

# EFEITO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS GEOSINTÉTICOS DA DANIFICAÇÃO SOFRIDA DURANTE A INSTALAÇÃO – RESULTADOS INICIAIS

Effect on the mechanical behaviour of geosynthetics of the installation damage – initial results

Margarida P. Lopes\*

M. Lurdes Lopes\*\*

**RESUMO** - Com este trabalho pretende-se chamar a atenção para o efeito dos processos de instalação de geossintéticos no seu comportamento mecânico. Em primeiro lugar é feita uma descrição da forma como a danificação pode ocorrer e dos procedimentos a usar para minimizar as consequências da danificação ocorrida durante a colocação em obra dos geossintéticos. É apresentado o programa de ensaios, ainda a decorrer, que inclui duas formas diferentes de induzir a danificação nas amostras de material a ensaiar: simulações laboratoriais e instalação dos geossintéticos em aterros provisórios. São apresentados os resultados iniciais da campanha de ensaios que se referem às amostras intactas e às amostras em que a danificação induzida em obra foi simulada através de um ensaio laboratorial: resultados de ensaios de tracção em todos os geossintéticos ensaiados e resultados de ensaios de rotura em fluência de dois dos geossintéticos. É feita uma comparação entre os resultados obtidos experimentalmente e através das formas tradicionais de considerar o efeito a longo prazo da danificação durante a construção no dimensionamento de geossintéticos. São também apresentadas as principais conclusões retiradas deste estudo.

**SYNOPSIS** - In this work the effect of the installation procedures of geosynthetics on their mechanical behaviour is shown. First, a description of how the damage during installation can occur is presented, including the procedures that can be used to minimise the consequences of the damage due to the installation of geosynthetics in real construction sites. The test program, still going on, is presented and includes two different procedures of inducing the damage in geosynthetic samples: laboratory simulations and installation of the geosynthetics in temporary embankments. The initial results of the test program referring to the undamaged samples and to the damaged samples using the laboratory simulation are presented: tensile test results regarding all the geosynthetics tested and creep rupture test results of two geosynthetics. The evaluation of the effect of the installation damage on the long term behaviour of geosynthetics obtained from the experimental study and using the standard approach is compared. The main conclusions of this work are also presented.

## 1 - INTRODUÇÃO

Uma das questões mais pertinentes nas estruturas em que os geossintéticos estão presentes é a possibilidade de redução da sua resistência. De facto, os geossintéticos podem sofrer variações de resistência, tanto a curto como a longo prazo, motivadas por diversos factores. Entre estes referem-se as ligações efectuadas durante a aplicação, a danificação no decurso da

---

\* Mestre em Estruturas de Engenharia Civil, 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

instalação por acção dos equipamentos de construção e de deficientes técnicas de colocação, a fluência e a exposição a agentes físicos, químicos e biológicos.

No que diz respeito aos agentes indutores de redução de resistência dos geossintéticos, a danificação que estes podem sofrer por efeito das operações de construção e instalação em obra é dos mais importantes. Se, por um lado, estes materiais sofrem fluência (efeito a longo prazo), por outro lado, o processo de instalação em obra pode (o que normalmente é inevitável) induzir alterações que, por sua vez, podem condicionar a resposta dos geossintéticos.

Em geral, no dimensionamento de estruturas com geossintéticos são usados factores que representam a redução de resistência devida a mecanismos distintos e não relacionados. Segundo alguns autores, os factores de redução mais elevados dizem respeito à fluência e à danificação durante a instalação. Esta forma de dimensionar as estruturas com geossintéticos conduz à necessidade de verificar até que ponto os valores usados na prática são ou não adequados e de definir coeficientes de segurança realistas no dimensionamento dessas estruturas.

Neste trabalho estudam-se alguns aspectos da danificação de diversos geossintéticos durante a sua instalação e dos seus efeitos no comportamento mecânico daqueles, tanto a curto como a longo prazo.

## **2 - DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO**

A danificação durante a instalação dos geossintéticos resulta essencialmente das operações de manuseamento destes e de colocação e compactação dos materiais de aterro, podendo resultar em defeitos locais e/ou em alterações das propriedades mecânicas dos geossintéticos.

De facto, as operações de preparação da superfície, manuseamento e colocação do geossintético, espalhamento e compactação dos solos não são suaves e, na maioria dos casos, são realizadas por trabalhadores muito pouco sensíveis à delicadeza destas operações (Greenwood, 1998). Assim, quando os geossintéticos são instalados em obra sofrem danificação mecânica, que, geralmente, é inevitável. Para ultrapassar esta questão é usual escolher um geossintético mais “forte”, em vez de adequar o processo construtivo (Bräu, 1998). Ingold (1994) refere a noção de “sobrevivência” do geossintético, classificando-a como um problema de curto prazo, que pode ser ultrapassado usando geossintéticos suficientemente robustos.

É de realçar que este modo de proceder pode induzir aumentos de custos significativos, pelo que diversos autores têm procurado avaliar as perdas nas propriedades dos geossintéticos associadas aos processos de instalação em obra. Tal pode ser efectuado recorrendo a:

- a) exumação de amostras de geossintéticos que tenham sido submetidas às condições de instalação usuais (Fox *et al.*, 1998; Bräu, 1996; Biling *et al.*, 1990; Watts e Brady, 1990);
- b) modelação ou simulação em laboratório das condições de instalação (Pinho Lopes *et al.*, 2000; Elvidge e Raymond, 1999; Bräu, 1996).

Bräu (1998) salienta ainda que é durante a sua instalação que os geossintéticos são sujeitos às acções mais violentas das quais podem resultar perdas de resistência, efeitos de abrasão, diminuição local da espessura, corte de fibras, abertura e, no pior caso, desintegração total dos geossintéticos numa determinada área.

