

IAG196-02-2013
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO. ANÁLISE DA VIABILIDADE DA SUA APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS
RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE SU APLICACIÓN EN CARRETERAS

Rosa Luzia
Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco
Castelo Branco, Portugal
rluzia@ipcb.pt

Dinis Gardete
Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco
Castelo Branco, Portugal
dgardete@ipcb.pt

Ana Conceição
Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco
Castelo Branco, Portugal
anaduarte25@gmail.com

Resumo

A indústria da construção é um grande consumidor de agregados naturais e simultaneamente um importante produtor de resíduos, designadamente em obras de construção, demolição e operações de manutenção e reabilitação. A esta produção crescente de resíduos de construção e demolição (RCD's) encontra-se associada uma também crescente preocupação com o destino a dar aos mesmos, que tem sido traduzida pela publicação de legislação específica. A necessidade de cumprir as regras impostas pela legislação tem provocado, por sua vez, um despertar para a viabilidade e a oportunidade de utilização dos RCD's em substituição de recursos naturais. Tendo em consideração que a indústria de construção rodoviária pode ser considerada das que mais agregados naturais consomem, pensou-se ser oportuno avaliar a reutilização de RCD's na construção dos mesmos. Deste modo, desenvolveu-se um trabalho cujo objetivo principal foi a caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição e a análise da viabilidade da sua aplicação em pavimentos rodoviários. Por forma a cumprir aquele objetivo recolheu-se amostra de misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos (LER-17 01 07), proveniente de obras do distrito de Castelo Branco, Portugal, e procedeu-se à sua caracterização em laboratório, no que respeita às propriedades geométricas e físicas. Nesta comunicação apresentam-se os resultados encontrados bem como a sua análise à luz de algumas especificações Portuguesas, nomeadamente o Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal (EP, 2011), por comparação com as características exigidas ao agregado natural a utilizar em mistura betuminosa de camada de base AC20.

Resumen

La industria de la construcción es un gran consumidor de áridos naturales y simultáneo un importante productor de residuos, sobre todo en la construcción, demolición y mantenimiento y rehabilitación. La creciente producción de este tipo de residuos de construcción y demolición (RCD) también se asocia a una creciente preocupación por el destino de los mismos, que se ha traducido en la publicación de una legislación específica. La necesidad de cumplir con las reglas impuestas por la legislación ha dado lugar, a su vez, un despertar a la viabilidad y conveniencia de la utilización de RCD's en lugar de los recursos naturales. Teniendo en cuenta que la industria de la construcción de carreteras se puede considerar uno de los cuales los agregados naturales consumen más, se ha considerado conveniente evaluar la reutilización del RCD en la construcción de los mismos. Por lo tanto, hemos desarrollado un proyecto cuyo objetivo principal fue la caracterización de los áridos de construcción y demolición y el examen de la viabilidad de su aplicación en pavimentos de carreteras. Para cumplir con ese objetivo fue recogida muestra de mezclas de concreto, ladrillos, tejas y materiales cerámicos (LER-17 01 07), originario desde el distrito de Castelo Branco, Portugal, y procedió a su caracterización en laboratorio con respecto a las propiedades físicas y geométricas. Esta comunicación presenta los resultados y su análisis basado en algunas especificaciones portugués, a saber, *Caderno de Encargos Tipo de Obra da Estradas de Portugal* (EP, 2011), por comparación con las características requeridas de áridos naturales para su uso en la capa de mezcla de asfalto AC20 base.

INTRODUÇÃO

Nesta comunicação analisa-se a viabilidade de utilização de resíduos de construção e demolição (RCD's) em misturas betuminosas a aplicar em camada de base AC20. Procedeu-se à classificação dos constituintes do agregado bem como à sua caracterização geotécnica em laboratório, nomeadamente no que respeita a granulometria, forma das partículas, qualidade dos finos, massa volúmica e absorção de água, resistência à fragmentação e resistência ao desgaste cujos resultados foram analisados à luz do Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal (EP, 2011). O objetivo foi, no âmbito de um trabalho de mestrado, contribuir para o estudo da viabilidade de uma maior utilização de RCD's em pavimentos rodoviários em substituição de recursos naturais.

MATERIAIS UTILIZADOS

Neste trabalho foi utilizada uma amostra de agregado de Resíduo de Construção e Demolição (ARCD) constituída por uma mistura de betão, tijolo, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos correspondente código (17 01 07) da Lista Europeia de Resíduos (Portaria 209/2004) e que se apresenta na Figura 1.

