

# SISTEMA MÓVEL SEMIAUTOMÁTICO DE DETEÇÃO DE ORIFÍCIOS NA IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS DE RESÍDUOS

Últimos desenvolvimentos

Rui DORES <sup>(1)</sup>; Madalena BARROSO <sup>(2)</sup>; Maria G. LOPES <sup>(3)</sup>; Pedro MATUTINO <sup>(4)</sup>;  
Rogério MOTA <sup>(5)</sup>; Francisco SILVA <sup>(6)</sup>

Palavras-chave: aterro sanitário, deteção de orifícios, orifícios em geomembranas, sistema de impermeabilização.

## RESUMO

O Projeto PTDC/AAC-AMB/102846/2008 foi homologado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) em novembro de 2009 tendo o arranque do projeto ocorrido em março de 2010. O projeto é coordenado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC) e possui três instituições participantes, Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Empresa Geral do Fomento, S.A. (EGF) e o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

O objetivo do projeto é o desenvolvimento e construção de um equipamento para detetar e localizar orifícios nas geomembranas do sistema de impermeabilização de aterros sanitários. O processo será mais simples, expedito e menos oneroso quando comparado com os métodos atualmente utilizados para o mesmo objetivo e poderá ser utilizado em aterros de resíduos com diferentes tipologias de sistemas de impermeabilização.

No presente artigo apresentam-se os desenvolvimentos mais recentes do projeto, dando particular ênfase à segunda instalação piloto, executada nas instalações do LNEC e projetada pela EGF.

- 
- 1 Mestre em Eng.<sup>a</sup> Ambiente, Ramo Sanitária  
Direção de Engenharia – Empresa Geral do Fomento, S.A.
  - 2 Doutoramento em Eng.<sup>a</sup> Civil  
Investigadora Auxiliar – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.
  - 3 Doutoramento em Geotecnia  
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
  - 4 Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no Ramo de Computadores  
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
  - 5 Doutor em Física – Especialização em Geofísica Interna  
Investigador Auxiliar - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.
  - 6 Licenciatura em Geologia Aplicada e do Ambiente  
Divisão de Resíduos Urbanos - Agência Portuguesa do Ambiente

## 1. CONFINAMENTO TÉCNICO DE RESÍDUOS EM PORTUGAL

O confinamento técnico de resíduos em Portugal é regulado pelo Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto. Os aterros sanitários são classificados em três classes em conformidade com a tipologia de resíduos a confinar:

- Aterro para resíduos inertes;
- Aterros para resíduos não perigosos;
- Aterros para resíduos perigosos.

Cada classe de aterro sanitário deve possuir um sistema de impermeabilização da *interface* solo – zona de confinamento, dimensionado em função dos resíduos a depositar. As exigências mínimas para o dimensionamento do sistema de impermeabilização contemplam a formatação de duas barreias, designadas:

- Barreira passiva
- Barreira ativa

A barreira passiva é constituída por uma camada mineral natural de espessura não inferior a um metro, ou a cinco metros para aterros de resíduos perigosos.

Tipicamente, visando incrementar a segurança promovida pelo sistema de impermeabilização, a solução projetada contempla um reforço da barreira passiva com a aplicação de um geocompósito bentonítico com condutividade hidráulica ( $k$ ) na gama  $10^{-11}$  m/s.

A legislação não impõe o dimensionamento de uma barreira ativa para os aterros de resíduos inertes.

Nos aterros de resíduos não perigosos a barreira ativa é constituída por uma geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD), com uma espessura mínima de dois milímetros. Nos aterros de resíduos perigosos, visando reforçar a segurança da barreira ativa, aplicam-se geralmente duas geomembranas de PEAD.

Na figura seguinte apresenta-se a aplicação da geomembrana de PEAD sobre a barreira passiva. Nessa figura o geocompósito bentonítico não é visível.



