

# AVALIAÇÃO LABORATORIAL DA DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS. INFLUÊNCIA DO MATERIAL DE CONFINAMENTO

Geosynthetics damage during installation laboratory study. Influence of the confining material

António Miguel Paula\*

Margarida Pinho-Lopes\*\*

M. Lurdes Lopes\*\*\*

**RESUMO** – O material confinante tem influência relevante na danificação durante a instalação dos geossintéticos. A avaliação da conformidade destes materiais a essa danificação deve seguir as indicações da ENV ISO 10772-1 (1997). O material granular confinante exigido nesta norma é sintético e os resultados obtidos têm-se revelado, em grande parte das situações, muito conservativos. Com o objectivo de contribuir para a definição de uma alternativa a esse material foi desenvolvido um programa de ensaios em que se utilizou dois materiais naturais de confinamento, com características granulométricas idênticas à do actualmente exigido, e diferentes tipos de geossintéticos. Os resultados do estudo são apresentados e analisados, sendo de seguida comparados com os obtidos utilizando o material previsto na ENV ISO 10722-1(1997). Finalmente, são referidas as principais conclusões do estudo.

**ABSTRACT** – The confining material plays a relevant role on geosynthetics damage during installation. The geosynthetics quality control against that damage must follow ENV ISO 10772-1 (1997). The granular material prescribed in that standard is synthetic and its use has been leading to conservative results in large number of cases. In order to contribute to the definition of a different confining material a test program was developed, considering two natural confining materials, with similar grain size as the synthetic one, and different types of geosynthetics. The results of the study are presented and analysed, and then compared with that obtained using the confining material defined on ENV ISO 10772-1 (1997). Finally, the main conclusions are put forward.

## 1 – INTRODUÇÃO

Uma das principais questões que se coloca à utilização dos geossintéticos tem a ver com a sua durabilidade. De facto, as obras que incluem estes materiais requerem segurança e é imprescindível que o geossintético mantenha o valor mínimo exigido para as suas propriedades durante o tempo de serviço da obra.

Entre os vários agentes que afectam o comportamento dos geossintéticos a danificação que podem sofrer durante a construção e instalação em obra é das mais pertinentes, uma vez que é, normalmente, inevitável e pode induzir alterações nas características dos materiais suficientemente importantes para condicionar a sua resposta.

---

\* Mestre em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Assistente do Instituto Politécnico de Bragança. E-mail: mpaula@ipb.pt

\*\* Mestre em Estruturas de Engenharia Civil, Aluna de Doutoramento da FEUP, Assistente da Universidade de Aveiro. E-mail: mlopes@civil.ua.pt

\*\*\* Doutora em Engenharia Civil, Professora Associada da FEUP. E-mail: lcosta@fe.up.pt

Para atender a eventuais alterações da resistência dos geossintéticos por acção de diversos agentes externos e internos, o dimensionamento de estruturas que incluem estes materiais considera factores de redução da resistência devido a acções distintas e não relacionadas, sendo uma delas a danificação durante a instalação.

Embora os ensaios de campo sejam o melhor método de aferir a danificação causada ao geossintético durante a instalação têm a desvantagem de ser muito morosos e caros. Por isso, a alternativa viável consiste em realizar ensaios de laboratório, aferidos por ensaios de campo, que simulem a danificação durante a instalação destes materiais (Greenwood, 1998). Em ambos os casos os geossintéticos danificados são submetidos a ensaios de modo a avaliar a alteração induzida pela danificação na(s) propriedade(s) de referência. De notar, que a(s) propriedade(s) de referência depende(m) da aplicação do geossintético.

Nos últimos anos, a danificação durante a instalação dos geossintéticos tem assumido grande relevância, havendo desde 1997 uma norma Europeia de ensaios (ENV ISO 10722-1) para caracterização da danificação durante a instalação.

Ao longo de sete anos de aplicação desta norma tem-se vindo a concluir que os resultados obtidos são conservativos, em virtude das características do material granular confinante especificado. Por isso, actualmente tem interesse desenvolver estudos com vista à definição de alternativas a esse material.

Com o objectivo de contribuir para esse desiderato desenvolveu-se um programa de ensaios em que se utilizou dois materiais naturais de confinamento com características granulométricas idênticas às do sintético actualmente exigido e diferentes tipos de geossintéticos. Os resultados do estudo são apresentados e analisados, sendo de seguida comparados com os obtidos utilizando o material previsto na ENV ISO 10722-1(1997).

## **2 – PROCESSO DE SIMULAÇÃO DA DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO**

### **2.1 – Referência normativa**

Os procedimentos de simulação da danificação durante a instalação encontram-se descritos na ENV ISO 10722-1 (Geotextiles and geotextile-related products – Procedure for simulating damage during installation – Part 1: Installation in granular material), a qual foi preparada pela Comissão Europeia de Normalização CEN/TC 189 “Geotextiles and geotextile-related products”, em colaboração com Comissão Técnica ISO/TC 38 “Textiles”. De seguida referem-se os procedimentos de ensaio mais relevantes.

O geossintético é colocado entre duas camadas de um agregado sintético e submetido a uma carga dinâmica durante um determinado intervalo de tempo. O agregado sintético (óxido de alumínio) deve cumprir os seguintes requisitos:

- ensaiado de acordo com a prEN 933-1, 100% do material deve passar no peneiro 10mm e 0% deve passar através do peneiro de 5mm de abertura;
- ensaiado de acordo com a prEN 1097-2 o agregado deve ter uma resistência ao desgaste Los Angeles superior a 1,9;
- antes da utilização, há que eliminar todo o material passado através do peneiro com abertura de malha de 5mm; após 10 utilizações há que repetir essa peneiração e subsequente eliminação de material; ao fim de 20 utilizações o material deve ser posto de parte.

