

# **CONTRIBUIÇÕES GEOTÉCNICAS PARA MELHORAR A CONSTRUÇÃO DOS SISTEMAS DE CONFINAMENTO DE ATERRROS DE RSU**

## **GEOTECHNICAL CONTRIBUTIONS TO IMPROVE THE CONSTRUCTION PRACTICE FOR MSW LANDFILL INFRASTRUCTURES**

Barroso, Madalena, *LNEC, Lisboa, Portugal, mbarroso@lnec.pt*

Pardo de Santayana, Fernando, *LNEC, Lisboa, Portugal, fpardo@lnec.pt*

### **RESUMO**

Como resultado das actividades do Laboratório Nacional de Engenharia Civil no âmbito da construção das infra-estruturas para os aterros mais recentes de resíduos sólidos urbanos multimunicipais, apresentam-se, nesta comunicação, alguns aspectos observados nos projectos e na prática construtiva que se considera poderem ser melhorados de forma a garantir um melhor desempenho dos sistemas de confinamento a curto e a longo prazo. Salientam-se, entre estes aspectos, aqueles que têm a ver com as geomembranas, cuja correcta instalação é fundamental para garantir a sua função como barreira activa nos aterros. Referem-se, na comunicação, algumas sugestões relativamente simples para a correcção destes aspectos e melhorar a qualidade da construção.

### **ABSTRACT**

As a result of the activities carried out by the National Laboratory of Civil Engineering relative to the construction of the infrastructures for the most recent Portuguese municipal solid waste landfills, some problematic aspects observed in the design and construction phases of the works are presented in this paper. In order to attain a better performance of the landfill confining systems in the short and long terms, these aspects have to be improved. Specifically, a correct installation of the geomembrane is essential to guarantee its function as active barrier against contaminant migration from the landfill. In the paper, reference is made to some relatively simple suggestions in order to solve those problems and to improve the construction quality of these facilities.

### **1. INTRODUÇÃO**

A intervenção do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), no âmbito da construção das infra-estruturas para os aterros mais recentes de resíduos sólidos urbanos (RSU) multimunicipais, tem tido por objectivo colaborar no controlo da qualidade da construção, nomeadamente no que respeita às acções e aos processos que envolvem a utilização dos diferentes materiais (geossintéticos e solos). Incluem-se, nas actividades desenvolvidas pelo LNEC, a assessoria geotécnica relativamente aos diversos aspectos problemáticos surgidos durante as fases de projecto e construção destas infra-estruturas; a elaboração de Planos de Avaliação da Qualidade da Construção, com o objectivo de assegurar que os geossintéticos, os solos e as técnicas construtivas utilizadas cumprem o especificado no projecto; a assistência aos donos de obra e fiscalizações na implementação destes planos e a realização de ensaios de verificação da conformidade *in situ* e em laboratório, com vista a assegurar que os materiais instalados correspondem aos produtos efectivamente aprovados e que as suas propriedades

satisfazem as especificações de projectos e, no caso dos geossintéticos, os valores indicados nas correspondentes Fichas Técnicas.

Descrevem-se sucintamente, nesta comunicação, os Planos de Avaliação da Qualidade da Construção implementados na construção dos aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU), designadamente a partir do ano 2000. Apresentam-se, igualmente, alguns aspectos observados nos projectos e na prática construtiva que se considera poderem ser melhorados, de forma a garantir um melhor desempenho destas infra-estruturas.

## **2. PLANOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA CONSTRUÇÃO (PAQC)**

### **2.1 Descrição**

O Plano de Avaliação da Qualidade da Construção (PAQC) é um documento que tem por objectivo assegurar que os materiais e técnicas construtivas empregues na construção cumprem o especificado no projecto. Resumidamente, este documento define as responsabilidades dos vários intervenientes na construção dos aterros de RSU (dono de obra, projectista, empreiteiro, instalador de geossintéticos, fiscalização e o LNEC), indica os relatórios a elaborar que evidenciem a qualidade de construção (relatórios diários, mensais, finais, e relatórios sobre modificações ao projecto), orienta o plano de ensaios (amostragem, tipo e frequência de ensaios), e apresenta as actividades de avaliação da qualidade da construção (AQC) para os diferentes materiais e componentes da obra.

