



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

APLICAÇÃO DE ESCÓRIAS DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) NA CONSTRUÇÃO RODOVIÁRIA

Ana Cristina Freire, LNEC
acfreire@lnec.pt

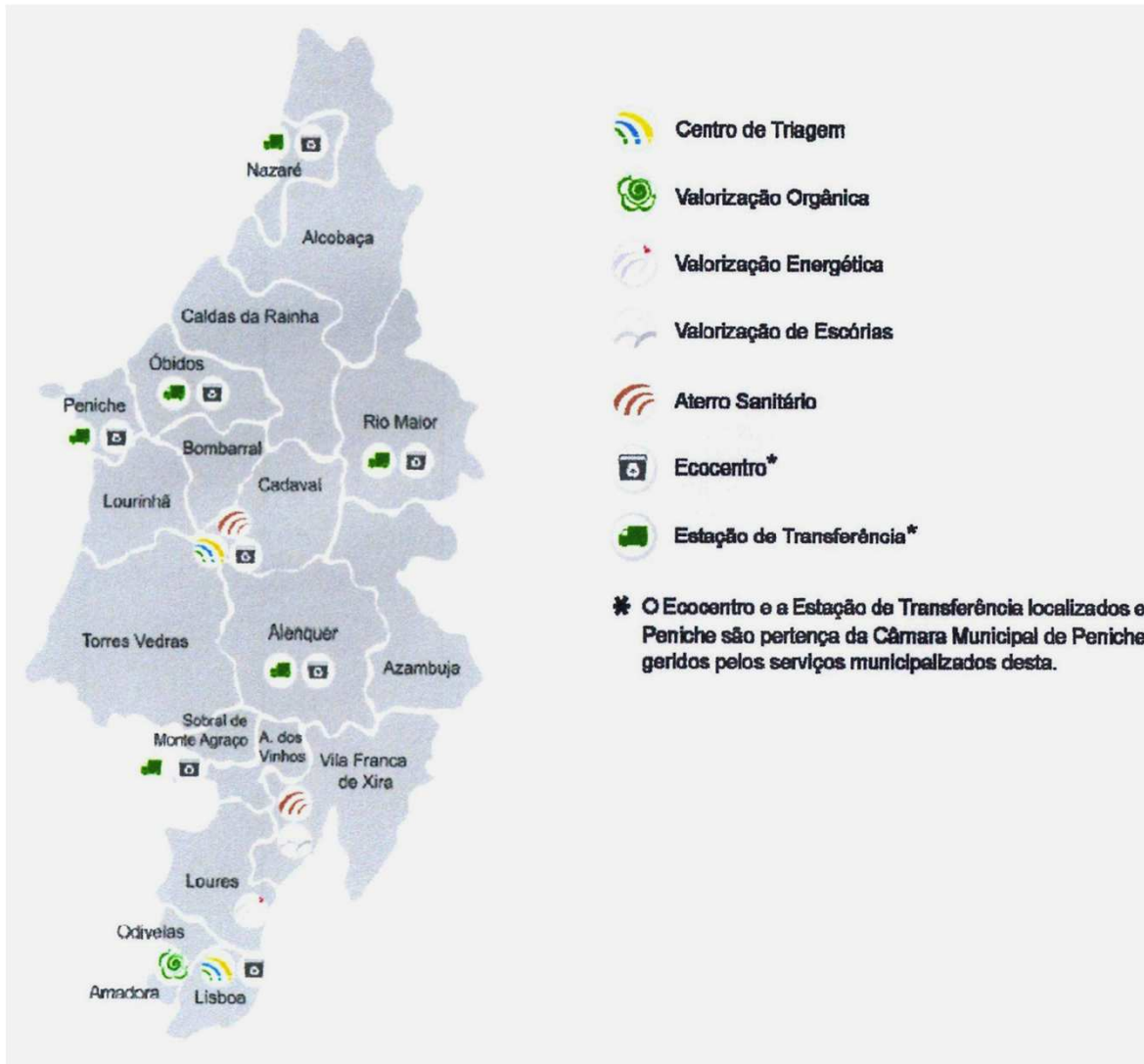
Maria de Lurdes Antunes, LNEC
mlantunes@lnec.pt

António Sousa Coutinho
coutinho@lnec.pt

Carlos Dinis de Sousa, Valorsul
dinis.sousa@valorsul.pt

João Manuel Barata, Valorsul
Joao.m.barata@valorsul.pt

Introdução



O que faz a Valorsul, S.A.