A amostra foi recolhida na unidade de Castelo Branco da Ambilei - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S. A., e obtida a partir de resíduos produzidos naquele distrito e entregues nas instalações da unidade.



Figura1: Agregado de Resíduo de Construção e Demolição

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Classificação dos Constituintes do Agregado

A classificação dos constituintes do agregado foi realizada com base na norma NP EN 933-11 (IPQ, 2011).

A amostra de ARCD foi recolhida em conformidade com a norma NP EN 932-1 (IPQ, 2002a) e reduzida em conformidade com a norma NP EN 932-2 (IPQ, 2002b), até se obter um provete de 20 kg. Peneirou-se o provete de forma a separar as partículas correspondentes da fração granulométrica 4/20 mm, M1, e pesaram-se as partículas inferiores a 4 mm, M4.

Na tabela 1 e na Figura 2 apresentam-se as proporções de cada um dos constituintes para um provete com massa total de 6440,9 g.

Tabela 1: Classificação dos constituintes do agregado

Constituintes	Massas [g]	Proporções [%]
X	$M_X = 3,5$	$100 \times M_X / M_1 = 0,020$
Rc	$M_{Rc} = 1487,1$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Rc} \times M_3) = 22,97$
Ru	$M_{Ru} = 1445,4$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Ru} \times M_3) = 22,33$
Rb	$M_{Rb} = 3390,5$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Rb} \times M_3) = 52,37$
Ra	$M_{Ra} = 113,2$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Ra} \times M_3) = 1,75$
Rg	$M_{Rg} = 1,2$	$100 \times (M_2 / M_1) \times (M_{Rg} \times M_3) = 0,02$
		Total = 99,46

Sendo que:

$$VFL = 93 \text{ cm}^3;$$

$$\text{Proporção FL} = 6,1 \text{ cm}^3/\text{kg}.$$

Onde:

M_1	Massa do provete;
M_2	Remanescente não flutuante;
M_3	Remanescente não flutuante separado por constituintes;
V_{FL}	Volume das partículas flutuantes;
M_x	Massa do constituinte de materiais coesivos, metais, madeiras não flutuantes, plásticos, borrachas e estuque;
M_{Rc}	Massa do constituinte de betão, produtos de betão, argamassa, blocos de betão de alvenaria;
M_{Ru}	Massa do constituinte de agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;
M_{Rb}	Massa do constituinte de elementos cerâmicos de alvenaria, blocos sílico-calcários de alvenaria, betão celular não flutuante;
M_{Ra}	Massa do constituinte de materiais betuminosos;
M_{Rg}	Massa do constituinte de vidros;
FL	Proporção do constituinte material flutuante;
X	Proporção do constituinte dos materiais coesivos, metais, madeiras não flutuantes, plásticos, borrachas e estuque;
R_c	Proporção do constituinte de betão, produtos de betão, argamassa, blocos de betão de alvenaria;
R_u	Proporção do constituinte de agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;
R_b	Proporção do constituinte de elementos cerâmicos de alvenaria, blocos sílico-calcários de alvenaria, betão celular não flutuante;
R_a	Proporção do constituinte de materiais betuminosos;
R_g	Proporção do constituinte de vidros.

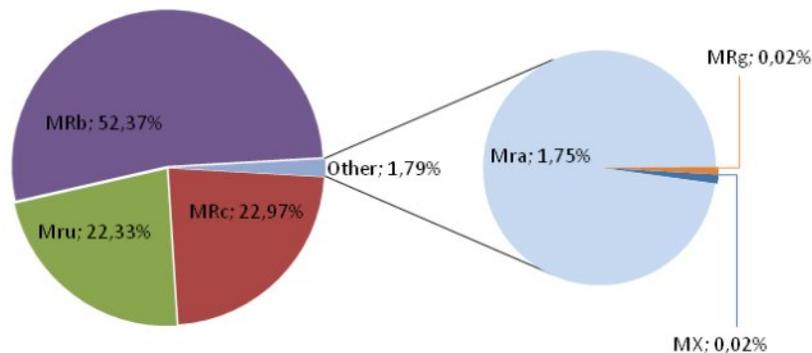


Figura 2: Composição do agregado e proporções dos seus constituintes

Onde:

M_x	Massa do constituinte de materiais coesivos, metais, madeiras não flutuantes, plásticos, borrachas e estuque;
M_{Rc}	Massa do constituinte de betão, produtos de betão, argamassa, blocos de betão de alvenaria;

M_{Ru}	Massa do constituinte de agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;
M_{Rb}	Massa do constituinte de elementos cerâmicos de alvenaria, blocos sílico-calcários de alvenaria, betão celular não flutuante;
M_{Ra}	Massa do constituinte de materiais betuminosos;
M_{Rg}	Massa do constituinte de vidros;

Análise Granulométrica

A avaliação da composição granulométrica do ARCD foi feita de acordo com a norma NP EN 933-1 (IPQ, 2000). Na Figura 3 apresentam-se os resultados encontrados. Pode observar-se que, contrariamente aos agregados naturais geralmente utilizados no fabrico de misturas betuminosas, que são em geral uniformes apresentando curvas de granulometria pouco extensa, este é um agregado com uma curva de granulometria extensa e contínua.

