



---

## DETEÇÃO DE ORIFÍCIOS NAS IMPERMEABILIZAÇÕES DE ATERROS DE RESÍDUOS: MÉTODO DO GEOSAFE

---

Lopes, Maria da Graça; ISEL, Lisboa, Portugal, [glopes@dec.isel.pt](mailto:glopes@dec.isel.pt)

Barroso, Madalena; LNEC, Lisboa, Portugal, [mbarroso@lneec.pt](mailto:mbarroso@lneec.pt)

Mota, Rogério; LNEC, Lisboa, Portugal, [rmota@lneec.pt](mailto:rmota@lneec.pt)

### RESUMO

Os aterros de resíduos são obras concebidas para minimizar o efeito poluente dos resíduos no meio ambiente, mediante a utilização de sistemas basais de impermeabilização que incluem geomembranas, cujo desempenho é fundamental para garantir a eficácia de tais sistemas. O desempenho da geomembrana pode, porém, ser comprometido pela presença de orifícios, resultantes, sobretudo, de atividades construtivas inadequadas o que potencia a migração de contaminantes para o subsolo e para as águas subterrâneas, pelo que é indispensável proceder à deteção dos orifícios na geomembrana e à sua reparação, antes do início da exploração do aterro. Não existindo em Portugal um equipamento que permitisse a realização de ensaios expeditos e pouco onerosos para a deteção de orifícios em geomembranas, foi desenvolvido um equipamento designado por GeoSafe. Neste artigo apresenta-se o equipamento, bem como os resultados obtidos até ao momento.

**Pavavras-chave:** aterros de resíduos, impermeabilização, geomembranas, deteção de orifícios.



## INTRODUÇÃO

Os aterros de resíduos são obras de engenharia geotécnica concebidas para minimizar o efeito poluente dos resíduos no meio ambiente, mediante a utilização de sistemas de impermeabilização e drenagem na base, nos taludes e na cobertura final (sistema de encerramento).

Os sistemas de impermeabilização e drenagem incluem diversas camadas, com diferentes funções, destacando-se o papel das barreiras, em particular da geomembrana, cujo desempenho é fundamental para garantir a funcionalidade de tais sistemas.

O desempenho da geomembrana pode, porém, ser comprometido pela presença de orifícios, resultantes, sobretudo, de atividades construtivas inadequadas, em particular, da colocação da camada de drenagem de lixiviados sobre as barreiras do sistema de impermeabilização.

A presença de orifícios na geomembrana potencia a migração de contaminantes para o subsolo e para as águas subterrâneas, sendo indispensável proceder à sua reparação, antes do início da exploração do aterro de resíduos, para não se pôr em risco a eficácia desta barreira. Assim, após a colocação da camada de drenagem, é necessário proceder à deteção e localização dos orifícios na geomembrana.

Em Portugal, não existia nenhum equipamento que permitisse a realização de ensaios expeditos e pouco onerosos para deteção e localização de orifícios em geomembranas, pelo que foi desenvolvido um equipamento, abreviadamente designado por GeoSafe, com esse objetivo.

Este equipamento constitui o primeiro passo para a realização de ensaios de deteção e localização de orifícios, no nosso país, ensaios que, a serem integrados nas atividades de controlo e garantia de qualidade da construção, contribuirão para o eficaz desempenho das geomembranas, com os benefícios daí decorrentes para o meio ambiente.

O presente artigo visa divulgar as potencialidades do GeoSafe na realização de ensaios de deteção e localização de orifícios em geomembranas.

O desenvolvimento do GeoSafe e da correspondente metodologia de ensaio ocorreu no âmbito do projeto PTDC/AAC-AMB/102846/2008, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), envolvendo o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC), que coordenou o projeto, o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e a Empresa Geral do Fomento (EGF).

## MÉTODOS DE ENSAIO PARA DETEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE ORIFÍCIOS

Os métodos de ensaio (não-destrutivos) desenvolvidos para detetar e localizar orifícios nas geomembranas que impermeabilizam os aterros de RSU, destinam-se a detetar danos resultantes das operações de aplicação da própria geomembrana e da colocação da camada drenante sobrejacente, que impliquem a subsequente fuga do lixiviado. No Quadro 1 apresenta-se uma síntese dos métodos permanentes e temporários existentes e respetivas vantagens e limitações.