Valorsul - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste, S.A. - empresa responsável pelo tratamento e valorização das cerca de **um milhão de toneladas** de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidas, por ano, em 19 Municípios da Grande Lisboa e da Região Oeste

Introdução



Introdução



Escórias de RSU em maturação visando:

1. reduzir o teor em água;
2. promover a oxidação natural;
3. efetuar a carbonatação da cal;
4. reduzir o pH.

Ações desenvolvidas



> Estudos da 1ª FASE: Caracterização laboratorial (física e mecânica) das escórias de RSU

- avaliação da viabilidade de aplicação como agregados em camadas de sub-base ou leitos de pavimentos;
- comparação com as exigências de qualidade habitualmente preconizadas nos Cadernos de Encargos de obras de pavimentação.

> Estudos da 2ª FASE: Acompanhamento da execução de dois trechos experimentais em obras de pavimentação

- com aplicação de escórias de RSU em camadas de leito de pavimento e em camadas de sub-base;
- avaliação das condições de aplicação em obra deste tipo de materiais, com recurso às práticas construtivas habituais;
- avaliação do comportamento estrutural dos pavimentos construídos com este tipo de materiais. (Ensaio *in situ* para avaliação do comportamento mecânico e das características de compactação das camadas executadas com escórias de RSU).

Ações desenvolvidas

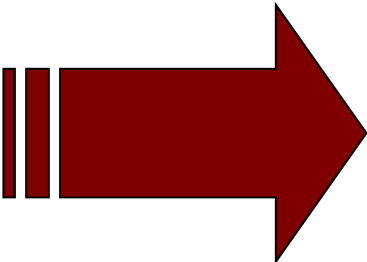


> Estudos da 3ª FASE: Elaboração de Documento de Aplicação (DA) do LNEC

- realização de ensaios de tipo iniciais - determinação das propriedades consideradas relevantes (NP EN 13242+A1)
 - o *ensaios laboratoriais sobre três amostras de escórias de incineração de RSU;*
- aplicação na construção rodoviária, nomeadamente em camadas não ligadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários.
- elaboração de proposta de ficha técnica para marcação CE das escórias de incineração de RSU.

1ª FASE - Caracterização laboratorial das escórias de RSU

- identificação visual dos constituintes;
- caracterização física e mecânica, tendo em atenção as propriedades geralmente utilizadas para avaliar a adequabilidade de solos e agregados a empregar na construção rodoviária;
- análise dos resultados da avaliação ambiental, apresentada pela Valorsul, S.A.

- 
- As escórias de RSU são “valorizáveis”
 - Assimiláveis a agregado natural
 - Afigura-se possível a aplicação em obras de terraplanagem (aterros e leitos de pavimento) e em camadas de base
 - Necessidade de construir trechos experimentais com aplicação de escórias de RSU

2ª Fase - Acompanhamento da execução de dois trechos experimentais em obras de pavimentação

- Apoio à seleção das soluções de pavimentação;
- Caracterização química e física das escórias aplicadas nos dois trechos:
 - Caracterização química do resíduo sólido e do eluato após lixiviação das amostras
 - Identificação dos constituintes
 - Massas volúmicas e absorção de água
 - Granulometria
 - Ensaio de desgaste de Los Angeles
 - Limites de consistência
 - Equivalente de areia
 - Azul de metileno
- Visita às obras para avaliação das condições de aplicação das escórias;
- Caracterização estrutural dos pavimentos.



