

SISTEMA MÓVEL SEMI-AUTOMÁTICO DE DETECÇÃO DE ORIFÍCIOS NA IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS DE RESÍDUOS

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

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

RESUMO

Os aterros sanitários incluem duas barreiras de impermeabilização designadas, em função das acções desenvolvida, barreira passiva e barreira activa.

A barreira passiva é constituída por uma camada de argila, reforçada superiormente com um geocompósito bentonítico. A barreira activa é constituída por uma geomembrana protegida superiormente por um geotêxtil. A eficácia do sistema de impermeabilização depende, essencialmente, do desempenho da geomembrana, podendo este ser comprometido pela presença de orifícios.

Os orifícios resultam, em geral, de actividades construtivas inadequadas, em particular, da colocação da camada de drenagem sobre a barreira activa.

Neste enquadramento, uma equipa multidisciplinar constituída por elementos do LNEC, ISEL, APA e EGF, encontram-se actualmente a desenvolver um projecto conjunto para o desenvolvimento de um método simultaneamente simples, célere, preciso e pouco oneroso, que permita suprimir as desvantagens dos métodos existentes e possa ser utilizado em aterros com diferentes tipologias de sistemas de impermeabilização.

A metodologia contempla o desenvolvimento de um protótipo, dotado de meios que permitam a aquisição semi-automática de dados e seu processamento em tempo real. A funcionalidade do protótipo será testada, primeiro em duas instalações piloto com diferentes

1 Licenciatura em Eng.^ª Ambiente, Ramo Sanitária (2004)
Direcção de Engenharia – Empresa Geral do Fomento, SA

2 Doutoramento em Eng.^ª Civil (2005)
Investigadora Auxiliar – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

3 Doutoramento em Geotecnia (1992)
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

4 Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores no Ramo de Computadores (2002)
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

5 Doutor em Física – Especialização em Geofísica Interna (2007)
Assistente de Investigação - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

6 Licenciatura em Geologia Aplicada e do Ambiente
Chefe de Divisão de Resíduos Urbanos - Agência Portuguesa do Ambiente

tipos sistemas de impermeabilização e posteriormente, *in situ*, num aterro sanitário para confinamento técnico de resíduos não perigosos.

1. CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO

Os aterros de resíduos são obras de engenharia que constituem um destino final adequado para os resíduos, garantindo a integridade do meio ambiente e contribuindo para mitigar riscos de insalubridade das populações.

Em conformidade com o art.º 10 do Decreto-Lei nº183/2009 de 10 de Agosto que transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 1999/31/CE de 26 de Abril do Conselho Europeu relativa à deposição de resíduos em aterro, identificam-se três classes de aterros:

- a) Aterro para resíduos inertes;
- b) Aterros para resíduos não perigosos;
- c) Aterros para resíduos perigosos

Independentemente da classe, todos os aterros devem possuir um sistema de impermeabilização, dimensionado com o objectivo de impedir a infiltração no solo dos efluentes aí gerados.

Em função da classe do aterro o Diploma identifica no seu Anexo I os requisitos mínimos a que o sistema de impermeabilização deve obedecer. Todos os aterros, independentemente da tipologia dos resíduos a confinar devem possuir uma barreira passiva, constituída por uma formação geológica de baixa permeabilidade e espessura adequada. No Quadro 1 identificam-se as características da barreira passiva para todas as classes de aterro:

Quadro 1. Especificações técnicas da barreira passiva, por classe de aterro

Classe de aterro	Aterro para resíduos inertes	Aterro para resíduos não perigosos	Aterro para resíduos perigosos
Coefficiente de permeabilidade, k (m/s)	$\leq 1,0 \times 10^{-7}$	$\leq 1,0 \times 10^{-9}$	$\leq 1,0 \times 10^{-9}$
Espessura (m)	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$	$\geq 5,0$

Complementarmente, para além do sistema de protecção ambiental passivo, todas as classes de aterros, com excepção da classe de aterros para resíduos inertes devem possuir um sistema ambiental activo, constituído por uma geomembrana em polietileno de alta densidade (PEAD), ou dispositivo equivalente.

No caso particular de aterros para resíduos não perigosos, na fase de selecção de locais para a sua implementação, nem sempre se identificam locais onde a barreira geológica possua as características identificadas no Quadro 1.

