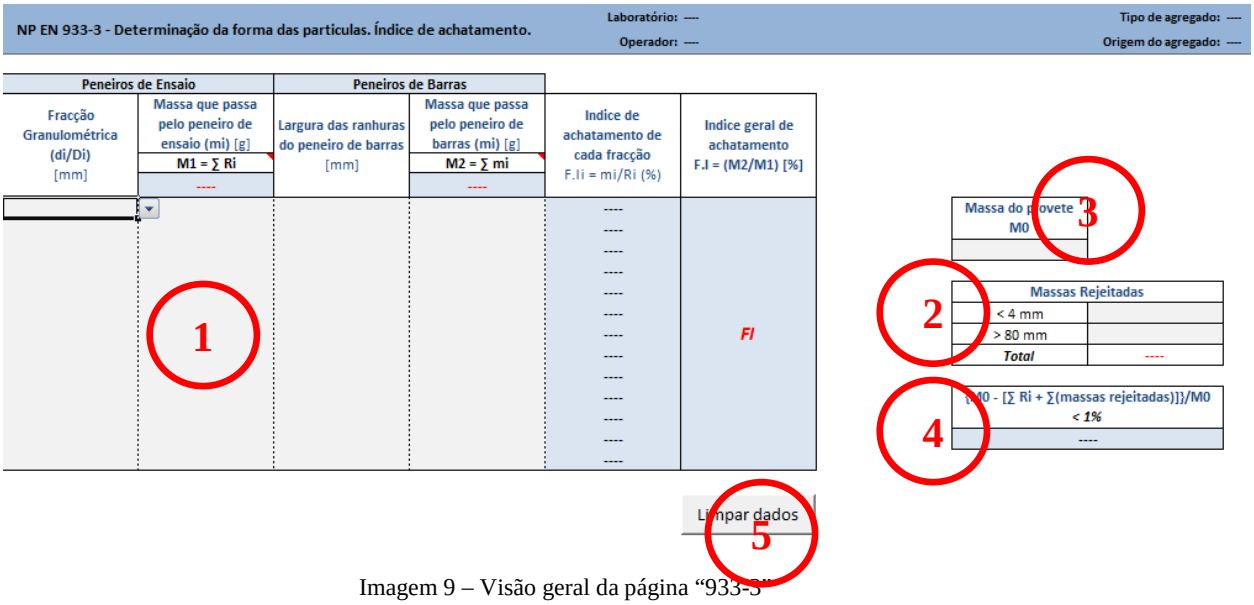


Imagem 9 – Visão geral da página "933-3"

1. Tabela de introdução de dados. Na primeira e terceira colunas são seleccionadas, respectivamente, as fracções granulométricas e a dimensão dos peneiros de barras correspondente, utilizados no ensaio. Na segunda e quarta colunas da tabela o utilizador terá que introduzir as massas passadas nos peneiros identificados na coluna à sua esquerda, primeira e terceira colunas, respectivamente. Na quinta coluna da tabela são 'devolvidos' pela aplicação os valores do Índice de achatamento de cada fracção granulométrica e na sexta coluna é 'devolvido' o valor médio do Índice de achatamento do agregado.

2. Tabela para introdução dos dados relativos às massas rejeitadas. Este ensaio é realizado nas fracções granulométricas entre 4 e 80 mm sendo rejeitadas as partículas fora destes limites. O utilizador deve introduzir na linha respectiva a massa das partículas passadas no peneiro de 4mm e a massa das retidas no peneiro de 80mm. É devolvido o valor total das massas rejeitadas.

3. Introdução da massa do provete inicial (antes da rejeição das partículas de dimensões fora dos limites).

4. Esta célula devolve o valor, em percentagem, da diferença entre a soma das massas Ri (segunda coluna da tabela 1) com a massa total de partículas rejeitadas e a massa inicial do provete (M0). Se esta for superior a 1% a célula devolve o valor "INCONFORME".

5. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

2.2.4 NP EN 933-4 - Determinação da forma das partículas. Índice de Forma.

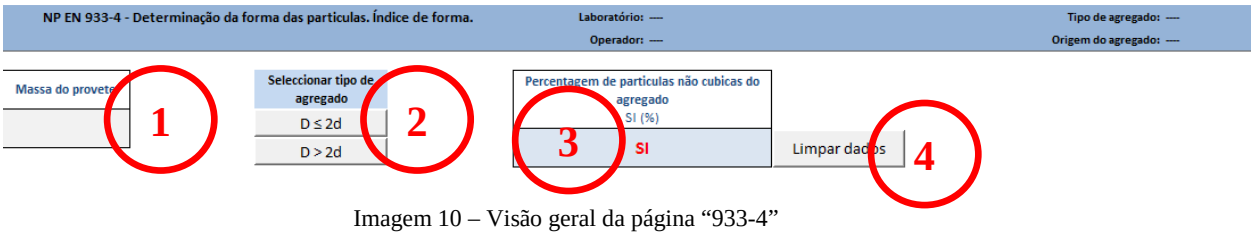


Imagem 10 – Visão geral da página "933-4"

1. Introdução da massa do provete.
2. Selecção do tipo de agregado a ensaiar consoante a relação entre as suas dimensões máxima e mínima. Mediante esta selecção será visível no ecrã o relatório de ensaio a preencher (Imagem 11 para agregados com D ≤ 2d e Imagem 12 para agregados com D > 2d).
3. Após introdução dos dados no relatório esta célula devolve a percentagem média de partículas não cúbicas do agregado, ou seja, o Índice de Forma do agregado.
4. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página

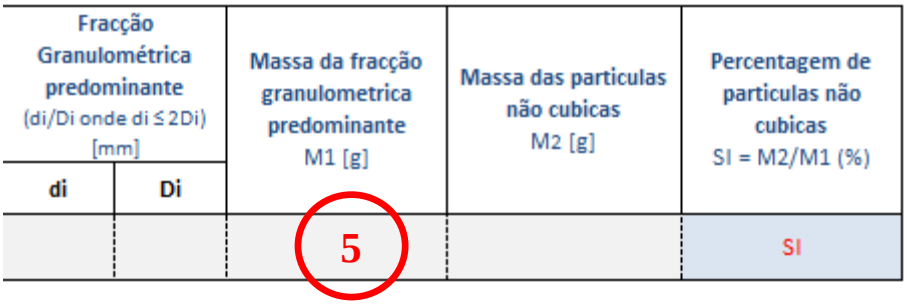


Imagem 11 – Tabela de introdução de dados para agregados com D ≤ 2d (933-4)

5. Tabela de introdução de dados para agregados com D ≤ 2d. Na primeira e segunda coluna devem ser seleccionadas as dimensões máxima (Di) e mínima (di) da fracção granulométrica predominante do agregado.

   Na terceira e quarta coluna o utilizador deve introduzir respectivamente, a massa da fracção granulométrica e a massa de partículas não cúbicas obtidas no ensaio.

   Na quinta coluna, a azul, é devolvido o valor do Índice de forma do agregado.

Fracção Granulométrica (di/Di onde Di ≤ 2di)		Massa de cada fracção Mi [g]	Percentagem de cada fracção Vi	Massa de particulas a ensaiar (após redução) M1i [g]	Massa de particulas não cubicas M2i [g]	Percentagem de particulas não cubicas SI(i) = M2i/M1i (%)	[Vi * SI(i)]
		∑ Mi	∑ Vi				Somatório
di	Di	----	----	Não reduzida			----
			----	6		----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
						SI	

Imagem 12 – Tabela de introdução de dados para agregados com D > 2d (933-4)

6. Tabela de introdução de dados para agregados com D > 2d. Na primeira e segunda coluna devem ser seleccionadas as dimensões máxima (Di) e mínima (di) de cada fracção granulométrica ensaiada (o agregado deve ser separado em classes granulométricas em que Di ≤ 2di).

   Na terceira coluna o utilizador deve introduzir a massa de cada fracção granulométrica.

   No caso de fracções com um número excessivo de partículas estas podem ser reduzidas. Caso se pretenda a sua redução, segundo definido na norma, deve ser seleccionada a opção "Reduzida" no topo da quinta coluna e introduzidas abaixo as massas de cada fracção após essa redução. Caso não seja efectuada nenhuma redução esta coluna não deve ser preenchida e deve permanecer a opção "Não reduzida" no topo da mesma.

   Na sexta coluna devem ser introduzidas as massas das partículas não cúbicas obtidas para cada fracção granulométrica (com ou sem redução).

   Na sétima coluna é devolvido, pela aplicação, o valor do Índice de forma para cada fracção ensaiada e no fundo da mesma é devolvido o valor médio deste para todo o agregado.

   A informação retida na coluna número oito serve para fins de cálculo do valor médio do índice de forma apresentado.

2.2.5 NP EN 933-5 - Percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos.

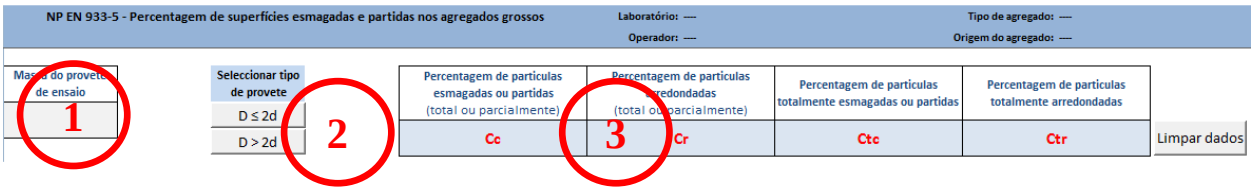


Imagem 13 – Visão geral da página "933-5"

1. Introdução da massa do provete.
2. Selecção do tipo de agregado a ensaiar consoante a relação entre as suas dimensões máxima e mínima. Mediante esta selecção será visível no ecrã o relatório de ensaio a preencher (Imagem 14 para agregados com D ≤ 2d e Imagem 15 para agregados com D > 2d).
3. Após introdução dos dados no relatório esta tabela devolve as percentagens médias Cc, Cr, Ctc e Ctr.