**Figura 1.** Aplicação da barreira ativa de uma célula de confinamento

Sobre a barreira ativa é aplicada uma camada de drenagem, constituída, em conformidade com a legislação, por material mineral de natureza não calcária, com uma espessura de cinquenta centímetros e com a função de promover a drenagem dos lixiviados produzidos na zona de confinamento.

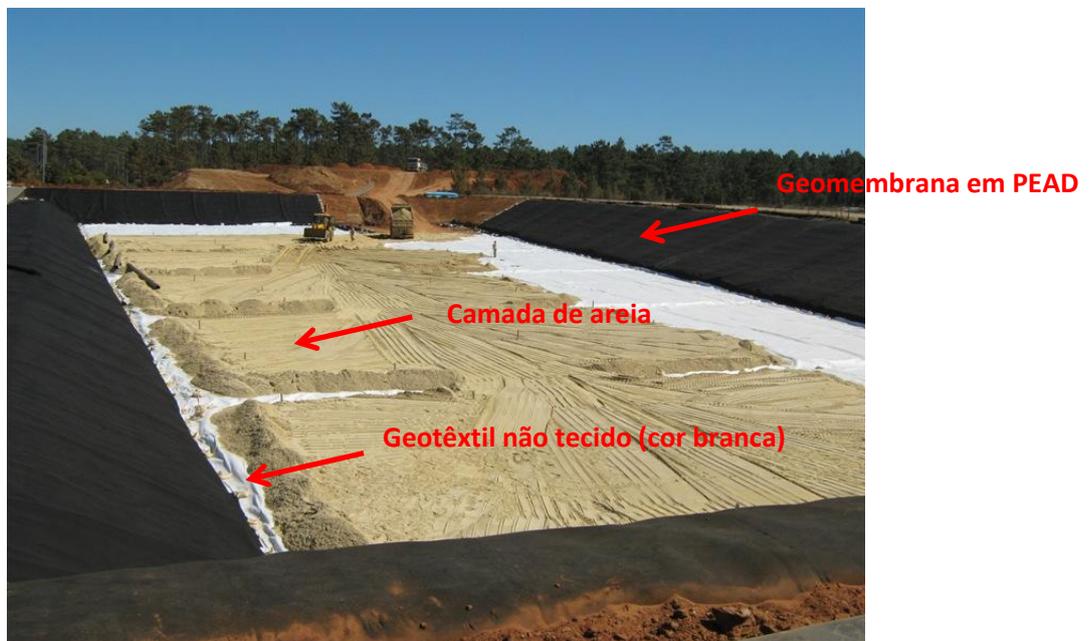
A aplicação da camada de drenagem é uma operação particularmente delicada e que deve ser realizada cuidadosamente visando evitar a ocorrência de danos na barreira ativa. Efetivamente, a camada de drenagem é constituída por material anguloso e a sua aplicação é realizada por meio de equipamento pesado e dotado de rodados. A ação do rodado sobre o material provoca um efeito de punçoamento que pode danificar a barreira ativa ou mesmo provocar a sua rotura.

Efetivamente, segundo o estudo relatado por Nosko & Touze-Foltz (2000), com base em dados recolhidos em mais de trezentas obras, 71% dos orifícios da barreira ativa são provocados pelos materiais da camada de drenagem.

Visando mitigar a possibilidade de ocorrência de orifícios projeta-se para aplicação sobre a geomembrana um geotêxtil não tecido, dimensionado para suportar a ação de punçoamento, quer do equipamento pesado, quer dos resíduos confinados durante a vida útil da instalação.

Complementarmente, em Portugal, o dimensionamento da camada de drenagem preconiza a execução de duas camadas, sendo o estrato inferior, em contacto com o geotêxtil constituído por areia de granulometria média a grossa e o estrato superior constituído por material britado. Deste modo reduz-se a angulosidade dos materiais em contato com os geossintéticos, conferindo a camada de areia uma proteção suplementar à ação de punçoamento durante a execução do sistema de impermeabilização.

Na figura 2 observa-se a aplicação da camada de areia sobre o geotêxtil não tecido de cor branca.