Neste enquadramento, em conformidade com o Diploma, caso a barreira geológica não ofereça naturalmente as condições descritas no ponto anterior, deve ser complementada e reforçada artificialmente por outros meios ou materiais que assegurem uma protecção equivalente.

Tipicamente, o reforço da barreira geológica é conseguido com a aplicação de um geocompósito bentonítico com um coeficiente de permeabilidade (k) na gama $k \leq 10^{-11}$ m/s.

Sobre a barreira geológica aplica-se uma geomembrana de PEAD com um mínimo de 2,0 mm de espessura, em conformidade com o Diploma, que constitui a barreira activa, protegida superiormente com um geotêxtil não tecido dimensionado para suportar o punçoamento.

Na zona basal é ainda aplicada uma camada mineral com uma espessura mínima de 0,50 metros, isenta de material calcário, com a função de drenagem dos efluentes gerados no aterro sanitário.

Na figura 1 apresenta-se a estratigrafia dos materiais que constituem o sistema de impermeabilização basal de um aterro sanitário para resíduos não perigosos. Identifica-se igualmente a camada drenante aplicada sobre o sistema.

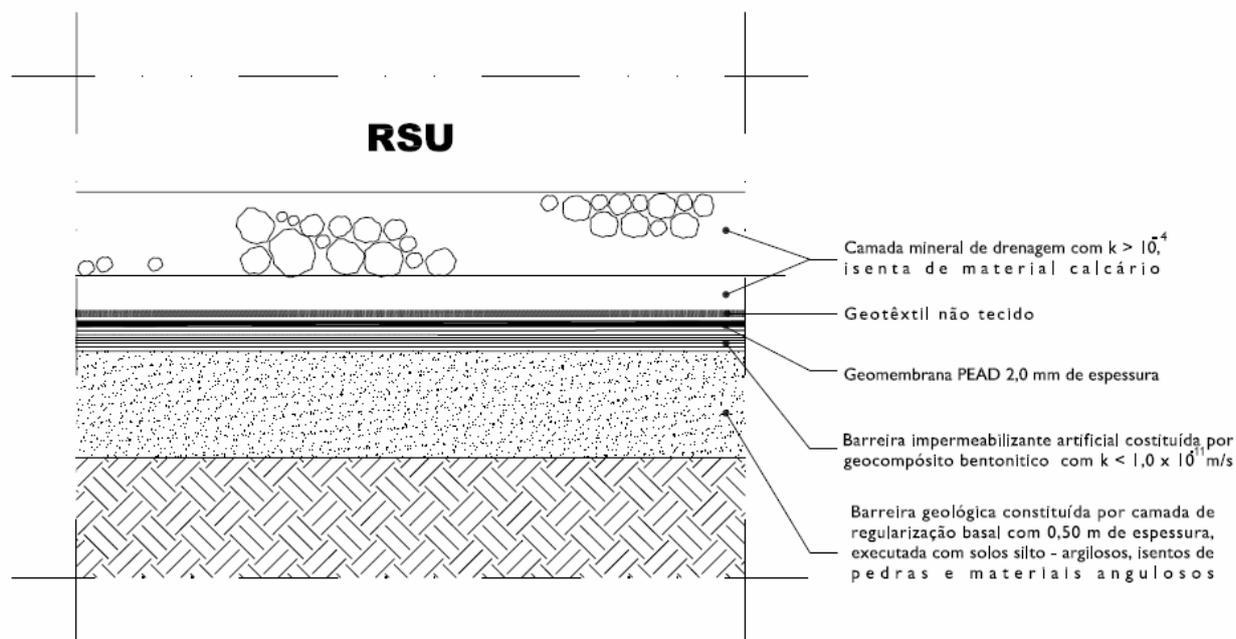


Figura 1. Estratigrafia dos materiais do sistema de impermeabilização. Zona basal

2. REVISÃO DA LITERATURA

A eficácia do sistema de impermeabilização depende, sobretudo, do desempenho da geomembrana, podendo este ser comprometido pela presença de orifícios. Estes, porém, parecem de difícil controlo, tal como pode concluir-se dos estudos realizados, entre outros, por Nosko & Touze Foltz (2000), Peggs (1993), Peggs & Wallance (2008), ou Rollin et al. (2002, 2004).

Os orifícios resultam, em geral, de actividades 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).