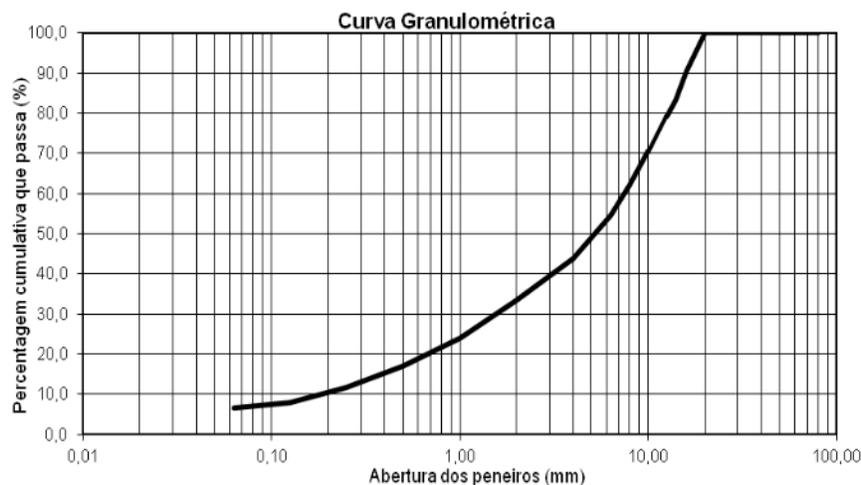


Figura 3: Curva granulométrica do ARCD

Forma das Partículas - Índice de achatamento

A análise do desempenho quanto à forma das partículas fez-se através Índice de achatamento, com base na NP EN 933-3 (IPQ, 2002c). Da realização do ensaio obteve-se para o ARCD em estudo um índice de achatamento de 16 %.

Qualidade dos Finos

Ensaio de equivalente de areia

O ensaio de equivalente de areia foi realizado segundo a NP EN 933-8 (IPQ, 2002d), tendo-se obtido para o material em estudo um valor de 56,9 %.

Ensaio de Azul de metileno

A avaliação da qualidade dos finos pelo ensaio do azul de metileno realizou-se segundo a NP EN 933-9 (IPQ, 2002e), para a fração granulométrica 0/2 mm, tendo-se obtido um valor de 1,5 gramas de corante por kg de fração 0/2 mm.

No entanto, a norma NP EN 13043 (IPQ, 2004) bem como o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2011), recomendam a avaliação da qualidade dos finos apenas nas situações em que o agregado contém entre 3 % e 10 % de material passado no peneiro de 0,063 mm. Neste caso a avaliação deve ser feita sobre a fração 0/0,125 mm, de acordo com a norma NP EN 933-9 (IPQ, 2002e), obtendo-se o MB_F . Sendo a percentagem de passados no peneiro de 0,063 mm do ARCD em média de 6,5 %, foi realizado o ensaio para a determinação do valor de azul de metileno da fração granulométrica 0/0,125 mm (IPQ, 2002e), tendo-se obtido um valor médio de MB_F de 5 gramas de corante por kg da fração 0/0,125 mm.

Massa Volúmica e Absorção de Água

A Determinação da massa volúmica e da absorção de água dos ARCD's foi feita de acordo com a norma NP EN 1097-6 (IPQ, 2003). Sendo o agregado de granulometria extensa foi necessário separar a amostra nas frações 0,063/4 mm e 4/20 mm, sendo que, em ambos os provetes é utilizado o método do picnómetro, embora com diferentes volumes devido à máxima dimensão do agregado de cada fração granulométrica. A principal diferença no procedimento de ensaio respeita à secagem da superfície das partículas que é realizada com um pano na fração mais grossa e ao ar na fração mais fina.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados médios obtidos nos ensaios realizados às duas frações granulométricas.