De especial importância, no caso dos aterros de resíduos, são as actividades de AQC para os geossintéticos, entre as quais se incluem aspectos tais como: identificação e verificação do empacotamento dos rolos de geossintéticos; supervisão dos procedimentos de transporte, manuseamento e armazenamento; verificação de que os materiais recebidos correspondem aos produtos efectivamente aprovados e de que as suas propriedades satisfazem as especificações de projecto e os valores indicados nas correspondentes fichas técnicas, mediante a revisão dos documentos de controlo de qualidade de fabrico fornecidos pelo produtor/instalador de geossintéticos e pela realização de ensaios de verificação da conformidade (ensaios de recepção dos produtos); e supervisão da colocação dos diferentes geossintéticos.

### **2.2 Participação do LNEC nos PAQC**

As tarefas a cargo do LNEC, no âmbito dos PAQC correspondentes aos aterros de RSU multimunicipais construídos nos últimos anos em Portugal, incluíram acções prévias de preparação do controlo de qualidade da construção dos aterros de resíduos, a assistência em obra durante a construção dos aterros de resíduos e a assistência em laboratório. Estas actividades tiveram por objectivo assegurar a qualidade nas operações de manuseamento, armazenamento e aplicação dos geossintéticos, bem como das eventuais reparações dos mesmos após a sua aplicação.

Relativamente às acções prévias de preparação do controlo de qualidade, é de destacar a elaboração do próprio PAQC, tendo em conta as especificações e soluções construtivas constantes do projecto de execução de cada aterro, as características do local e o prazo de execução; e a realização de acções de sensibilização aos intervenientes na execução e no controlo da qualidade da construção, nomeadamente no que se refere aos aspectos técnicos relativos à manipulação e integridade dos geossintéticos, prestando a devida atenção à importância das funções que desempenham neste tipo de infra-estruturas.

No que diz respeito à assistência em obra prestada pelo LNEC durante a construção salienta-se o apoio técnico aos donos de obra e fiscalizações na implementação do PAQC e, para as geomembranas enquanto elemento fundamental no confinamento dos aterros, o estudo da qualidade das juntas de ligação entre os seus painéis. Este segundo aspecto compreendeu a análise dos resultados dos ensaios não-destrutivos de auto-controlo do instalador, para verificação da estanqueidade das juntas, nomeadamente os ensaios de pressão (*cf. air pressure test*), de vácuo (*cf. vacuum test*) e de centelha eléctrica (*cf. spark test*), e a realização de ensaios destrutivos, de arranque (*cf. peel test*) e de corte (*cf. shear test*), *in situ* e em laboratório, para avaliar a resistência mecânica das juntas.

Quanto à assistência em laboratório, o LNEC procedeu à realização de ensaios de verificação da conformidade (ensaios de recepção) de solos e geossintéticos solicitados pelos diferentes donos de obra durante a fase de construção dos aterros. No caso dos geossintéticos, estes ensaios são de grande importância para a confirmação das características dos materiais fornecidos para a aplicação.