Identificação dos constituintes

Constituintes da escória (%)	Amostra St ^a Iria	Amostra ETVO
Vidro	50,2	51,4
Cerâmica e tijolos	12,4	12,0
Metais	2,0	1,6
Outros (não identificáveis)	35,4	35,0



Caracterização química

Amostra	Parâmetros	Lixiviado*	****Decreto-lei 152/2002
Stª Iria	pH	11,00	5.5<x<12
	Condutividade (mS/cm)	1,6	0<y<50
	Cloretos (mg/l)**	340	500
	Sulfatos (mg/l)***	357	500
	Cádmio (mg/l)	<62 x 10 ⁻⁴	0,1
	Chumbo (mg/l)	1,7 x 10 ⁻²	0,5
	Cobre (mg/l)	1,0	2
	Crómio (mg/l)	2,7 x 10 ⁻²	0,5
	Níquel (mg/l)	5,3 x 10 ⁻³	0,5
	Zinco (mg/l)	2,4 x 10 ⁻²	2
ETVO	pH	11,25	5,5<x<12
	Condutividade (mS/cm)	1,5	0<y<50
	Cloretos (mg/l)	270	500
	Sulfatos (mg/l)	223	500
	Cádmio (mg/l)	<62 x 10 ⁻⁴	0,1
	Chumbo (mg/l)	1,8 x 10 ⁻²	0,5
	Cobre (mg/l)	7,5 x 10 ⁻¹	2
	Crómio (mg/l)	2,8 x 10 ⁻²	0,5
	Níquel (mg/l)	3,1 x 10 ⁻³	0,5
	Zinco (mg/l)	3,7 x 10 ⁻²	2

Ensa
•DIN
•NP

Não foi adotada a norma europeia EN 12459 na preparação do lixiviado, dado que, à data da realização dos ensaios, este método ainda se encontrava em fase de implementação no DM.

* Lixiviação segundo a norma DIN 38414 parte 4

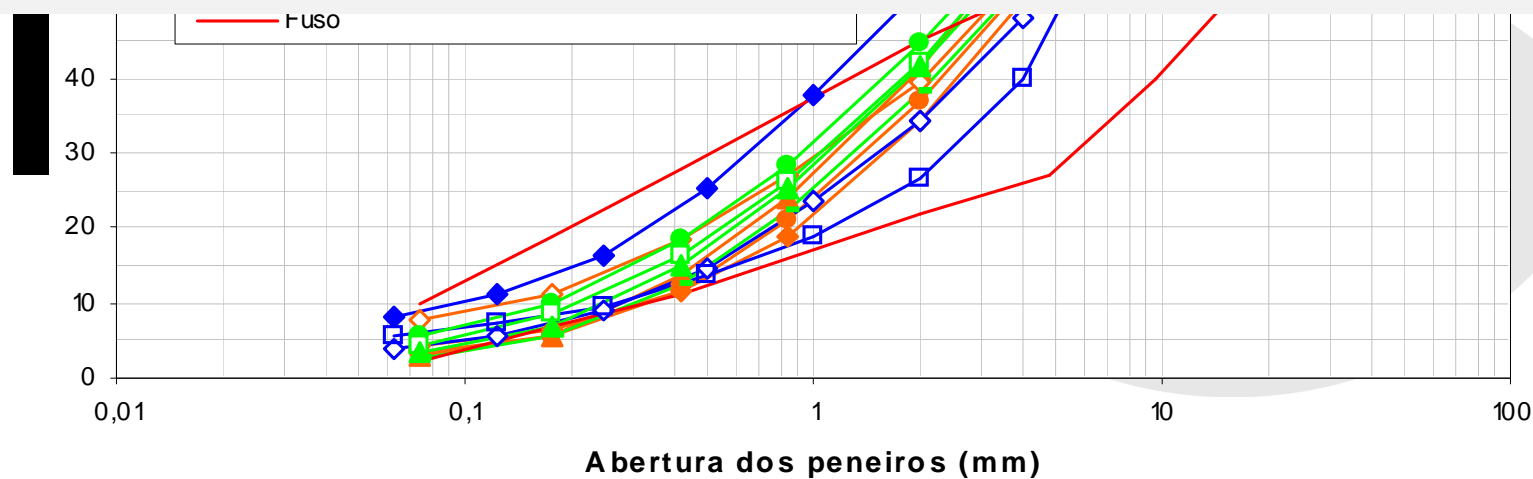
** Concentração de cloretos segundo a NP 423