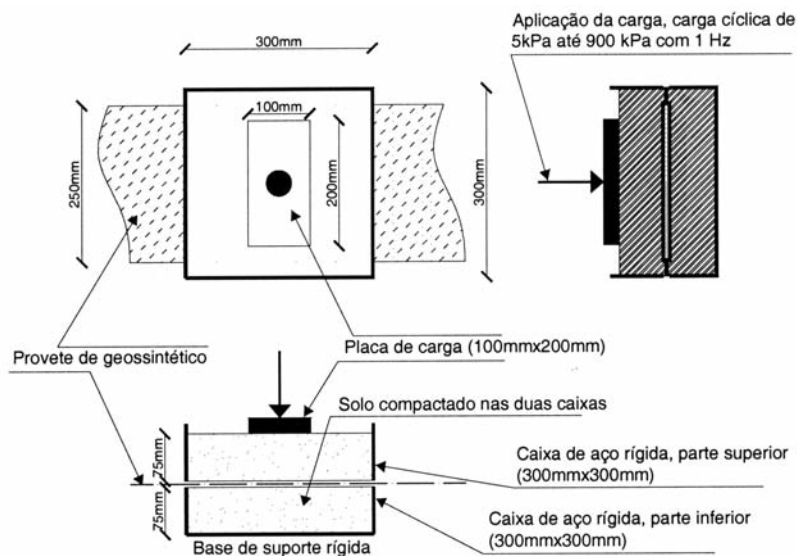
Após a danificação o geossintético é examinado para detecção da danificação visível e seguidamente é submetido a um ensaio mecânico ou hidráulico para avaliação das alterações nas propriedades mecânicas ou hidráulicas, respectivamente.

O resultado é expresso em termos da variação, em percentagem, do valor da propriedade de referência, devendo ser também descrita no relatório do ensaio a danificação visual observada.

Devem ser preparadas seis amostras de geossintético com 1,0m de comprimento por 0,5m de largura (cortados de acordo com o especificado na Norma Europeia EN 963), cada amostra é depois cortada em duas com 1,0m de comprimento e 0,25 de largura, sendo uma delas utilizada no ensaio de danificação laboratorial e a outra no ensaio de referência.

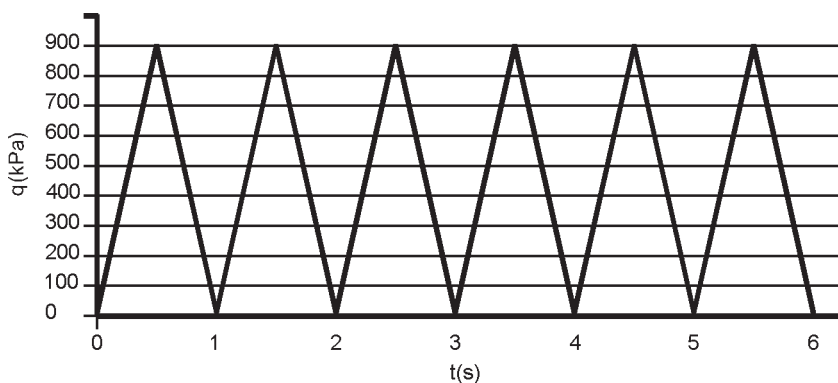
Os provetes a ensaiar devem ser acondicionados e os ensaios devem ser realizados nas condições definidas na norma ISO 554 (para geotêxteis e produtos relacionados  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  de temperatura e  $65\pm 5\%$  de humidade relativa).

Na Figura 1 está representada esquematicamente a caixa de danificação, contendo o provete de geossintético a danificar e o material granular.



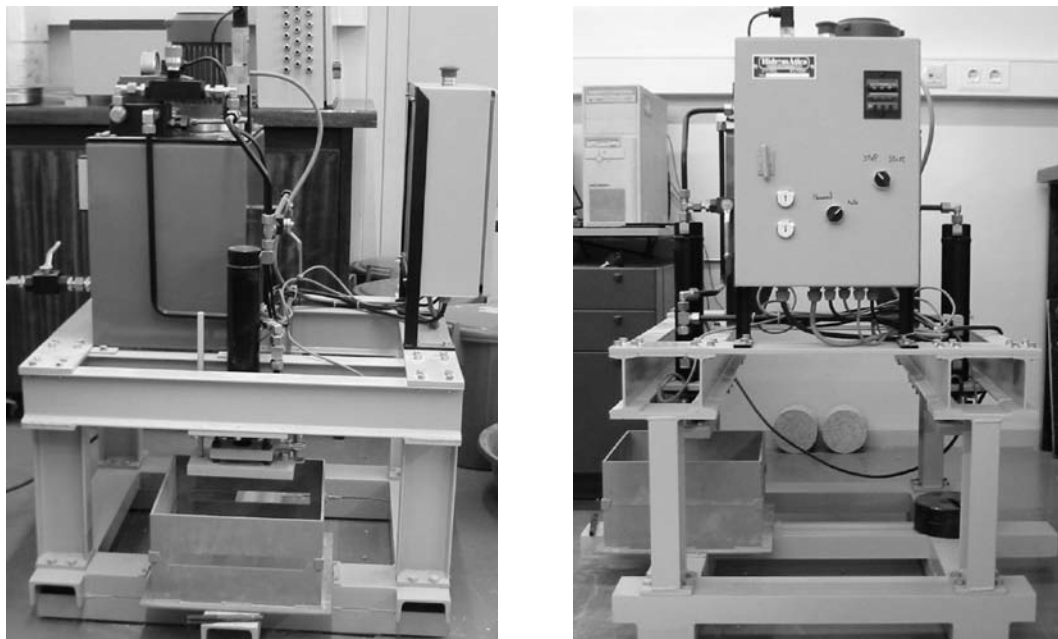
**Fig. 1** – Representação esquemática da caixa de danificação.