### **2.3 Vantagens da implementação dos PAQC**

As vantagens associadas à implementação de PAQCs em aterros de resíduos podem ser ilustradas através da análise do volume de lixiviado que atravessa o sistema de confinamento ao longo do tempo devido a danos na geomembrana. Em aterros de resíduos com sistema de confinamento duplo é possível proceder à recolha dos lixiviados que atingem a camada drenante localizada abaixo da geomembrana superior (camada também conhecida na literatura por sistema detecção de fugas). Estudos conduzidos por Bonaparte & Gross [3] e a USEPA [11] em vários aterros de resíduos com sistema de confinamento duplo, localizados nos EUA, mostraram que, nos aterros em que um PAQC tinha sido implementado, 40% dos mesmos apresentavam caudais, no sistema de detecção de fugas, inferiores a 50 l/ha/dia, 80%, inferiores a 200 l/ha/dia, e todos, inferiores a 1000 l/ha/dia. Pelo contrário, 70% dos aterros construídos sem o referido plano apresentaram caudais superiores a 1000 l/ha/dia, pelo que estes autores recomendaram utilização de planos de avaliação da qualidade da construção durante a construção de todos os aterros de resíduos. Mais recentemente, a USEPA [13] recolheu e analisou a informação disponível na literatura sobre este assunto, tendo concluído que, nos aterros de resíduos em que o PAQC foi adoptado, os caudais recolhidos através do sistema de detecção de fugas foi sempre inferior a 200 l/ha/dia, e raramente superior a 1000 l/ha/dia, sendo estes caudais bastante superiores nos aterros em que o plano não foi implementado.

Os benefícios da implementação do PAQC são também relatados por vários autores que referem que a densidade dos defeitos (número de defeitos por unidade de área) na geomembrana é inferior nos aterros de resíduos em que PAQC foi seguido.

## **3. ASPECTOS PROBLEMÁTICOS RELATIVOS AOS GEOSSINTÉTICOS E SUGESTÕES PARA A SUA CORRECÇÃO**

### **3.1 Especificações de projecto**

No âmbito da assessoria técnica levada a cabo pelo LNEC durante a construção das infra-estruturas para os aterros mais recentes de resíduos sólidos urbanos multimunicipais, verificou-se que, com frequência, os projectos não incluíam, ou eram incompletas, tabelas de especificações técnicas com os valores, mínimos ou máximos, admissíveis para as diferentes propriedades dos geossintéticos, considerando as funções e as solicitações previstas para os mesmos em serviço. Estas tabelas são imprescindíveis para a selecção dos geossintéticos entre

os vários disponíveis comercialmente, através da verificação da adequação das características dos vários produtos, apresentadas geralmente através de Fichas Técnicas, para cada obra.

Observou-se também que o projecto não especificava o modo colocação, união e reparação dos diferentes geossintéticos, aspectos que, pela sua importância, devem igualmente ser especificados de acordo com as características dos diferentes materiais.

As tabelas de especificações devem indicar claramente as normas de ensaio consideradas para caracterizar as propriedades dos materiais em função do dimensionamento realizado. A este propósito, importa recordar que existe já um grande número de normas europeias aprovadas para a determinação das propriedades dos geossintéticos (ver Quadro 1), e que Portugal, enquanto membro do Comité Europeu de Normalização (CEN), é obrigado a usar normas europeias, sempre que as mesmas existam.

Quadro 1 – Algumas normas europeias para geotêxteis e produtos afins

Ensaio	Norma europeia
Massa surfácica	EN 965
Espessura	EN 964
Tracção/extensão	EN ISO 10319
Punçoamento estático (CBR)	EN ISO 12236
Punçoamento dinâmico ( <i>cone drop</i> )	EN 918
Porometria ( $O_{90}$ )	EN ISO 12956
Permeabilidade à água no plano (horizontal)	EN ISO 12958
Permeabilidade à água normal ao plano (vertical)	EN ISO 11058

### 3.2 Entrega de documentos de comprovação da conformidade

Em boa prática construtiva, após a recepção dos geossintéticos em obra, antes da sua colocação, a fiscalização deve verificar se os materiais recebidos correspondem aos produtos efectivamente aprovados, se as propriedades dos diferentes produtos cumprem as especificações de projecto, e se foram enviados os correspondentes documentos de comprovação da conformidade de acordo com o sistema de certificação da conformidade adoptado pelo fabricante. Deve igualmente proceder à análise das guias de remessa e transporte dos diferentes geossintéticos e verificar se a identificação individual de cada rolo fornecido está de acordo com a identificação marcada nas etiquetas e com a transmitida pelo fabricante para o escritório da obra.

