

# EXPERIÊNCIA PORTUGUESA NA CONSTRUÇÃO DOS SISTEMAS DE CONFINAMENTO DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Portuguese experience in construction of solid waste landfill liner systems

Maria da Graça Dias Alfaro Lopes\*

Maria de Lurdes Lopes\*\*

**RESUMO** - Em Portugal nos últimos anos tem sido feito um grande esforço no sentido de mudar a política de gestão de resíduos. As lixeiras foram progressivamente fechadas dando lugar a novos aterros de resíduos. Nestes aterros, os geossintéticos representaram um papel importante, mas houve necessidade de recorrer a novas abordagens tanto ao nível do projecto como da construção. Nesta comunicação apresenta-se a experiência portuguesa na construção dos sistemas de confinamento dos novos aterros de resíduos sólidos urbanos. São indicados os principais requisitos de projecto e de construção, a legislação seguida, o Plano de Controle de Qualidade de Construção preparado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e finalmente os principais problemas encontrados e as soluções adoptadas.

**SYNOPSIS** - An important effort has been made in Portugal during the last few years in order to change the waste management policy. Open dumps have been progressively closed whereas several new sanitary landfills have been constructed. In this process, geosynthetics played an important role. However, the construction of appropriate liner systems for the new municipal solid waste landfills, and particularly the application of geosynthetics, required new geotechnical approaches in design and construction, which were, until recently, uncommon in Portugal. This paper focuses its attention on the preliminary experience collected from the use of geosynthetics and geomembranes in the construction of different Portuguese MSW landfills in recent years. The main design and construction requirements adopted, the legislation followed, the Construction Quality Assurance Plan prepared by National Laboratory of Civil Engineering (LNEC) and, finally, the main construction problems detected are reported in this paper.

## 1 - INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos em Portugal desde 1980 a 1995 assentou praticamente no modelo de gestão directa municipal, com um bom nível de serviço de recolha, mas com um tratamento e destino final dos resíduos muito deficiente. Segundo um estudo feito pela Direcção Geral do Ambiente (1993), dos estimados 3 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos produzidos anualmente, 60% eram depositados em lixeiras em céu aberto sem qualquer tratamento, 14% eram depositados em lixeiras controladas e somente 26% teriam um destino final adequado, distribuindo-se por cinco estações de compostagem e treze aterros de resíduos.

Perante a situação descrita e com o crescimento acelerado das pressões ambientais (da União Europeia, dos média e da legislação), com a disponibilidade de verbas substanciais para investimentos ambientais (Fundo de Coesão) e com a determinação política do Ministério do Ambiente, um enorme esforço foi desenvolvido, no sentido de mudar a política de gestão dos

---

\* Professora Coordenadora do ISEL e Investigadora Principal do LNEC

\*\* Professora Associada da FEUP

RSU. Em 1996 foi apresentado o Plano Estratégico dos RSU (PERSU), onde foram traçados os objectivos principais da nova política de gestão de resíduos, que incluía a erradicação das lixeiras existentes e a sua substituição por infra-estruturas de tratamento e destino final adequadas, nomeadamente: compostagem, incineração e aterros de resíduos.

## **2 - A NOVA POLÍTICA PORTUGUESA SOBRE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Por decisão ministerial foi realizado o Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), de acordo com a Directiva 75/442/CE. Neste plano foram traçados os objectivos principais da nova política de gestão de resíduos, nomeadamente a curto prazo (até ao ano 2000), a erradicação das cerca de 300 lixeiras existentes e para sua substituição, a construção de 40 novos aterros de resíduos e a médio prazo, a promoção da recolha selectiva dos resíduos, bem como a sua valorização.

Em Portugal foram criadas associações de municípios que a nível regional tinham como responsabilidade fechar as lixeiras existentes e providenciar o novo destino a dar aos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos. Na maioria dos casos e por razões económicas optou-se pela construção de aterros de resíduos, que deveriam cumprir as exigências da Directiva 1999/31/CE relativa à deposição em aterro no sentido de evitar os riscos de contaminação do ar, solo e águas superficiais e subterrâneas.