*** Concentração de sulfatos segundo a NP 413

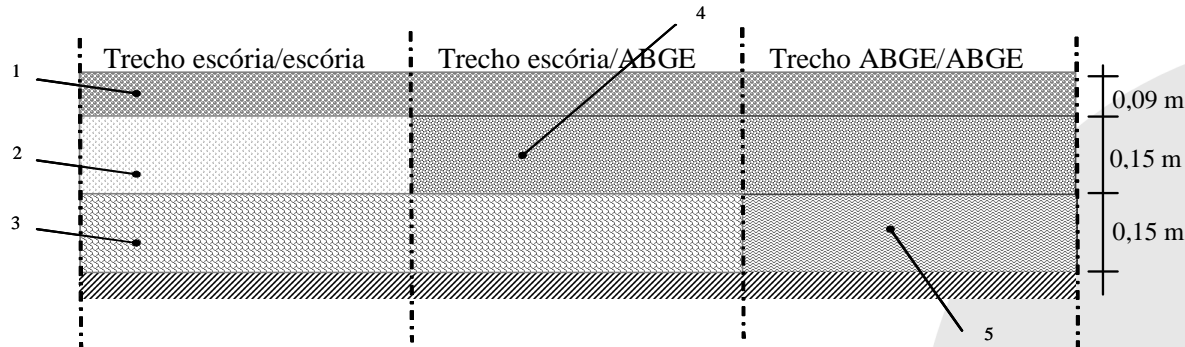
**** Valor máximo para a admissão do resíduo em aterro de inertes

Caracterização física

Características		Trecho St ^a Iria	Trecho ETVO	Valores especificados no C.E. (camadas de sub-base)
Limites de consistência		NP	NP	NP
Equivalente de areia	LNEC E199-67	40%	44%	> 45%
	NP EN 933-8:2002	38%	40%	---
Azul de metileno	NP EN 933-9:2002	0,49 g/kg	0,50 g/kg	---



Aplicação de escórias de RSU em trechos experimentais



Legenda:

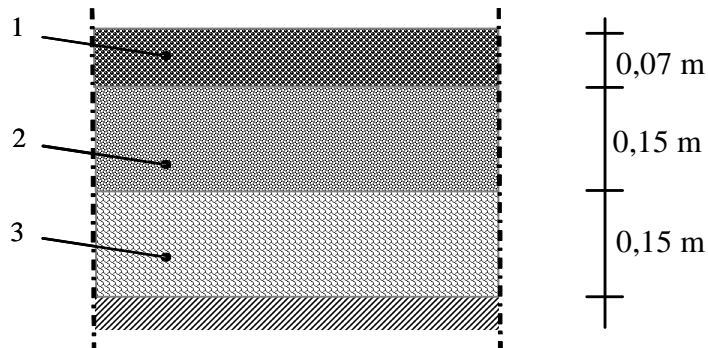
- 1 – Camadas betuminosas;
- 2 – Camada de base em escória;
- 3 – Camada de sub-base em escória;
- 4 – Camada de base em agregado britado de granulometria extensa;
- 5 – Camada de sub-base em agregado britado de granulometria extensa.