Apesar da importância óbvia deste tipo de verificações, a entrega em obra dos rolos de geossintéticos nem sempre é acompanhada de todos os documentos necessários à realização das tarefas mencionadas. Particularmente significativos são os atrasos relativos aos documentos de comprovação da conformidade.

Para se entender quais os documentos de comprovação da conformidade para os geossintéticos, convém conhecer-se o Sistema de Certificação de Conformidade adoptado pelo produtor dos mesmos, os quais são definidos na Directiva Europeia relativa aos produtos de construção (Directiva 89/106/CEE). O controlo de geotêxteis e produtos afins faz-se de acordo com o Sistema 2+, o que na prática significa que estes produtos são controlados tanto pelo fabricante como por um organismo de certificação independente. Neste contexto, as atribuições do fabricante são o controlo de produção em fábrica (CPF), a realização de ensaios iniciais do produto e, eventualmente, a realização de ensaios complementares sobre amostras colhidas segundo o plano de ensaios pré-estabelecido. A cargo da entidade independente fica a certificação do controlo de produção da fábrica com base na inspecção inicial da fábrica e do CPF e no acompanhamento, avaliação e aprovação permanentes do CPF.

Assim, o fornecimento de geossintético deve ser acompanhado dos seguintes documentos: programa de controlo de produção na fábrica, indicando o procedimento de amostragem, tipo de ensaios, frequências e normas de ensaio; certificado com os resultados dos ensaios de controlo de qualidade da produção em fábrica para os produtos fornecidos; e certificado de controlo de produção da fábrica, emitido por um organismo de certificação independente. Para além destes documentos de comprovação da conformidade, devem também ser enviadas as correspondentes guias de remessa, guias de transporte e Fichas Técnicas que incluam as normas de ensaios utilizadas para caracterizar as diferentes propriedades dos materiais (normas europeias, sempre que existentes). A entrega atempada de todos os documentos mencionados é de suma importância, para a correcção de eventuais não-conformidade antes da instalação dos materiais.

### 3.3 Critérios de aceitação das juntas de geomembrana de PEAD

As juntas são locais vulneráveis devido às solicitações térmicas e mecânicas a que estiveram sujeitas durante o processo de união dos painéis, pelo que é necessário proceder ao controlo da sua estanqueidade e da sua resistência mecânica. Esse controlo é feito mediante a realização de ensaios, sendo necessário definir previamente os critérios de aceitação das mesmas. Nos aterros de resíduos recentemente acompanhados pelo LNEC, verificou-se, porém, que o projecto era, de um modo geral, omissivo no que diz respeito a esses critérios. Seguidamente apresentam-se critérios de aceitação recomendáveis para juntas de geomembranas de PEAD.

#### a) Resistência mecânica

A aceitação das juntas em termos de resistência mecânica faz-se a partir dos resultados dos ensaios destrutivos de arranque e de corte, realizados sobre juntas seleccionadas aleatoriamente, de acordo com a frequência especificada no projecto. A análise dos resultados dos ensaios deve compreender os seguintes aspectos: a resistência ao corte, extensão (geralmente na rotura), no ensaio de corte e resistência ao arranque e tipo de rotura (incluindo a percentagem de descolagem admissível relativamente à área total de selagem), no ensaio de arranque. No Quadro 2, resumem-se os critérios de aceitação das juntas (dupla soldadura por fusão) propostos por diferentes autores para geomembranas de PEAD.

Quadro 2 - Critérios de aceitação das juntas de PEAD em termos de resistência mecânica

		Haxo & Kamp [4]	USEPA [12]	Peggs [6]		Koerner [5]	
				Soldadura excelente	Soldadura boa		
Ensaio	Corte	Resistência ao corte relativamente ao valor da tensão de cedência da geomembrana	> 90-110%	> 95 %	> 95%	> 90%	> 90-100 %
		Extensão na cedência	> 10%	-	-	-	-
		Extensão na rotura	> 50%	-	> 500%	> 100%	-
Ensaio	Arranque*	Resistência ao arranque relativamente ao valor da tensão de cedência da geomembrana	> 60-70%	> 62 %	> 80%	> 70%	> 50-80 %
		Descolagem admissível	0 %	0 %	0 %	< 10%	0%