Na Figura 2 está ilustrado o carregamento cíclico triangular aplicado (entre  $5\pm 5\text{kPa}$  a  $900\pm 10\text{kPa}$ ), com uma frequência de 1Hz, durante 200 ciclos. A tensão a aplicar é determinada usando a área da placa de carga e não a área total da caixa.



**Fig. 2** – Carregamento (ENV ISO 10722-1).

O equipamento utilizado para a simulação da danificação durante a instalação de geossintéticos em laboratório (ver Figura 3) encontra-se pormenorizadamente descrito em Pinho-Lopes e Lopes (2002).



**Fig. 3** – Vista geral do equipamento de danificação de geossintéticos.

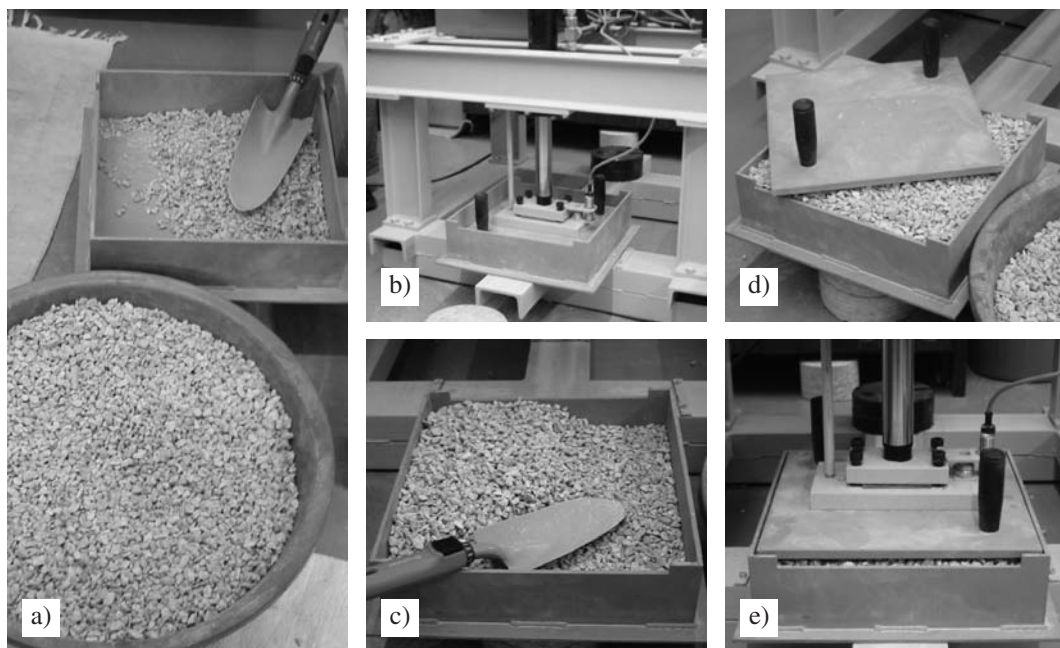
## 2.2 – Procedimento de ensaio

A parte inferior da caixa do equipamento de ensaio de danificação durante a instalação é preenchida com material granular (ver Figura 4) colocado em duas camadas compactadas a uma tensão de  $200 \pm 2 \text{ kPa}$  durante 60 segundos. De seguida, o provete de geossintético a danificar, com 0,25m de largura, é colocado sobre a última camada de solo compactada (Figura 5b), com o centro alinhado com o da caixa, e a parte superior da caixa é posicionada sobre a inferior e fixa por encaixe (Figura 5c). Por fim, a parte superior da caixa de danificação é preenchida com o material granular solto até 75mm de altura (Fig. 6a).

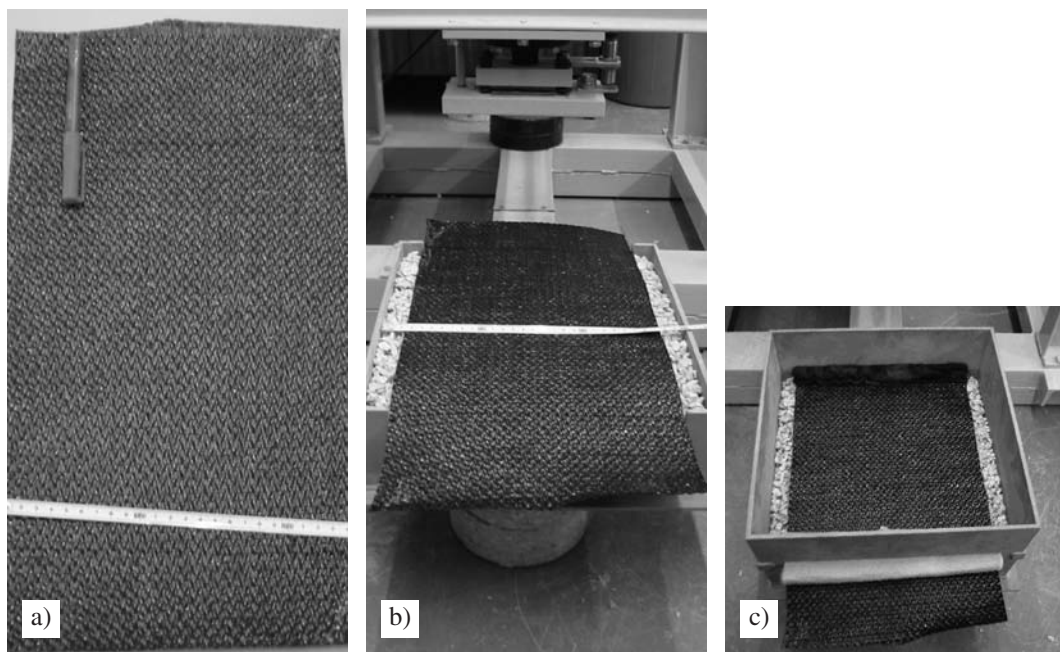
Depois da preparação, a caixa de danificação é colocada na estrutura de aplicação da solicitação centrada com a placa de carga (Fig. 6b). Segue-se a aplicação da carga cíclica triangular (entre  $5 \pm 5 \text{ kPa}$  a  $900 \pm 10 \text{ kPa}$ ) com frequência de 1Hz, durante 200 ciclos (Figura 6c), definida considerando a área da placa de carga.

