



# 2.º ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

QIC2016

Lisboa • LNEC • 21 a 23 de novembro de 2016

## CARACTERIZAÇÃO DE REJEITADOS DE ESCOMBREIRAS DE PEDREIRAS DE ROCHA ORNAMENTAL PARA APLICA- ÇÃO EM CAMADAS NÃO LIGADAS DE PAVIMENTOS RO- DOVIÁRIOS

**Ana Cristina Freire**

*Engenheira Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av.do Brasil, 101, 1750-066 Lisboa, [acfreire@lnec.pt](mailto:acfreire@lnec.pt)*

**Joaquim Simão**

*Engenheiro Geólogo, GeoBioTec, Departamento de Ciências da Terra - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica; [jars@fct.unl.pt](mailto:jars@fct.unl.pt)*

**Humberto Farto**

*Aluno de mestrado em Engenharia Geológica, Departamento de Ciências da Terra - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica; [humbertofarto@gmail.com](mailto:humbertofarto@gmail.com)*

### Resumo

A exploração de minas e de pedreiras e a atividade destinada à transformação da indústria extrativa dão origem a resíduos que têm que ser rejeitados sendo em geral depositados em aterro à superfície, constituindo as designadas escombreyras ou bacias de lamas quando depositados em meio aquoso.

Neste trabalho caracterizam-se resíduos de pedreiras de mármore da região de Estremoz, Borba e Vila Viçosa (Alentejo, Portugal) para averiguar a possibilidade da sua aplicação em pavimentos rodoviários. Apresentam-se e analisam-se os principais resultados obtidos no estudo laboratorial de caracterização de resíduos de escombreyra, conforme preconizado na norma harmonizada EN 13043.

O objetivo final será avaliar a viabilidade de aplicação destes materiais em infraestruturas de transportes, nomeadamente em camadas não ligadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários.

*Palavras-chave: Pedreira / Rejeitados de escombreyra / Camadas não ligadas / Pavimentos rodoviários*

## Introdução

Os recursos minerais são muito abundantes na natureza, sendo que a sua utilização é tão ampla que podem ser considerados bens de primeira necessidade. Constituem uma evidente mais-valia pela origem natural nos locais onde ocorrem e por serem importantes para a economia de uma região e de um país.

Portugal é relativamente rico em recursos minerais, que são utilizados como matérias-primas na construção e noutras infraestruturas.

A exploração de minas e de pedreiras e a atividade destinada à transformação da indústria extrativa dão origem a resíduos que podem ser rejeitados por dificuldade de existirem aplicações alternativas economicamente viáveis. Em geral estes resíduos são depositados em aterro à superfície, constituindo as designadas escombreyras, constituídas por blocos de rocha de diferentes dimensões, ou bacias de lamas, provenientes do corte da pedra, quando depositados em meio aquoso.

Presentemente existem pedreiras muito profundas, estando algumas delas abandonadas e alagadas, com todos os impactos económicos e ambientais daí resultantes. Verifica-se ainda uma grande acumulação de resíduos em escombreyras o que corresponde à ocupação de áreas significativas e potencialmente exploráveis.

Neste trabalho caracterizam-se resíduos de pedreiras de mármore da região de Estremoz, Borba e Vila Viçosa (Alentejo, Portugal) para averiguar a possibilidade da sua aplicação em pavimentos rodoviários. Para tal procedeu-se à caracterização petrográfica, física e mecânica dos rejeitados de em escombreyra em apreço.

Neste artigo apresentam-se e analisam-se os principais resultados obtidos no estudo laboratorial de caracterização de resíduos de escombreyra, conforme preconizado na norma harmonizada EN 13043. Como objetivo final pretende-se avaliar a viabilidade de aplicação destes materiais em infraestruturas de transportes, nomeadamente em camadas não ligadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários, sendo que o reaproveitamento destes materiais diminuiria o impacto ambiental e tornaria a indústria extrativa mais sustentável.

## Enquadramento geográfico, geológico e descrição petrográfica

O material estudado, tendo em vista a sua aplicação em camadas não ligadas de base e de sub-base, é um agregado de granulometria extensa, de mármore, identificado neste trabalho como AGE 0/32 TB, sendo proveniente do centro de produção de agregados da empresa Mota-Engil Engenharia. Este material tem origem no aproveitamento dos blocos de mármore de menores dimensões rejeitados da indústria extrativa de rocha ornamental.