### **2.1 - Efeito da danificação durante a instalação nas propriedades a curto prazo**

O efeito da danificação durante a instalação nas propriedades dos geossintéticos pode ter consequências várias, incluindo a impossibilidade de exercerem a função para a qual foram

dimensionados. Por exemplo, Christopher e Elias (1998) referem que nos Estados Unidos foi já reconhecido que a abrasão e as tensões locais que surgem nos geossintéticos durante a instalação podem danificá-los significativamente, comprometendo a sua capacidade de funcionamento.

No caso de aplicações em que o geossintético funciona como barreira de fluidos, por exemplo, o aparecimento de pequenos cortes poderá não ter efeitos logo após a colocação em obra. No entanto, após a entrada em serviço da estrutura, a existência de tensões no geossintético poderá induzir o aumento desses cortes e consequentemente dar origem a grandes aberturas. Estes efeitos irão, sem dúvida, fazer com que, a prazo, o material deixe de cumprir a função para que foi previsto.

Analisando aplicações em que o geossintético tem a função de filtro e/ou separador verifica-se que a existência de perfurações reduz a eficiência no desempenho da função. A situação limite de desintegração total do geossintético numa determinada área conduz, obviamente, à impossibilidade do cumprimento daquela função.

Por outro lado, a redução de resistência induzida pela danificação durante a instalação, é muito relevante nas aplicações de reforço. De facto, as reduções de resistência passíveis de ocorrer podem mesmo por em causa a estabilidade da obra.

No entanto, de acordo com Greenwood (1998), mesmo com um determinado nível de danificação, a maioria dos geossintéticos pode exercer as suas funções de forma razoável. Nas aplicações dos geossintéticos em reforço de solos a redução de resistência é mais preocupante e deve ser avaliada cuidadosamente.

## **2.2 - Efeito da danificação durante a instalação nas propriedades a longo prazo**

A resistência a longo prazo dos geossintéticos é avaliada aplicando cargas constantes aos provetes e registando o tempo até à rotura. As relações carga de rotura/tempo assim obtidas podem ser extrapoladas em ordem ao tempo de forma a determinar o valor da carga de rotura de dimensionamento, isto é, pressupondo um certo período de vida da obra.

A abordagem tradicional para estimar as propriedades a longo prazo de um material danificado consiste em aplicar a relação entre as resistências a curto prazo do material intacto e danificado ao valor da resistência a longo prazo do material não danificado.

Quando vários agentes de degradação actuam simultaneamente sobre os geossintéticos é possível que haja algum sinergismo (positivo ou negativo): o efeito de dois ou mais agentes pode ser distinto (menor ou maior, respectivamente) da soma dos efeitos dos mesmos agentes actuando separadamente sobre os geossintéticos.

Alguns autores (Pinho Lopes *et al.*, 2000 e Allen e Bathurst, 1996) detectaram a existência de sinergismo positivo entre as consequências da danificação durante a instalação e o comportamento no tempo dos geossintéticos (fluência). Assim, o estudo do efeito combinado da danificação durante a instalação e da fluência dos geossintéticos pode conduzir a novas possibilidades no dimensionamento destes materiais, de forma a reduzir os custos. Este efeito combinado corresponde a afirmar que as curvas de fluência do material intacto e após sofrer danificação se encontrarão para um determinado tempo,  $t$ .

Allen e Bathurst (1996) apresentam um método para combinar a informação obtida em ensaios de fluência e em ensaios de tracção (rápidos) para prever a resistência a longo prazo dos geossintéticos danificados durante a instalação em obra.

Na secção seguinte são descritos os processos para simular a danificação durante a instalação de geossintéticos utilizados neste trabalho.

### 3 - INDUÇÃO DA DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO

Tal como se referiu, a danificação durante a instalação (DDI) de geossintéticos é um dos factores de redução de resistência mais significativo e decorre, essencialmente, das operações de colocação e compactação do material de aterro junto aos geossintéticos e das operações de manuseamento destes.

Dado que se trata de um fenómeno que decorre, fundamentalmente, das operações em obra, a DDI de geossintéticos deve ser estudada recorrendo a ensaios de campo e, em paralelo, a ensaios laboratoriais de simulação dessa mesma danificação.

#### 3.1 - Ensaio laboratorial (ENV 10722-1)

A Comissão Europeia de Normalização (CEN) tem em vigor uma norma que regula o ensaio de simulação laboratorial de danificação de geossintéticos durante a construção, designada por ENV 10722-1. De acordo com esta norma o ensaio é conduzido da seguinte forma:

- o provete de geossintético é colocado entre duas camadas de um agregado sintético e submetido a uma carga dinâmica durante um determinado intervalo de tempo;
- o provete é então retirado do equipamento de ensaio, é examinado, para que se detecte alguma danificação visual, e é submetido a um ensaio de referência, mecânico ou hidráulico, para avaliar as alterações nas propriedades mecânicas ou hidráulicas, respectivamente;
- o resultado é expresso pelo índice de danificação que traduz a variação (em percentagem) do valor da propriedade de referência, devendo ser também incluída no relatório do ensaio a descrição da danificação visual observada.

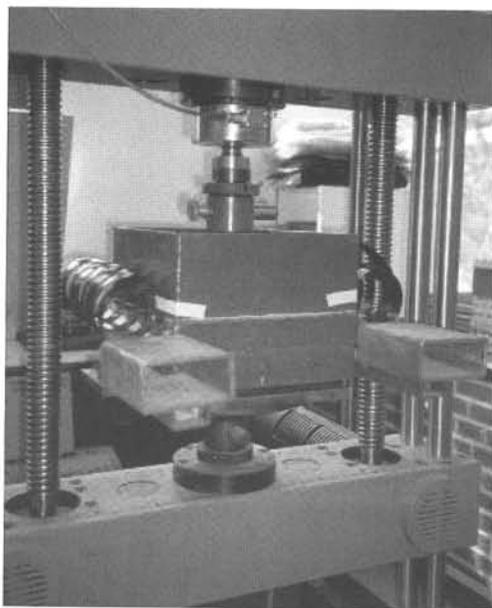
##### 3.1.1 - Equipamento

O equipamento usado na realização dos ensaios foi concebido de forma a cumprir as indicações da norma europeia.