\* aplicável a ambas as soldaduras

Relativamente às soldaduras por extrusão, admissíveis apenas nos locais onde não é possível realizar a dupla soldadura por fusão, por exemplo, em pequenos remendos ou onde as tubagens

atravessam o sistema de confinamento, devem realizar-se ensaios de arranque, em amostras experimentais, para avaliar se o equipamento foi devidamente regulado, se o operador evidencia qualificações adequadas à realização deste tipo de soldaduras, e se as soldaduras estão conformes com os critérios de aceitação estabelecidos no projecto. Para estas soldaduras recomenda-se que a resistência ao arranque requerida seja semelhante à especificada para as soldaduras por fusão.

Tal como foi anteriormente referido, a frequência e a norma de ensaio devem também ser especificadas em projecto. Na ausência das mesmas, recomenda-se, no mínimo, a realização de um ensaio por cada quinhentos metros lineares de soldadura, frequência que pode ser revista em função dos resultados obtidos nos primeiros ensaios. Relativamente à norma de ensaio, para as geomembranas de polietileno de alta densidade, enquanto não estiver definitivamente aprovada a norma europeia, sugere-se a ASTM D 4437 [1], de acordo com recomendações da USEPA [12].

### b) Estanqueidade

A estanqueidade é, por sua vez, avaliada através de ensaios não destrutivos (ensaios de pressão de ar sobre as soldaduras por fusão e ensaios de vácuo ou ensaios de centelha eléctrica sobre as soldaduras por extrusão), os quais devem ser realizados sobre todas as soldaduras. No Quadro 3 apresentam-se critérios de aceitação recomendados para as juntas.

Quadro 3 - Critérios de aceitação das juntas de PEAD em termos de estanqueidade

Ensaio	Tipo de junta	Critérios de aceitação
Pressão de ar (EPA)	Dupla soldadura por fusão	- pressão: 200-300kPa (2-3 bar); - duração: 5 minutos; - redução de pressão admissível: < 20 kPa (0,2 bar).
Vácuo (EV)	Soldadura por extrusão	- pressão negativa: 35 kPa (0,35 bar); - ausência de bolhas de ar na soldadura, durante 15 segundos.
Centelha eléctrica (spark test)	Soldadura por extrusão	- ausência de faíscas durante a passagem da ponteira do equipamento de ensaio

### 3.4 Realização de soldaduras em condições desaconselhadas

A qualidade das soldaduras está intimamente ligada com a experiência do soldador, com a qualidade do equipamento e com as condições climatéricas existentes durante a operação de soldar. O equipamento de soldar deve estar calibrado e deve ser regulado de acordo com a temperatura ambiente, nomeadamente a temperatura de fusão, a velocidade e a pressão. Nesse sentido, devem realizar-se ensaios de pré-qualificação, em soldaduras experimentais preparadas nas mesmas condições em que se farão as soldaduras no aterro, antes do início dos trabalhos e sempre que ocorra avaria da máquina ou as condições climatéricas se alterem. Só deve iniciar-se a operação de soldar no aterro quando os resultados dos ensaios de pré-qualificação satisfizerem as especificações de projecto.

De um modo geral, a realização de soldaduras é desaconselhável para temperaturas ambientes inferiores a 10°C e superiores a 40°C, sob chuva, nevoeiro ou outras condições de grande humidade, ou sob efeito de vento excessivo. A superfície onde será colocada a geomembrana deve também estar limpa, sem resíduos, gordura ou humidade, e não deve apresentar rugas ou dobras. Nos taludes, é desaconselhada a realização de soldaduras perpendiculares à linha de maior declive. Nos cantos, ou em locais de geometria complicada, deve, também, minimizar-se



o número de soldaduras. Nenhuma soldadura horizontal deve existir a menos de 1,5 m do pé de talude ou em áreas onde sejam previsíveis grandes concentrações de tensões.