No fim do ensaio o provete é retirado cuidadosamente, assegurando a inexistência de danificação adicional durante esta operação (Figura 7). Em seguida é examinado para detecção da danificação macroscópica e submetido ao ensaio de referência, para avaliação da alteração da propriedade considerada. O resultado é expresso em termos de variação, em percentagem, do valor dessa propriedade.

Neste trabalho, a propriedade de referência adoptada é a resistência à tracção, sendo o ensaio de referência o de tracção-extensão realizado de acordo com a EN ISO 10319 (Geotêxteis – Ensaio de tracção em tiras largas).

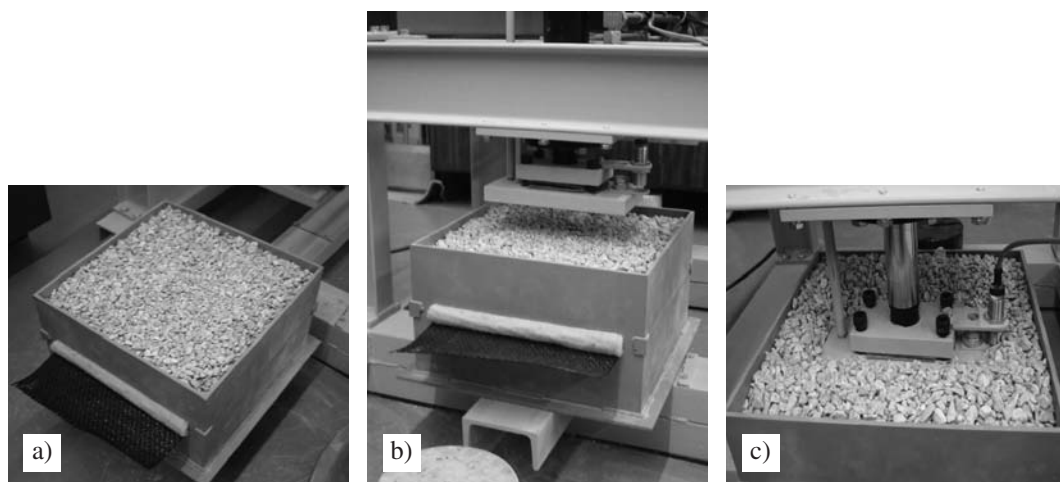


**Fig. 4** – Enchimento da caixa inferior: a) colocação da 1.<sup>a</sup> camada; b) compactação da 1.<sup>a</sup> camada; c) colocação da 2.<sup>a</sup> camada; d) e e) compactação da segunda camada.

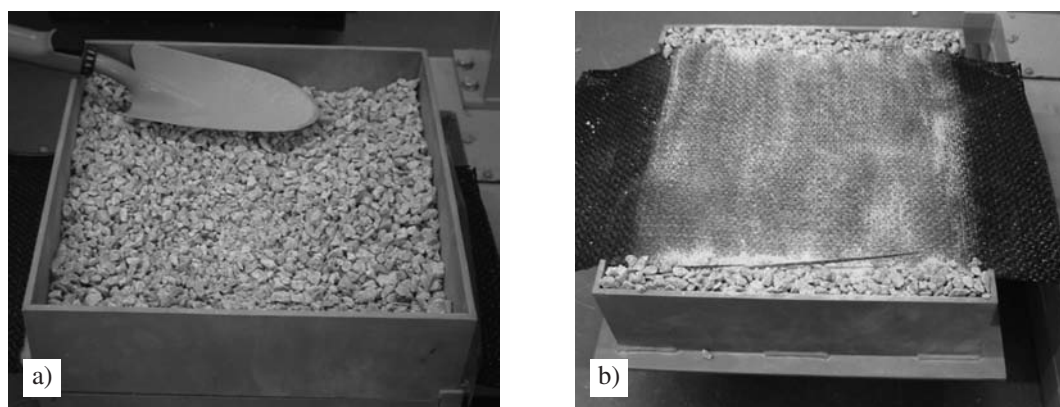


**Fig. 5** – Provete de geossintético; a) dimensões; b) posição do provete na caixa inferior; c) colocação da caixa superior.





**Fig. 6** – Caixa de danificação: a) enchimento da caixa superior; b) posição da caixa de danificação; c) aplicação da carga cíclica.



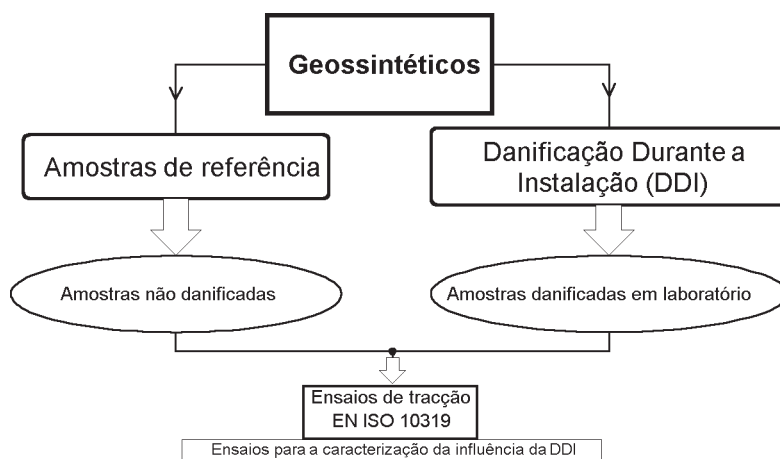
**Fig. 7** – Extracção do provete de geossintético.