**Figura 2.** Aplicação da camada de areia que integra a camada de drenagem de uma célula de confinamento

Na figura 3 observa-se a aplicação do material britado sobre a camada de areia. O equipamento pesado circula sobre a camada de areia minimizando o esforço de punçoamento sobre a barreira ativa.



**Figura 3.** Aplicação da camada de drenagem de uma célula de confinamento

## **2. OCORRÊNCIA E DETEÇÃO DE ORIFÍCIOS EM GEOMEMBRANAS**

Os orifícios resultam, em geral, de atividades construtivas inadequadas, em particular, da colocação da camada mineral de drenagem sobre as barreiras do sistema de impermeabilização (Colucci & Lavagnolo 1995; Barroso et al. 2007).

A experiência também recomenda a limpeza da camada drenante de um alvéolo de confinamento antes do início da deposição de resíduos.

Esta ação reveste-se de especial importância nos casos em que o período de tempo que decorreu entre a construção do alvéolo e o início da sua exploração é bastante longo, situação em que os elementos do clima ou outros vetores como sejam os animais possam ter depositado elementos potencialmente perfurantes – ramos, arame, ossos – sobre a camada de drenagem que por ação da sobrecarga dos resíduos originem um esforço de punçoamento que danifique a geomembrana.

Foram já implementados em algumas instalações de confinamento técnico, no exterior de Portugal, métodos para deteção de orifícios em geomembranas, dos quais se destaca o método dos sensores permanentes, baseado na execução de uma malha de sensores sob o sistema de impermeabilização de uma célula de confinamento destinada a medir a diferença de potencial elétrico entre esses pontos.

Este método possui como principal desvantagem a ocorrência de avarias em sensores que, em virtude da sua localização, na generalidade dos casos não podem ser reparados,

tornado portanto o sistema passível de não identificar potenciais orifícios que venham a ocorrer.

De referir, também, que o método foi desenvolvido, sobretudo, para casos em que a geomembrana é aplicada diretamente sobre a barreira passiva, o que não constitui a opção de projeto de aterros de confinamento técnico em Portugal, nem o preconizado para os aterros de resíduos perigosos, os quais incorporam, geralmente, um sistema de impermeabilização constituído pela aplicação de duas geomembranas.

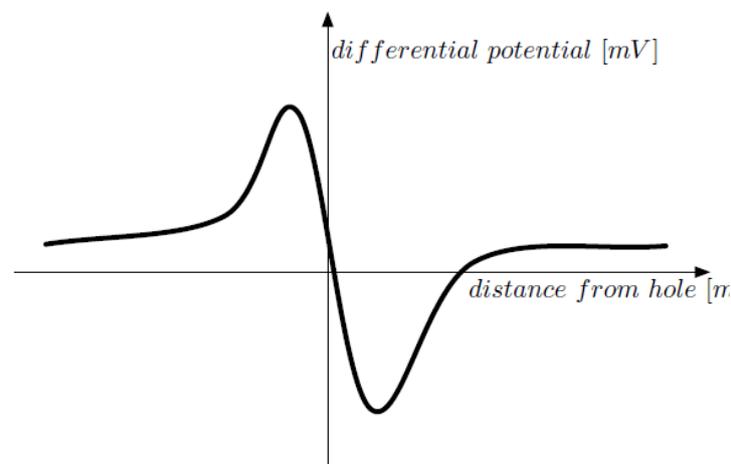
### 3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O objetivo do projeto de investigação é o desenvolvimento de um protótipo, móvel e semiautomático que detete e localize orifícios nas geomembranas utilizando por princípio a diferença de resistividade elétrica medida entre um par de elétrodos.

A geomembrana que integra o sistema de impermeabilização de um aterro de resíduos é um material polimérico e isolante à transmissão de corrente elétrica. Neste enquadramento a corrente elétrica apenas pode fluir entre dois pontos de medição se existir um orifício que permita essa transmissão de corrente.