Obras de repavimentação em
St^a Iria de Azóia



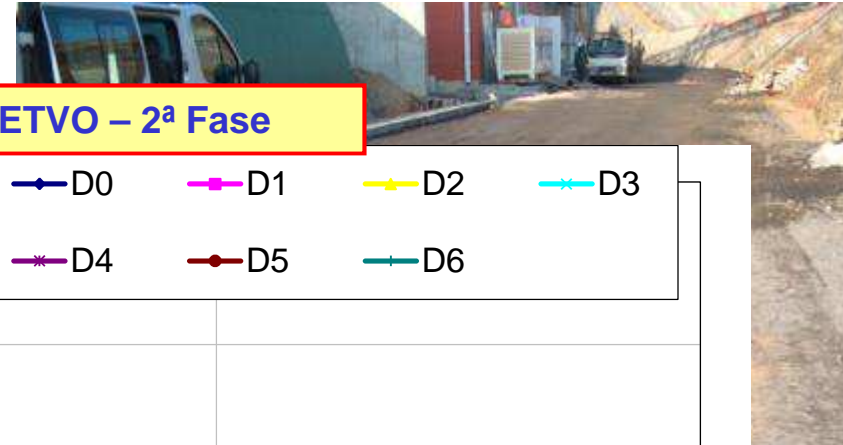
Arruamentos novos da ETVO
em Belas



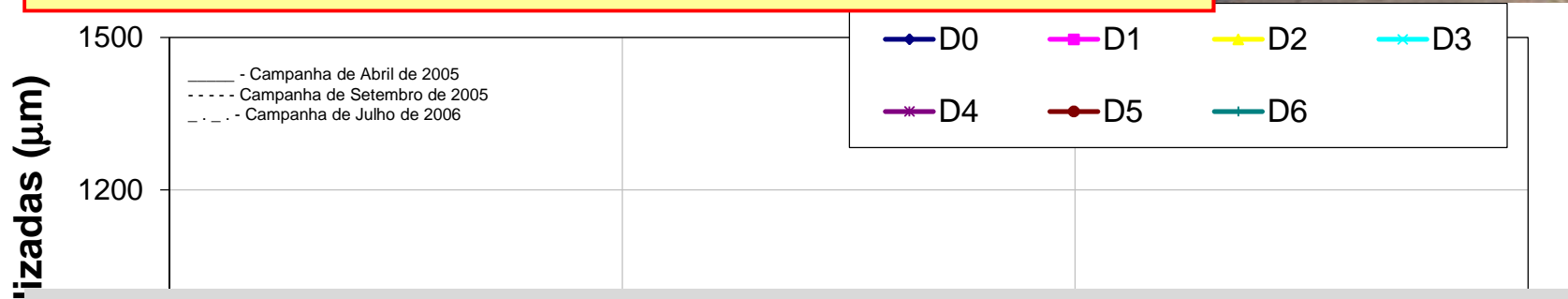
Legenda:

- 1 – Camadas betuminosas;
- 2 – Camada de base em agregado britado de granulometria extensa
- 3 – Camada de sub-base em escória

Caracterização da deformabilidade in situ das camadas



Deflexões normalizadas obtidas no trecho da ETVO – 2ª Fase



Campanha	Camadas betuminosas		Camada de base		Camada de sub-base		Fundação ⁽¹⁾	
	H _B (m)	E _B (MPa)	H _{ABGE} (m)	E _{ABGE} (MPa)	H _{Escória} (m)	E _{Escória} (MPa)	E _{FS} (MPa)	E _{FI} (MPa)
Abril 2005	0,07	3800	0,15	320	0,15	200	100	1000
Julho 2006	0,07	4400	0,15	370	0,15	250	110	1000

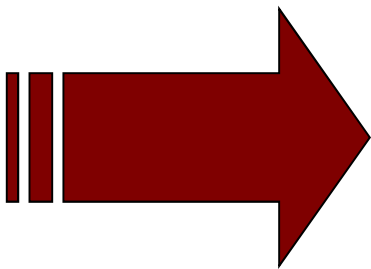
LEGENDA

(1) Camada superior de fundação (FS) com 1,5 m de espessura; camada inferior (FI) semi- infinita - ;

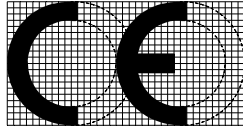
Verifica-se a melhoria do comportamento estrutural das camadas de sub-base, em escórias de RSU, após construção.

Módulos de deformabilidade das camadas em escórias de RSU, são da ordem de grandeza dos valores esperados para materiais convencionais.

2ª Fase - Acompanhamento da execução de dois trechos experimentais em obras de pavimentação



- Realização de trecho experimental para testar a metodologia de mistura, espalhamento e compactação das escórias;
- Cuidados acrescidos no controlo da qualidade das obras, (características dos materiais aplicados, controlo da compactação; deverá ainda proceder-se, com alguma regularidade, ao controlo da eventual alteração granulométrica induzida pela compactação em obra).
- Confirmada a viabilidade da utilização dos processos construtivos tradicionais na construção de camadas granulares não ligadas com escórias de RSU



VALORSUL, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste, S.A.
 Plataforma Ribeirinha da CP
 Estação de Mercadorias da Bobadela
 2696-801 S. João da Talha
 Tel: +351 21 953 59 00
 Fax: +351 21 953 59 35