### 3 – ENSAIOS REALIZADOS E RESULTADOS

#### 3.1 – Programa de ensaios e materiais

O principal objectivo do programa de ensaios desenvolvido (Figura 8) foi o esclarecimento do fenómeno da danificação durante a instalação de geossintéticos através da consideração de diferentes tipos de geossintéticos e de materiais confinantes. Adicionalmente, procurou-se obter informação para contribuir para a selecção do tipo de material granular mais adequado a utilizar nos ensaios laboratoriais de danificação, uma vez que tal constitui um dos objectivos actuais da Comissão Europeia de Normalização de geossintéticos.

Como já foi dito, o programa de ensaios considerou como propriedade de referência a resistência à tracção a curto prazo, avaliada de acordo com a EN ISO 10319 (1996), tendo essa propriedade sido definida para o geossintético de referência (intacto) e para o material danificado apenas na direcção de fabrico.



**Fig. 8** – Programa de ensaios.

Foram considerados 5 geossintéticos diferentes (ver Quadro 1) e dois materiais de confinamento (ver Quadro 2).

**Quadro 1** – Materiais de confinamento.

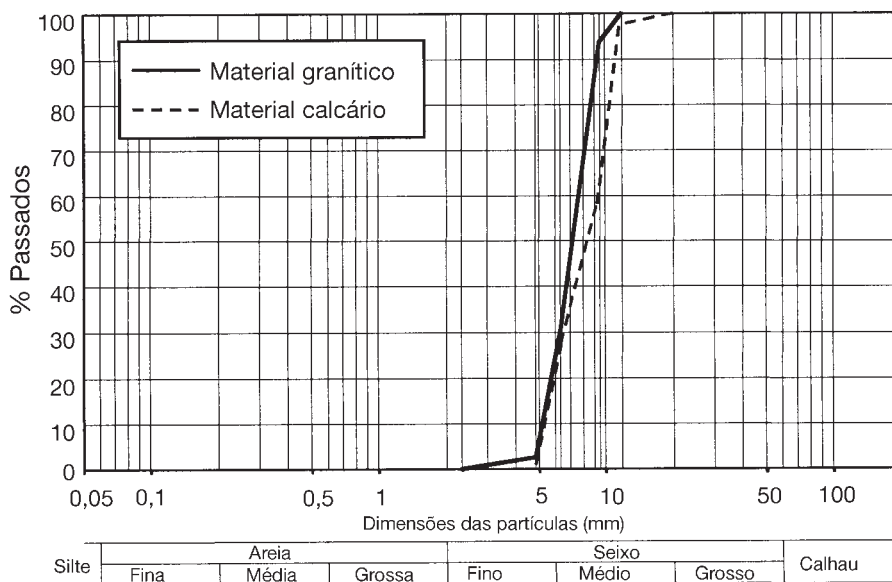
Material N.º			Resistência à Tração kN/m DM	Deformação na Ruptura (%)
1	GGeu	Geogrelha extrudida uniaxial em HDPE	57,36	13,83
2	GGeb	Geogrelha extrudida biaxial em PP	45,91	14,83
3	GGtb	Geogrelha tecida biaxial em PE	60,14	21,07
4	GTnt	Geotêxtil não tecido em PP (800 g/m²)	50,11	111,94
5	GTt	Geotêxtil tecido em PP (320 g/m²)	68,97	14,89

**Quadro 2** – Materiais de confinamento.

Material granular	Origem petrográfica	Gama de dimensões (mm)	LA (%)
1	Granítico	4,75 – 12,50	28,0
2	Calcário	4,75 – 19,00	19,3

Os materiais de confinamento são, ao contrário do que acontece com o indicado na ENV ISO 10722-1, materiais granulares naturais com a mesma gama de diâmetros do agregado sintético (Figura 9). Diferem entre si na origem petrográfica e no valor da resistência ao desgaste Los Angeles.

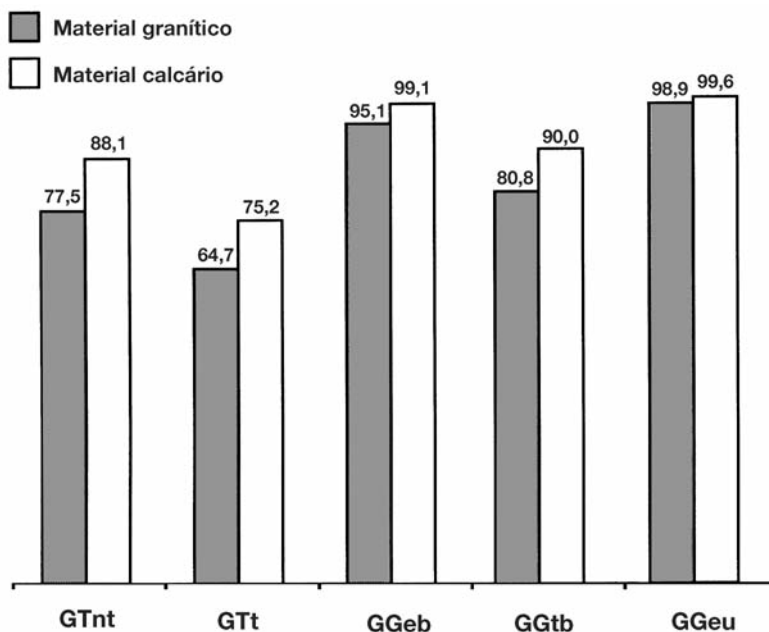
Para diminuir o efeito do desgaste e do esmagamento do material, procedeu-se à sua peneiração e eliminação dos passados no peneiro com abertura de malha 4,75mm, após 5 utilizações. O material foi posto de parte após 30 utilizações.



**Fig. 9** – Curvas granulométricas dos materiais granulares de confinamento.

### 3.2 – Análise dos resultados

Os resultados dos ensaios de tracção das amostras danificadas laboratorialmente são apresentados na Figura 10 em termos de resistência retida (quando comparada com o valor correspondente para as amostras intactas) e no Quadro 3.