O equipamento de aplicação da carga é electromecânico e é apoiado por um software de regulação. Desta forma, os principais parâmetros do ensaio podem ser alterados através do teclado e do monitor, sendo possível fixar os valores máximo e mínimo da carga a aplicar, bem como a velocidade de aplicação. A medição da força é feita através de uma célula de carga que é colocada entre a placa de carga e o êmbolo de carregamento. Na Fig. 1a) é apresentado um aspecto geral do equipamento de ensaio.

A caixa de danificação (que contém o agregado sintético e o geossintético a danificar) é constituída por placas de aço com 5 mm de espessura e está dividida em duas partes. As dimensões interiores de cada uma delas são 300 mm x 300 mm em planta e altura de 75 mm, o que conduz a uma altura total de 150 mm. As duas partes são fixas por encaixe e por aplicação da carga. A caixa deve ser colocada sobre uma base rígida.

A placa de carregamento (ver Figura 1b)), fabricada em aço, tem dimensões de 100 mm x 200 mm e uma espessura de 15 mm. Este elemento foi concebido de forma a não se deformar por aplicação das cargas de ensaio.



a)



b)

**Fig. 1** – Ensaio laboratorial de danificação de geossintéticos (ENV 10722-1): a) aspecto geral do equipamento; b) placa de carregamento.

### 3.1.2 - Material granular

De acordo com as indicações da norma europeia, o material granular utilizado para confinar a amostra de geossintético e para proceder à sua danificação deverá ser um agregado sintético. Trata-se de um óxido de alumínio que deve cumprir os seguintes requisitos:

- granulometria – quando ensaiado de acordo com a prEN 933-1, 100% do material deve passar no peneiro de 10 mm e 0% deve passar através do peneiro de 5 mm de abertura;
- dureza – quando ensaiado de acordo com a prEN 1097-2 o agregado deve ter uma resistência à abrasão Los Angeles não inferior a 1,9.

Na Fig. 2 é possível observar o aspecto do material granular utilizado nos ensaios.

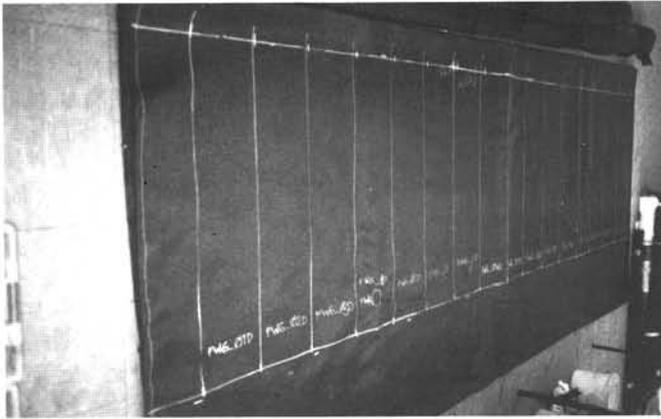
A norma prevê ainda que o material granular seja completamente posto de parte após 20 utilizações. Neste trabalho, dado o elevado custo deste material e o grande número de amostras a danificar, este último procedimento não foi seguido. No entanto, para minimizar a influência da não obediência a esse procedimento, tomaram-se especiais cuidados. Assim, para diminuir o efeito do desgaste do material e do seu esmagamento, procedeu-se à sua peneiração e eliminação dos passados no peneiro com abertura de malha de 5 mm, após cada 10 ensaios. O material foi posto de parte após cada 30 ensaios.

### 3.1.3 - Procedimento de ensaio

O corte de amostras, em cada um dos panos de geossintético, é feito ao longo de um mesmo alinhamento relativamente à direcção de fabrico de cada um dos materiais (ver Fig. 3).



**Fig. 2 -** Material granular sintético utilizado.



**Fig. 3 -** Forma como se procedeu ao corte dos provetes de geossintético - marcação dos provetes a cortar num pano de geossintético.

A parte inferior da caixa é cheia com o agregado sintético, colocando-se duas camadas de igual altura, perfazendo um total de 75 mm. Cada uma dessas camadas é compactada com uma placa colocada sobre toda a área da caixa, através da qual é aplicada uma tensão de  $200 \pm 2$  kPa durante 60 segundos. O topo da segunda camada deve estar ao nível do topo da parte inferior da caixa.

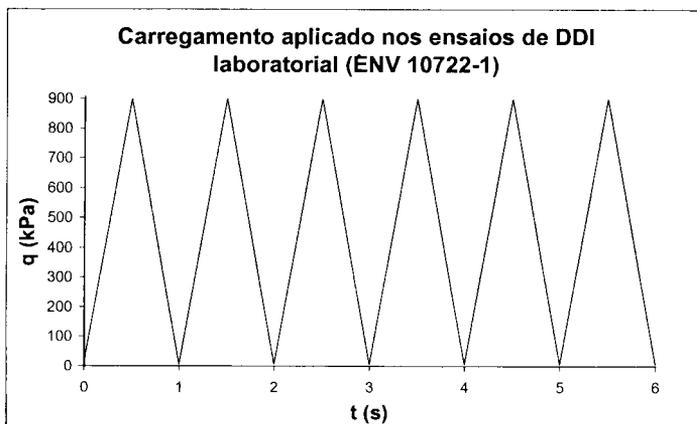
A parte superior da caixa é colocada sobre a parte inferior e fixa por encaixe.

O provete é colocado a meia altura da caixa (ou seja, no topo da parte inferior), ficando o centro do provete alinhado com o centro da caixa. As extremidades livres do provete, no exterior da caixa, são enroladas de forma a que não sejam danificadas durante o ensaio.