Efectivamente, segundo o estudo relatado por Nosko & Touze-Foltz (2000), com base em dados recolhidas em mais de 300 obras, 71 % dos orifícios são causados pelos materiais da camada de drenagem. Este estudo refere, ainda, que o número de orifícios é da ordem dos 12,9 orifícios/ha, enquanto Rollin et al. (2002) indica valores de 17,4 orifícios/ha, em aterros com elevadas exigências construtivas.

Embora existam já métodos para detecção de orifícios em geomembranas, tais como o método da sonda móvel ou o sistema de sensores permanente, estes apresentam várias desvantagens, das quais se destacam a morosidade e os elevados custos. De referir, também, que foram métodos desenvolvidos, sobretudo, para casos em que a geomembrana é aplicada directamente sobre a camada de argila compactada que constitui a barreira passiva, o que não constitui as opções de projecto 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.

Refira-se que em aterros de resíduos com sistema de impermeabilização constituído pela aplicação de duas geomembranas, tem sido medido o fluxo de efluente que atravessa o sistema de impermeabilização devido a orifícios na geomembrana. Os valores apresentados na literatura variam, consoante a implementação de Planos de Garantia de Qualidade de Construção (PGQC), a fase de operação do aterro e o tipo de sistema de impermeabilização adoptado.

A título de exemplo, segundo um estudo realizado por Bonaparte & Gross (1993), em aterros de resíduos com PGQC implementados, foram medidos fluxos até 0,20 m³/ha/dia, enquanto onde esses Planos não foram implementados o fluxo aumenta para valores superiores a 1,0 m³/ha/dia. Já Majdi et al. (2002), no âmbito de um estudo realizado pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), refere valores até 0,37 m³/ha/dia durante a fase de operação, em aterros com várias tipologias sistemas de impermeabilização.

3. PLANEAMENTO DO PROJECTO

O projecto Sistema móvel semi-automático de detecção de orifícios na impermeabilização de aterros de resíduos (referência PTDC/AAC-AMB/102846/2008) foi proposto ao Concurso de Projectos de I&D promovido pela Fundação para a Ciência e Tecnologia em Fevereiro de 2009, tendo sido homologado em Novembro de 2009.

3.1 Descrição das tarefas do projecto

A adequação e a eficácia do protótipo serão avaliadas em duas instalações piloto – em laboratório e no campus experimental do LNEC e finalmente “*in situ*” num aterro sanitário a disponibilizar pela Empresa Geral do Fomento (EGF).

A primeira tarefa será a execução da primeira instalação piloto no laboratório no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), em Lisboa. O objectivo desta instalação é estudar a capacidade do protótipo para detectar orifícios de diferentes dimensões e formas, bem como avaliar o efeito do grau de saturação dos materiais localizados sob e sobre a geomembrana.

A instalação consistirá numa caixa quadrada com dimensões aproximadas [2,0 x 2,0 x 0,75 metros], preenchida com as diferentes camadas de materiais que integram o sistema de impermeabilização de um aterro sanitário. A geomembrana introduzida no sistema de impermeabilização da instalação possuirá orifícios em locais previamente definidos. O equipamento fará o rastreamento da superfície de forma a identificar os orifícios. O protótipo a utilizar nesta fase não será móvel nem possuirá um sistema automático de recolha e armazenamento de dados dado que as aplicações ainda estarão a ser desenvolvidas.

A primeira tarefa é coordenada pelo ISEL e compreende as actividades de concepção da instalação, execução dos ensaios e discussão dos resultados obtidos. A versão preliminar do protótipo será desenvolvida pelo LNEC que participará igualmente na realização dos ensaios e discussão dos resultados obtidos.

A segunda tarefa – *desenvolvimento do protótipo* – consistirá no desenvolvimento de um protótipo móvel e semi-automático. O protótipo compreende uma estrutura móvel dotada de rodados em alumínio ou outro material leve. Preconiza-se que possua uma barra onde serão instalados eléctrodos com um espaçamento de 0,50 metros ou inferior. O protótipo contém igualmente o sistema de aquisição de dados – *datalogger* e DGPS (*Differential global positioning system*). A interface que permite a ligação de todos os equipamentos mencionados será desenvolvida na terceira tarefa do projecto – *desenvolvimento da interface* – que decorre em simultâneo.