Sendo homogêneo o material que constitui esta camada e mantendo-se sempre constante a tensão aplicada, a diferença de potencial elétrico medida entre os dois elétrodos móveis deverá ser sempre reduzida e equivalente ao potencial espontâneo natural dos terrenos. Apenas em presença de um orifício é que ocorrerá uma alteração (Mota et al. 2012).

À medida que o dipolo de leitura se aproxima de um orifício o potencial elétrico medido aumenta em termos absolutos, ocorrendo uma inversão de polaridade após passagem pelo orifício, (Mota et al. 2012), como se visualiza na figura 4.



**Figura 4.** Diferença de potencial elétrica na presença de um orifício (Matutino et al. 2011)

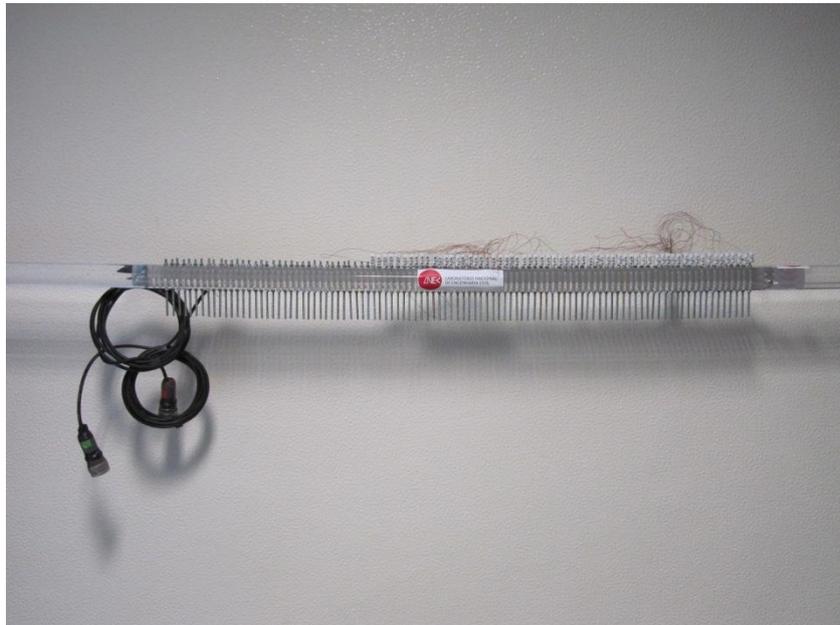
O protótipo em desenvolvimento será mais expedito face aos métodos que atualmente são utilizados e pressupõe uma menor mobilização de meios, sendo portanto mais económico.

O projeto contempla o desenvolvimento de sete tarefas.

A primeira tarefa contemplava a execução de uma instalação piloto nas instalações do ISEL com o objetivo de estudar a capacidade do protótipo para detetar orifícios de diferentes dimensões e formas, bem como avaliar o efeito do grau de saturação dos materiais localizados sob e sobre a geomembrana.

A primeira tarefa já se encontra concluída tendo os resultados sido apresentados em comunicação no *4º Seminário Português sobre Geossintéticos* com a designação: *“Protótipo laboratorial para deteção de orifícios em Geomembranas: Ensaio na instalação piloto do ISEL”*

A segunda tarefa contemplava o desenvolvimento do protótipo, semimóvel e automático para deteção de orifícios. Foram construídos vários protótipos, para detetar orifícios na geomembrana, os quais correspondem a sucessivos melhoramentos do da solução inicial.



**Figura 5.** Protótipo n.º2 (Mota et al.2011)

Os trabalhos já realizados no âmbito desta tarefa foram apresentados em duas conferências:

- *Near Surface - 17th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics* - “Laboratorial Prototype for Detection of Defects on Geomembranes - The Geophysical Approach”;
- *Electronics, Telecommunications and Computers* - "Embedded data acquisition system for effectiveness of lining systems”.