A parte superior da caixa é então cheia com o agregado solto, até atingir 75 mm de espessura (o que corresponde ao topo da caixa).

Nesta fase a placa de carga é posicionada no centro da caixa e é-lhe aplicada uma carga de  $5 \pm 5$  kPa. O carregamento é definido de forma a que seja aplicada uma carga cíclica triangular variando entre  $5 \pm 5$  kPa e  $900 \pm 10$  kPa com frequência de 1Hz (Fig. 4) durante 200 ciclos. É de notar, tal como é frisado na norma europeia, que a tensão a aplicar é determinada usando a área da placa de carga e não a área total da caixa.

No fim do ensaio o provete é retirado da caixa cuidadosamente, assegurando que não ocorra danificação adicional durante esta operação.



**Fig. 4** - Carregamento aplicado, de acordo com a ENV 10722-1.

### 3.1.4 - Programa de ensaios

Dado que o objectivo do trabalho é avaliar a influência da danificação durante a instalação de geossintéticos no seu comportamento desde curto até longo prazo, o número de provetes de cada geossintético a ensaiar é bastante significativo. Assim, foram danificados 25 provetes para cada um dos 8 geossintéticos estudados, ou seja, foi efectuado um total de 200 ensaios de simulação laboratorial da danificação durante a instalação de geossintéticos.

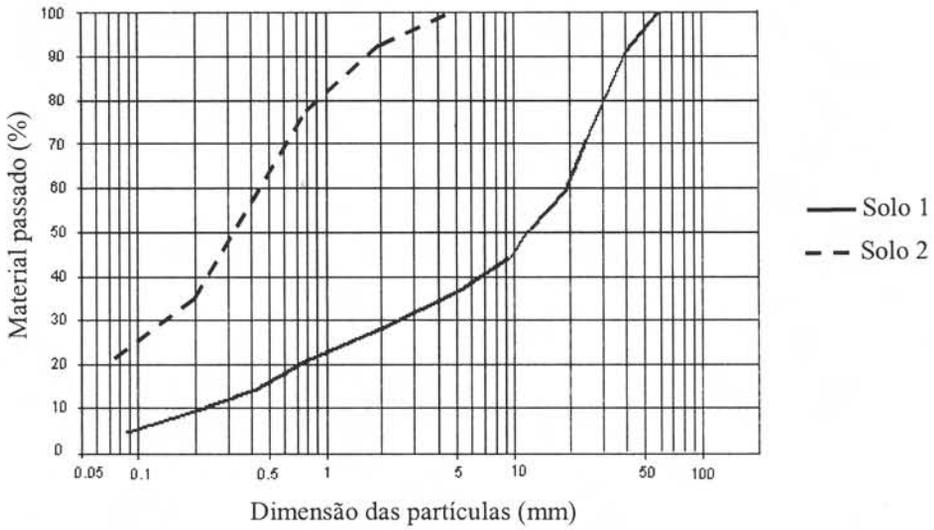
## 3.2 - Ensaios de campo

Na preparação da investigação em curso sobre a danificação de geossintéticos durante as operações de instalação em obra previu-se a realização de dois aterros experimentais com dois solos distintos de modo a ser possível avaliar a influência do tipo de solo nos efeitos da danificação.

Os aterros experimentais (de carácter provisório) foram realizados em duas obras distintas, ao abrigo de um protocolo IEP/ICERR –FEUP: na ligação entre o Nó do Areinho e a Avenida da República, incluída no IC23, e no Nó de Angeiras do IC1.

Foi usado um solo residual granítico, na obra do IC1, e, na obra do IC23, utilizou-se um material do tipo tout-venant. Estes dois solos são designados ao longo deste trabalho por Solo 1 e Solo 2, respectivamente. As curvas granulométricas dos Solos 1 e 2 são apresentadas na Fig. 5.

Quando comparada com as dimensões dos panos utilizados nas obras, a dimensão de cada pano de geossintético colocado nos aterros experimentais é bastante reduzida, dado que apenas se utilizou a quantidade de material suficiente para realizar os ensaios de caracterização da danificação em cada um dos casos. De facto, as dimensões dos diferentes panos de geossintéticos são metade da largura do rolo (que varia entre 2,0 m e 2,5 m, aproximadamente) e cerca de 8,5 m. Esta circunstância condiciona a circulação dos equipamentos e a sua eficiência na compactação dos solos. Para minimizar estes efeitos optou-se por realizar aterros de maior dimensão, onde se instalaram vários geossintéticos, como se observa na Fig. 6.



**Fig. 5** - Curvas granulométricas dos solos utilizados nos aterros experimentais: Solo 1 e Solo 2.



**Fig. 6** - Colocação dos geossintéticos nos aterros provisórios para ensaios de campo de danos.

Dado que a deformabilidade da fundação condiciona o comportamento do aterro e, conseqüentemente, a danificação induzida nos geossintéticos, foram feitas as seguintes exigências em termos de fundação dos aterros:

- a fundação dos aterros deve ser competente, havendo que retirar lixos, raízes, materiais de grandes dimensões e/ou materiais pontiagudos; deve proceder-se ao preenchimento de buracos e depressões de forma a que a fundação dos aterros seja plana;
- caso os aterros sejam realizados sobre a plataforma da estrada estes problemas serão minimizados, senão completamente eliminados, preferindo-se, portanto, essa solução.

A seqüência das operações de construção dos aterros experimentais está ilustrada na Fig. 7 e comporta as seguintes fases:

- a) o material de aterro deve ser vertido e espalhado sobre a fundação numa camada com cerca de 150 mm, sendo em seguida nivelado e compactado utilizando equipamento de compactação considerado adequado;
- b) cada pano de geossintético é estendido sobre a camada de aterro deixando livre entre os diferentes tipos de geossintéticos uma zona com cerca de 1,0 m de comprimento; em caso algum deve ser permitida a passagem de tráfego sobre os geossintéticos antes de sobre estes estar colocado no mínimo 150 mm de material de aterro;
- c) em seguida o material de aterro deve ser espalhado em duas camadas de 200 mm, niveladas e compactadas de forma a atingir o grau de compactação definido.