Tabela 2: Massa volúmica e absorção de água

Parâmetros	Unidades	Fração granulométrica	
		0,063 a 4,0 [mm]	4,0 a 31,5 [mm]
Massa volúmica do material impermeável das partículas [ρ_a]	Mg/m ³	2,62	2,57
Massa volúmica das partículas secas em estufa [ρ_{rd}]	Mg/m ³	2,32	2,07
Massa volúmica das partículas saturada com superfície seca [ρ_{ssd}]	Mg/m ³	2,44	2,27
Absorção de água, após 24 horas de imersão em água [WA_{24}]	%	4,9	9,4

Determinação da resistência à fragmentação (*Los Angeles*)

A resistência à fragmentação do ARCD foi determinada a partir do ensaio de *Los Angeles*, de acordo com a NP EN 1097-2 (IPQ, 2002f). Para uma amostra com 65 % de passados no peneiro 12,5 mm obteve-se um coeficiente de *Los Angeles* de 58 %.

Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval)

A resistência ao desgaste por atrito em meio húmido dos agregados foi avaliada através do ensaio de micro-*Deval*, especificado pela norma NP EN 1097-1 (IPQ, 2002g). Para uma amostra com 65 % de passados no peneiro 12,5 mm obteve-se um coeficiente de micro-*Deval* de 55 %.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Considerações Iniciais

Os resultados da caracterização geotécnica do material foram analisados à luz do Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal (EP, 2011) com vista à avaliação da adequabilidade de utilização do agregado de Resíduo de Construção e Demolição em estudo em camadas ligadas de pavimentos rodoviários, nomeadamente em camada de base AC20. O Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal (EP, 2011) apenas prevê a utilização de agregado reciclado em camadas não ligadas não o prevendo para misturas betuminosas. Deste modo, na análise que se segue comparam-se os resultados obtidos na caracterização do ARCD com os valores indicados no Caderno de Encargos Tipo de Obra de Estradas de Portugal (EP, 2011) para agregado natural.

Na Tabela 3 apresenta-se um resumo da caracterização realizada no presente trabalho sobre o ARCD e comparação com os valores recomendados pelo Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2011) para agregados naturais a aplicar em misturas betuminosas AC 20 base ligante (MB) correspondendo genericamente ao antigo Macadame Betuminoso Fuso A.

Analisando a Tabela 3 pode verificar-se que o ARCD apresenta um índice de achatamento de 16% correspondendo à categoria FL₂₀. O limite imposto a agregados naturais corresponde a uma categoria FL₃₀, pelo que o ARCD pode, segundo este parâmetro, ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base.

No que respeita ao Azul de Metileno tendo-se obtido um MB_F de 5 gramas de corante por kg da fração 0/0,125 mm, correspondente a uma categoria MB_F10, verifica-se que o ARCD pode, segundo este parâmetro, ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base.

Tabela 3. Comparação valores obtidos no ARCD com o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2011)

Norma	Ensaio		Un.	ARCD	Categoria	Caderno de Encargos Tipo Obra, EP	
NP EN 933-3	Índice de achatamento		%	16	FL ₂₀	FL ₃₀	V
NP EN 933-9	Azul metileno		0/2 mm	g/kg	1,5	MB ₂	NR
			0/0,125 mm	g/kg	5,0	MB _{F10}	MB _{F10}
NP EN 1097-6	Massa volúmica e absorção de água	0,063/4 mm	ρ_a	Mg/m ³	2,62	NA	-
			ρ_{rd}	Mg/m ³	2,32	NA	-
			ρ_{ssd}	Mg/m ³	2,44	NA	-
		WA ₂₄	%	4,9	NA	≤ 2	X
	4/31,5 mm	ρ_a	Mg/m ³	2,57	NA	-	-
		ρ_{rd}	Mg/m ³	2,07	NA	-	-
		ρ_{ssd}	Mg/m ³	2,27	NA	-	-
		WA ₂₄	%	9,4	NA	≤ 2	X
NP EN 1097-2	<i>Los Angeles</i>		%	58	-	LA ₄₀	X
NP EN 1097-1	<i>micro-Deval</i>		%	55	-	M _{DE25}	X

Legenda: V – Verifica; X – Não Verifica; NA – Não Aplicável; NR – Não Referido

O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2011) não apresenta quaisquer requisitos para as massas volúmicas do agregado. Já no que diz respeito à absorção de água após 24 horas de imersão verifica-se que os valores obtidos para o ARCD, 4,9 % e 9,4 %, para as frações 0,063/4 mm e 4/31,5 mm, respetivamente são muito superiores ao requisito de 2 % no máximo, pelo que o ARCD não pode, segundo este parâmetro, ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base. A elevada absorção de água pode ser explicada pela composição do ARCD, já que o mesmo apresenta uma elevada percentagem de material cerâmico o qual tem, em geral, porosidades significativas o que leva a também elevadas absorções de água.