Face às limitações dos métodos referidos, havia a necessidade desenvolver um equipamento que fosse mais vantajoso relativamente aos equipamentos existentes e que permitisse realizar ensaios de forma mais expedita e consequentemente menos onerosa.



Quadro 1- Métodos de Ensaio para Detecção e Localização de Orifícios de Geomembranas Cobertas: Vantagens e Limitações

	Métodos de ensaio	Vantagens	Limitações
Método permanente	ensaio com sistema fixo de deteção e localização de orifícios ( <i>the grid test</i> - <i>ASTM D 6747 (2012)</i> )	* utilização não só após a colocação da camada drenante, mas também durante o período de exploração do aterro	* necessidade de colocação prévia de uma rede de sensores no solo subjacente à geomembrana * os materiais em contacto com as superfícies inferior e superior da geomembrana têm de ser condutores
	ensaio da geomembrana condutora ( <i>electrically conductive geomembrane test</i> - <i>ASTM D 6747 (2012)</i> )	* não é necessário bombear água para a zona de ensaio * não é necessário garantir um bom contacto com a camada subjacente à geomembrana	* necessidade de geomembrana condutora * a geomembrana deve estar seca * embora se detete o orifício a sua localização precisa é difícil
Métodos temporários	ensaio da sonda eléctrica móvel ( <i>the soil covered geomembrane test</i> - <i>ASTM D 7007 (2009)</i> )	* não há necessidade de colocação prévia de uma rede de sensores no solo subjacente à geomembrana * pode ser realizado durante o tempo chuvoso	* os materiais em contacto com a superfície inferior da geomembrana têm de ser condutores e estarem húmidos * a existência de orifícios maiores pode mascarar a existência de outros mais pequenos

## EQUIPAMENTO PARA DETEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE ORIFÍCIOS EM GEOMEMBRANAS: GEOSAFE

Uma das exigências do equipamento a desenvolver é que este pudesse ser utilizado em diferentes tipos de sistemas de impermeabilização, em particular, nos aterros de resíduos onde a presença da geomembrana é um requisito (aterros para resíduos não-perigosos e perigosos). De referir que os equipamentos atualmente existentes foram desenvolvidos para deteção e localização de orifícios em sistemas de impermeabilização de aterros não perigosos, constituídos, apenas, por uma geomembrana e uma camada de solo argiloso compactada, que não é a solução geralmente adotada em Portugal, nem a preconizada para aterros de resíduos perigosos. Outra exigência é que a metodologia de ensaio fosse independente da perícia e da experiência do operador, com vista a tornar os resultados mais fiáveis, nomeadamente, que permitisse a deteção e localização dos orifícios de forma automática. Esta abordagem é muito vantajosa na medida em que garante a cobertura integral da área a ensaiar, contrariamente ao que acontece quando a deteção e localização dos orifícios é realizada de forma manual.

No que se refere ao equipamento GeoSafe este foi desenvolvido com base no método da sonda eléctrica móvel, cujo princípio de funcionamento é idêntico ao método geofísico da resistividade eléctrica, e na técnica de cabos multicondutores utilizada nos equipamentos geofísicos mais recentes.

O GeoSafe foi desenvolvido de forma modular, em módulos de 1 m x 1 m, com o objetivo de facilitar o seu transporte para o campo e, também, para ser escalável. O espaçamento entre módulos é igual à distância entre eléctrodos de leitura. Na Figura 1 apresenta-se uma fotografia do Módulo 1 do GeoSafe.



Figura 1 Vista geral do GeoSafe (Módulo 1)

No módulo de acondicionamento e aquisição de sinal (Matutino *et al.*, 2011) procede-se à seleção do par de eléctrodos no qual se realiza a medição da diferença de potencial; ao acondicionamento do sinal de entrada e à conversão do sinal analógico para digital. Os valores da diferença de potencial medida pelos diversos dipolos são transmitidos, em formato digital, para o módulo de controlo e armazenados, juntamente com os dados de georreferenciação dos dipolos, numa base de dados.