A segunda e terceira tarefas serão coordenadas pelo LNEC e pelo ISEL e culminarão na construção do equipamento que será utilizado na instalação piloto a construir no campus experimental do LNEC.

A quarta tarefa será assim a execução da segunda instalação piloto no campus experimental do LNEC, em Lisboa e incluirá três células, projectadas e construídas à semelhança das zonas de confinamento de um aterro sanitário, com as dimensões aproximadas de [15,0 x 15,0 x 2,0] metros.

Cada célula possuirá um sistema de impermeabilização distinto, como se identifica nas figuras seguinte. As geomembranas aplicadas possuirão sempre orifícios com formato pré-definido em locais pré-definidos.

- **Célula 1**

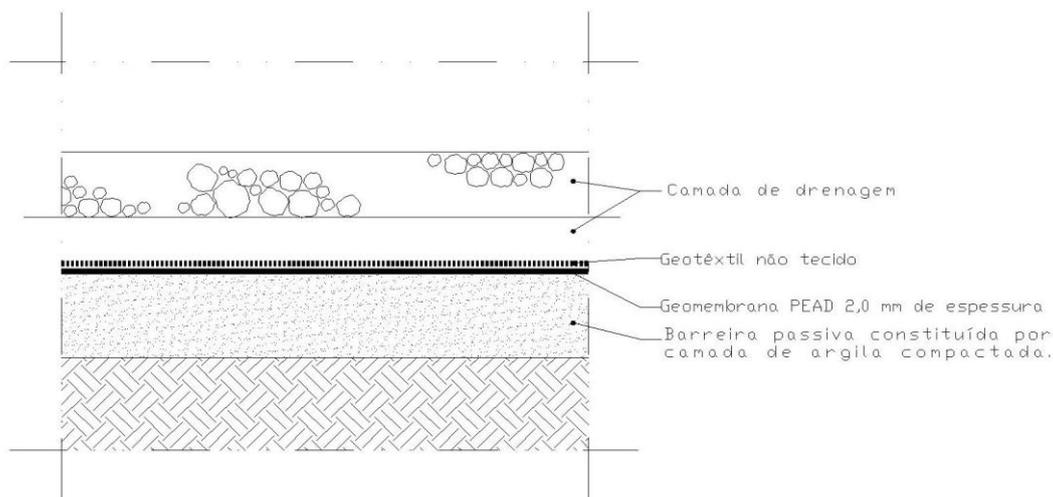


Figura 3. Estratigrafia dos materiais que constituem o sistema de impermeabilização da célula 1

A célula 1 possui como objectivo efectuar uma comparação dos resultados obtidos entre um sistema de impermeabilização sem geocompósito bentonítico e os sistemas de impermeabilização com geocompósito bentonítico.

- **Célula 2**

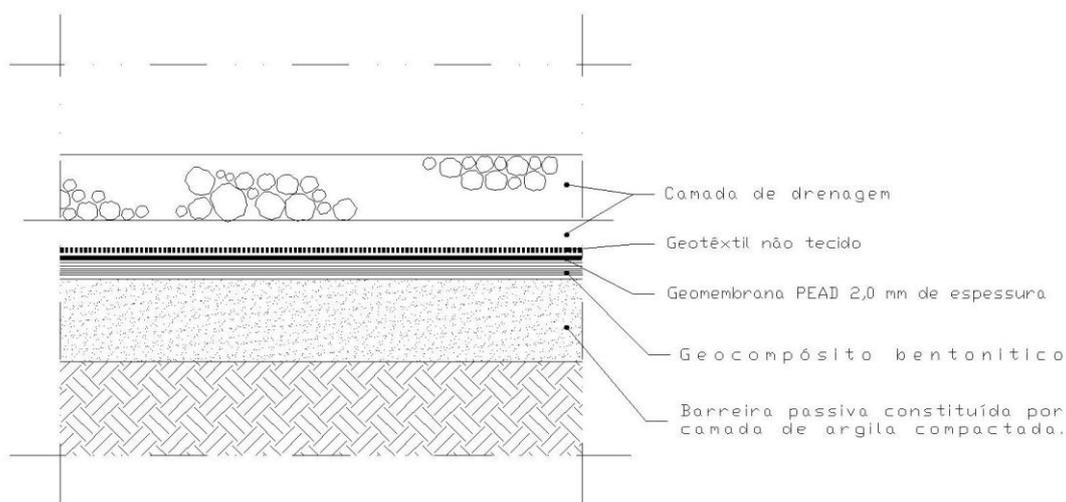


Figura 4. Estratigrafia dos materiais que constituem o sistema de impermeabilização da célula 2

O sistema de impermeabilização da célula 2 será equivalente ao projectado para as células de confinamento técnico de resíduos não perigosos.