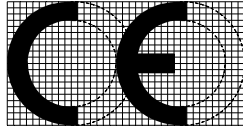
10



3ª FASE Elaboração de Documento de Aplicação (DA) do LNEC

EN 13242+A1	
Escórias de incineração de Resíduos S Agregado artificial	
Dimensão das partículas	Designação
Forma das partículas	Valores declarado
Massa volúmica das partículas (31,5 mm / 4mm)	Valores declarados
Massa volúmica das partículas (4 mm / 0,063mm)	Valores declarados
Absorção / sucção de água	Valores declarado
Limpeza teor em finos qualidade dos finos	Categoria Valor limite aceite Valor limite aceite
Constituintes	Valores limites aci
Resistência à fragmentação / esmagamento	Categoria
Resistência ao atrito	Categoria
Composição / teor Sulfatos solúveis em meio ácido Enxofre total	Categorias
Libertação de metais pesados por lixiviação	Valores a apresen

EN 13242+A1			
Escórias de incineração de Resíduos Sólidos Urbanos – Agregado artificial			
Dimensão das partículas	Designação	(0/31,5) categoria $G_A 85$	
Forma das partículas	Valores declarados	Fl_{35} Sl_{40}	
Massa volúmica das partículas (31,5 mm / 4mm)	Valores declarados	do material impermeável $2,454 \pm 0,05 \text{ Mg/m}^3$	
		das partículas saturadas $2,351 \pm 0,05 \text{ Mg/m}^3$	
Massa volúmica das partículas (4 mm / 0,063mm)	Valores declarados	das partículas secas $2,280 \pm 0,05 \text{ Mg/m}^3$	
		do material impermeável $2,375 \pm 0,1 \text{ Mg/m}^3$	
Massa volúmica das partículas (4 mm / 0,063mm)	Valores declarados	das partículas saturadas $2,251 \pm 0,1 \text{ Mg/m}^3$	
		das partículas secas $2,162 \pm 0,1 \text{ Mg/m}^3$	
Absorção / sucção de água	Valores declarados	31,5 mm / 4 mm	4%
		4 mm / 0,063 mm	5%



VALORSUL, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste, S.A.
 Plataforma Ribeirinha da CP
 Estação de Mercadorias da Bobadela
 2696-801 S. João da Talha
 Tel: +351 21 953 59 00
 Fax: +351 21 953 59 35

10

EN 13242+A1

Escórias de incineração de Resíduos Sólidos Urbanos – Agregado artificial

Dimensão das partículas	Designação	
Forma das partículas	Valores declarados	di
Massa volúmica das partículas (31,5 mm / 4mm)	Valores declarados	di
Massa volúmica das partículas (4 mm / 0,063mm)	Valores declarados	di
Absorção / sucção de água	Valores declarados	
Limpeza teor em finos qualidade dos finos	Categoria Valor limite aceite Valor limite aceite	
Constituintes	Valores limites aceites	
Resistência à fragmentação / esmagamento	Categoria	
Resistência ao atrito	Categoria	
Composição / teor Sulfatos solúveis em meio ácido Enxofre total	Categorias	
Libertação de metais pesados por lixiviação	Valores a apresentar pelo produtor	



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

3ª FASE Elaboração de Documento de Aplicação (DA) do LNEC

Limpeza teor em finos qualidade dos finos	Categoria Valor limite aceite Valor limite aceite	F ₉ MB ≤ 0,5 g/kg SE > 40
Constituintes	Valores limites aceites	FL ≤ 17 cm ³ /kg Rc ≤ 25 % Ru ≤ 1,3 % Rb ≤ 15 % Ra ≤ 5,0 % Rg ≤ 67 % X ≤ 5,1 %
Resistência à fragmentação / esmagamento	Categoria	LA ₄₅
Resistência ao atrito	Categoria	M _{DE} 20
Composição / teor Sulfatos solúveis em meio ácido Enxofre total	Categorias	AS _{1,0} S ₁
Libertação de metais pesados por lixiviação	Valores a apresentar pelo produtor	