Com base nestes elementos, é possível obter, no fim do ensaio, uma carta de potencial eléctrico de toda a base do aterro de resíduos. A partir da posterior análise destas imagens bidimensionais, assinalam-se os orifícios detetados, constando as suas coordenadas no relatório produzido, para fácil localização das áreas a reparar.

## Trabalho Experimental

O trabalho experimental teve como objetivo a avaliação da exatidão e precisão do GeoSafe para detetar e localizar orifícios em geomembranas aplicadas para impermeabilização dos aterros de RSU portugueses.

Para o efeito foi concebida e construída uma célula com dimensões aproximadas de 10 m × 10 m × 1 m (comprimento × largura × profundidade), possuindo um sistema de impermeabilização de acordo com os requisitos legais do Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto, com o objetivo de simular as condições existentes na classe dos aterros de RSU.

A célula incluiu as seguintes camadas (da base para o topo):

- Camada de solo argiloso compactado, com 0,50 m de espessura;
- Barreira geossintética argilosa (GCL), com coeficiente de permeabilidade  $k \leq 1 \times 10^{-11}$  m/s;
- Geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD), com 2,0 mm de espessura;
- Geotêxtil não-tecido com 300 g/m<sup>2</sup>, para proteção mecânica da geomembrana (contra o punçoamento);
- Camada drenante com 0,50 m de espessura e  $k \geq 10^{-4}$  m/s constituída inferiormente por um areão de granulometria média a grossa (0,18 - 2,0 mm), com 0,20 m de espessura, seguida de uma camada de brita de granulometria 40/60, com 0,30 m de espessura.

Na Figura 2 apresentam-se as diferentes fases da construção da célula. Após a instalação da geomembrana, previamente à sua cobertura, procedeu-se à realização de orifícios, em locais devidamente referenciados, e com dimensões conhecidas, com o objetivo de verificar a capacidade do protótipo para os detetar. No caso da célula 3, os orifícios foram realizados apenas na geomembrana superior.



Final da compactação

Colocação do GCL

Colocação da camada drenante

Figura 2 Diferentes fases da construção da célula

### Programa de Ensaios

Tendo em consideração os objetivos da construção da célula, apresentam-se no Quadro 2 os ensaios programados.

Quadro 2- Programa de Ensaios

Ensaios	Orifícios		Objetivos
	Nº	Dimensões	
Tipo 1	1	2 mm	- estudar a exatidão* do equipamento para detetar e localizar 1 orifício num sistema de impermeabilização formado por CCL+GCL+GM+GTX+0,2m areia; - estudar a precisão** equipamento.
Tipo 2	2	2 mm 4 mm	- estudar a exatidão* do equipamento para detetar e localizar 2 orifícios num sistema de impermeabilização formado por CCL+GCL+GM+GTX+0,2m areia.
Tipo 3	1	2 mm	- estudar a exatidão* do equipamento para detetar e localizar 1 orifício num sistema de impermeabilização formado por CCL+GCL+GM+GTX+0,2m areia+0,3m brita; - estudar a adequabilidade dos elétrodos para a brita.

\* Exatidão: proximidade entre a medição (orifício detetado) e o valor real (local onde realmente se encontra o orifício)

\*\* Precisão: consistência/repetibilidade dos resultados

### Apresentação e Análise dos Resultados

Nas figuras 3, 4 e 5 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios dos tipos 1, 2 e 3, respetivamente. Em todos eles, foi possível identificar o(s) orifício(s) deliberadamente efetuado(s) na geomembrana. As diferentes escalas têm por origem diferentes valores da tensão da corrente injetada no terreno.

Conforme se pode observar na figura 3, no canto inferior direito da célula existe um contraste de cores entre azul e branco, correspondendo a um gradiente de potencial elétrico, no local onde tinha sido efetuado um orifício circular com 2 mm de diâmetro. Estes resultados sugerem que o equipamento é capaz de detetar com uma exatidão razoável os orifícios num sistema de impermeabilização constituído por, da base para o topo, uma camada de solo argiloso compactada, um geocomposto bentonítico, uma geomembrana, um geotêxtil e uma camada de areia. Por outro lado, foram obtidos resultados consistentes em vários ensaios do tipo 1, indicando que o equipamento possui uma precisão satisfatória.