   Cc – Percentagem de partículas esmagadas ou partidas
   Cr – Percentagem de partículas arredondadas
   Ctc – Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas
   Ctr – Percentagem de partículas totalmente arredondadas

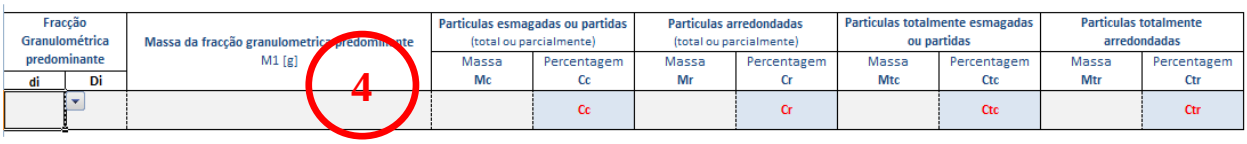


Imagem 14 – Tabela de introdução de dados para agregados com D ≤ 2d (933-5)

4. Tabela de introdução de dados para agregados com D ≤ 2d. Na primeira e segunda coluna devem ser seleccionadas as dimensões máxima (Di) e mínima (di) da fracção granulométrica predominante do agregado.

   Na terceira o utilizador deve introduzir a massa da fracção granulométrica predominante do agregado.

   Nas colunas quatro, seis, oito e dez são introduzidas, respectivamente, as massas de partículas esmagadas/partidas, arredondadas, totalmente esmagadas/partidas e

totalmente arredondadas obtidas no ensaio, sendo devolvidas as suas percentagens respectivas na coluna à direita de cada uma.

Fracção Granulométrica (di/Di onde Di ≤ 2di) [mm]		Massa de cada fracção Mi [g]	Percentagem de cada fracção Vi	Massa de particulas a ensaiar (após redução) - M1i [g]	Particulas esmagadas ou partidas (total ou parcialmente)		Particulas arredondadas (total ou parcialmente)		Particulas totalmente esmagadas ou partidas		Particulas totalmente arredondadas	
		∑ Mi	∑ Vi		Massa Mic	Percentagem Cic	Massa Mir	Percentagem Cir	Massa Mitc	Percentagem Citc	Massa Mitr	Percentagem Citr
di	Di	----	----	Não reduzida								
			----			----		----		----		----
			----			----		----		----		----
			----			----		----		----		----
			----			----		----		----		----
			----			----		----		----		----
			----			----		----		----		----
			----			----		----		----		----
			----			----		----		----		----
						Cc		Cc		Cc		Cc

5

Imagem 15 – Tabela de introdução de dados para agregados com D > 2d (933-5)

5. Tabela de introdução de dados para agregados com D > 2d. Na primeira e segunda coluna devem ser seleccionadas as dimensões máxima (Di) e mínima (di) de cada fracção granulométrica ensaiada (o agregado deve ser separado em classes granulométricas em que Di ≤ 2di).

   Na terceira coluna o utilizador deve introduzir a massa de cada fracção granulométrica.

   No caso de fracções com um número excessivo de partículas estas podem ser reduzidas. Caso se pretenda a sua redução, segundo definido na norma, deve ser seleccionada a opção "Reduzida" no topo da quinta coluna e introduzidas abaixo as massas de cada fracção após essa redução. Caso não seja efectuada nenhuma redução esta coluna não deve ser preenchida e deve permanecer a opção "Não reduzida" no topo da mesma.

   Na sexta coluna devem ser introduzidas as massas das partículas esmagadas/partidas para cada fracção granulométrica (com ou sem redução).

   Na sétima coluna é devolvida, pela aplicação, a percentagem de partículas esmagadas ou partidas para cada fracção ensaiada e no fundo da mesma é devolvido o valor médio desta para todo o agregado.

   Nas colunas seguintes é seguido o procedimento adoptado para as colunas seis e sete, mas para o tipo de agregados identificado no topo dessas colunas.

2.2.6 NP EN 933-7 - Percentagem de conchas nos agregados grossos

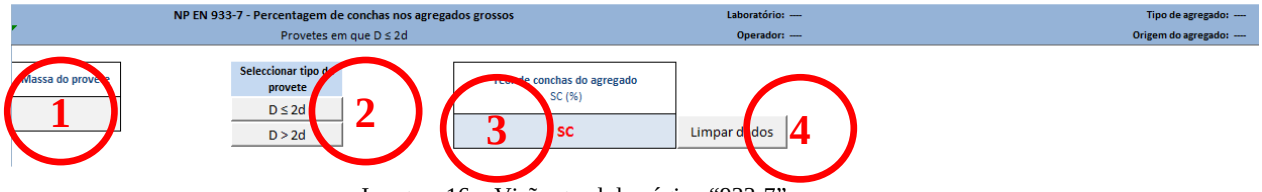


Imagem 16 – Visão geral da página “933-7”

1. Introdução da massa do provete.
2. Selecção do tipo de agregado a ensaiar consoante a relação entre as suas dimensões máxima e mínima. Mediante esta selecção será visível no ecrã o relatório de ensaio a preencher (Imagem 17 para agregados com D ≤ 2d e Imagem 18 para agregados com D > 2d).
3. Após introdução dos dados no relatório esta célula devolve a percentagem de conchas do agregado.
4. Opção “*Limpar dados*” – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

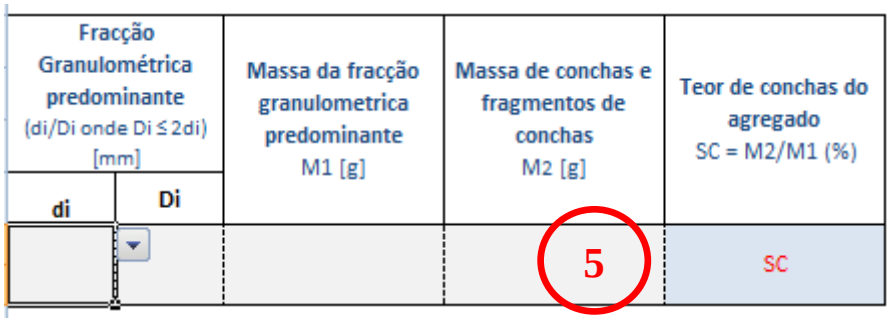


Imagem 17 – Tabela de introdução de dados para agregados com D ≤ 2d (933-7)

5. Tabela de introdução de dados para agregados com D ≤ 2d. Na primeira e segunda coluna devem ser seleccionadas as dimensões máxima (Di) e mínima (di) da fracção granulométrica predominante do agregado.

   Na terceira e quarta coluna o utilizador deve introduzir respectivamente, a massa da fracção granulométrica e a massa de conchas ou fragmentos de conchas obtidas no ensaio.

   Na quinta coluna, a azul, é devolvido o valor Teor de conchas do agregado.

Fracção Granulométrica (di/Di onde Di ≤ 2di)		Massa de cada fracção Mi [g]	Percentagem de cada fracção Vi	Massa de particulas a ensaiar (após redução) M1i [g]	Massa de conchas e fragmentos de conchas M2i [g]	Teor de conchas do agregado SC(i) = M2i/M1i (%)	[Vi * SC(i)]
		∑ Mi	∑ Vi				Somatório
di	Di	----	----	Não reduzida			----
			----	6		----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
			----			----	----
						SC	

Imagem 18 – Tabela de introdução de dados para agregados com D > 2d (933-7)

6. Tabela de introdução de dados para agregados com D > 2d. Na primeira e segunda coluna devem ser seleccionadas as dimensões máxima (Di) e mínima (di) de cada fracção granulométrica ensaiada (o agregado deve ser separado em classes granulométricas em que Di ≤ 2di).

   Na terceira coluna o utilizador deve introduzir a massa de cada fracção granulométrica.

   No caso de fracções com um número excessivo de partículas estas podem ser reduzidas. Caso se pretenda a sua redução, segundo definido na norma, deve ser seleccionada a opção "Reduzida" no topo da quinta coluna e introduzidas abaixo as massas de cada fracção após essa redução. Caso não seja efectuada nenhuma redução esta coluna não deve ser preenchida e deve permanecer a opção "Não reduzida" no topo da mesma.

   Na sexta coluna deve ser introduzida a massa de conchas ou teor de conchas obtida para cada fracção granulométrica (com ou sem redução).

   Na sétima coluna é devolvido, pela aplicação, o valor do Teor de conchas para cada fracção ensaiada e no fundo da mesma é devolvido o valor médio deste para todo o agregado.

   A informação retida na coluna número oito serve para fins de cálculo do valor médio do índice de forma apresentado.

2.2.7 NP EN 933-8 - Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia.

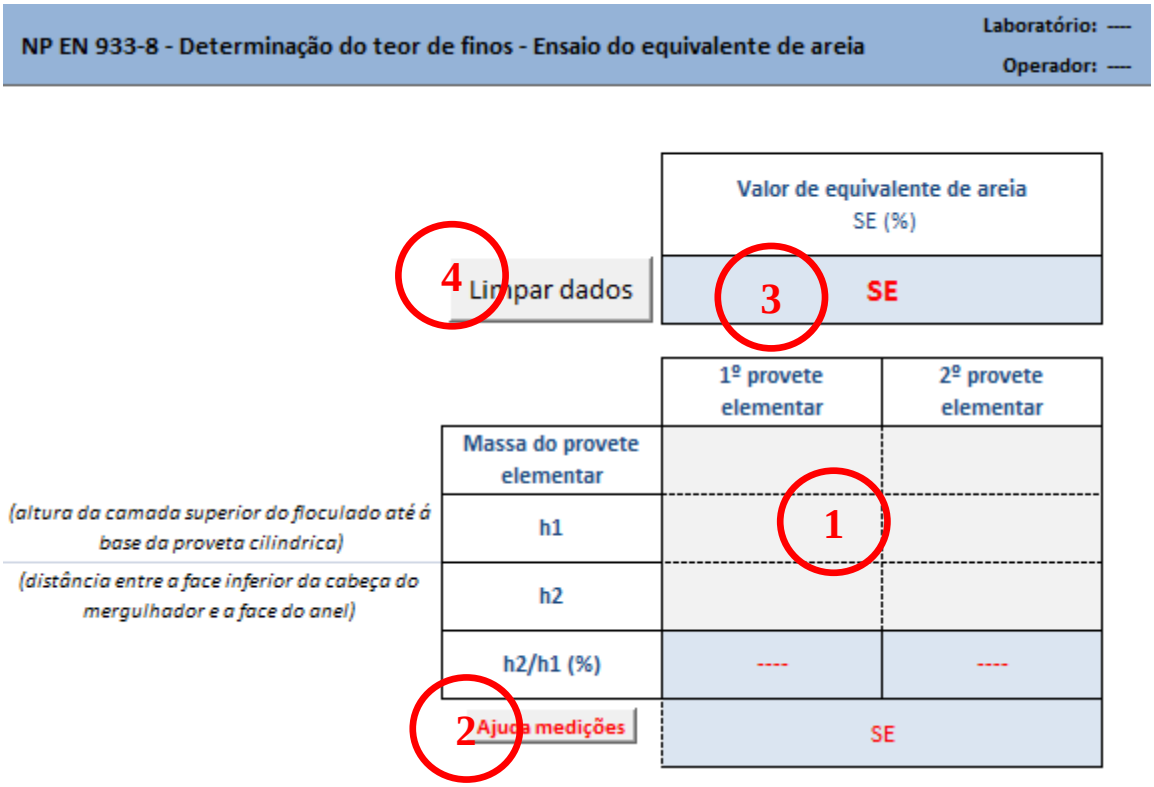


Imagem 19 – Visão geral da página “933-8”

1. Tabela de introdução dos dados recolhidos no ensaio. Na primeira linha devem introduzir-se as massas de ambos os provetes elementares.