CONSIDERAÇÕES FINAIS



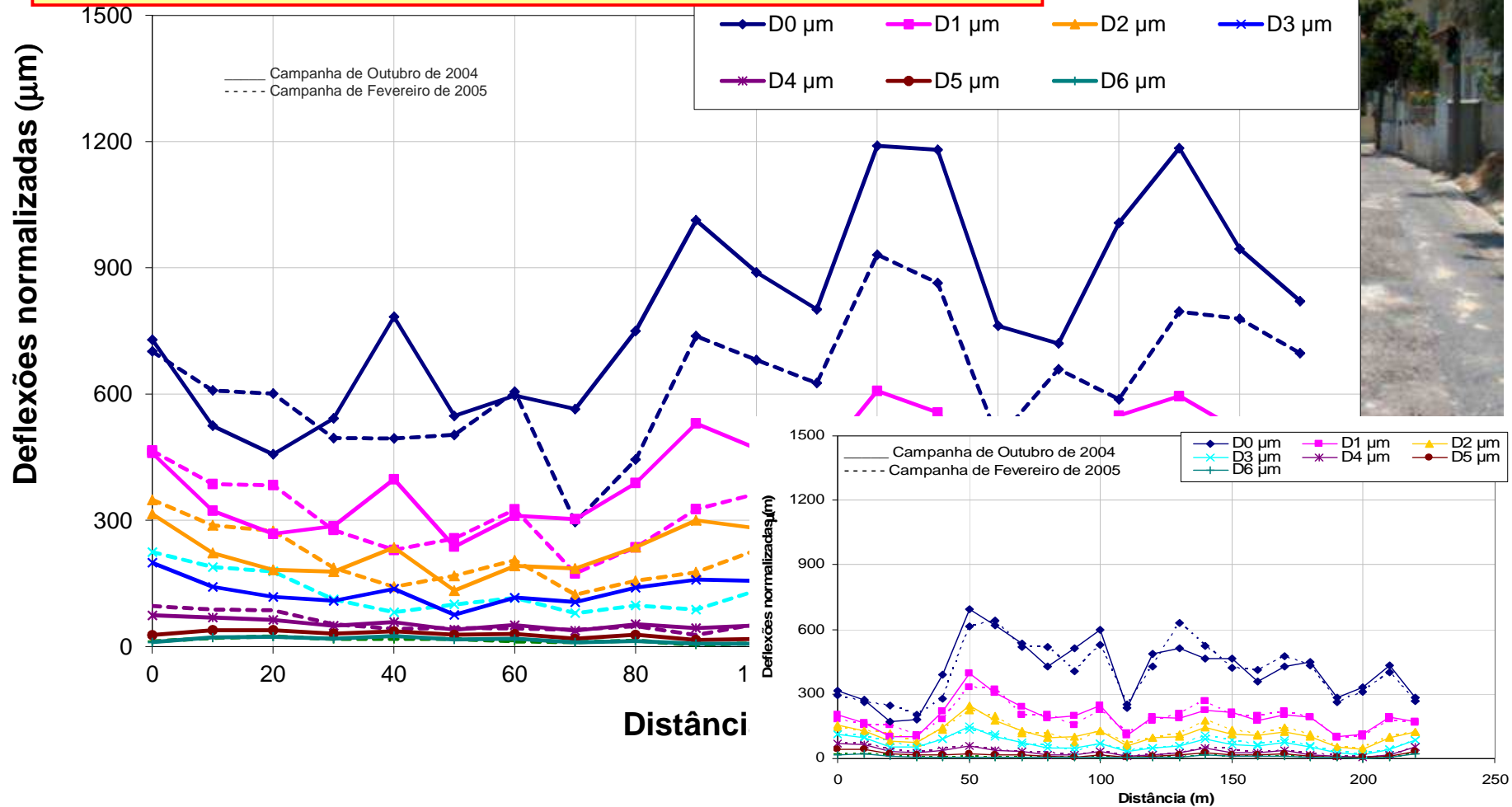
Obtida marcação CE das escórias de incineração de RSU

Elaboração de Documento de Aplicação (DA) do LNEC, em curso

Valorsul, S.A. aguarda resposta da Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. à solicitação apresentada para a elaboração de medida legislativa definindo os critérios específicos necessários à determinação do estatuto de fim de resíduo das escórias.

Caracterização da deformabilidade in situ das camadas

Deflexões normalizadas obtidas no trecho de Stª Iria – troço escória/ABGE



Deflexões normalizadas obtidas no trecho de Stª Iria – troço ABGE/ABGE