**Fig. 10** – Resistência retida (em %) nos geossintéticos danificados em laboratório.



**Quadro 3** – Resultados dos ensaios de tracção (EN ISO 10319) realizados sobre as amostras intactas e sobre as amostras danificadas laboratorialmente.

Ensaio de tracção (EN ISO 10319)	Amostras de referência		Amostras danificadas em laboratório					
	Força máxima		Solo granítico			Solo calcário		
			Força máxima			Força máxima		
Material	Média (kN/m)	Coef. de variação (%)	Média (kN/m)	Coef. de variação (%)	Resist. retida (%)	Média (kN/m)	Coef. de variação (%)	Resist. retida (%)
GTnt	50,11	5,3	38,85	9,4	77,53	44,16	3,0	88,13
GTt	68,97	2,1	44,63	4,2	64,71	51,88	3,8	75,22
GGeb	45,91	1,5	43,67	2,9	95,12	45,51	2,0	99,13
GGtb	60,14	5,7	53,35	7,4	80,77	59,43	2,7	89,98
GGeu	57,36	1,3	56,74	1,5	98,92	57,13	2,1	99,60

GTnt = geotêxtil não tecido; GTt = geotêxtil tecido; GGeb = geogrelha extrudida biaxial; GGtb = geogrelha tecida biaxial; GGeu = geogrelha extrudida uniaxial.

De uma forma geral verifica-se que os geossintéticos danificados com o material granítico apresentam valores de resistência retida menores do que quando são danificados com o material calcário.

A resistência retida nas geogrelhas é elevada. A geogrelha tecida (GGtb) é a que apresenta menor resistência (isto é, maior sensibilidade à danificação durante a instalação). Quando o material confinante é granítico esta geogrelha apresenta o valor mínimo de resistência retida (80,8%), aumentando o valor do parâmetro cerca de 10% quando o geossintético é danificado em contacto com o material calcário.

A geogrelha extrudida uniaxial (GGeu) sofre reduções de resistência insignificantes, seja qual for o material confinante durante a danificação.

Os dois geotêxteis apresentam valores de resistência retida mais baixos do que as geogrelhas, o que traduz uma maior sensibilidade das estruturas tecidas e não tecidas dos geotêxteis à danificação durante a instalação. Tal como para as geogrelhas a danificação resultante do confinamento com material granítico é maior (cerca de 12% e 14%, respectivamente para os geotêxteis tecidos e não tecidos) do que quando o material confinante é calcário.

A menor resistência retida no geotêxtil tecido deve-se, por um lado, à estrutura do material (distribuição regular de poros resultante do cruzamento das componentes na direcção de fabrico e perpendicular a esta) e, por outro, à menor massa por unidade de área e espessura deste geotêxtil. Com efeito, as menores massa por unidade de área e espessura facilitam a danificação, ou mesmo a rotura, de componentes nas direcções de fabrico e perpendicular a esta. As componentes danificadas deixam de poder suportar a mesma solicitação, dando-se a transferência desta para as componentes mais próximas que progressivamente se vão danificando ou, mesmo, rompendo. Assim, pode-se dizer que, para resistências nominais idênticas, os geotêxteis tecidos são mais sensíveis à danificação durante a instalação do que os não tecidos.

Na Figura 11 é apresentado o coeficiente de variação da resistência à tracção dos geossintéticos de referência e danificados. Constata-se uma grande dispersão nos valores do coeficiente de variação, o que atendendo a que todos os geossintéticos foram danificados nas mesmas condições, com cada um dos materiais confinantes, significa que os diferentes geossintéticos respondem com mecanismos de danificação distintos (Pinho-Lopes, 2001).

O coeficiente de variação dos geossintéticos danificados com o material granítico é, em geral, maior do que o dos geossintéticos de referência e o dos danificados com o material calcário.

A Figura 12 mostra as curvas tracção-extensão das geogrelhas intactas e danificadas com os materiais calcário e granítico. Observa-se que a danificação provoca pouca variação na rigidez das geogrelhas e que o comportamento tracção-extensão das geogrelhas danificadas confinadas pelo material calcário se encontra entre o das geogrelhas intactas e danificadas com o material granítico.

A extensão na rotura da geogrelha extrudida uniaxial (GGeu) danificada diminui significativamente (anulando-se o comportamento elásto-plástico da geogrelha intacta), passando o material a ter um comportamento mais próximo do das outras duas geogrelhas. Como já foi referido anteriormente, a alteração mais significativa na resistência à tracção dá-se na geogrelha tecida danificada (-19,2% do que a do material intacto), provavelmente devido à maior susceptibilidade à danificação das juntas deste material. Com efeito, enquanto nesta geogrelha as juntas são tecidas, nas outras duas geogrelhas as juntas são integrais, isto é mais rígidas e resistentes.

Do mesmo modo que para as geogrelhas, observa-se que o comportamento tracção-extensão dos geotêxteis danificados com o material calcário se encontra entre os correspondentes aos materiais intactos e danificados com o solo granítico (Figura 13). O geotêxtil tecido apresenta uma pequena redução da rigidez quando danificado, associado à redução da resistência e deformação na rotura. As médias da resistência e da extensão na rotura do material danificado são, respectivamente, cerca de 35,3% e 26,2% menores do que quando intacto. O geotêxtil não tecido danificado torna-se mais deformável, mantendo-se praticamente inalterada a extensão na rotura e diminuindo a resistência. Perante o exposto, torna-se claro que estruturas distintas de geotêxteis reagem à danificação durante a instalação de forma diferente.