- **Célula 3**

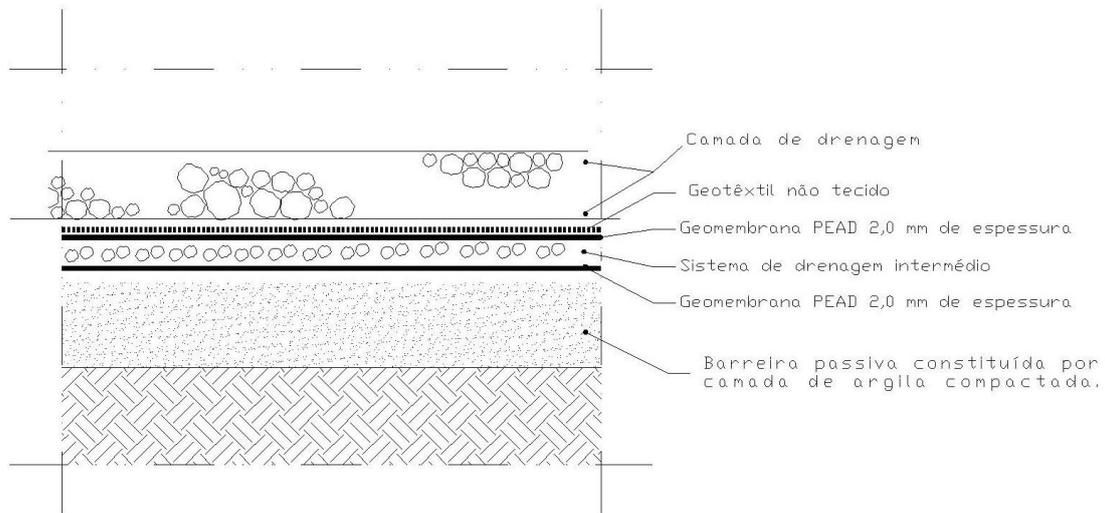


Figura 5. Estratigrafia dos materiais que constituem o sistema de impermeabilização da célula 3

O sistema de impermeabilização da célula 3 será equivalente ao projectado para as células de confinamento técnico de resíduos perigosos.

O objectivo do sistema de impermeabilização das células 2 e 3 será a avaliação da eficiência e eficácia do protótipo, nomeadamente nas vertentes dimensão e forma do orifício, tipo de sistema de impermeabilização associado, celeridade e precisão.

Na figura 6 identifica-se o espaço reservado nas instalações do LNEC para a execução da instalação piloto.