Tal como se referiu anteriormente os aterros experimentais têm um carácter provisório e são removidos após a sua construção. As operações de remoção do material de aterro devem ser realizadas com especial cuidado para que não seja induzida nos geossintéticos danificação adicional, o que alteraria as observações que se pretende realizar. Assim, nas proximidades dos geossintéticos o material de aterro deve ser removido manualmente e com especial cuidado (ver Fig. 8).

#### **4 - CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS EFEITOS DA DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS**

Para proceder à caracterização mecânica dos efeitos da danificação durante a instalação de geossintéticos a curto e a longo prazo foi estabelecido um programa de ensaios que inclui ensaios de tracção, ensaios de rotura em fluência e ensaios de fluência.

Os ensaios de tracção de geossintéticos foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na EN ISO 10319, em amostras com 20 cm de largura. Para cada material estudado foram ensaiados 5 a 6 provetes, registando-se o valor da força máxima medida e a correspondente extensão. Os resultados são apresentados em termos de valores médios da resistência à tracção, acompanhados do coeficiente de variação correspondente.

No que diz respeito à avaliação do efeito a longo prazo da danificação durante a instalação de geossintéticos, recorreu-se a ensaios de rotura em fluência e a ensaios de fluência realizados de acordo com os procedimentos descritos na EN ISO 13431. Nestes ensaios o provete é traccionado sob carga constante. Nos ensaios de rotura em fluência pretende-se determinar apenas o tempo decorrido até à rotura do provete, submetido a um determinado nível de carga. Por outro lado, nos ensaios de fluência (que geralmente são ensaios mais longos) é estimado o tempo de rotura com base nos resultados dos ensaios de rotura em fluência, sendo os provetes submetidos a carga constante. O tempo para a rotura e a extensão na rotura do provete são registados.



a) colocação da 1ª camada de solo



b) espalhamento da 1ª camada de solo



c) compactação da 1ª camada de solo



d) colocação da 2ª camada de solo



e) espalhamento da 2ª camada de solo



f) compactação da 2ª camada de solo

**Fig. 7 - Sequência de colocação das camadas de solo e dos geossintéticos.**

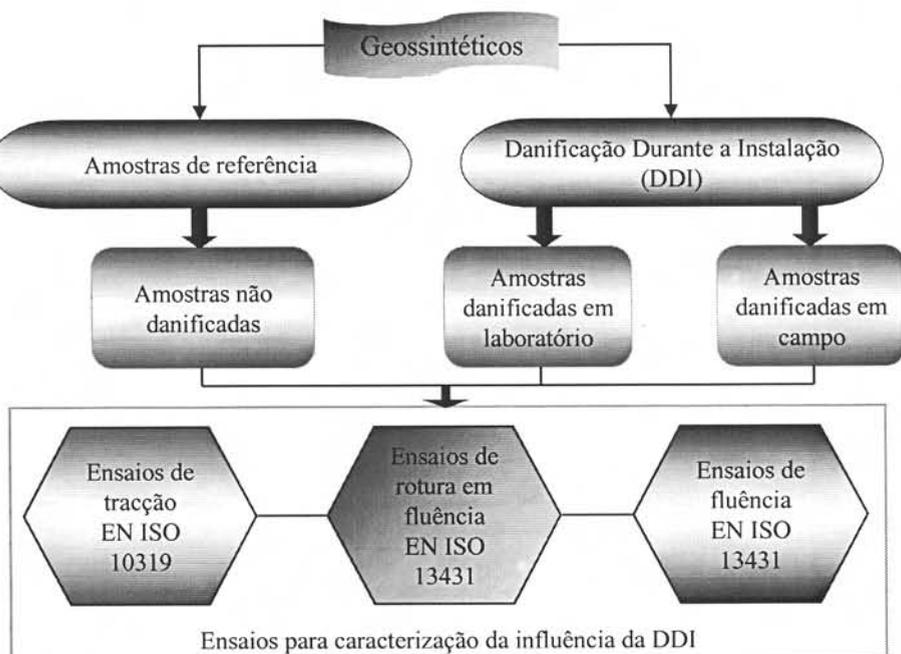


**Fig. 8** - Exumação dos geossintéticos.

## 5 - ENSAIOS REALIZADOS E RESULTADOS

### 5.1 - Plano de trabalhos e materiais

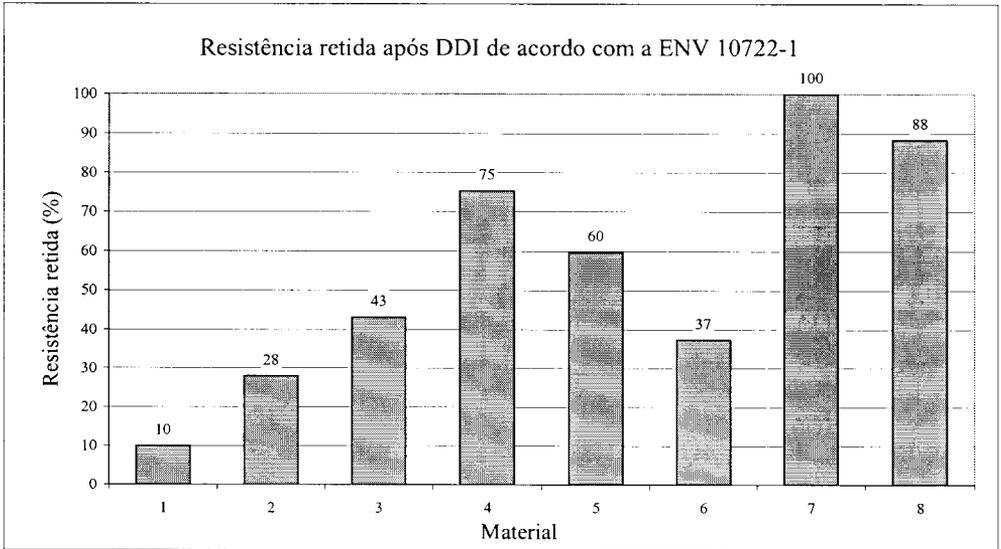
O plano de trabalhos (ver Fig. 9) consiste em realizar os ensaios de caracterização mecânica já referidos (tracção, rotura em fluência e fluência) sobre amostras intactas e sobre amostras de geossintéticos danificadas. A danificação é induzida recorrendo a dois métodos distintos: simulação laboratorial e ensaios de campo.