Em Portugal devido, por um lado, à experiência limitada existente na concepção e construção de aterros de RSU e, por outro lado, devido ao pouco tempo disponível, optou-se por prescrever as mesmas especificações de dimensionamento para a generalidade dos aterros. Esta abordagem trouxe dois benefícios:

- para o regulador, devido à complexidade da aprovação ser menor quando se utiliza um processo que através de uma “check list” compara as propostas do projectista com as especificações de dimensionamento;

- para o proponente, devido a ser mais simples obter a aprovação uma vez que o regulador pode determinar facilmente se as propostas obedecem às especificações prescritas.

Contudo, pela sua simplicidade, esta abordagem cria necessariamente a situação de o dimensionamento prescrito poder ser mais conservativo para uns aterros do que para outros, dependendo das condições ambientais existentes.

## **3 - ALGUNS ASPECTOS SOBRE O DIMENSIONAMENTO DE ATERROS DE RESÍDUOS: O PAPEL DOS GEOSSINTÉTICOS**

A legislação actual, nomeadamente a Directiva 1999/31/EEC exige um alto nível de protecção ambiental designadamente no que se refere à fuga de lixiviados e biogás dos aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU). Para alcançar este objectivo é referido na Directiva o valor máximo do coeficiente de permeabilidade ( $k < 10^{-9}$  m/s) e a espessura mínima ( $>1$  m) da barreira de fundo. Caso não seja possível atingir esses valores deverá ser concebido um revestimento artificial com o qual se obtenha protecção equivalente. Este revestimento é normalmente constituído por um solo de baixa permeabilidade, com uma espessura superior a 0,5 m, uma geomembrana e ainda uma camada drenante com uma espessura superior a 0,5 m (para assegurar que a acumulação de lixiviado na base do aterro não seja elevada). Relativamente ao sistema de revestimento de cobertura a Directiva recomenda que este deve incluir uma camada de drenagem de biogás, uma camada mineral de baixa permeabilidade, uma camada de drenagem de águas superficiais com espessura superior a 0,5 m e uma camada de solo de recobrimento com espessura superior a 1 m.

Hoje em dia, existe uma grande variedade de soluções técnicas para a constituição dos sistemas de confinamento dos aterros de resíduos: com solos naturais, com geossintéticos ou com ambos (dependendo do tipo de resíduo e das condições geotécnicas, regulamentação, etc). Os geossintéticos apresentam algumas vantagens relativamente aos materiais tradicionais, não só por permitirem aumentar a capacidade de armazenamento de resíduos, mas também por serem mais homogêneos, de mais rápida e fácil colocação e de mais fácil controle de qualidade de fabrico e aplicação. Contudo a sua aplicação implicou a necessidade de novas abordagens tanto ao nível do projecto como da construção, nomeadamente por serem materiais susceptíveis a agressões químicas e mecânicas e por apresentarem valores muito baixos dos ângulos de atrito.

Por outro lado, Portugal não possui até ao momento produção nacional de geossintéticos significativa, nem normas nacionais relativas ao dimensionamento e aplicação de geossintéticos em aterros de resíduos. Estando ainda em vias de harmonização as normas europeias, e tendo diversas proveniências os geossintéticos aplicados nos aterros de resíduos torna-se moroso e caro proceder ao “dimensionamento por função” destes materiais. Senão vejamos: especifica-se o valor mínimo de uma determinada propriedade, segundo determinada norma. Se os geossintéticos disponíveis no mercado tiverem diversas procedências, ou seja se as suas propriedades tiverem sido determinadas por normas completamente diferentes da especificada torna-se difícil saber qual o geossintético mais adequado a menos que se mande efectuar ensaios para todos eles segundo a norma especificada.

Pelas razões expostas optou-se, como aliás já se tinha referido, por prescrever um conjunto de especificações para o sistema de confinamento de todos os aterros de resíduos. Este sistema tinha a seguinte constituição típica: solo de fundação, geossintético bentonítico, geomembrana de PEAD (com 2 mm de espessura), geotêxtil de protecção, camada de areia (com 0,15 m de espessura) e camada drenante (com material de diâmetro entre 20 e 50 mm e 0,5 m de espessura) e finalmente um filtro de geotêxtil (para evitar a colmatação da camada drenante pelos resíduos).