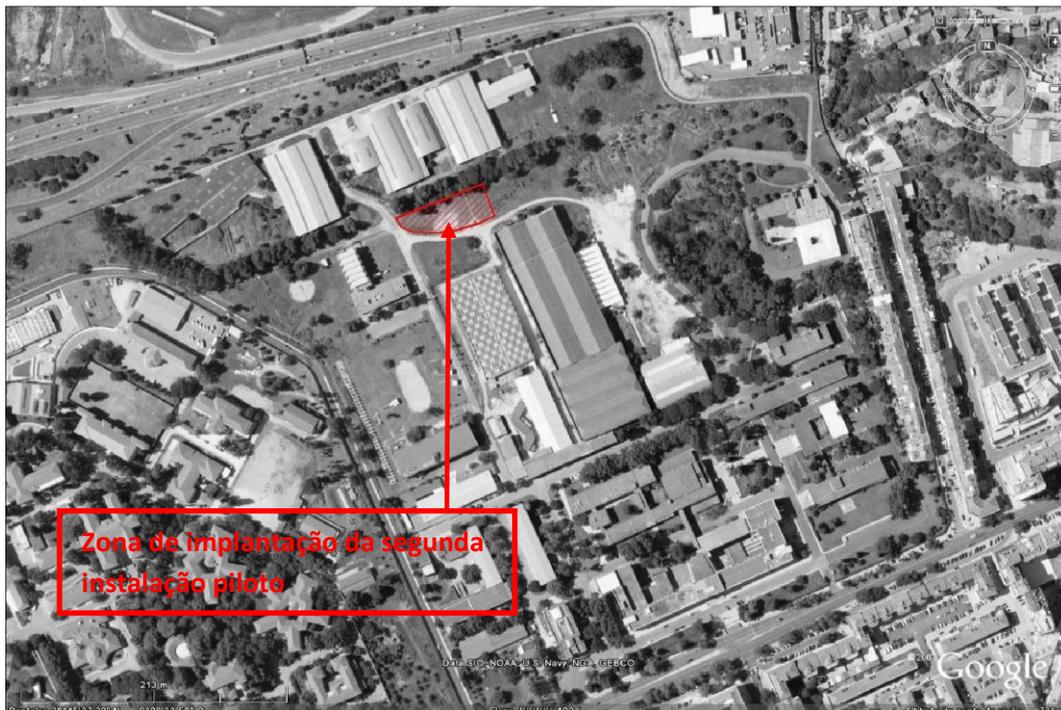


Figura 6. Localização da zona de execução da segunda instalação piloto

O LNEC coordena esta fase do projecto, acompanha a construção das células e realiza os ensaios de caracterização dos materiais aplicados no sistema de impermeabilização. O LNEC e o ISEL executam os ensaios com o equipamento concebido nas tarefas anteriores. A EGF projecta a instalação piloto e efectua o dimensionamento dos sistemas de drenagem. Todos os membros do projecto participam na discussão dos resultados obtidos.

Após a avaliação da fiabilidade do método proposto, será desenvolvido o *software* para avaliação e visualização dos dados obtidos, sob a coordenação do LNEC e do ISEL.

A sexta tarefa compreende a realização de ensaios *“in situ”* num aterro de resíduos não perigosos gerido por uma empresa participada da EGF. A EGF coordenará esta fase do projecto, planeando e supervisionando a realização dos ensaios pelo LNEC, ISEL e Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Todos os membros do projecto participam na discussão dos resultados obtidos.

A sétima tarefa será a publicação de um livro técnico sobre o trabalho desenvolvido. Todos os membros do projecto participam nesta tarefa que será coordenada pela APA.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A entrada em vigor do Plano de Estabilidade e Crescimento (PEC) introduziu alguns atrasos no cumprimento do plano do projecto.

A primeira instalação piloto foi já executada no ISEL, perspectivando-se para breve os primeiros resultados. No final do mês de Agosto de 2010 prevê-se que o projecto das três

células a executar no LNEC esteja finalizado, permitindo a sua execução até ao primeiro trimestre de 2011.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o financiamento concedido no âmbito do Projecto 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

Majdi, A.O., Gross, B.A., Bonaparte, R. & Warren, D. (2002). Evaluation of Liquids Management Data for Double-Lined Landfills, Appendix E of United States Environmental Protection Agency Report EPA/600/R-02/099, Cincinnati, OH, USA, 206 p

Nosko, V. & Touze-Foltz, N. (2000). Geomembrane Liner Failure: Modelling of its influence on contaminant transfer. Proceedings of EuroGeo 2, Vol. , Bologna, Italy, pp. 557-560

Peggs, I.D. (1996). Defect Identification, Leak Location, and Leak Monitoring in Geomembrane. Proceedings of Geosynthetics: Applications, Design and Construction, Balkema, Rotterdam, Nederland, pp. 611-618

Peggs, I.D. & Wallance, R.B. (2008). Challenges and lessons learned during geoelectric leak location surveys on a complex triple lining system. Proceedings of the 1st Pan American Geosynthetics Conference, Cancun, Mexico, pp. 705-711

Rollin, A.L., Jacquelin, T., Forgot, B. & Saunier, P. (2004). A guide to detect leaks on installed geomembranes. Proceedings of EuroGeo 3, Vol. 1, Munich, Germany, pp. 235-240

Rollin, A.L., Marcotte, M. & Chaput, L. (2002). Lessons Learned from Geo-electrical Leaks Surveys. Proceedings of Seventh International Conference on Geosynthetics, Vol. 2, Nice, France, pp. 527-530