Na terceira tarefa preconizou-se o desenvolvimento da aplicação informática que serve de interface entre o protótipo e o Global Navigation Satellite Systems (GNSS), destinada à visualização, em computador, dos locais onde ocorrem orifícios na geomembrana.

A aplicação foi já desenvolvida encontrando-se em fase de verificação e melhoramento. Espera-se que durante a realização dos ensaios na instalação piloto no LNEC, descrita na tarefa quatro, seja possível obter os elementos que permitam finalizar a aplicação.

Detalhes sobre os trabalhos já executados foram apresentados conjuntamente com trabalhos realizados na segunda tarefa em duas conferências:

- *Near Surface - 17th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics - "Laboratorial Prototype for Detection of Defects on Geomembranes - The Geophysical Approach"*;
- *Electronics, Telecommunications and Computers - "Embedded data acquisition system for effectiveness of lining systems"*.

A quarta tarefa contemplava a execução da segunda instalação piloto, nas instalações do LNEC.



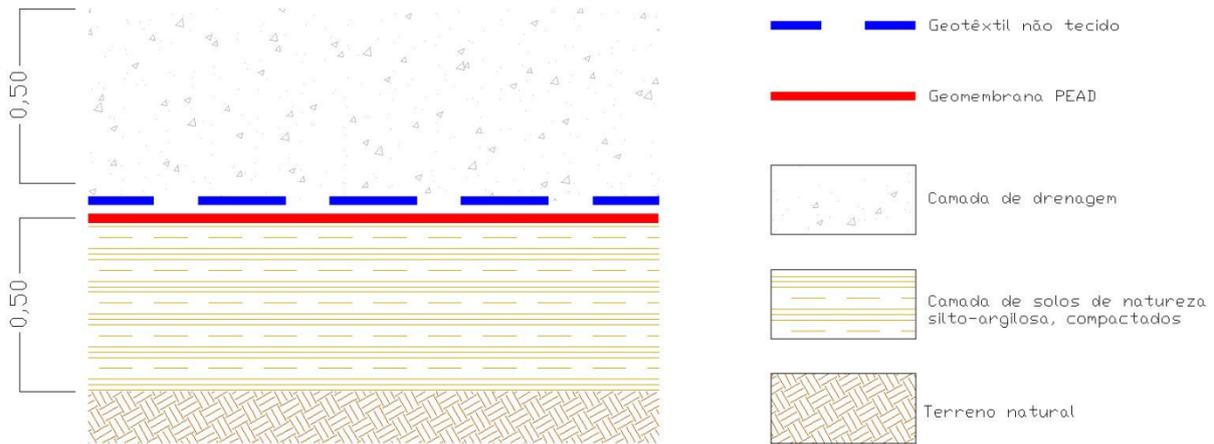
**Figura 6.** Planta de modelação da instalação piloto executada no LNEC

A EGF foi responsável pela elaboração do projeto de execução da segunda instalação piloto preconizada no planeamento, constituída por três células, concebidas segundo os mesmos princípios de engenharia de células de confinamento técnico para deposição de resíduos, com uma dimensão de cerca de 10 m x 10 m x 1 m (comprimento x largura x profundidade).

Cada célula de confinamento técnico possui um sistema de impermeabilização distinto, projetado em cumprimento dos requisitos legais do Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto, com o objetivo de simular as condições de aterros sanitários de diferentes classes.