**Fig. 9** - Plano de trabalhos.



No caso dos geotêxteis tecidos (materiais 1, 2 e 3) é notória a influência da resistência nominal do material: quanto mais elevada for esta, maior é a percentagem de resistência retida após a danificação.



**Fig. 10** - Resistência retida (%) das amostras de geossintéticos danificados laboratorialmente, quando comparada com as amostras de referência.

Os materiais designados pelos números 2 e 7 (geotêxtil tecido em polipropileno e geogrelha extrudada em polipropileno, respectivamente) são constituídos pelo mesmo polímero e possuem resistências nominais idênticas. A resistência retida após a DDI laboratorial é de 28% para o material 2 e de 100% para o material 7. A dependência do tipo de geossintético no efeito a curto prazo da DDI fica assim, mais uma vez, evidenciado.

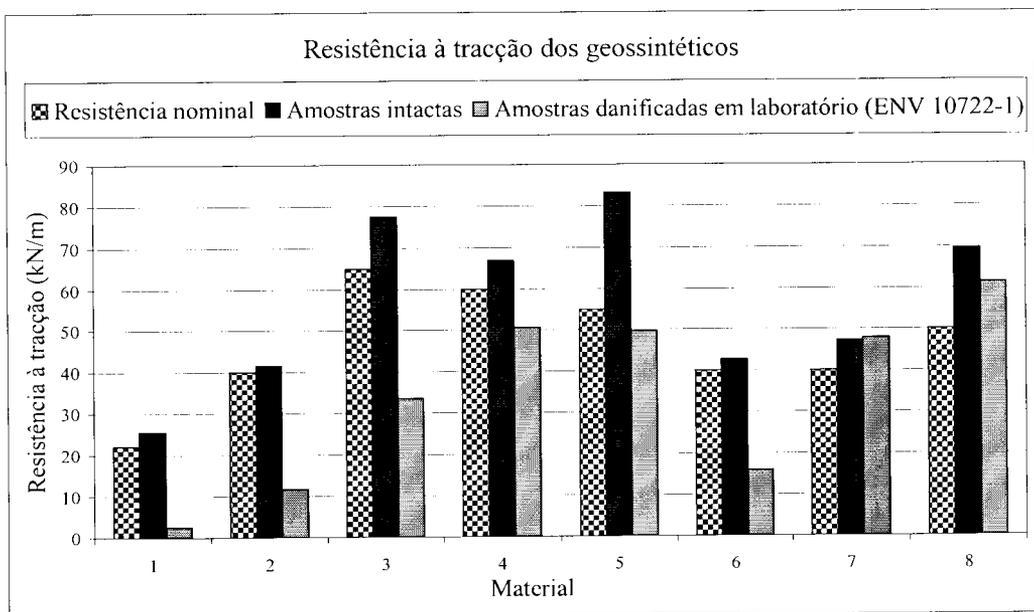
É também interessante analisar os valores da resistência à tracção dos materiais intactos e após serem danificados laboratorialmente e compará-los com o valor da resistência nominal de cada produto, i.e., com o valor da resistência à tracção definido pelos produtores nas especificações de cada geossintético.

Como se pode verificar na Fig. 11, para todos os materiais, as amostras intactas de geossintético exibem uma resistência à tracção superior à resistência nominal correspondente. No entanto, o mesmo não acontece para as amostras danificadas laboratorialmente: apenas os materiais 7 e 8 apresentam resistência à tracção após danificação superior à resistência nominal correspondente.

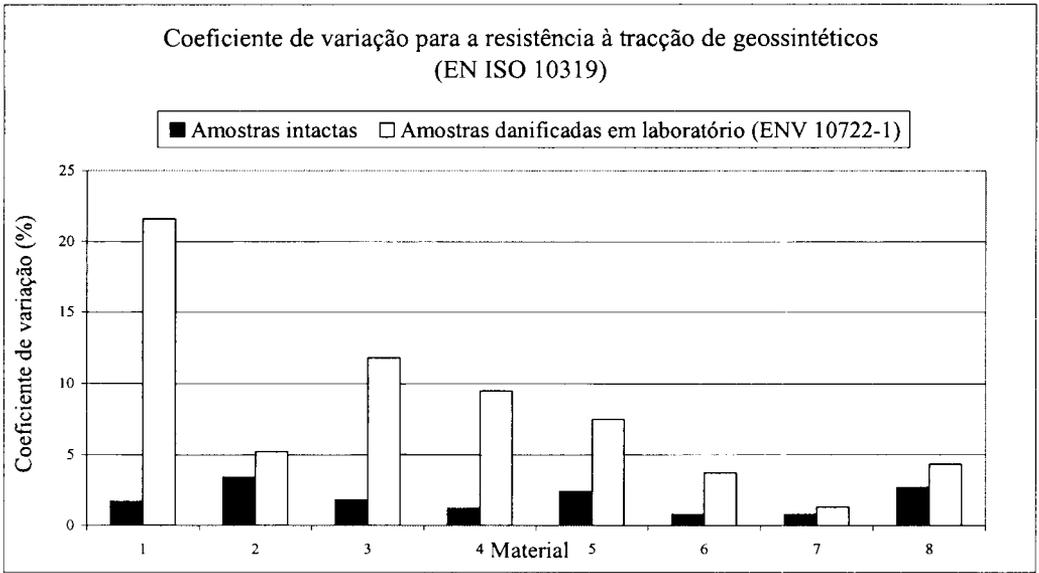
A variação dos resultados, evidente quando se comparam diferentes tipos de geossintéticos, existe também para um dado geossintético. De facto, analisando o coeficiente de variação da resistência à tracção de cada um dos geossintéticos ensaiados, verifica-se que pode haver uma grande dispersão de resultados. Na Fig. 12 e no Quadro 2 é apresentado o coeficiente de variação da resistência à tracção das amostras intactas e das amostras danificadas laboratorialmente. Verifica-se que aos materiais com reduções da resistência à tracção mais elevadas está normalmente associado um coeficiente de variação dessa grandeza também elevado. Dado que todos os materiais, bem como todas as amostras de cada geossintético, foram ensaiadas nas mesmas condições, isto pode significar que, no ensaio de danificação, os diferentes geossintéticos respondem com mecanismos de danificação distintos.