### 3.5 Geomembrana em tracção

Outro problema observado com relativa frequência nos aterros de resíduos refere-se a situações de geomembrana em tracção, especialmente nos cantos interiores das células, devido ao facto da geomembrana não se encontrar devidamente apoiada na camada subjacente. A colocação pouco cuidadosa das camadas sobrejacentes, nomeadamente da camada de drenagem mineral do fundo das células, pode também originar tracções na geomembrana. Este aspecto é preocupante porque, para além de poder levar à rotura por tracção da geomembrana por se exceder a resistência da mesma (Figura 1), pode potenciar também o desenvolvimento, a longo prazo, de fissuras de tracção (*stress cracking*) através das quais o lixiviado pode migrar. As fissuras de tracção ocorrem quando a geomembrana está sujeita a uma força de tracção inferior à correspondente tensão de cedência durante longos períodos de tempo, devendo-se a alterações na micro-estrutura do PEAD. A nível micro-estrutural este material é formado por lamelas de moléculas dobradas unidas entre si por ramificações laterais e cílios (fios) de ligação, tal como está ilustrado na Figura 2. Quando a geomembrana está em tracção, os cílios vão-se soltando, originando o afastamento das lamelas e o aparecimento de fissuras (Figura 3).



Figura 1 – Rotura por tracção de uma geomembrana localizada sob um geocompósito drenante

### 3.6 Ancoragem provisória e formação de dobras

Quando o carregamento provisório da geomembrana na vala de ancoragem é insuficiente, origina-se frequentemente o escorregamento da mesma ao longo dos taludes e a formação de dobras no pé do talude. Este problema tinha também sido observado nos aterros multimunicipais de RSU construídos entre 1997 e 1999 [2]. A formação de dobras pode também ocorrer na base do aterro devido à inadequada instalação da geomembrana. Igualmente, a construção, por cima da geomembrana, das camadas de pavimentação das rampas de acesso, bem como os esforços transmitidos à geomembrana pelo trânsito nestas vias pode, também, ser motivo do aparecimento de dobras na mesma (Figura 4).

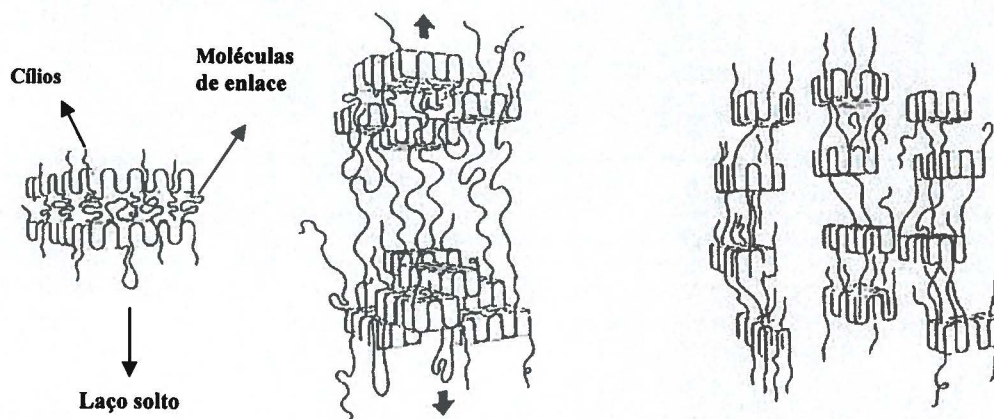


Figura 2– Esquema da micro-estrutura das geomembranas [7]