   Na segunda e terceira linhas são introduzidas respectivamente as alturas h1 e h2, em milímetros, na coluna do provete elementar respectiva.

   Na linha quatro são apresentadas as razões, em percentagem, entre as medidas h2 e h1 para cada provete. Sendo o resultado final do ensaio, Valor de equivalente de areia, a média das razões dos dois provetes, apresentada na quinta linha da tabela.

2. Botão de ajuda. Este botão devolve ao utilizador uma imagem (Imagem 20) representativa das medições realizadas na proveta antes e depois da introdução do mergulhador, ou seja, h1 e h2 respectivamente. A imagem foi retirada da própria norma de ensaio (EN 933-8).

3. Após introdução dos dados no relatório esta célula devolve a Valor de equivalente de areia.
4. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

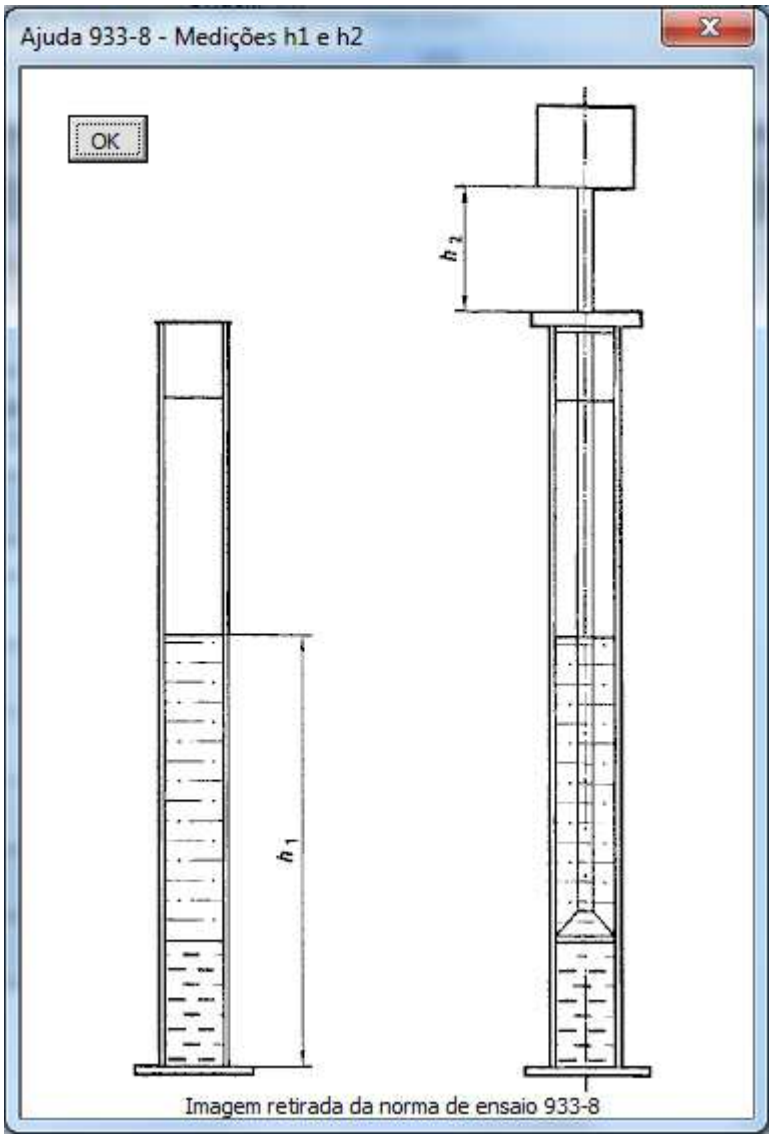


Imagem 20 – Caixa de ajuda com imagem de apoio às medições h1 e h2 (EN 933-8)

2.2.8 NP EN 933-9 - Determinação do teor de finos - Ensaio do azul-de-metileno.

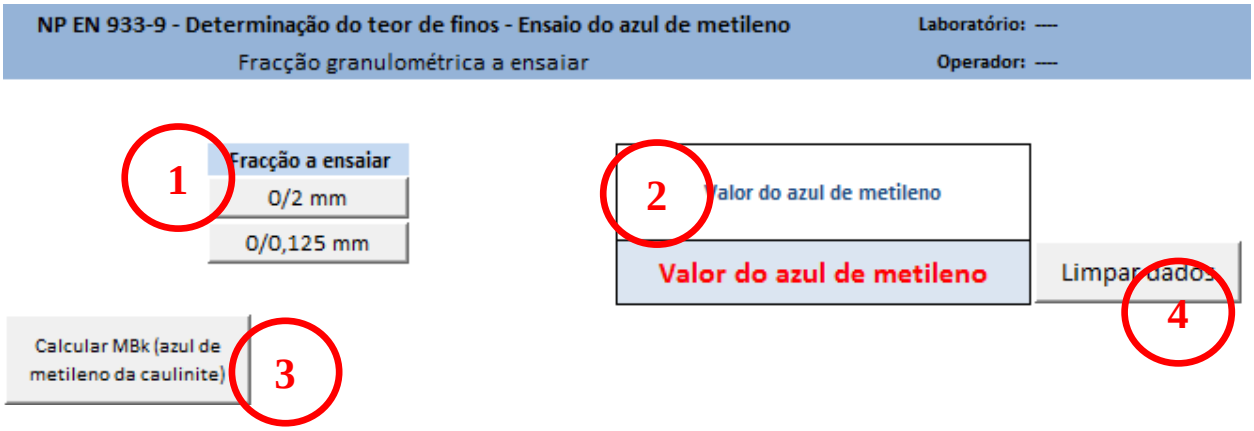


Imagem 21 – Visão geral da página 933-9

1. Botões de selecção da fracção granulométrica a ensaiar. Este ensaio apresenta relatórios e procedimentos diferentes consoante a fracção granulométrica ensaiada (0/2mm ou 0/0,125mm). Pressionando o botão respectivo a aplicação devolve o relatório respectivo, a ser preenchido. Para a fracção 0/2 mm é apresentado o relatório da Imagem 22, descrito no ponto 5, e para a fracção 0/0,125 mm é apresentado o relatório da Imagem 23, descrito no ponto 6.
2. Após introdução dos dados no relatório esta célula devolve a Valor do azul-de-metileno.
3. Valor de azul-de-metileno da caulinite (MBk). Caso o utilizador necessite de fazer a determinação desse valor, este deve pressionar este botão para que a aplicação devolva na página a respectiva tabela para introdução de dados (Imagem 24).
4. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

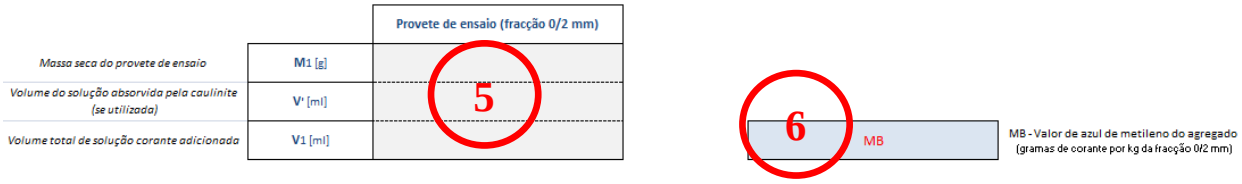


Imagem 22 – Tabela de introdução de dados para a fracção granulométrica 0/2mm (933-9)

5. Tabela para introdução de dados para a fracção granulométrica 0/2mm. O utilizador deve imputar na primeira linha a massa do provete e na última linha o volume total de corante adicionado. Caso tenha sido utilizada caulinite deve introduzir na segunda linha o volume de solução absorvida por esta.

6. Após a introdução dos dados na tabela do ponto 5, esta célula devolve o valor do azul-de-metileno do agregado (MB).

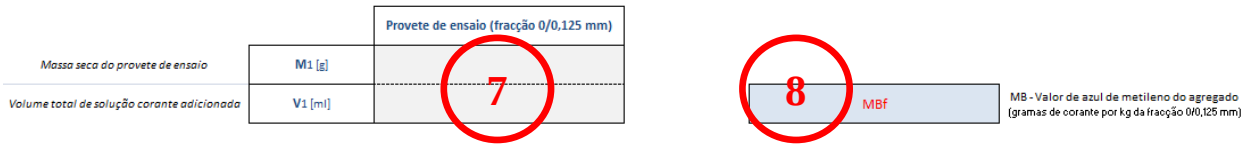


Imagem 23 – Tabela de introdução de dados para a fracção granulométrica 0/0,125mm (933-9)

7. Tabela para introdução de dados para a fracção granulométrica 0/0,125 mm. O utilizador deve imputar na primeira linha a massa do provete e na segunda linha o volume total de corante adicionado.