Na figura 4 verifica-se que existem dois locais, um no canto inferior direito e outro no canto inferior esquerdo, onde ocorre um maior gradiente de potencial elétrico, coincidentes com a localização de dois orifícios circulares, com 2 e 4 mm de diâmetro, propositadamente efetuados na geomembrana. Estes



resultados tendem a confirmar a exatidão do equipamento para detetar a presença de orifícios no sistema de impermeabilização anteriormente referido e, no caso presente, distingui-los um do outro.

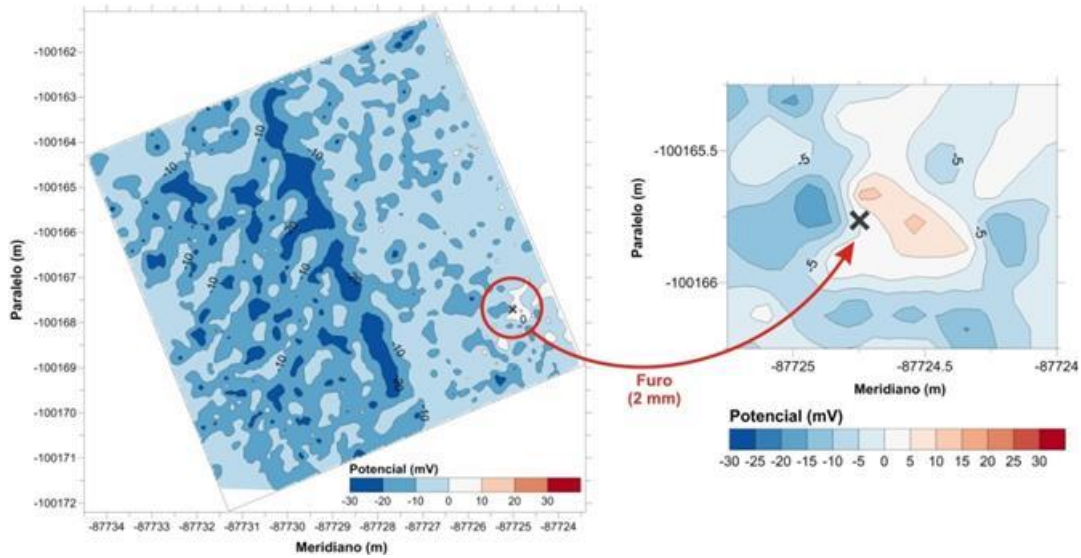


Figura 3 Ensaio do tipo 1 – camada de areia e geomembrana com um furo

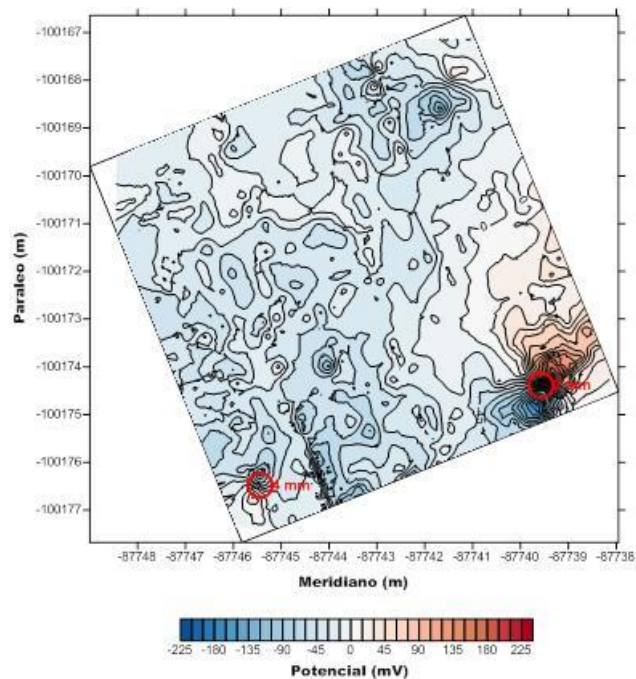


Figura 4 Ensaio do tipo 2 – camada de areia e geomembrana com dois furos de diferentes dimensões