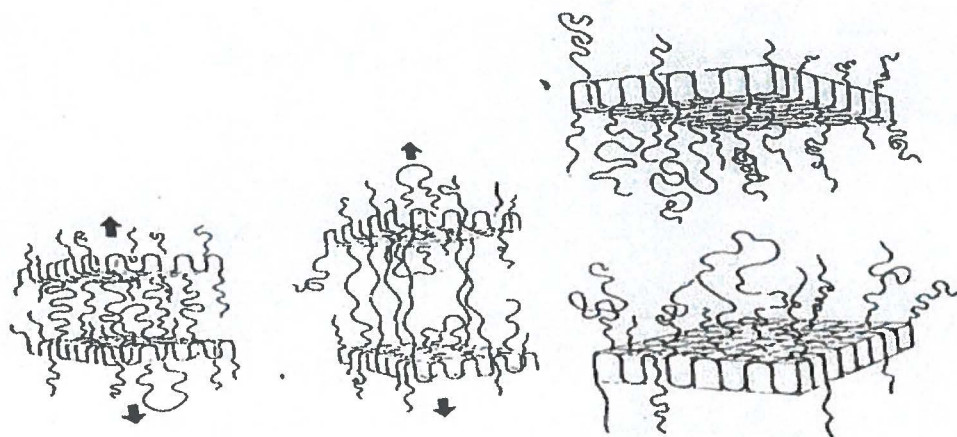


Figura 3 – Esquema da formação das fissuras de tracção [7]

A presença de dobras nas geomembranas levanta vários problemas. Primeiro, induzem tensões na geomembrana, as quais podem provocar a rotura da mesma, quando superiores ao valor de cedência, ou, quando inferiores, podem originar a formação de fissuras de tracção. Segundo, estão associadas ao aumento da potencial contaminação devido à migração de lixiviado através de orifícios, pois quando estes se localizam em dobras o fluxo é substancialmente superior do que quando os orifícios se localizam em locais onde existe um bom contacto entre a geomembrana e a camada subjacente [8], [10].

Outro aspecto pelo qual as dobras são problemáticas prende-se com o desempenho do geossintético bentonítico colocado sob a geomembrana (solução adoptada em todos os aterros multimunicipais de RSU que o LNEC acompanhou). Nos locais onde existem dobras, o geossintético bentonítico pode ficar sujeito a uma tensão confinante reduzida, e a bentonite, hidratada devido ao contacto com a camada subjacente de solo compactada com um teor em água superior acima do óptimo e, portanto, perto da saturação, pode migrar das zonas de maior tensão para as zonas de menor tensão. No limite, o geossintético bentonítico pode localmente ficar com o geotêxtil superior em contacto com o geotêxtil inferior, impossibilitando, nesses locais, o seu desempenho como barreira confinante [9].

Face ao exposto, é fundamental procurar evitar a formação de dobras por meio de uma cuidadosa colocação dos materiais. Contudo, é igualmente importante assegurar que a



eliminação de dobras não seja feita à custa de indução de tensões que deixem a geomembrana em tracção.



Figura 4 – Dobras na geomembrana junto do pavimento das rampas de acesso ao fundo do aterro

### 3.7 Armazenamento e manuseamento inadequado

Verifica-se com frequência que o armazenamento e o manuseamento em obra dos geossintéticos nem sempre são os mais adequados. Na Figura 5 podem observar-se alguns exemplos de armazenamento inadequado.



Figura 5 – Exemplos de armazenamento inadequado de geossintéticos em obra

Os geossintéticos devem sempre ser armazenados em condições que garantam a sua integridade, nomeadamente sobre paletes, evitando o empilhamento de um número excessivo de rolos (inferior a cinco, no caso dos geossintéticos bentoníticos), em locais abrigados e limpos, ou cobertos com um polietileno de espessura superior a  $100\mu\text{m}$ . Caso os rolos apresentem danos, sugere-se que, no mínimo, sejam retiradas as espiras danificadas. O transporte e manuseamento dos materiais deve igualmente ser cuidadoso, não devendo utilizar-se equipamentos com garfos que possam perfurar ou rasgar os geossintéticos.