Todos os produtos, provenientes deste centro de produção, possuem uma qualidade certificada, atestada pela Marcação CE (MOTA-ENGIL, 2016).

A pedreira, onde é explorado este mármore, situa-se na Herdade da Vigária, freguesia de Bencatel, conselho de Vila Viçosa, inserida no flanco SW do Anticlinal de Estremoz-Borba-Vila Viçosa. (Figura 1). Os mármorees encontram-se representados pelas tonalidades azul claro e escuro (LOPES, L., MARTINS, R., 2010), (MOREIRA, J., VINTÉM, C., 1997).

A pedreira, algo fraturada mas sem falhas importantes, apresenta intercalações dolomíticas como as únicas heterogeneidades. As reservas de mármorees são razoáveis, sendo os blocos extraídos de tamanho médio ou, por vezes, grande, sendo geralmente serrados "contra" (LNEG, 2016).

Os mármorees têm como idade geológica provável Câmbrico a Silúrico Inferior. Macroscopicamente são mármorees de grão médio e de cor esbranquiçada, com tons rosados e alguns traços acinzentados. Microscopicamente têm textura granoblástica, apresentando como mineral essencial a calcite (99%) de grão médio e vestígios de quartzo (LNEG, 2016).

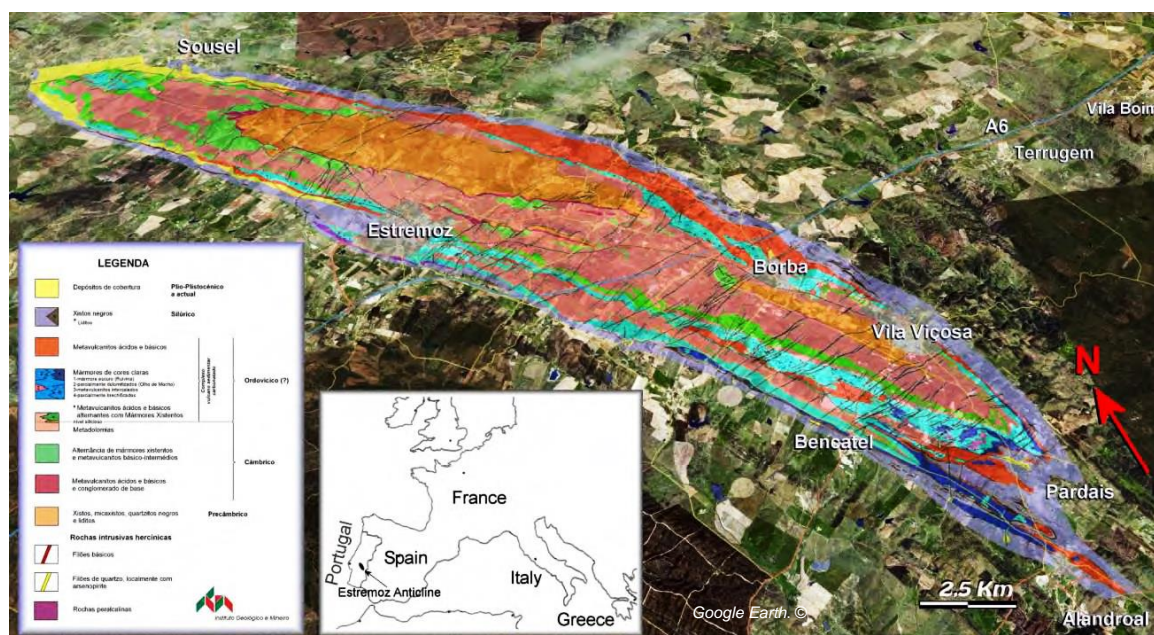


Figura 1: Mapa geológico do anticlinal de Estremoz implantado em imagem de satélite

## Caracterização física e mecânica

A caracterização física e mecânica dos rejeitados de mármore de Vila Viçosa (AGE 0/32 TB) foi efetuada através da execução de um conjunto de ensaios laboratoriais preconizados nos procedimentos e normas aplicáveis. Na Figura 2 pode observar-se o aspeto, inicial e após lavagem, do material estudado.