8. Após a introdução dos dados na tabela do ponto 7, esta célula devolve o valor do azul-de-metileno do agregado (MBf).

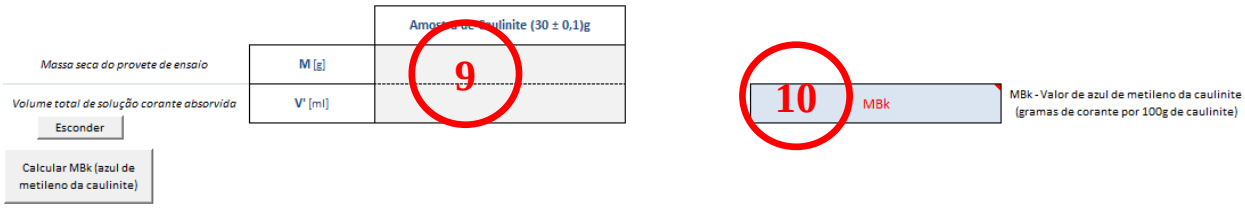


Imagem 24 – Tabela de introdução de dados para a determinação do valor de azul-de-metileno da caulinite (933-9)

9. Tabela para introdução de dados para a determinação do valor do azul-de-metileno da caulinite (MBk). O utilizador deve imputar na primeira linha a massa de caulinite (30 ± 0,1)g e na segunda linha o volume total de solução corante absorvida.

10. Após a introdução dos dados na tabela do ponto 9, esta célula devolve o valor do azul-de-metileno da caulinita (MBk).

2.2.9 NP EN 933-10 - Avaliação dos finos - Granulometria do fíler

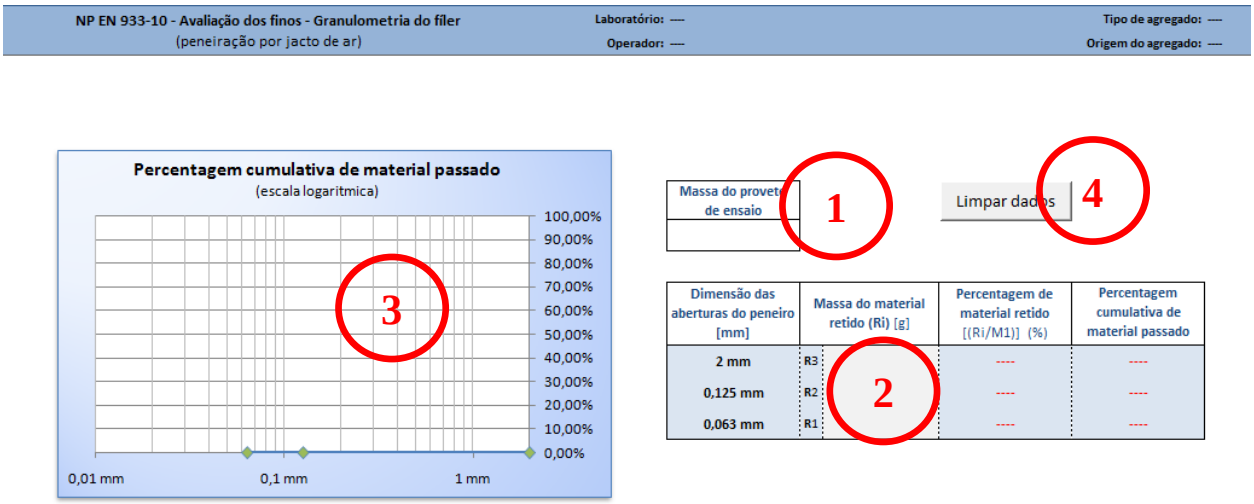


Imagem 25 – Visão geral da página 933-10

1. Introdução da massa do provete.
2. Tabela de introdução de dados. Na primeira coluna encontram-se descriminadas as fracções granulométricas do ensaio. Na segunda coluna o utilizador deve introduzir as massas retidas em cada peneiro durante a crivagem por jacto de ar. Na quarta e quinta colunas são devolvidas pela aplicação as percentagens de material retido e passado em cada peneiro, respectivamente.
3. Gráfico da percentagem cumulativa de material passado para cada fracção.
4. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

2.2.10 NP EN 1097-1 - Resistência ao desgaste (micro-Deval)

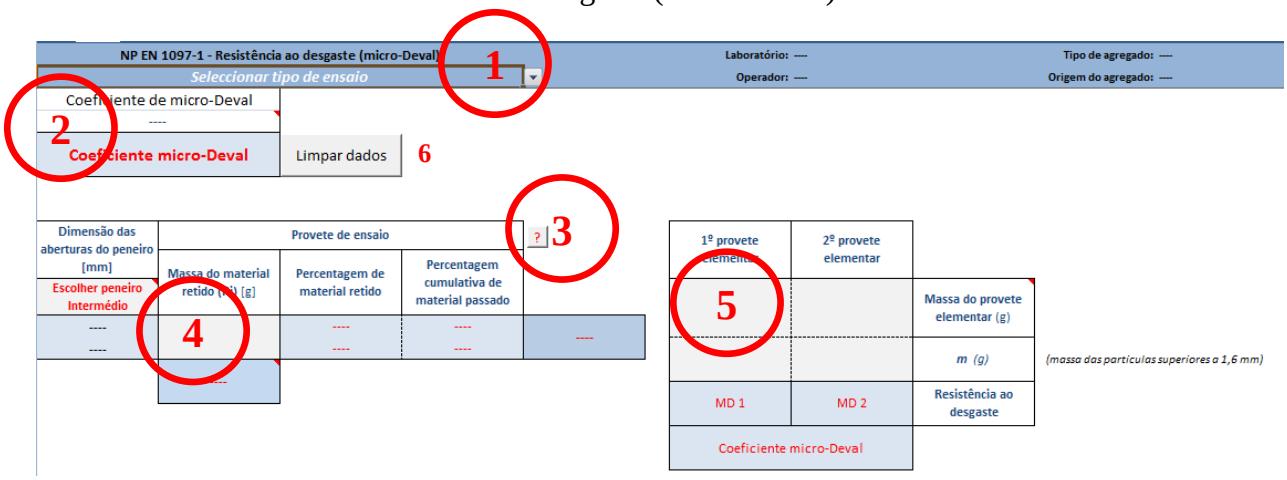


Imagem 26 – Visão geral da página 1097-1

1. Nesta célula o utilizador deverá seleccionar o tipo de ensaio: a seco (MDS) ou a húmido (MDE).
2. Após introdução dos dados no relatório esta célula devolve a Coeficiente micro-Deval do agregado.
3. Botão de ajuda do quadro apresentado no ponto 4 (Imagem 27).

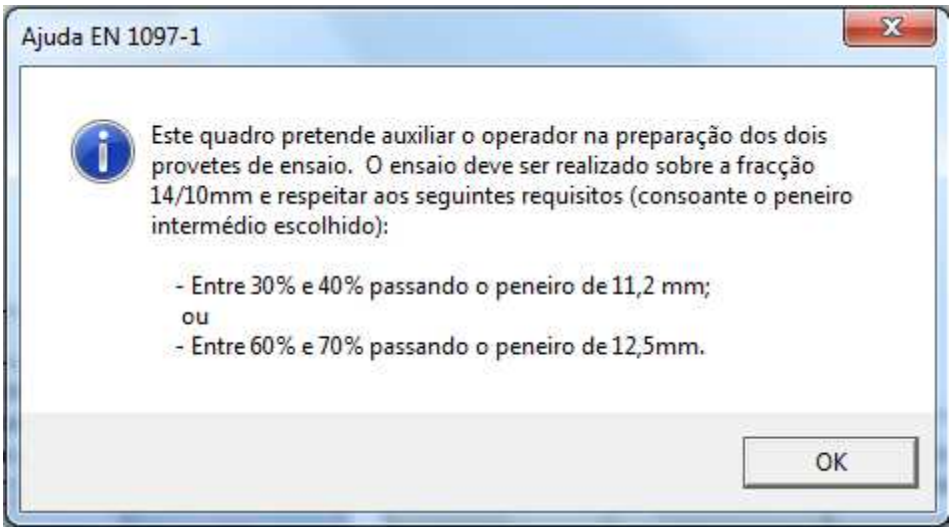


Imagem 27 – Caixa de mensagem de ajuda da página 1097-1

4. Tabela de introdução de dados. Na primeira coluna, na célula "Escolher peneiro intermédio" o utilizador deve escolher o peneiro intermédio utilizado (11,2 ou 12,5 mm). Abaixo desta célula aparecerão as fracções granulométricas consoante o peneiro intermédio escolhido.

   Na segunda coluna deverão ser colocadas as massas de cada fracção respeitando os requisitos da norma apresentados na caixa de ajuda (Imagem 27). A soma das massas tem de ser suficiente para a preparação de dois provetes de 500g.

   Na terceira e quarta colunas são apresentadas respectivamente as percentagens de massa retida e passada em cada peneiro.

   Na última coluna a aplicação devolve o valor "Conforme" ou "Inconforme" consoante sejam respeitados os requisitos normativos apresentados.

5. Tabela de introdução de dados relativos ao ensaio Los Angeles. Na primeira linha o utilizador deve introduzir a massa de cada provete elementar e na segunda deve introduzir a massa das partículas superiores a 1,6 mm, após o ensaio. Na terceira linha, nas células inicialmente identificadas com as siglas *MD 1* e *MD 2*, serão devolvidos pela aplicação os valores do coeficiente micro-Deval de cada provete. Na ultima linha é devolvida a média dos dois coeficiente de cada provete, o que corresponde ao coeficiente micro-Deval do agregado.