#### **4 - PLANO DE CONTROLE DE QUALIDADE DE CONSTRUÇÃO**

Antes da construção dos novos aterros de resíduos, foi concebido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil um Plano de Controle de Qualidade de Construção, onde foi indicado:

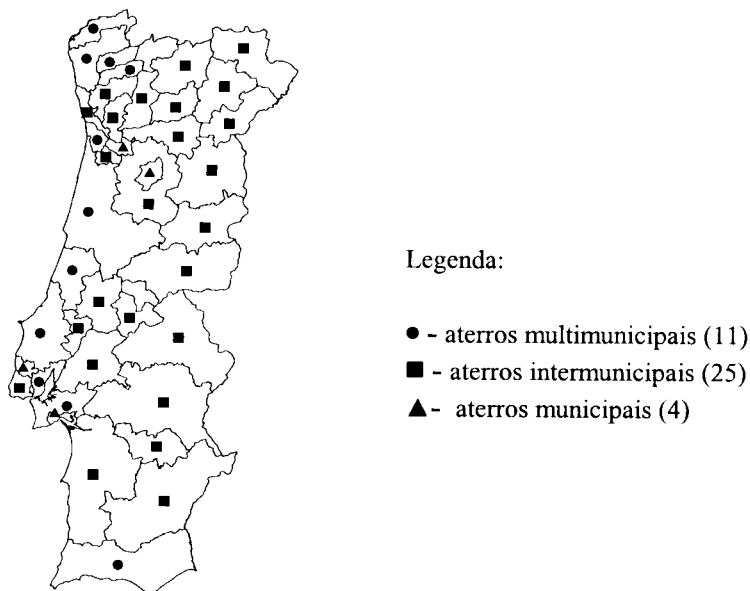
- as responsabilidades e qualificações dos vários intervenientes na construção;
- as recomendações para uma construção dos aterros com qualidade e para o cumprimento das condições estabelecidas no projecto;
- o plano de amostragem e ensaios para avaliação da qualidade;
- os relatórios ou documentos a realizar para evidenciar a qualidade da construção.

Como o desempenho do sistema de confinamento está muito dependente da manutenção da integridade física dos geossintéticos, foi dada particular importância ao controle de qualidade destes materiais e às condições da sua aplicação. A concretização destes objectivos compreendeu as acções em obra que a seguir se descrevem:

- supervisão dos procedimentos de transporte, armazenamento e colocação geossintéticos;
- realização de ensaios de controle destrutivos e não destrutivos nas soldaduras das geomembranas:
  - determinação da resistência das soldaduras das geomembranas (ensaios de arranque (*cf. peel test*) e ensaios de corte (*cf. shear test*));
  - verificação *in situ* da estanqueidade das soldaduras das geomembranas (ensaios de pressão (*cf. air pressure test*) e ensaios de vácuo (*cf. vacuum test*)).

## 5 - SOBRE A EXPERIÊNCIA PORTUGUESA DE APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM ATERROS DE RSU

Entre 1997 e 1998 foram construídos cerca de 40 aterros de RSU em Portugal distinguindo-se os municipais, geridos por um só município, os intermunicipais, geridos por associações de municípios e os multimunicipais, geridos por empresas maioritariamente públicas comparticipadas pela Empresa Geral de Fomento. Na Fig. 1 apresenta-se a sua localização.



**Fig. 1** – Localização dos aterros de RSU (adaptado do PERSU, 1997).

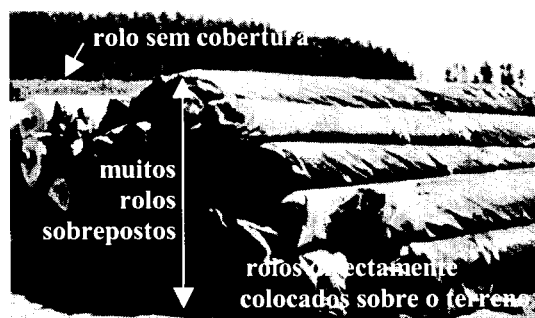
O Ministério do Ambiente através do Instituto dos Resíduos pediu a colaboração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil para o controle de qualidade de projecto e construção dos aterros multimunicipais. Durante as operações de controle de construção foram corrigidas algumas práticas menos correctas relacionados com a colocação de geossintéticos, que pela sua relevância ou especificidade se considerou importante evidenciar nos itens seguintes.