No que respeita à resistência à fragmentação (*Los Angeles*) e à resistência ao desgaste (*micro-Deval*) verifica-se que nenhum dos parâmetros cumpre os requisitos do Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2011), pelo que o ARCD não pode, segundo estes parâmetros, ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base. Observa-se que no caso da resistência ao desgaste (*micro-Deval*) o valor obtido é significativamente superior ao exigido, sendo a diferença menor quando se observa o resultado obtido na resistência à fragmentação (*Los Angeles*). Estes resultados podem estar relacionados com o facto de o ensaio de *micro-Deval* ser realizado com água.

Fazendo uma análise conjunta de todos os parâmetros, verifica-se que o ARCD não poderia ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base devido aos valores de absorção de água, de resistência à fragmentação e de resistência ao desgaste. No entanto, deve referir-se, uma vez mais, que os valores obtidos no ARCD estão a ser comparados com os requisitos impostos a agregados naturais.

CONCLUSÕES

O objetivo fundamental do trabalho de investigação que deu origem a esta comunicação foi a caracterização das propriedades físicas e geométricas de um agregado reciclado de construção e demolição e a análise da viabilidade de utilização do mesmo em mistura betuminosa a aplicar em camada de base AC20.

Da análise dos resultados obtidos verifica-se que o material apresenta granulometria extensa e que a percentagem de finos é de 6,5 %. Verifica-se também que, dados os valores de azul de metileno quer para a fração granulométrica 0/2 mm quer para a fração 0/0,125 mm, os finos são poucos sensíveis à água. No que respeita à forma das partículas obteve-se um índice de achatamento de 16% correspondente a uma categoria FL₂₀. Verifica-se que o ARCD apresenta uma elevada absorção de água, para qualquer das granulometrias consideradas o que se pode ficar a dever à elevada percentagem de material cerâmico presente na mistura.

No que respeita à resistência à fragmentação (*Los Angeles*) e à resistência ao desgaste (*micro-Deval*) o material apresentou valores de 58 % e 55 % respetivamente, superiores às categorias LA₄₀ e M_{DE25} exigidas no Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2011).

Analisando estes resultados à luz do Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2011) verifica-se que o ARCD não poderia ser utilizado como agregado em mistura betuminosa a utilizar em camada de base devido à não verificação dos requisitos para os valores de absorção de água, de resistência à fragmentação e de resistência ao desgaste, verificando-se, no entanto, os requisitos no que respeita à forma das partículas e à qualidade dos finos.

Considera-se, no entanto, que a utilização deste tipo de agregados é útil e que isso poderá ser possível em pavimentos em que os requisitos possam ser menos restritivos. Para isso é imprescindível a criação de especificações que estabeleçam requisitos mínimos e recomendações para a utilização deste tipo de agregados naquele tipo de camadas em pavimentos rodoviários de baixo tráfego.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Ambilei - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S. A., pela disponibilidade para colaborar no desenvolvimento do trabalho de investigação que deu origem a esta comunicação, fornecendo o residuo de construção e demolição necessário à realização do estudo.

REFERÊNCIAS

- E. Portugal. "Caderno de encargos tipo obra. 14.03 - Pavimentos. Características dos materiais." Estradas de Portugal, S.A., Lisboa, 2011
- IPQ (2000). "Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração." NP EN 933-1. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2002a). "Ensaio das propriedades gerais dos agregados. Parte 1: Métodos de amostragem". NP EN 932-1. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2002b). "Ensaio das propriedades gerais dos agregados. Parte 2: Método de redução de amostras laboratoriais.". NP EN 932-2. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2002c). "Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas. Índice de achatamento." NP EN 933-3. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2002d). "Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos. Ensaio de equivalente de areia". NP EN 933-8. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2002e). "Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 9: Determinação do teor de finos. Ensaio de azul de metileno". NP EN 933-9. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2002f). "Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação". NP EN 1097-2. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2002g). "Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval)". NP EN 1097-1. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2003). "Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volumica e da absorção de água." NP EN 1097-6. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2004). "Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação." NP EN 13043. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- IPQ (2011). "Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos reciclados." NP EN 933-11. Instituto Português da Qualidade, Lisboa
- Portaria nº 209/2004. Ministérios da Economia, da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, da Saúde e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Diário da República, I Série-B, nº 53 - 3 de Março de 2004