Figura 2: Aspeto dos resíduos de escombreira em estudo - a) amostra inicial; b) amostra após lavagem.

O conjunto de ensaios efetuados pretende caracterizar o material na perspetiva da sua utilização como agregado para camadas não ligadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários. As propriedades determinadas para a caracterização do material AGE 0/32 TB estão indicadas no Quadro 1, e foram seleccionadas a partir da norma NP EN 13242:2002+A1:2010-pt - *Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária.*

Quadro 1: Características determinadas e respetivas condições de ensaio, e características não aplicáveis/requeridas

<b>Norma</b>	<b>Característica a determinar</b>	<b>Norma de ensaio</b>	<b>Realização do ensaio</b>
<b>NP EN 13242+A1</b>			
4.2	Dimensões do agregado		Parâmetro a definir a partir da granulometria
4.3	Granulometria	NP EN 933-1:2014-pt	Determinação efetuada
4.6	Teor de finos		Parâmetro a definir a partir da granulometria
4.4	Índice de achatamento	NP EN933-3:2012-en	Determinação efetuada
4.4	Índice de forma	NP EN 933-4:2008-en	Determinação efetuada
4.5	Percentagem de superfícies esmagadas e partidas	NP EN 933-5:2010-pt	Determinação não efetuada
4.7	Ensaio do equivalente de areia	NP EN 933-8:2012-pt+A1:2015-en	Determinação efetuada
4.7	Ensaio de azul de metileno	NP EN 933-9:2009-en+A1:2013-en	Determinação efetuada
5.2	Resistência à fragmentação do agregado grosso	NP EN 1097-2:2011-pt	Considerado o ensaio de referência da norma aplicável.
5.3	Resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso	NP EN 1097-1:2012-pt	Determinação efetuada
5.4	Massa volúmica das partículas	NP EN 1097-6:2016-pt	Determinação efetuada
5.5	Absorção de água		Determinação efetuada
9.1	Descrição do Agregado	NP EN 932-3:2010-pt	Determinação efetuada

## Especificações para aplicação como rocha industrial

A aplicação dos rejeitados de escombrelras de mármore em camadas ligadas ou não ligadas de pavimentos rodoviários está condicionada ao fato de estes apresentarem um conjunto de características gerais e específicas passíveis de permitirem a sua aplicação.

Os agregados naturais a aplicar nos diversos tipos de misturas constituintes das camadas de pavimentos, devem apresentar-se homogéneos e não devem conter matéria orgânica ou quaisquer substâncias estranhas, tais como madeira, vidro e plástico que afetem as misturas. Devem ser pouco suscetíveis à meteorização e apresentarem-se são ou pouco alterados (CETO, 2014).

Em função do tipo de aplicação como agregados, estes materiais devem obedecer, segundo o Caderno de Encargos da Infraestruturas de Portugal (CETO, 2014), presentemente em vigor, aos critérios específicos para materiais naturais apresentados no Quadro 2.

No caso dos agregados britados de granulometria extensa (ABGE), para além dos requisitos definidos na NP EN 13242:2002+A1:2010, devem ser considerados os requisitos definidos na EN 13285:2010-en - *Unbound mixtures – Specifications*.

Quadro 2: Critérios de aceitação/rejeição dos agregados naturais, para camadas não ligadas (NP EN 13242:2002+A1:2010) (adaptado de CETO, 2014)

Requisitos/ Propriedades	Referência normativa	Unidades	Camada de sub-base	Camada de base
			ABGE	ABGE
			Rubrica 14.03.1.1.2	Rubrica 14.03.1.2.1
Forma do agregado grosso - Índice de achatamento	NP EN 933-3	%	Fl <sub>35</sub>	30 <sup>(a)</sup>
Qualidade dos finos - Valor de equivalente de areia, mínimo e Valor do ensaio de azul de metileno, máximo	NP EN 933-8, NP EN 933-9	% g/kg	Se o teor total de finos for superior a 3%, então SE≥40. Caso SE<40, então MB≤2,5	Se o teor total de finos for superior a 3%, então SE≥50. Caso SE<50, então MB≤2,0
Resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso, coeficiente micro-Deval	NP EN 1097-1	--	M <sub>DE</sub> 35	M <sub>DE</sub> 25
Resistência à fragmentação do agregado grosso, coeficiente Los Angeles	NP EN 1097-2	--	LA <sub>45</sub>	LA <sub>40</sub>
Massa volúmica das partículas	NP EN 1097-6	Mg/m <sup>3</sup>	Valor a declarar	
Absorção de água	NP EN 1097-6	%	Valor a declarar	