### 5.1 - Influência do transporte e armazenamento

A qualidade dos materiais sintéticos depende muito da qualidade da matéria prima e processo de fabrico, mas o transporte e armazenamento inadequados podem pô-la em causa. Por esta razão foi controlada a adequabilidade dos equipamentos de transporte e das condições de armazenamento, sendo corrigidas em alguns aterros as deficiências encontradas. Na Fig. 2 exemplifica-se um equipamento de transporte inadequado, na Fig. 3 as deficiências no armazenamento de um geossintético bentonítico e na Fig. 4 as consequências desse armazenamento.



**Fig. 2** – Exemplo de um transporte inadequado de um geotêxtil.



**Fig. 3** – Exemplo de um armazenamento inadequado de um geossintético bentonítico.



**Fig. 4** – Exemplo de danos num geossintético bentonítico (GCL).

## 5.2 - Problemas nas soldaduras

A união entre diferentes painéis de geomembrana foi realizada por dupla soldadura de fusão, excepção feita aos locais onde a máquina de fusão não conseguia passar, tendo de efectuar-se nesses casos uniões por extrusão. Um controlo contínuo foi exigido durante a realização das soldaduras, pois inúmeros factores atmosféricos, como o sol, vento, chuva e humidade, e outros, como a temperatura, velocidade e pressão, associados ao equipamento para realizar as soldaduras, podiam afectar o seu desempenho. Para verificação da estanqueidade foram realizados ensaios não destrutivos em todas as soldaduras e para a verificação da

resistência mecânica foram realizados em soldaduras seleccionadas ensaios destrutivos de corte e de arranque. Em alguns casos os valores da resistência ao arranque e corte foram inferiores aos recomendados, quer por não ter sido retirado a tira de plástico de protecção que algumas geomembranas têm na zona de soldadura, quer pela existência de humidade excessiva na zona de soldadura, ou, ainda, por o fio de extrusão não ter o mesmo tipo de resina que a geomembrana.

É de realçar ainda um caso relacionado com a interpretação dos resultados dos ensaios destrutivos realizados durante o inverno no laboratório de obra, onde as temperaturas eram muito inferiores às recomendadas pela norma ASTM D 4437-88. Neste caso os valores obtidos para a resistência ao corte e arranque da soldadura são significativamente superiores aos obtidos se o ensaio for realizado à temperatura recomendada pela norma, o que pode levar erradamente a pensar que a soldadura está satisfatória. Na Fig. 5, a título de exemplo, mostra-se a variação dos valores da resistência ao arranque consoante a temperatura a que se realiza o ensaio.

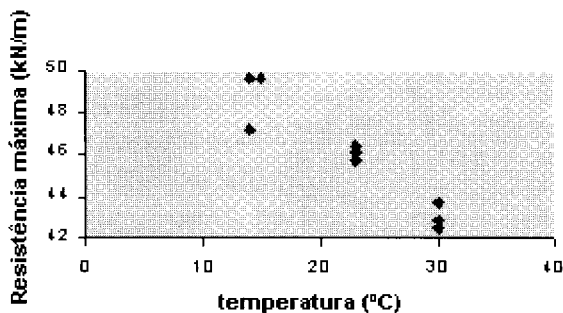


Fig. 5 – Resultados dos ensaios de arranque realizados a diferentes temperaturas.

5.3 - Problemas de ancoragem

Em relação às valas de ancoragem, dois tipos de problemas comuns foram detectados. O primeiro foi o deficiente carregamento provisório, o que implicou o deslizamento da geomembrana e a formação de dobras no pé do talude (Fig. 6). O segundo problema está relacionado com o tipo de material de enchimento não ser adequado e provocar a rotura por punção da geomembrana mesmo quando protegida com geotêxtil.