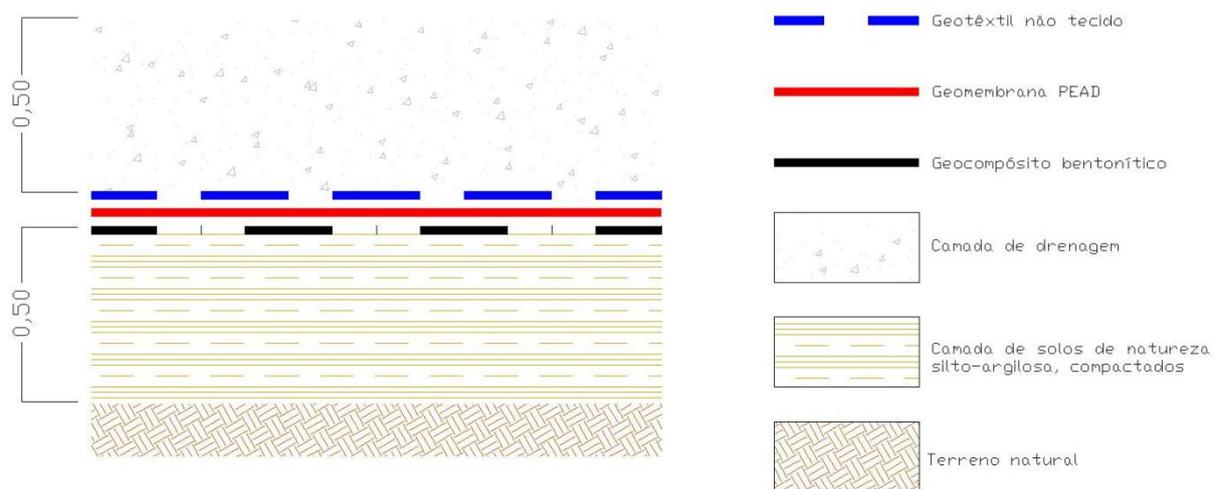
Em seguida descreve-se o perfil das células, bem como os materiais aplicados na instalação piloto.

A célula n.º 1 contempla um sistema de impermeabilização constituído apenas por uma geomembrana em PEAD com 2,0 mm, aplicada diretamente sobre a barreira geológica. Pretende-se com esta estratigrafia verificar se a presença de geocompósito bentonítico no reforço da barreira geológica possui alguma influência na deteção dos orifícios.



**Figura 7.** Sistema de impermeabilização da célula 1

A célula n.º 2 possui o sistema de impermeabilização de um aterro da classe “aterro para resíduos não perigosos”.