## 4. CONCLUSÕES

Foram descritas sucintamente, nesta comunicação, as actividades do Laboratório Nacional de Engenharia Civil relacionadas com a implementação de Planos de Avaliação da Qualidade da Construção para os aterros de resíduos sólidos urbanos construídos nos últimos anos em Portugal, designadamente a partir do ano 2000. Salientaram-se as vantagens da implementação dos referidos planos no que diz respeito à redução do volume de lixiviado que atravessa o

sistema de confinamento ao longo do tempo, como consequência de procedimentos mais cuidadosos e sistematizados de construção e de controlo da construção.

Como resultado da experiência obtida na implementação de Planos de Avaliação da Qualidade da Construção, apresentaram-se, igualmente, alguns aspectos relativos aos geossintéticos observados nos projectos e na prática construtiva que se considera poderem ser melhorados, de forma a garantir um melhor desempenho dos sistemas de confinamento destas infra-estruturas a curto e a longo prazo, entre os quais os relativos às especificações de projecto, aos documentos de comprovação da conformidade, às condições de armazenamento e manuseamento dos geossintéticos em obra, e, especialmente, às geomembranas, cuja correcta instalação é fundamental para garantir a sua função como barreira activa nos aterros. Foram referidas, na comunicação, algumas sugestões relativamente simples para corrigir estes aspectos e melhorar a qualidade da construção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASTM D 4437 – Determining the integrity of field seams used in joining flexible polymeric sheet geomembranes, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- [2] Barroso, M. C.P & Lopes, M. G. D. A., Aterros multimunicipais de resíduos: Dimensionamento, instalação e controlo de qualidade dos geossintéticos, VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, Portugal, 10 a 13 de Abril, Vol. 2 (2000), pp 1131-1136.
- [3] Bonaparte, R. & Gross, B. A., Field Behavior of Double-Liner Systems, Waste Containment Systems: Construction, Regulation, and Performance, ASCE Geotechnical Special Publication No. 26, R. Bonaparte, ed., New York (1990), pp. 52-83.
- [4] Haxo, H. E., Jr & Kamp, C. L., Destructive Testing of Geomembranes Seams: Shear and Peel Testing of Seam Strength, in Geotextile and Geomembranes, No. 9 (1990), pp.369-404.
- [5] Koerner, R. M., Designing with Geosynthetics, Prentice-Hall, Inc., 4th edition, NSF 54, 1993, International Standard 54: Flexible membrane liners, National Sanitation Foundation, Ann Arbor, Michigan, USA (1998).
- [6] Peggs, I. D., Testing Program to Assure the Durability of Geomembranes, Landfill of Waste: Barriers, Edited by T.H. Christensen, R. Cossu & R. Stegmann, Chapman & Hall, London, UK (1994), pp.413-429.
- [7] Peggs, I. D., Stress cracking in HDPE geomembranes: what it is and how to avoid it, Geosynthetics Asia'97, 26-29 November (1997), pp. 409-416.
- [8] Rowe, R. K., Geosynthetics and the Minimization of Contaminant Migration through Barrier Systems Beneath Solid Waste, Keynote lecture, Proceedings of 6th International Conference on Geosynthetics, Atlanta, GA, USA, Vol. 1 (1998), pp. 27-103.
- [9] Stark, T.D., Bentonite migration in geosynthetic clay liners: Proceedings of 6th International Conference on Geosynthetics, Atlanta, GA, USA, Vol. 1 (1998), pp. 315-320.
- [10] Touze-Foltz, N., Rowe, R.K. & Duquennoi, C., Liquid Flow Through Composite Liners due to geomembrane Defects: Analytical Solutions for Axi-symmetric and Two-dimensional Problems, Geosynthetics International, Vol. 6., No. 6 (1999), pp. 455-479.
- [11] USEPA, LDCRS Flows from Double-Lined Landfills and Surface Impoundments, EPA/600/SR-93/070, EPA Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH 45268 (1993).
- [12] USEPA, Quality Assurance and Quality Control for Waste Containment Facilities, EPA/600/R-93/182, Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH 45268 (1993).
- [13] USEPA, Assessment and Recommendations for Improving the Performance of Waste Containment Systems, EPA/600/R-02/099, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH 45268 (2002).