Por fim, na figura 5 o maior gradiente de potencial elétrico, materializado pelo contraste de cores entre o azul e o laranja, localiza-se no canto inferior direito da célula, praticamente coincidente com o orifício circular de 2 mm de diâmetro existente nessa zona. Estes resultados sugerem que o equipamento é igualmente capaz de detetar com razoável exatidão os orifícios num sistema de impermeabilização em que a

última camada é constituída por brita, tal como num aterro de resíduos. Este tipo de ensaio tinha, igualmente, por objetivo estudar a adequabilidade do equipamento desenvolvidos para os casos em que a camada final do sistema de impermeabilização é constituída por brita.

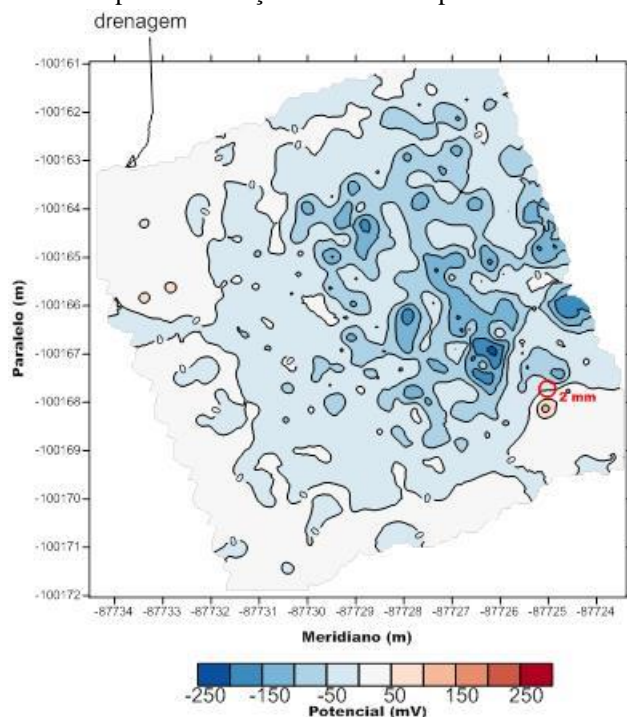


Figura 5 - Ensaio do tipo 3 – camada de brita sobre areia e geomembrana com um furo

## CONCLUSÕES

Até ao momento o GeoSafe permitiu realizar, com êxito, ensaios para detetar um orifício em diferentes sistemas de impermeabilização, mas falta ainda testar a exatidão e precisão do equipamento para detetar e localizar vários orifícios em diferentes sistemas de impermeabilização.

Espera-se, com o desenvolvimento do GeoSafe, impulsionar a realização de ensaios de deteção e localização de orifícios nos aterros de resíduos portugueses, ensaios que deverão ser integrados nas atividades de controlo e garantia de qualidade da construção, preferencialmente com carácter obrigatório, à semelhança do que acontece noutros países, e, deste modo, contribuir para a proteção do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ASTM D 6747 (2012). “Standard Guide for Selection of Techniques for Electrical Detection of Potential Leak Paths in Geomembrane”. American Society for Testing and Materials, USA.

ASTM D 7007 (2009). “Standard Practices for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earth Materials”. American Society for Testing and Materials, USA.

Matutino, P. M., Dias, T., Cigarro, A., Vitorino, C., Mota, R., Lopes, M. G., Barroso, M., Dores, R. & Silva, F. (2011). “Embedded Data Acquisition System for Effectiveness of Lining Systems”. Proceedings CETC 2011, ISEL, Lisbon, Paper nº 83, 7p.

Lopes, M. G., Barroso, M., Mota, R., Matutino, P., Dores, R., Silva, F. (2014). “Sistemas de impermeabilização de aterros de resíduos: equipamento semiautomático para deteção de orifícios em geomembranas (GeoSafe)”. Atas do 14º Congresso Nacional de Geotecnia, Covilhã, 06 a 09 de Abril.