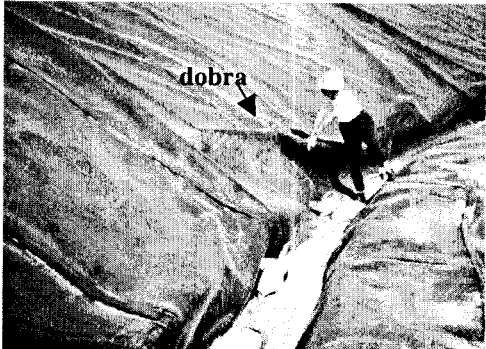
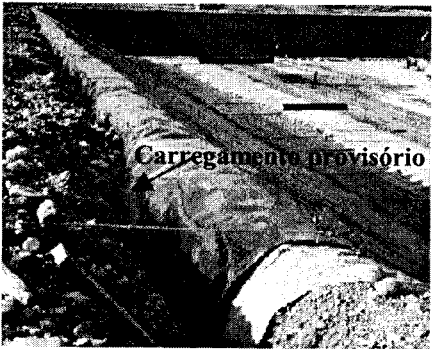


Fig. 6 – Exemplo de dobras no pé de talude por carregamento provisório inadequado.

5.4 Problemas de estabilidade interna

Com o objectivo de maximizar a capacidade de armazenamento do aterro, os taludes são dimensionados para serem o mais inclinado possível. A existência de algumas roturas (Fig. 7) mostra que a análise de estabilidade interna destas obras ainda não está a ser devidamente considerada por alguns projectistas. São especialmente críticas as interfaces entre as geomembranas, geotêxteis e georedes, devendo por isso verificar-se a compatibilidade mecânica entre a inclinação dos taludes e o ângulo de atrito exigido nas interfaces entre os diferentes elementos do sistema de confinamento.

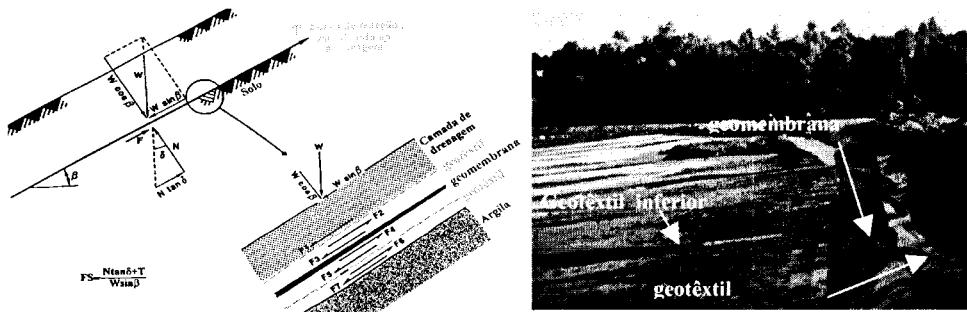


Fig. 7 – Exemplo de rotura e deslizamento de geomembrana e geotêxtil suprajacente

5.5 - Rotura da geomembrana por punção

Num dos aterros de RSU em que foi utilizado um sistema de sensores para monitorização da geomembrana, constatou-se que, após a colocação da camada de drenagem de lixiviados a geomembrana apresentava alguns orifícios, embora se tivessem seguido as regras gerais de boa prática no que respeita às técnicas construtivas e tipos de minerais e geossintéticos empregues. Este sistema de detecção permitiu, por um lado, localizar alguns rasgos devido à utilização menos cuidada do canivete, necessário à realização do corte do canal da soldadura por fusão, aquando da realização dos ensaios de pressão. Por outro lado, outros orifícios detectados (Fig. 8) deveram-se à existência de alguns ossos (transportados por gaiivotas) e não removidos da superfície do solo, antes da aplicação do geossintético bentonítico (colocado antes da geomembrana).