**Figura 8.** Sistema de impermeabilização da célula 2

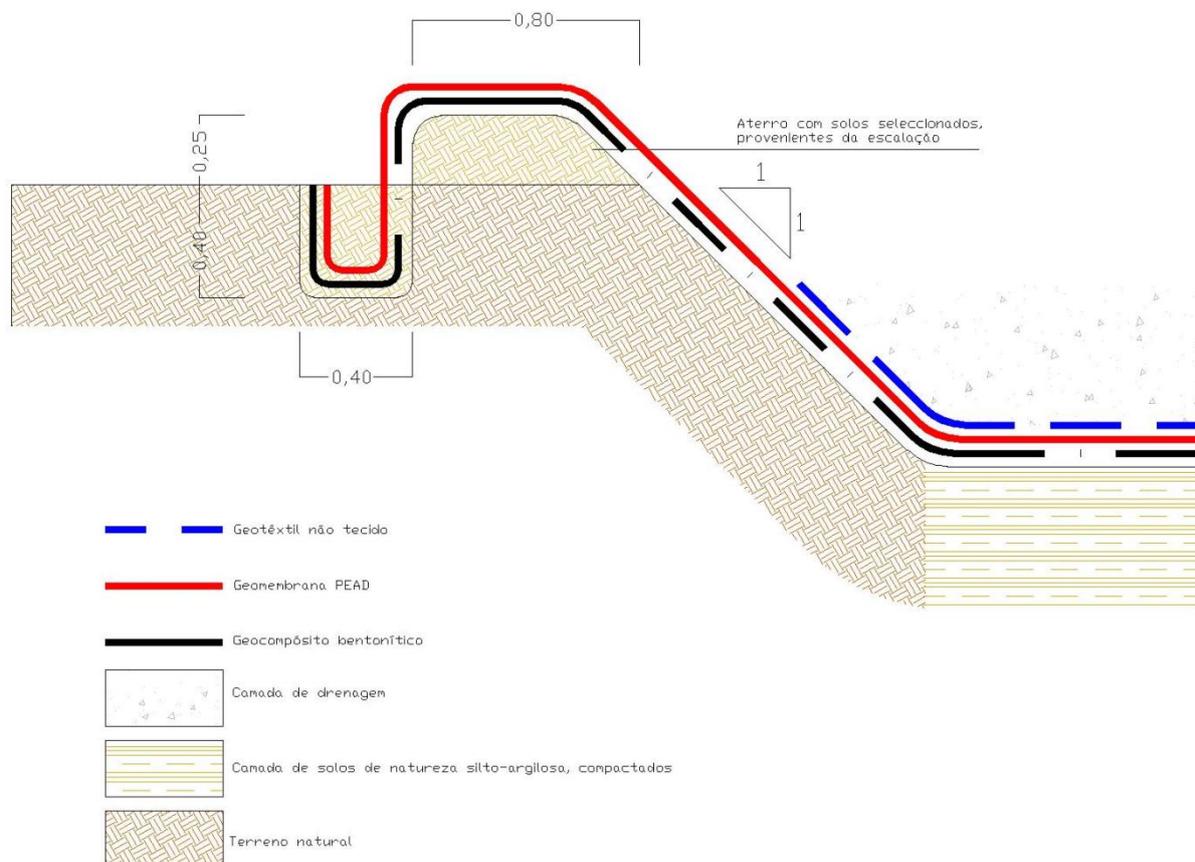


O sistema de impermeabilização é constituído por um sistema de impermeabilização duplo, à semelhança do sistema de impermeabilização de aterros para resíduos perigosos.

O espaçamento entre cada célula é de quatro metros permitindo a circulação de equipamentos.

Cada célula possui um sistema de drenagem das águas pluviais aí precipitadas, que promove o seu encaminhamento para a rede de drenagem de águas pluviais envolvente. O sistema de drenagem é constituído por uma tubagem ranhurada em PEAD, inserida na camada drenante.

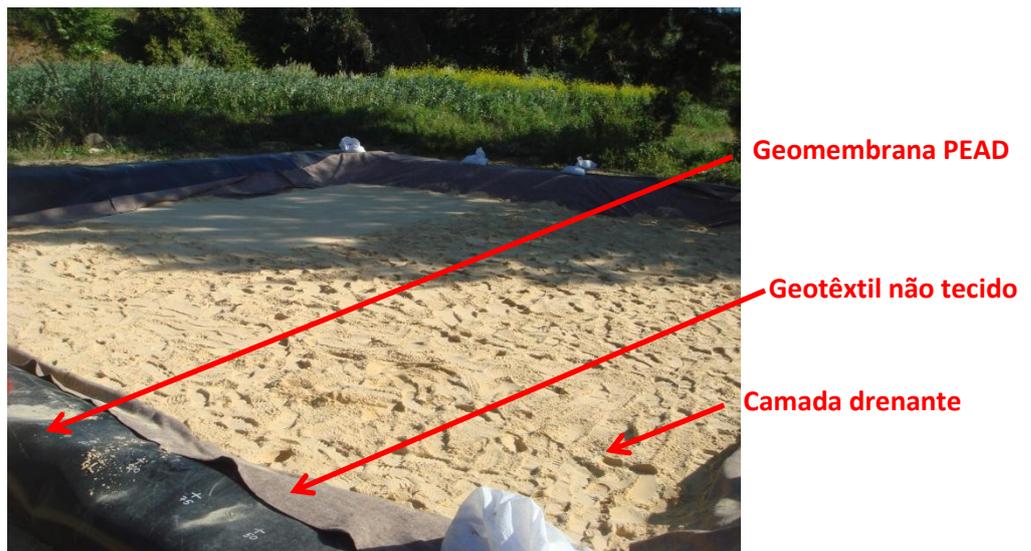
As células foram sobre-elevadas face à envolvente com o objetivo de minimizar a admissão de águas pluviais no seu interior conforme é visível no pormenor apresentado na figura 11.