2.2.11 NP EN 1097- 2 - Resistência à fragmentação

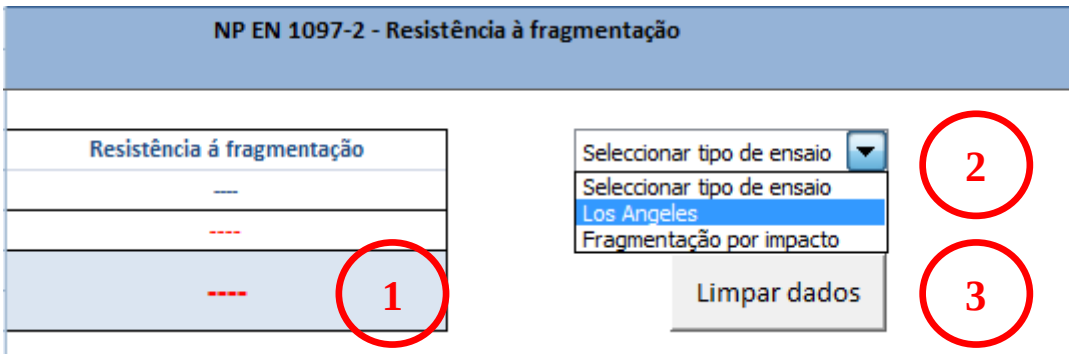


Imagem 28 – Visão geral da página 1097-2

1. Após introdução dos dados no relatório esta célula devolve o valor do coeficiente de resistência do agregado escolhido.
2. Caixa de selecção do ensaio de resistência a realizar. Conforme a selecção, a aplicação disponibiliza automaticamente o relatório do ensaio respectivo.
3. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

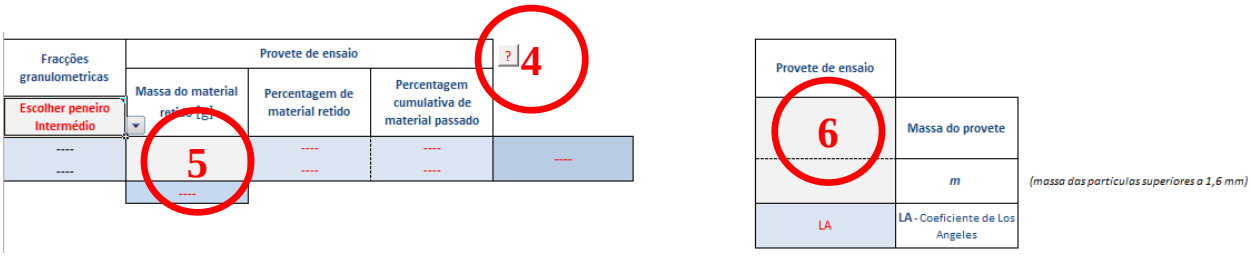


Imagem 29 – Relatório a preencher para a opção "Los Angeles"

4. Botão de ajuda do quadro apresentado no ponto 5 (Imagem 27).

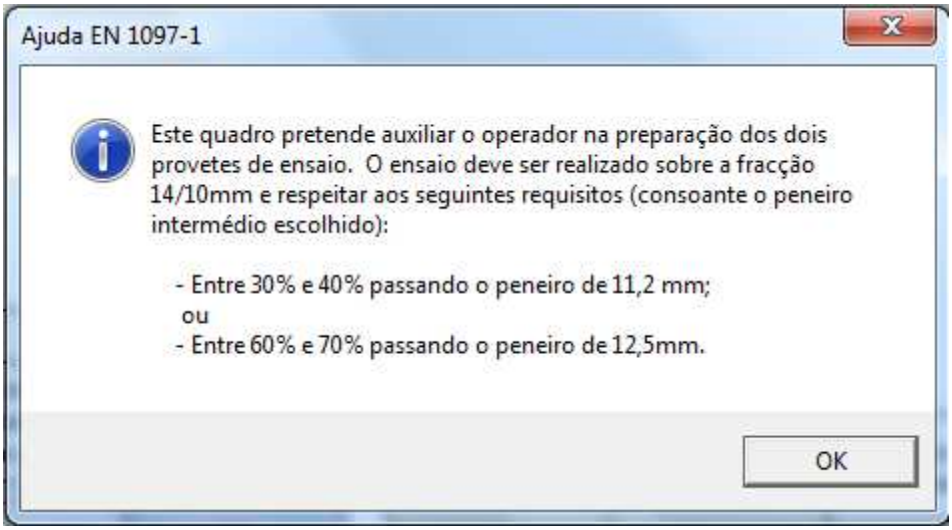


Imagem 30 – Caixa de mensagem de ajuda da página 1097-2 (ensaio de Los Angeles)

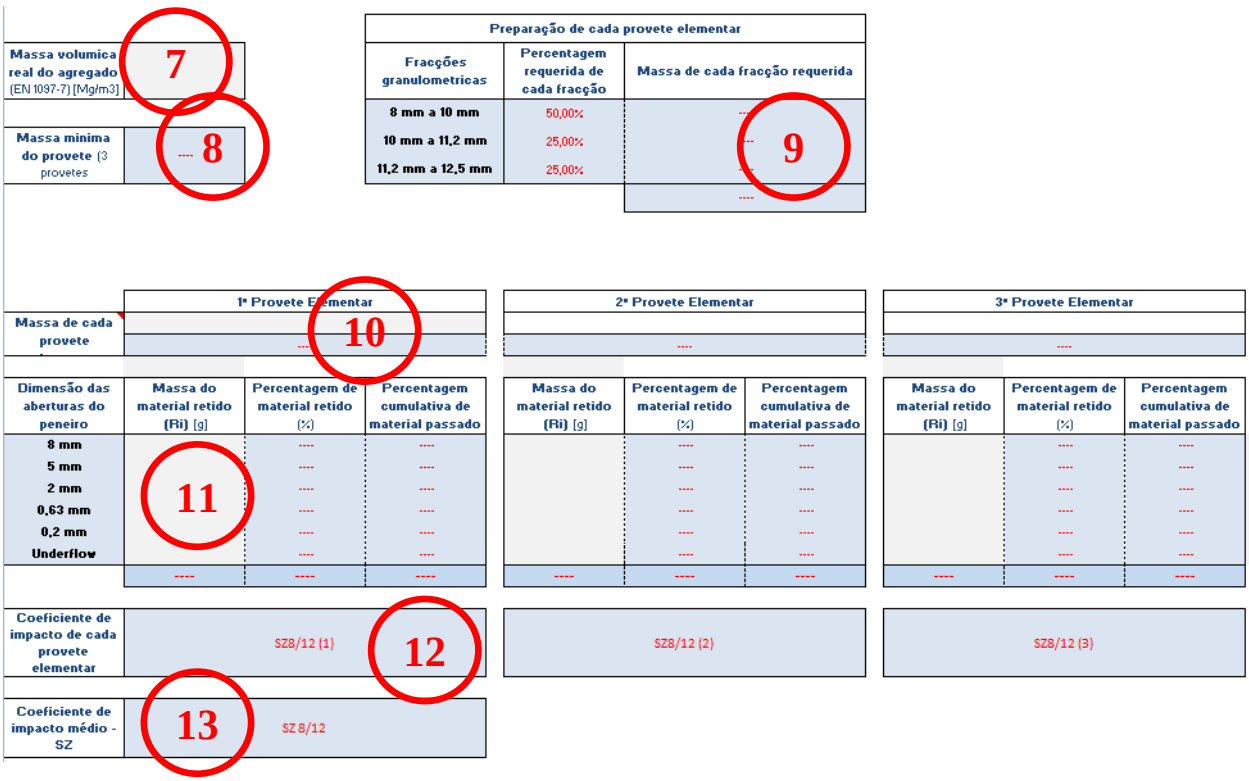
5. Tabela de introdução de dados. Na primeira coluna, na célula "Escolher peneiro intermédio" o utilizador deve escolher o peneiro intermédio utilizado (11,2 ou 12,5 mm). Abaixo desta célula aparecerão as fracções granulométricas consoante o peneiro intermédio escolhido.

   Na segunda coluna deverão ser colocadas as massas de cada fracção respeitando os requisitos da norma apresentados na caixa de ajuda (Imagem 27). A soma das massas tem de ser suficiente para a preparação de dois provetes de 500g.

   Na terceira e quarta colunas são apresentadas respectivamente as percentagens de massa retida e passada em cada peneiro.

   Na última coluna a aplicação devolve o valor "Conforme" ou "Inconforme" consoante sejam respeitados os requisitos normativos apresentados.

6. Tabela de introdução de dados relativos ao ensaio Los Angeles. Na primeira linha o utilizados deve introduzir a massa do provete e na segunda deve introduzir a massa das partículas superiores a 1,6 mm, após o ensaio. Na última linha, na célula inicialmente identificada com a sigla LA, será devolvida pela aplicação o valor do coeficiente de Los Angeles.



Massa volumica real do agregado (EN 1097-7) [Mg/m3]	7
Massa minima do provete (3 provetes	---- 8

Preparação de cada provete elementar		
Fracções granulometricas	Percentagem requerida de cada fracção	Massa de cada fracção requerida
8 mm a 10 mm	50,00%	----
10 mm a 11,2 mm	25,00%	----
11,2 mm a 12,5 mm	25,00%	----

9

	1ª Provete Elementar	2ª Provete Elementar	3ª Provete Elementar
Massa de cada provete	---- 10	----	----

Dimensão das aberturas do peneiro	Massa do material retido (Ri) [g]	Percentagem de material retido (%)	Percentagem cumulativa de material passado	Massa do material retido (Ri) [g]	Percentagem de material retido (%)	Percentagem cumulativa de material passado	Massa do material retido (Ri) [g]	Percentagem de material retido (%)	Percentagem cumulativa de material passado
8 mm		----	----		----	----		----	----
5 mm		----	----		----	----		----	----
2 mm	11	----	----		----	----		----	----
0,63 mm		----	----		----	----		----	----
0,2 mm		----	----		----	----		----	----
Underflow		----	----		----	----		----	----
	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Coeficiente de impacto de cada provete elementar	SZ8/12 (1) 12	SZ8/12 (2)	SZ8/12 (3)
Coeficiente de impacto médio - SZ	13 SZ 8/12		

Imagem 31 – Relatório a preencher para a opção “Fragmentação por impacto”

7. O utilizador deve introduzir a massa volúmica do agregado em Mg/m^3, determinada segundo a EN 1097-6.

8. Após introdução dos dados da massa volúmica em (7), a aplicação devolve a massa mínima da amostra para a preparação de três provetes elementares.

9. Tabela de apoio à preparação dos provetes elementares. Após a introdução da massa volúmica em (7), são devolvidas na tabela as massas de cada fracção granulométrica de cada provete elementar.

10. Introdução da massa de cada provete elementar. Se esta diferir mais de 1% da massa nominal apresentada em (9), a aplicação devolve na segunda linha “Inconforme”, caso contrário, será devolvido “Conforme”.

11. Tabelas de introdução de dados após o ensaio. Devem ser introduzidas, na tabela respectiva, as massas retidas em cada peneiro após o ensaio de resistência à fragmentação de cada provete.

12. Nestas células, inicialmente identificadas com as siglas *SZ 8/12 1*, *SZ 8/12* 2 e *SZ 8/12* 3, serão devolvidos pela aplicação os valores do coeficiente de impacto de cada provete.

13. Nesta célula, *SZ 8/12*, será devolvida a média dos dois coeficiente de impacto de cada provete, o que corresponde ao Coeficiente de Impacto do agregado.