## Resultados e discussão

Com base nos resultados obtidos na caracterização laboratorial da amostra (Quadro 3), procedeu-se à atribuição das categorias correspondentes ou à apresentação de valores declarados, conforme preconizado na NP EN 13242:2002+A1:2010 (Quadro 4).

Quadro 3: Resultados dos ensaios de caracterização física e mecânica

Ensaio	Resultado	
Teor de finos (f)	8%	
Índice de forma (SI)	12%	
Equivalente de areia (SE10)	72	
Azul de metileno (MB)	0,5 g/kg	
Micro-Deval (MDE)	33	
Los Angeles (LA)	35	
Baridade	1,910 Mg/m <sup>3</sup>	
Massa volúmica do material impermeável	Fração 63 mm/31,5 mm	---
	Fração 31,5 mm/4 mm	2,713
	Fração 4 mm/ 0,063 mm	2,711
Massa volúmica das partículas saturadas	Fração 63 mm/31,5 mm	---
	Fração 31,5 mm/4 mm	2,696
	Fração 4 mm/ 0,063 mm	2,704
Massa volúmica das partículas secas	Fração 63 mm/31,5 mm	2,712
	Fração 31,5 mm/4 mm	2,686
	Fração 4 mm/ 0,063 mm	2,700
Absorção de água	Fração 31,5 mm/4 mm	0,4%
	Fração 4 mm/ 0,063 mm	0,2%

Na Figura 3 apresenta-se a distribuição granulométrica dos rejeitados de escombreira estudados bem como o fuso granulométrico apresentado no CETO (2014) para camadas de base e de sub-base. Este material apresenta uma dimensão máxima (D) de 31,5 mm.

Da análise da Figura 3 observa-se que o material em estudo – resíduos de escombreira – apresenta uma distribuição granulométrica mais próxima do limite superior do fuso granulométrico do CETO (2014), sendo que a percentagem de material passado no peneiro de 0,063 mm é de 8,3%, ligeiramente superior ao intervalo apresentado (2% a 7%).

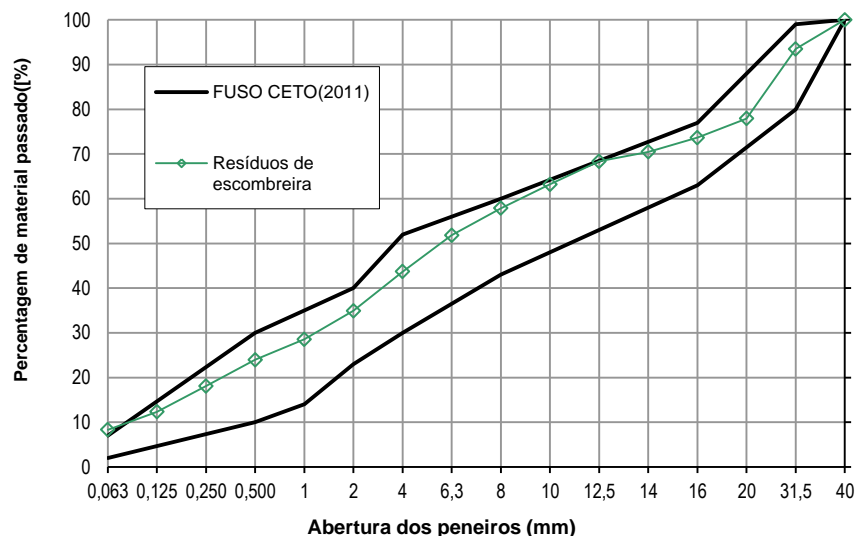


Figura 3: Curva granulométrica do rejeitado de escombreira de mármore estudado e fuso granulométrico para camadas não ligadas (CETO, 2014)