**Figura 11.** Vala de amarração dos materiais do sistema de impermeabilização

A instalação piloto foi executada durante o primeiro trimestre de 2012 no *campus* experimental do LNEC. Foram executados orifícios calibrados e em local conhecido nas geomembranas que integram o sistema de impermeabilização de cada célula, com o objetivo de verificar a capacidade do protótipo para detetar esses orifícios.

Preconiza-se que estes ensaios se realizem durante o segundo semestre de 2012 na instalação piloto.



**Figura 12.** Célula da 2ª instalação piloto. Aspeto geral

Na quinta tarefa prevê-se o desenvolvimento do *software* de interpretação dos dados recolhidos pelo equipamento de deteção de orifícios. Esta tarefa encontra-se em desenvolvimento tendo já sido implementada uma versão beta da aplicação de visualização dos dados produzidos nos ensaios realizados no âmbito da tarefa dois (desenvolvimento do protótipo).

A sexta tarefa contempla a realização de ensaios numa instalação de confinamento técnico de resíduos e será coordenada pela EGF. Esta tarefa só irá ocorrer após o término dos ensaios na instalação piloto executada no LNEC, preconizando-se a sua realização durante o ano de 2013.

A sétima e última tarefa contempla a publicação de um livro com a exposição do trabalho realizado. Esta tarefa só será desenvolvida em 2013.

#### **4. CONCLUSÃO**

Este artigo apresentou os últimos desenvolvimentos no projeto FTC PTDC/AAC-AMB/102846/2008. Com exceção da sexta e sétima tarefas, que necessitam dos resultados das tarefas anteriores, as restantes tarefas do projeto estão concluídas ou em fase avançada de desenvolvimento.

Estima-se a realização de ensaios na segunda instalação piloto com o protótipo durante o segundo semestre de 2012, permitindo, após processamento dos resultados obtidos a realização dos ensaios “in situ” numa instalação de confinamento técnico.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Agradece-se à Fundação para a Ciência e Tecnologia o financiamento concedido no âmbito do Projeto PTDC/AAC-AMB/102846/2008.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonaparte, R. & Gross, B.A. (1993). LDCRS Flows from Double-Lined Landfills and Surface Impoundments. United States Environmental Protection Agency Report EPA/600/SR-93/070, Cincinnati, OH, USA, 65 p.
- Barroso, Madalena C.P., Touze-Foltz, N. & Lopes, M.G.D.A. (2007). Rate of liquid flow through composite liners due to defects in the geomembrane: recent advances. 2º Seminário Português sobre Geossintéticos, LNEC, Lisboa, Portugal, pp.239-259
- Colucci, P. & Lavagnolo, M. C. (1995). Three Years Field Experience in Electrical Control of Synthetic Landfill Liners. Proceedings of Fifth International Landfill Symposium: Sardinia '95, Vol. 2, Cagliari, Sardinia, Italy, pp. 437-452
- Matutino, P., Dias, T., Cigarro, A. Vitorino, C., Mota, R., M., Lopes, M.G., Barroso, A., Dores, R. & Silva, F. (2011). Embedded data acquisition system for effectiveness of lining systems, Electronics, Telecommunications and Computers 2011, ISEL, Lisboa, Portugal.
- Mota, R., Miguens, P., Barroso, M., Lopes, M.G., Dores, R., Silva, F., Coimbra, L. (2012). Semi-automatic Mobile System for Holes Detection on Landfill Lining Systems. 13º Congresso Nacional de Geotécnica, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 441-442
- Mota, R., Miguens, P., Barroso, M., Lopes, M.G., Dores, R. & Silva, F. (2011). Laboratorial Prototype for Detection of Defects on Geomembranes - The Geophysical Approach, Near Surface 2011 – 17th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Leicester, Reino Unido.
- Nosko, V. & Touze-Foltz, N. (2000). Geomembrane Liner Failure: Modelling of its influence on contaminant transfer. Proceedings of EuroGeo 2, Vol. 2, Bologna, Italy, pp. 557-560