2.2.12 NP EN 1097-3 - Determinação da baridade e do volume de vazios

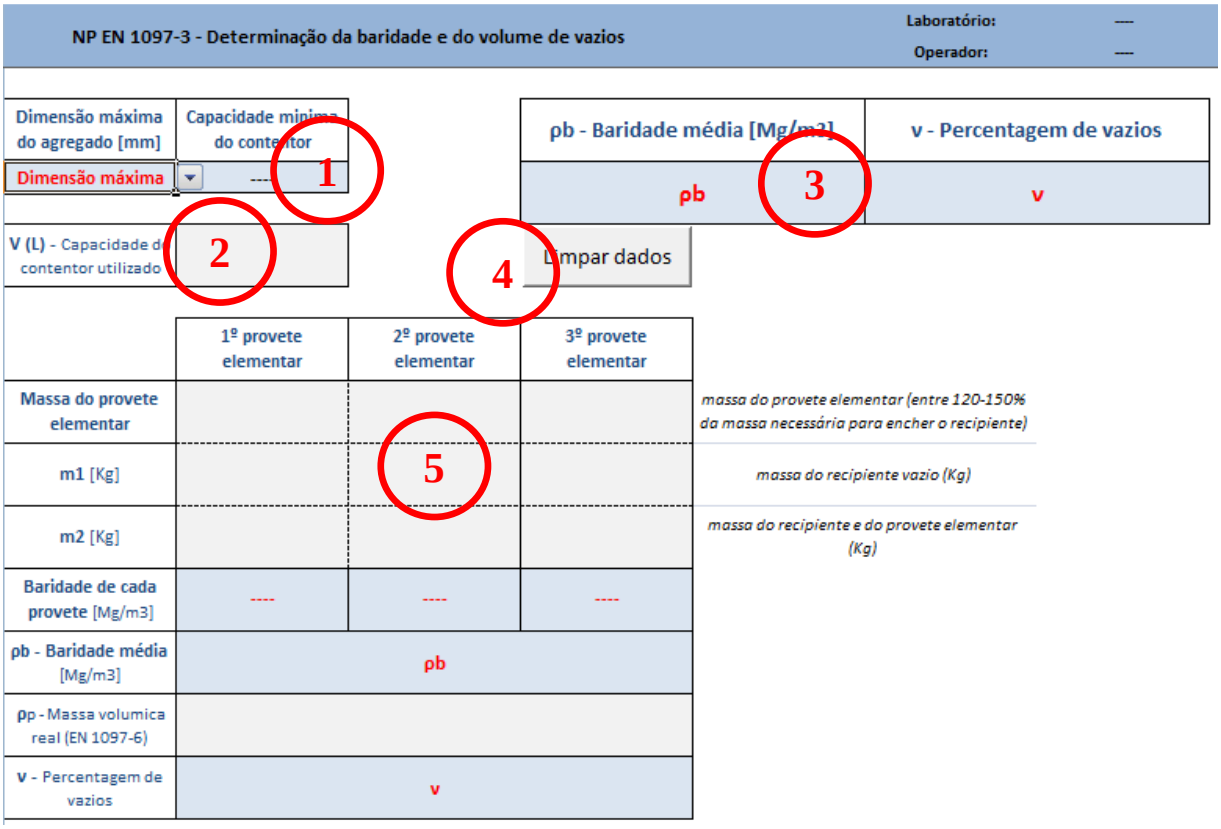


Imagem 32 – Visão geral da página 1097-3

1. Este quadro permite ao utilizador obter informação da capacidade mínima do contentor a utilizar, consoante a dimensão máxima do agregado, que deve ser seleccionada na 1ª coluna.

2. Nesta célula o utilizador deve introduzir a capacidade do contentor utilizado.

3. Após introdução dos dados no relatório esta tabela devolve o valor da baridade média (esquerda) e da percentagem de vazios (direita) do agregado ensaiado.

4. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

5. Tabela de introdução de dados. Na primeira linha deve ser introduzida a massa de cada provete elementar (entre 120 a 150% da massa necessária para encher o recipiente).

   Na segunda e terceira linha o utilizador deve introduzir, respectivamente, a massa do recipiente vazio, seco e limpo e a massa do recipiente cheio com o agregado.

Na quarta linha são devolvidas as baridades de cada provete elementar e na quinta é devolvida a Baridade média do agregado.

Para obter a percentagem de vazios na última linha o utilizador deve introduzir na sexta linha a massa volúmica determinada segundo a EN 1097-6.

2.2.13 NP EN 1097-6 - Determinação da baridade e do volume de vazios

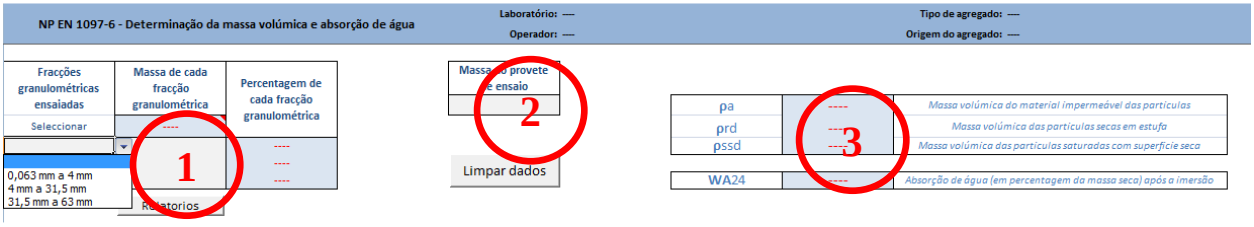


Imagem 33 – Visão geral da página 1097-6

1. Tabela para selecção das fracções granulométricas a ensaiar (na primeira coluna) e introdução das suas massas (na segunda coluna). É devolvida na terceira coluna a percentagem de cada fracção.

   Após estes passos, pressione o botão "*Relatórios*" e a aplicação devolve no ecrã os relatórios respectivos.

2. Introdução da massa do provete de ensaio.

3. Valores das massas volúmicas e absorção média do agregado, devolvidas pela aplicação após preencher os relatórios de cada fracção ensaiada.

Fracção do Agregado de 4 mm a 31,5 mm (Método do picnómetro)

		[g]
Massa do agregado saturado com superficie seca ao ar	M1	
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado	M2	
Massa aparente do cesto vazio imerso em água	M3	
Massa no ar do provete seco em estufa	M4	
Massa volúmica da água à temperatura T2 (Mg/m3)	ρw	
Massa volúmica do material impermeável das particulas	ρa	----
Massa volúmica das particulas secas em estufa	ρrd	----
Massa volúmica das particulas saturadas com superficie seca	ρssd	----
Absorção de água (em percentagem da massa seca) após a imersão durante 24h	WA24	----

	ºC
T2	
T3	

Fracção do Agregado 31,5 mm e 63 mm (Método do cesto de rede metálica)

		[g]
Massa do agregado saturado com superficie seca ao ar	M1	
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado	M2	
Massa aparente do cesto vazio imerso em água	M3	
Massa no ar do provete seco em estufa	M4	
Massa volúmica da água à temperatura T2 (Mg/m3)	ρw	
Massa volúmica do material impermeável das particulas	ρa	----
Massa volúmica das particulas secas em estufa	ρrd	----
Massa volúmica das particulas saturadas com superficie seca	ρssd	----
Absorção de água (em percentagem da massa seca) após a imersão durante 24h	WA24	----

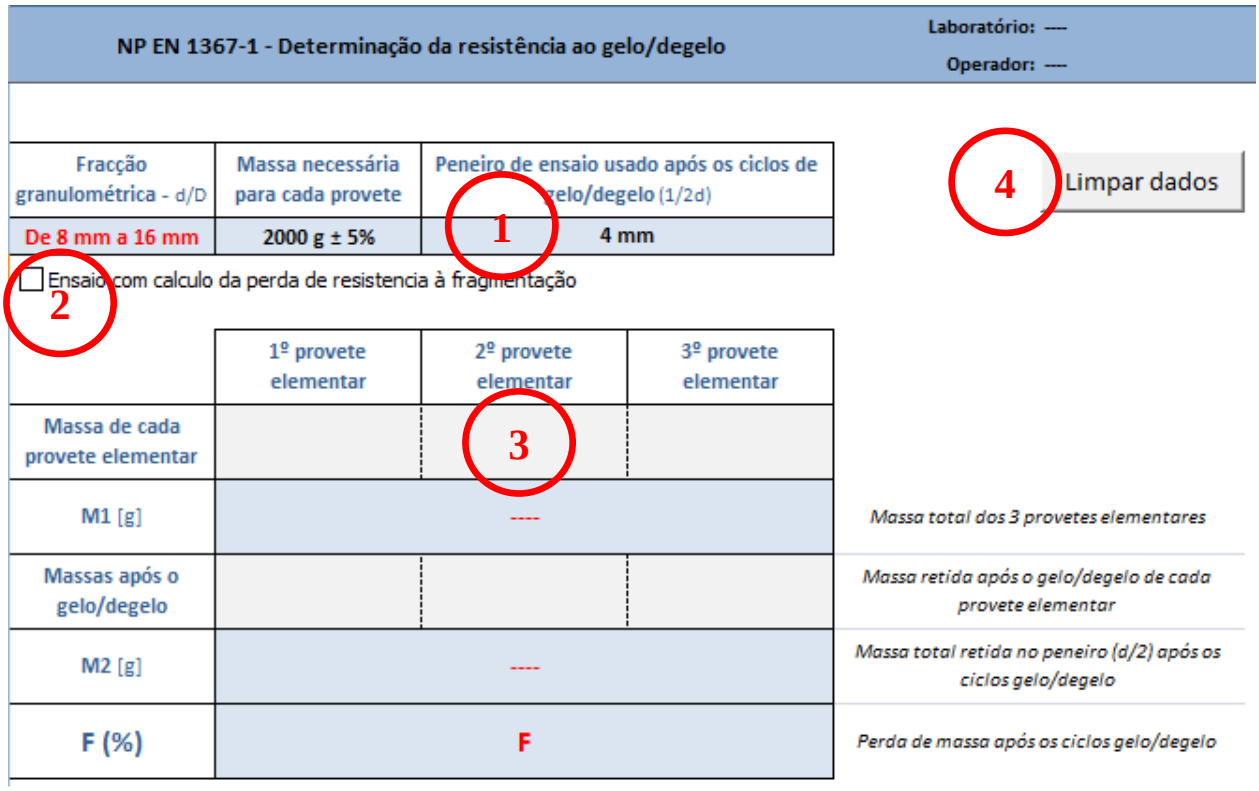
	ºC
T2	

Imagem 34 – Exemplo dos relatórios das fracções 4/31,5 mm e 51,5/63 mm

4. Tabela para introdução das massas medidas no ensaio (M1, M2, M3 e M4).
5. Tabela para introdução das temperaturas da água aquando a medição das massas com o mesmo índice.
6. Célula para introdução da massa volúmica da água à temperatura T2, em Mg/m^3.
7. Tabela com as massas volúmicas e absorção de água da respectiva fracção granulométrica.