Quadro 4: Características geométricas e físicas das amostras

Características	Resultados	Categoria / valor declarado (NP EN 13242:2002+A1:2010)	
Dimensão das partículas		G <sub>A</sub> 85	
Teor de finos	8%	f <sub>9</sub>	
Índice de Forma – SI	12%	SI <sub>20</sub>	
Ensaio do Equivalente de Areia – SE	72	70	
Ensaio de Azul de Metileno – MB – (massa de corante (g) por quilograma de agregado)	0,5 g/kg	0,5 (massa de corante (g) por quilograma de agregado)	
Resistência à Fragmentação do Agregado Grosso – LA	35	LA <sub>35</sub>	
Resistência ao Desgaste por Atrito do Agregado Grosso – MDE	33	MDE <sub>35</sub>	
Massa volúmica do material impermeável	Fração 63 mm/31,5 mm	---	
	Fração 31,5 mm/4 mm	2,713	2,713±0,05 Mg/m <sup>3</sup>
	Fração 4 mm/ 0,063 mm	2,711	2,711±0,1 Mg/m <sup>3</sup>
Massa volúmica das partículas saturadas	Fração 63 mm/31,5 mm	---	---
	Fração 31,5 mm/4 mm	2,696	2,696±0,05 Mg/m <sup>3</sup>
	Fração 4 mm/ 0,063 mm	2,704	2,704±0,1 Mg/m <sup>3</sup>
Massa volúmica das partículas secas	Fração 63 mm/31,5 mm	2,712	2,712±0,05 Mg/m <sup>3</sup>
	Fração 31,5 mm/4 mm	2,686	2,686±0,05 Mg/m <sup>3</sup>
	Fração 4 mm/ 0,063 mm	2,700	2,700±0,1 Mg/m <sup>3</sup>
Absorção de água	Fração 31,5 mm/4 mm	0,4%	1 %
	Fração 4 mm/ 0,063 mm	0,2%	1 %

Da comparação dos valores obtidos, na caracterização laboratorial realizada, com os que constam do Caderno de Encargos da Infraestruturas de Portugal (CETO,2014), verifica-se que a única restrição à sua aplicação em camadas granulares não ligadas de pavimentos rodoviários advém do resultado do ensaio de micro-Deval que, ao pertencer à classe MDE<sub>35</sub>, limita a sua aplicação apenas às camadas de sub-base.

Da comparação dos resultados obtidos neste estudo com os constantes de um estudo realizado sobre vários produtos produzidos em diferentes centros de produção/pedreiras nacionais (FREIRE,A.C., ANTUNES,M.L., 2008), onde foram caracterizados laboratorialmente dez tipos de agregados com diferentes origens e tipos petrográficos, verifica-se que os valores obtidos para os rejeitados de escombreciras são da mesma ordem de grandeza.

Na Figura 4 apresenta-se uma proposta de ficha técnica deste material, elaborada com base na caracterização laboratorial realizada, tendo como objetivo a aplicação dos rejeitados de escombrecira em camadas não ligadas de base e de sub-base.

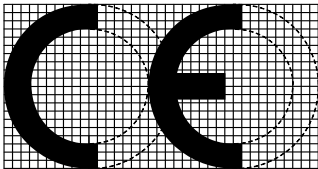
 <b>NP EN 13242+A1</b> <b>Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária</b>		
<b>Dimensão das partículas</b>	Designação	(0/31,5) categoria G <sub>A</sub> 85
<b>Forma das partículas</b>	Valores declarados	SI <sub>20</sub>
<b>Massa volúmica das partículas (31,5 mm / 4mm)</b>	Valores declarados	do material impermeável 2,454±0,05 Mg/m <sup>3</sup>
		das partículas saturadas 2,351±0,05 Mg/m <sup>3</sup>
		das partículas secas 2,280±0,05 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Massa volúmica das partículas (4 mm / 0,063mm)</b>	Valores declarados	do material impermeável 2,375±0,1 Mg/m <sup>3</sup>
		das partículas saturadas 2,251±0,1 Mg/m <sup>3</sup>
		das partículas secas 2,162±0,1 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Absorção de água</b>	Valores declarados	31,5 mm / 4 mm 1%
		4 mm / 0,063 mm 1%
<b>Limpeza</b> teor em finos qualidade dos finos	Categoria	f <sub>9</sub>
	Valor limite aceite	MB ≤ 0,5 g/kg
	Valor limite aceite	SE > 70
<b>Resistência à fragmentação / esmagamento</b>	Categoria	LA <sub>35</sub>
<b>Resistência ao atrito</b>	Categoria	M <sub>DE</sub> 35