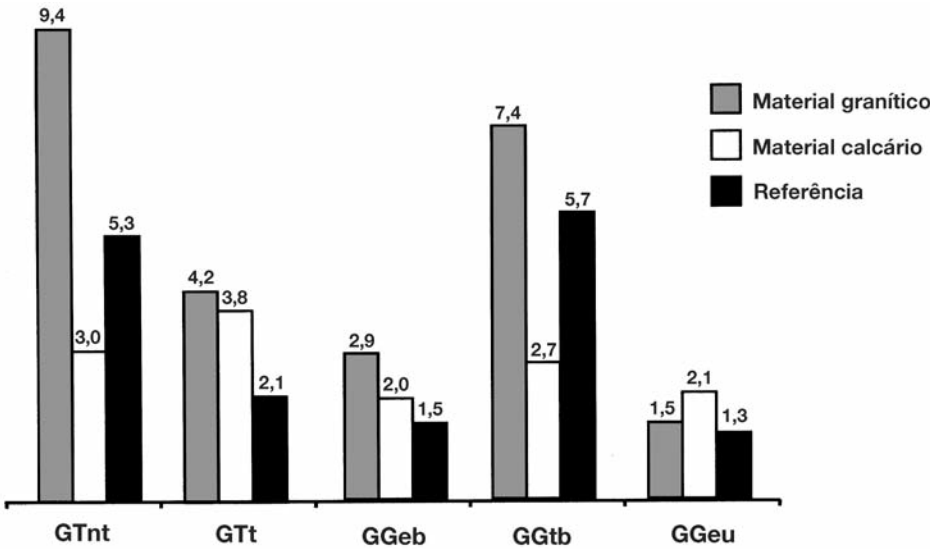
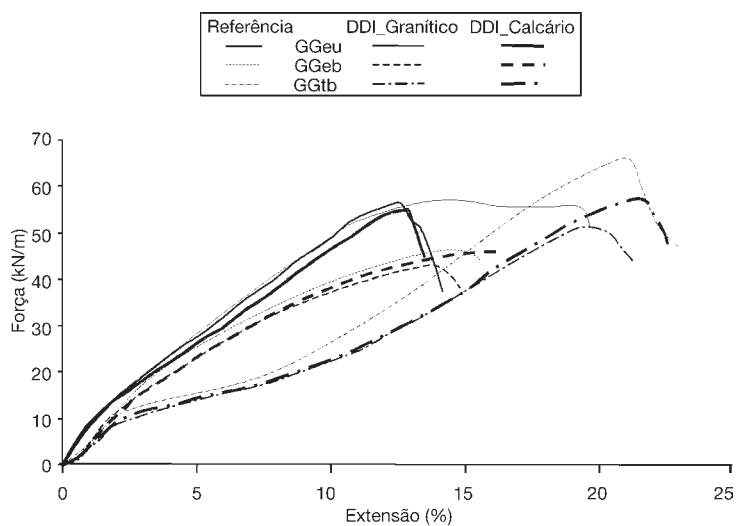


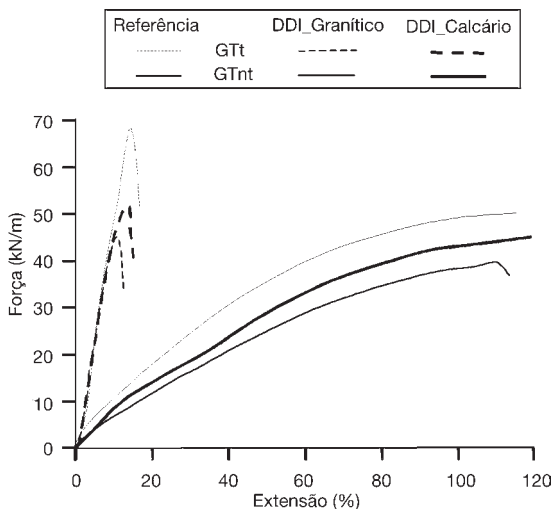
Fig. 11 – Coeficiente de variação (em %) da resistência à tracção dos geossintéticos.

Dos geossintéticos considerados no estudo, os geotêxteis foram os que evidenciaram maior susceptibilidade à danificação durante a instalação, sendo a redução da resistência à tracção em consequência dessa danificação da ordem dos 30% a 40% com o material confinante granítico.

O estudo da influência do material confinante na danificação durante a instalação de geossintéticos tornou clara a maior agressividade do material granítico, sendo esta devida às maiores irregularidade e angulosidade das partículas deste material em relação às do calcário.



**Fig. 12** – Curvas tracção-extensão das geogrelhas de referência e danificadas com os materiais granítico e calcário.



**Fig. 13** – Curvas tracção-extensão dos geotêxteis de referência e danificados com os materiais granítico e calcário.

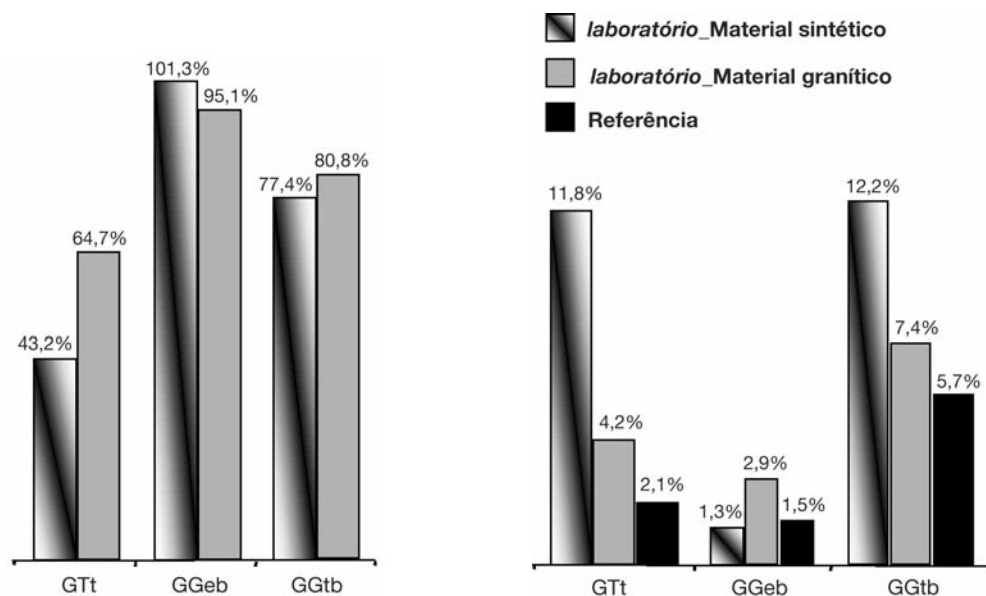
Se, seguindo a ENV ISO 10722-1, se atender não só à distribuição granulométrica do material confinante, mas também ao valor da resistência ao desgaste Los Angeles deste, poder-se-ia, com base no valor deste último parâmetro (ver Tabela 2), ser-se levado a concluir erradamente que o material calcário induziria maior danificação nos geossintéticos, uma vez que apresenta menor desgaste à abrasão. Porém, tal não acontece sobrepondo-se a origem petrográfica do material (como condicionante das características da superfície das partículas) ao valor do parâmetro Los Angeles. Assim, é possível afirmar que a resistência ao desgaste Los Angeles carece de significado quando o material confinante dos geossintéticos é um material natural.