Estes relatórios são idênticos para os três tipos de fracção granulométrica a ensaiar, pelo que não se explica cada um isoladamente. O utilizador deve então seleccionar as fracções a ensaiar e colocar os dados, como descrito nos últimos pontos, nas tabelas identificadas para cada fracção.

2.2.14 NP EN 1367-1 - Determinação da resistência ao gelo/degelo



NP EN 1367-1 - Determinação da resistência ao gelo/degelo

Laboratório: ----
Operador: ----

Fracção granulométrica - d/D	Massa necessária para cada provete	Peneiro de ensaio usado após os ciclos de gelo/degelo (1/2d)
De 8 mm a 16 mm	2000 g ± 5%	4 mm

Limpar dados

☐ Ensaio com calculo da perda de resistencia à fragmentação

	1º provete elementar	2º provete elementar	3º provete elementar	
Massa de cada provete elementar				
M1 [g]	----			*Massa total dos 3 provetes elementares*
Massas após o gelo/degelo				*Massa retida após o gelo/degelo de cada provete elementar*
M2 [g]	----			*Massa total retida no peneiro (d/2) após os ciclos gelo/degelo*
F (%)	F			*Perda de massa após os ciclos gelo/degelo*

Imagem 35 – Visão geral da página 1367-1

1. Tabela de informação sobre a massa do provete e peneiro utilizado após os ciclos de gelo/degelo. O utilizador deve seleccionar na primeira coluna a fracção granulométrica a ensaiar e na segunda e terceira coluna é devolvida pela aplicação a informação necessária ao ensaio.

2. Caso seja requerida a determinação da perda de resistência à fragmentação após os ciclos de gelo/degelo, o utilizador deve seleccionar esta opção. A aplicação devolve no ecrã a tabela relativa a esses cálculos (Imagem 36).

3. Nesta tabela o utilizador introduz as massas de cada provete antes e após os ciclos de gelo/degelo, na primeira e terceira linha respectivamente, e a aplicação devolve na ultima linha a percentagem de "*Perda de massa após os ciclos de gelo/degelo - F*", que é o resultado final do ensaio.

4. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

	Perda de resistência após os ciclos gelo/degelo	
	Seleccionar tipo de ensaio	
S (antes)	5	*Coeficiente de resistência antes do ensaio de gelo e degelo*
S (após)		*Coeficiente de resistência após do ensaio de gelo e degelo*
ΔS	ΔS	*Perda de resistência (%)*

Imagem 36 – Tabela de dados relativa à perda de resistência após ciclos de gelo/degelo.

5. Tabela para determinação da perda de resistência à fragmentação. No topo da tabela, na célula "*Seleccionar tipo de ensaio*" o utilizador deve escolher o ensaio de resistência realizado ("*Los Angeles*" ou "*Fragmentação por impacto*").
6. Nas linhas abaixo devem ser introduzidos os valores do coeficiente de resistência antes e após o ensaio respectivamente, sendo devolvida a perda de resistência – ΔS – na ultima linha.

2.2.15 NP EN 1367- 2 - Ensaio do sulfato de magnésio

NP EN 1367-2 - Ensaio do sulfato de magnésio

Laboratório: ----
Operador: ----

Fracção granulométrica - d/D	Massa necessária para cada provete
10 mm a 14 mm	420 a 430 g (±0,1)

1 2 Limpar dados

	1º provete elementar	2º provete elementar	
M1	3		*Massa de cada provete elementar*
M2			*Massa final do provete retida no peneiro de 10 mm*
MS (de cada provete)	----	----	*Resistência ao sulfato de magnésio de cada provete*
MS	MS		*Resistência ao sulfato de magnésio*

Imagem 37 – Visão geral da página 1367-2

1. Tabela informativa. O ensaio deve ser realizado na fracção granulométrica 10/14 mm e a massa de cada provete deve ser de 420 a 430 g (± 0,1g).

2. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

3. Tabela de introdução de dados do ensaio. Nesta tabela o utilizador introduz as massas de cada provete e as massas do material retido no peneiro de 10 mm após o ensaio com o sulfato de magnésio, na primeira e segunda linha, respectivamente.

   A aplicação devolve na terceira linha a resistência ao sulfato de magnésio de cada provete e a sua média, "*Resistência ao sulfato de magnésio do agregado*", na última linha.

2.2.16 NP EN 1744-1 - Análise química

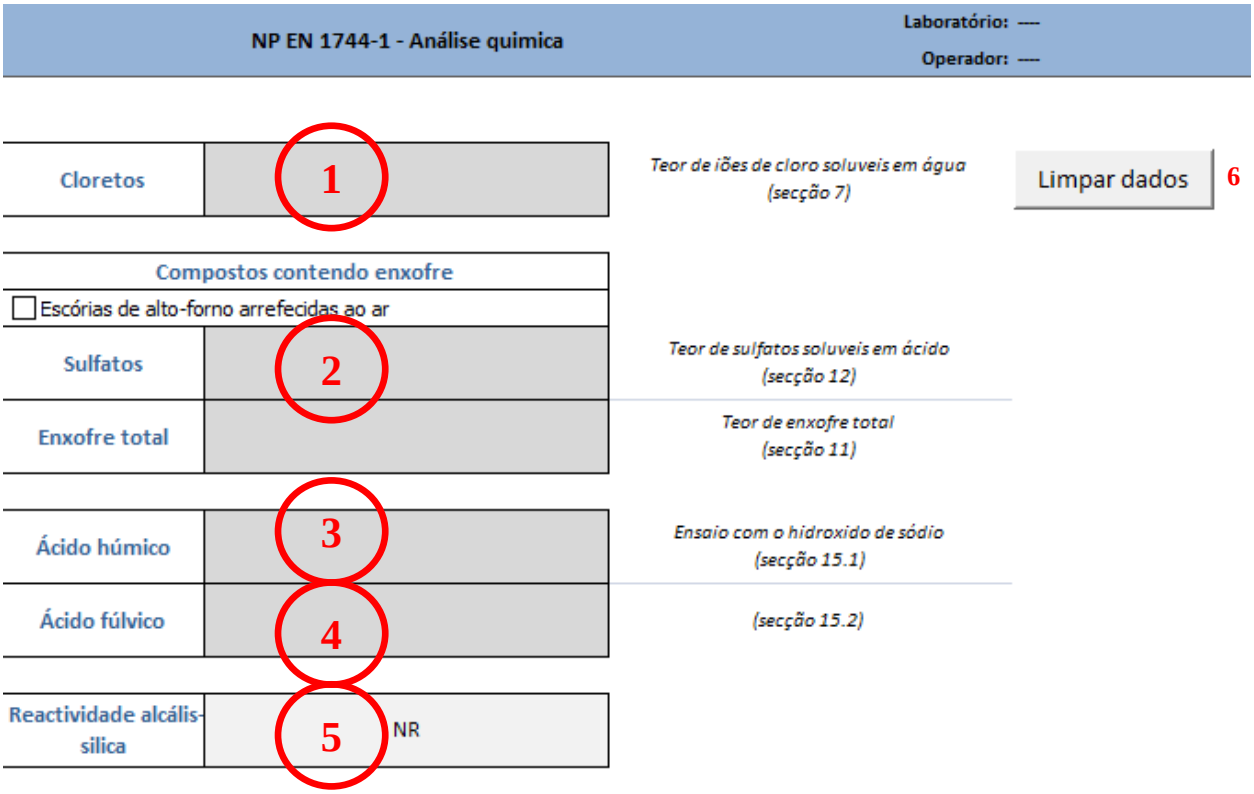


Imagem 38 – Visão geral da página 1744-1

1. Deve ser introduzido o valor do "Teor de iões de cloro solúveis em água", determinado segundo a secção 7 da norma EN 1744-1.

2. Deve ser introduzido, na primeira e segunda linha respectivamente, o valor do "*Teor de sulfatos solúveis em ácido*" e o valor do "*Teor de enxofre total*", determinados segundo a secção 12 e 11 da norma EN 1744-1.

Caso os agregados se tratem de "*Escórias de alto-forno arrefecidas ao ar*" deve ser seleccionada a opção no topo da tabela.

3. Deve ser introduzido o valor do "Teor de Ácido húmico" e do "Teor de Ácido fúlvico", determinados segundo a secção 15.1 e 15.2 da norma EN 1744-1.
4. Deve ser introduzido o valor do "Teor de iões de cloro solúveis em água", determinados segundo a secção 7 da norma EN 1744-1.
5. O utilizador deve seleccionar a opção, "Reactivo" ou "Não reactivo", consoante o agregado apresente ou não reactividade alcális-sílica. Caso não seja realizado nenhum ensaio deve permanecer a opção "NR".
6. Opção "*Limpar dados*" – Limpa todos os dados introduzidos e reinicia a página.

2.3 PÁGINAS DAS NORMAS DE PRODUTO

2.3.1 EN 13139 - Agregados para Argamassa

Nesta página é apresentada a ficha técnica do agregado para argamassas consoante os ensaios realizados e os relatórios preenchidos. Pretende-se que esta página respeite as especificações indicadas na Norma europeia de Agregados para Argamassas – NP EN 13139.