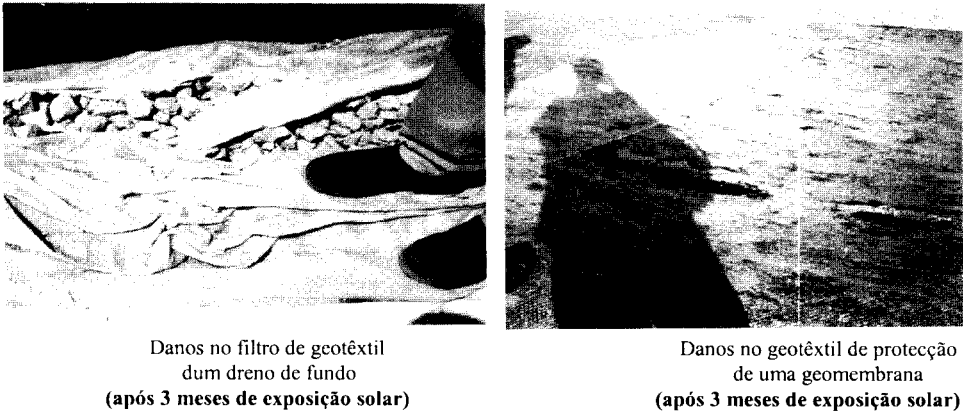


Fig. 8 – Exemplo de orifício na geomembrana por punção.

**5.6 - Efeitos da exposição solar nos geossintéticos**

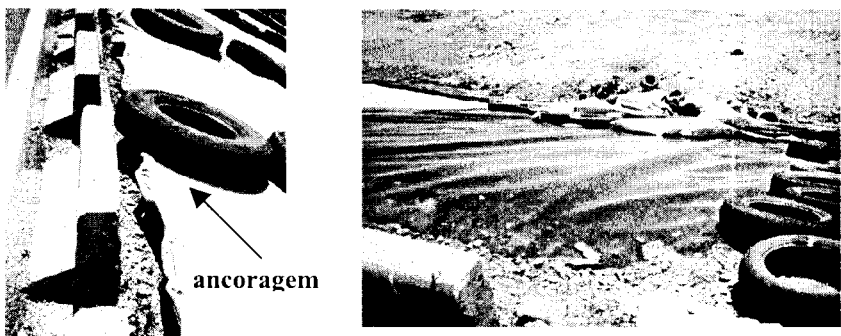
Um problema igualmente importante é a resistência aos ultravioletas dos geossintéticos. Em muitos aterros está prevista a exposição solar de alguns destes materiais nos taludes durante anos, pelo que é necessário uma escolha cuidada. Por exemplo os geotêxteis de polipropileno e de poliéster ficam com a sua resistência consideravelmente afectada após uma exposição solar de 14 dias e 28 dias respectivamente.

Na Fig. 9 ilustra-se os danos sofridos por geotêxteis de polipropileno, expostos durante o período de construção (3 meses).



**Fig. 9 – Danos em geotêxteis, por exposição solar.**

Por vezes, para evitar exposições prolongadas aos raios solares, os geotêxteis ou geocompósitos drenantes a colocar nos taludes, são aplicados durante o período de exploração. Nesses casos é necessário prever a sua adequada amarração na crista do talude, o que nem sempre é bem conseguido, conforme se ilustra na Fig. 10.



**Fig. 10 – Deslizamento por deficiente ancoragem do geocompósito drenante.**

**6 - CONCLUSÕES**

Neste artigo pretendeu-se mostrar o esforço realizado em Portugal nos últimos 5 anos para mudar a política de gestão de resíduos, passando de uma situação (em 1995) em que apenas

26% dos resíduos produzidos tinham um destino final adequado para a situação actual em que 100% dos resíduos têm um destino final adequado. Pretendeu-se igualmente apresentar o papel dos geossintéticos nos aterros de RSU, chamando a atenção para alguns aspectos específicos da sua aplicação e controle, que a não serem respeitados, podem trazer problemas, alguns dos quais de solução morosa e dispendiosa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreottola, G. *et al.* *Quality control assurance plan for a sanitary landfill: a proposal model for the Italian situation*, 3<sup>rd</sup> International Landfill Symposium, Cagliari, Itália, 14-18 Outubro, 1991.
- Brandl H. e Adam D. *Special applications of geosynthetics in geotechnical engineering*, Keynote Lecture of the Second European Geosynthetics Conference, Bolonha, Outubro, 2000
- CFGG *Recommandations pour l'utilisation des geosynthetiques dans les centres de stockage de déchets*, França, 1994.
- Gâzdaru A.; Kellner L. e Feodorov, V. *Geosinteticele în constructii*, Vol. I, Ed. Inedit, Bucharest, 1992.
- Instituto dos Resíduos, *Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos*, Lisboa, Portugal, 1996.