Figura 4: Proposta de informação para marcação CE dos rejeitados de escombrecira estudados, sujeitos ao sistema 2+



## Conclusões

Foi caracterizada laboratorialmente uma amostra de rejeitados de escombreira de mármore com vista à sua aplicação como agregados para a construção rodoviária, nomeadamente em camadas não ligadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários, permitindo assim o reaproveitamento destes materiais com uma conseqüente diminuição do impacto ambiental e contribuição para uma indústria extrativa mais sustentável.

Macroscopicamente os rejeitados de escombreira em apreço são mármore de grão médio e de cor esbranquiçada, com tons rosados e alguns traços acinzentados. Microscopicamente apresentam uma textura granoblástica, apresentando como mineral essencial a calcite (99%) de grão médio e vestígios de quartzo.

No contexto da realização de ensaios tipo iniciais com vista à marcação CE dos agregados, foram realizados ensaios para determinar propriedades consideradas relevantes, de entre aquelas referidas na norma harmonizada NP EN 13242:2002+A1:2010.

Com base nos resultados dos ensaios, elaborou-se uma proposta de ficha técnica para marcação CE do rejeitado de escombreira estudado.

Os valores obtidos foram também comparados com os do Caderno de Encargos da Infraestruturas de Portugal (CETO,2014) tendo em vista avaliar a possibilidade de aplicação em camadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários.

Dos resultados obtidos apenas o valor do ensaio de micro-Deval obtido limita a aplicação do material estudado às camadas de sub-base.

Considera-se contudo que a possibilidade de aplicar este material em camadas de base não ligadas de pavimentos rodoviários não deverá ser liminarmente recusada por não verificar um dos parâmetros propostos no Caderno de Encargos da Infraestruturas de Portugal (CETO,2014). Esta possibilidade de aplicação deverá ser suportada com a avaliação do desempenho estrutural deste material quando aplicado em trecho experimental construído para o efeito.

## Agradecimentos

À Direção de Agregados da Mota-Engil Engenharia pelo fornecimento das amostras para estudo e realização de ensaios.

## Referências bibliográficas

CETO, 2014 – **Caderno de Encargos Tipo-Obra – 14.03 – Pavimentação**. Infraestruturas de Portugal.

FALÉ, P., et al., 2006 – **Proposta para o reordenamento da indústria extractiva no Anticlinal de Estremoz: Núcleo de Pardais**. In Actas do VII Congresso Nacional de Geologia 29 de Junho a 13 de Julho.

FREIRE, A.C., ANTUNES, M.L., 2008 – **Caracterização de agregados produzidos em Portugal de acordo com as referências normativas EN 13043 e EN 13242**. Relatório LNEC 399/2008 - NIRA.

LOPES, L., MARTINS, R., 2010 – **Aspectos da geologia e exploração de mármore em Vila Viçosa: Património geológico e mineiro a preservar**. Callipole N.º, Câmara Municipal de Vila Viçosa, pp. 255 – 275, ISSN: 0872 5225.

LNEG, 2016 – **Rochas Portuguesas**. [Consult. 12 de setembro de 2016]. Disponível <http://rop.lneg.pt/rop/index.php>.

MOREIA, J., VINTÉM, C., 1997 – **Carta Geológica do Anticlinal de Estremoz**. escala 1:25.000: Dept. Prospecção de Rochas e Minerais Não Metálicos, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

MOTA-ENGIL, 2016 – **Centro de Produção de Vila Viçosa**. [Consult. 8 de setembro de 2016]. Disponível <http://agregados.mota-engil.pt/centros-de-producao/vila-vicosa/>.