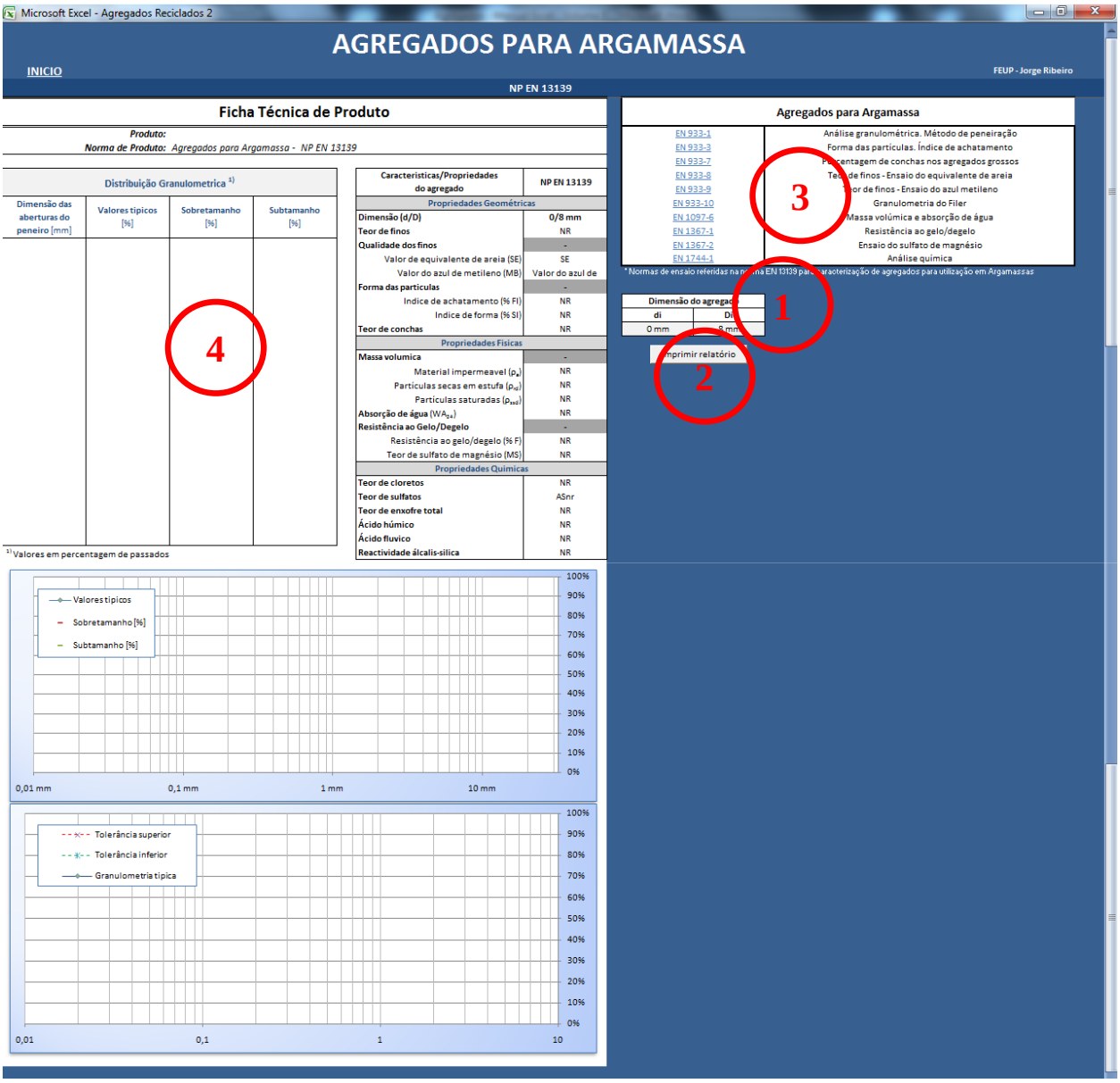


Imagem 39 – Visão geral da página EN 13139 Agregados para argamassa

1. Caixa de selecção das dimensões mínima (di) e máxima (Di) do agregado (Imagem 40). Deve ser seleccionada uma das seguintes dimensões: 0/2 mm, 0/4 mm, 0/8 mm, 2/4 mm e 2/8 mm.

2. Botão para imprimir ficha técnica do produto (Imagem 40).

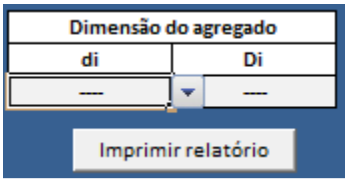


Imagem 40 – Caixa de selecção da dimensão do agregado (1) e botão para imprimir ficha técnica do produto (2).

3. Quadro com indicação das normas de ensaio a realizar para esta aplicação segundo a norma EN 13139.

4. Ficha técnica do produto (Anexo 1). Nesta figura uma tabela com a granulometria típica declarada na página do ensaio granulométrico 933-1 e os sobre e subtamanhos definidos na norma para a dimensão do agregado escolhido em (1) e os respectivos gráficos e um quadro com os resultados obtidos nos ensaios realizados.

2.3.2 EN 12620 - Agregados para Betão

Nesta página é apresentada a ficha técnica do agregado para betão consoante os ensaios realizados e os relatórios preenchidos. Pretende-se que esta página respeite as especificações indicadas na Norma europeia de Agregados para Betão – EN 12620.

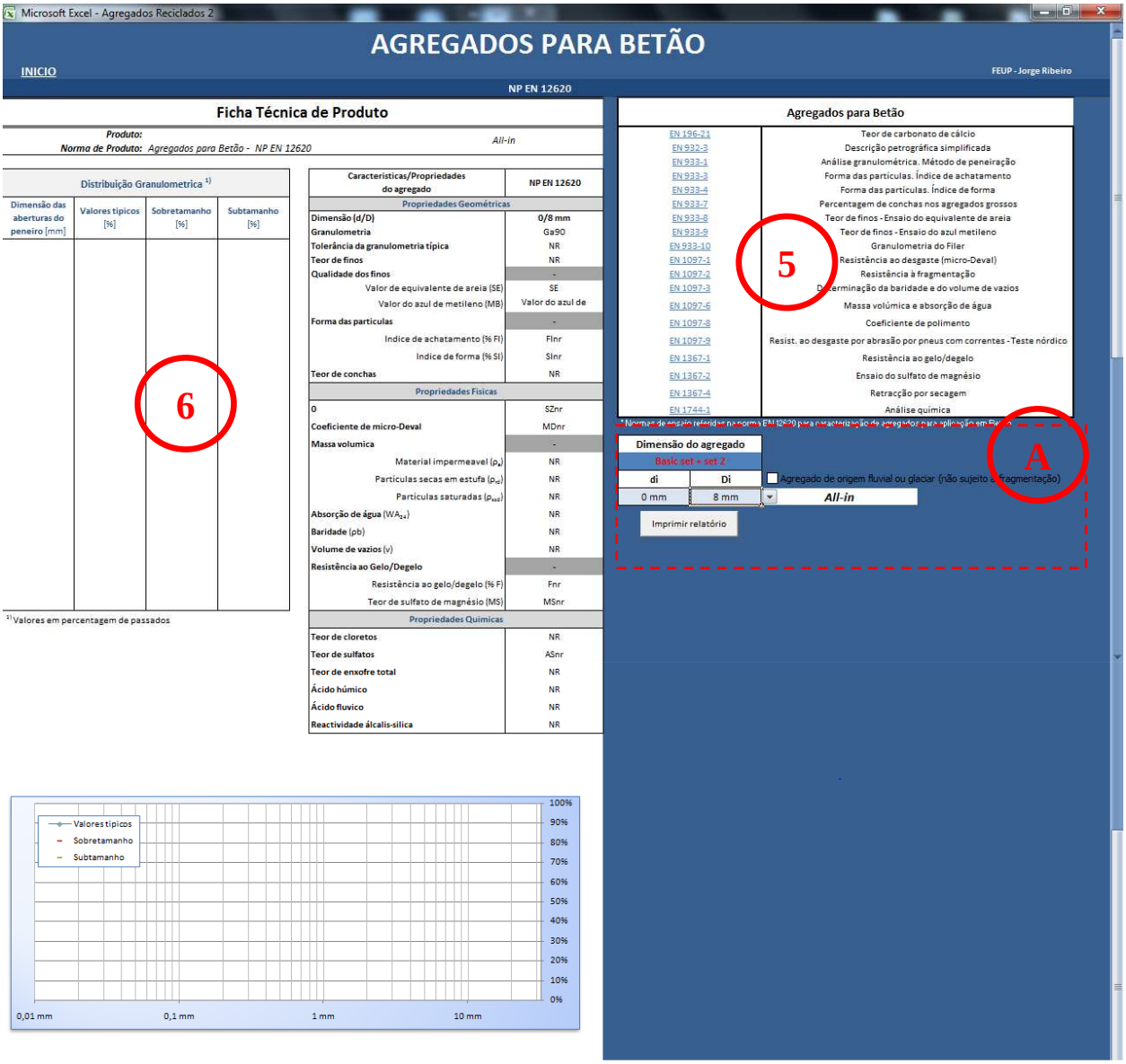


Imagem 41 – Visão geral da página EN 12620 Agregados para betão

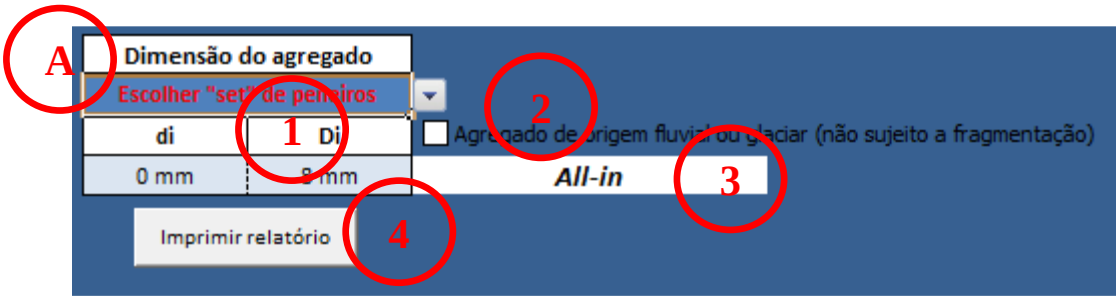


Imagem 42 – página EN 12620 Agregados para betão (A)

1. Caixa de selecção das dimensões mínima (di) e máxima (Di) do agregado (Imagem 42). Primeiro deve ser escolhido o “set” de peneiros do qual se deseja escolher as dimensões do agregado e posteriormente as dimensões di/Di.
2. Caixa de selecção de origem do agregado. Caso o agregado até 0/8mm tenha origem fluvial ou glaciar deve ser seleccionada esta opção.
3. Legenda do tipo de agregado segundo as suas dimensões e origem.
4. Botão para imprimir ficha técnica do produto (Imagem 402).
5. Quadro com indicação das normas de ensaio a realizar para esta aplicação segundo a norma EN 12620.
6. Ficha técnica do produto (Anexo 2). Nesta figura uma tabela com a granulometria típica declarada na página do ensaio granulométrico 933-1 e os sobre e subtamanhos definidos na norma para a dimensão do agregado escolhido em (1) e os respectivos gráficos e um quadro com os resultados obtidos nos ensaios realizados.