## 4 – MATERIAIS GRANULARES NATURAIS E SINTÉTICO - ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

À exceção do material confinante, o trabalho experimental desenvolvido seguiu os procedimentos descritos na ENV ISO 10772-1. Por isso, entendeu-se de interesse comparar alguns dos resultados deste estudo com os obtidos utilizando o material granular sintético indicado na norma Europeia. Seleccionaram-se três geossintéticos (o geotêxtil tecido (GTt); a geogrelha tecida biaxial (GGtb) e a geogrelha extrudida biaxial (GGeb)) e optou-se por comparar apenas os resultados obtidos com o material granular granítico, por ser este o que induz maior danificação nos geossintéticos.

A Figura 14a compara as resistências retidas nos três geossintéticos considerados confinados pelo material sintético (corundum) e pelo material granítico. A figura mostra que o geotêxtil e a geogrelha tecida são mais danificados pelo corundum, sendo essa danificação mais gravosa no geotêxtil. Neste material o coeficiente parcial de segurança a aplicar à resistência à tracção do material intacto é de 1,55, quando o material confinante é granítico, e 2,31, quando o material granular envolvente é sintético.

Os geossintéticos com estruturas mais deformáveis (geotêxtil e geogrelha tecida) são mais danificados pelo material granular sintético confinante, ao mesmo tempo que é para estes geossintéticos e material confinante que se observam os valores mais elevados do coeficiente de variação da resistência à tracção (Figura 14b), denunciando a maior gama de valores da resistência obtidos nos ensaios de controlo da danificação.



**Fig. 14** – Danificação durante a instalação de geossintéticos: a) resistência retida; b) coeficiente de variação.

## 5 – CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se laboratorialmente a danificação de geossintéticos durante a instalação, de modo a quantificar a influência do tipo de solo de confinamento em diferentes estruturas de geossintético.

Posteriormente, realizou-se uma análise comparativa da danificação durante a instalação de três geossintéticos estudados com resultados dos mesmos materiais danificados em laboratório

confinados com o material granular sintético indicado presentemente na ENV 10772-1, enquanto norma de ensaio de conformidade.

A caracterização da danificação causada ao material foi avaliada através do comportamento tracção-extensão a curto prazo dos geossintéticos.

Com base nos resultados obtidos é possível formular as seguintes conclusões:

- dos geossintéticos considerados, os geotêxteis foram os que revelaram maior susceptibilidade à danificação durante a instalação, em particular os geotêxteis tecidos;
- a danificação durante a instalação altera o comportamento tracção-extensão dos geossintéticos, tanto mais quanto maior for o grau de danificação induzida;
- quando o material confinante é natural a petrografia deste assume papel relevante na danificação induzida aos geossintéticos, visto que ela condiciona a angulosidade dos grãos resultantes da britagem;
- a consideração do valor de resistência ao desgaste Los Angeles carece de significado quando o material granular confinante é natural;
- a danificação durante a instalação dos geossintéticos simulada em laboratório é maior quando o material confinante é o material granular sintético previsto actualmente na ENV 10772-1;
- o estudo comparativo efectuado realça a importância do desenvolvimento de investigação no sentido de definir o material granular confinante a utilizar nos ensaios de laboratório que melhor simule a danificação durante a instalação dos geossintéticos em obras reais, dado que é impraticável, por razões económicas e de tempo, executar aterros experimentais para definição do coeficiente de segurança parcial a aplicar ao geossintético no dimensionamento da estrutura onde ele se insere.

## **6 – AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), POCTI e FEDER (projecto de investigação: POCTI/ECM/42822/2001) e do Instituto de Estradas de Portugal (IEP) através do protocolo IEP/FEUP.

## **7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- EN ISO 10319 (1996). “Geotextiles – Wide-width tensile test”. CEN, Brussels, Belgium.
- ENV ISO 10722-1 (1997). “Geotextiles and geotextile-related products – Procedure for simulating damage during installation – Part 1: Installation in granular materials”. CEN, Brussels, Belgium.
- Greenwood, J. H. (1998). “The nature of mechanical damage”. Seminar Volume on installation damage in geosynthetics, Leatherhead, Surrey, UK.
- Pinho-Lopes e M. e Lopes, M. L. (2001). “Efeito no comportamento mecânico dos geossintéticos da danificação sofrida durante a instalação – resultados iniciais”. Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia – Geotecnia n.º 93, pp. 81- 99, Lisboa.
- Pinho-Lopes, M. e Lopes, M. L. (2002). “Um equipamento para realização de ensaios laboratoriais de danificação durante a instalação de geossintéticos”, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia – Geotecnia, n.º 98, pp. 7-24, Lisboa.