**Quadro 2** - Resultados dos ensaios de tracção (EN ISO 10319) realizados sobre as amostras intactas e sobre as amostras danificadas laboratorialmente (ENV 10722-1).

ENSAIOS DE TRACÇÃO (EN ISO 10319)		Resistência nominal em kN/m	Amostras intactas		Amostras danificadas em laboratório (ENV 10722-1)		Resistência retida (%)	Razão entre os coeficiente de variação (%)
			Força máxima		Força máxima			
			Média (kN)	Coefficiente de variação (%)	Média (kN)	Coefficiente de variação (%)		
Nº	Material	DM/DTM	Média (kN)	Coefficiente de variação (%)	Média (kN)	Coefficiente de variação (%)		
1	Geotêxtil tecido em PP (110g/m²)	22/22	5,1	1,7	0,5	21,6	10	11,7
2	Geotêxtil tecido em PP (210g/m²)	40/40	8,3	3,4	2,3	5,2	28	0,5
3	Geotêxtil tecido em PP (320g/m²)	65/65	15,5	1,8	6,7	11,8	43	5,6
4	Geogrelha tecida em PET	60/30	14,3	1,2	10,8	9,5	75	6,9
5	Geogrelha tecida em PET	55/55	18,7	2,4	11,2	7,5	60	2,1
6	Geotêxtil não tecido, em PET, reforçado	40/40	8,6	0,8	3,2	3,7	37	3,6
7	Geogrelha extrudada	40/40	7,5	0,8	7,6	1,3	100	0,6
8	Filamento de PET com revestimento a PP	50/50	15,4	2,7	13,6	4,3	88	0,6



**Fig. 11** - Resistência à tracção (kN/m) das amostras de intactas e danificadas laboratorialmente de geossintéticos, quando comparada com a sua resistência nominal.



**Fig. 12** - Coeficiente de variação da resistência à tracção dos geossintéticos, determinado de acordo com a EN ISO 10319.

### 5.3 - Resultados dos ensaios de rotura em fluência

De acordo com o mencionado anteriormente, neste trabalho são apresentados os resultados dos ensaios de rotura em fluência de dois dos geossintéticos considerados: geogrelha tecida em PET (55 kN/m), designada por material 5, e geotêxtil tecido em PP (65 kN/m), designado por material 3. Os resultados apresentados dizem respeito a roturas após cerca de 100 horas. Os ensaios mais longos (com cerca de 1000 horas de duração) estão ainda a decorrer.

Na Fig. 13 são apresentadas as curvas de rotura em fluência para os materiais referidos. Como se pode verificar, as curvas correspondentes às amostras intactas e às amostras danificadas aproximam-se e, teoricamente, encontram-se após o instante  $10^6$  horas.

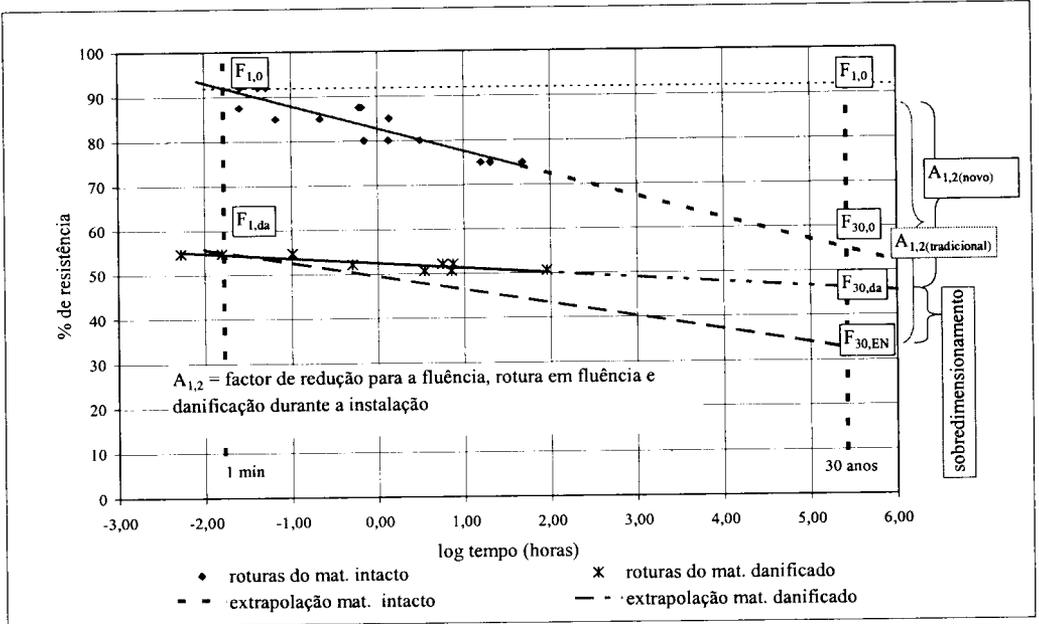
As metodologias Europeias de dimensionamento de geossintéticos recorrem a coeficientes parciais de segurança e a coeficientes de redução. O valor de cálculo da resistência de um geossintético (por exemplo, numa aplicação de reforço) é determinado usando:

$$F_{Bi,d} = \frac{F_{Bi,k}}{\gamma_B} \quad (1)$$

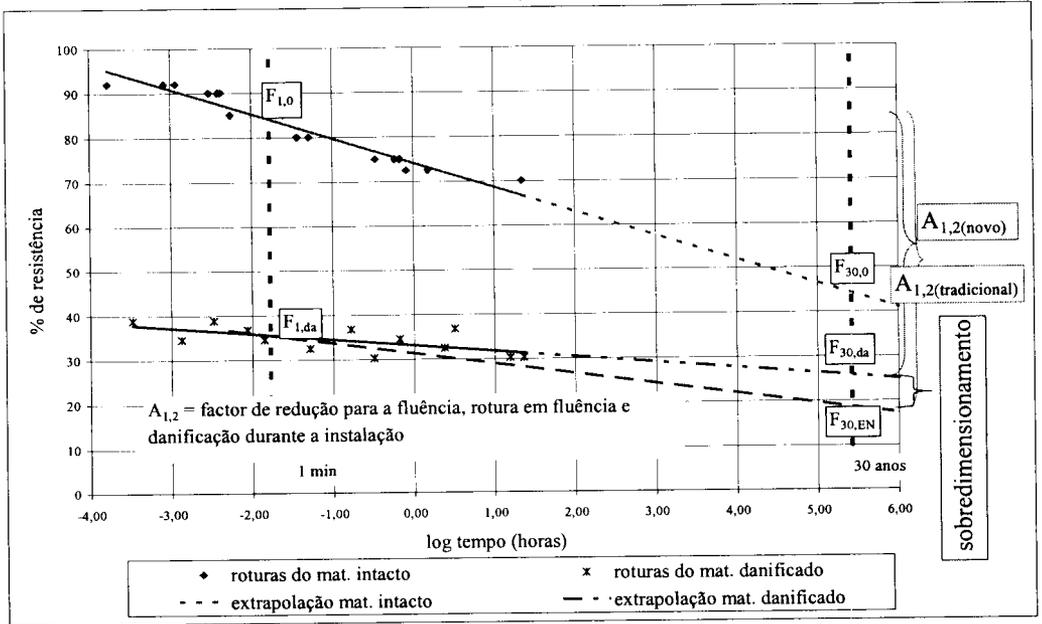
onde  $F_{Bi,d}$  é o valor de cálculo da resistência a longo prazo do geossintético,  $F_{Bi,k}$  é o valor característico da resistência a longo prazo e  $\gamma_B$  é o coeficiente de segurança parcial.

O valor característico é determinado usando a seguinte equação:

$$F_{Bi,k} = \frac{F_{Bi,k,0}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \quad (2)$$



a)



b)

**Fig. 13 - Curvas de rotura em fluência:** a) geogrelha tecida em PET (55kN/m); b) geotêxtil tecido em PP (65kN/m).

onde  $F_{Bi,k,0}$  é o valor característico da resistência a curto prazo,  $A_1$  é o coeficiente de redução para a fluência e rotura em fluência,  $A_2$  é o coeficiente de redução para a danificação durante a

instalação,  $A_3$  é o coeficiente de redução para manuseamento em obra e  $A_4$  é o coeficiente de redução para agentes ambientais (químicos, UV, etc.).

Por exemplo, geralmente, o coeficiente de redução para a fluência e rotura em fluência é definido como

$$A_1 = \frac{F_{Bi,k,0}}{F_{Bi,k,1}} \quad (3)$$

onde  $F_{Bi,k,1}$  é a carga permanente de serviço.

Com os resultados disponíveis (apresentados na Fig. 13) foi possível determinar o coeficiente de redução  $A_1$ :

$$A_1 = \frac{F_{1,0}}{F_{30,0}} \quad (4)$$

em que  $F_{1,0}$  é a resistência à tracção após 1 minuto, amostra intacta e  $F_{30,0}$  é a resistência à tracção após 30 anos, amostra intacta.

O valor para a resistência à tracção após 1 minuto corresponde de forma aproximada ao valor máximo da resistência à tracção. Por razões técnicas associadas ao ensaio este valor é ligeiramente inferior ao da resistência máxima à tracção determinada de acordo com a EN ISO 10319.

Com os primeiros resultados obtidos para as amostras danificadas foi possível determinar o coeficiente de redução para a danificação durante a instalação,  $A_{2,EN}$  (de acordo com a ENV 10722-1):

$$A_{2,EN} = \frac{F_{1,0}}{F_{1,da}} \quad (5)$$

sendo  $F_{1,da}$  a resistência à tracção após 1 minuto, amostra danificada.

Utilizando o procedimento tradicional, o valor previsto para a resistência à tracção, após 30 anos, da amostra danificada,  $F_{30,EN}$ , pode ser definido recorrendo à equação:

$$F_{30,EN} = \frac{F_{30,0}}{A_{2,EN}} = \frac{F_{1,0}}{A_1 \cdot A_{2,EN}} \quad (6)$$

Então, é possível definir um factor de redução conjunto para a fluência, rotura em fluência e danificação durante a instalação ( $A_{1,2 \text{ tradicional}}$ ), representado na Fig. 13.

$$A_{1,2 \text{ tradicional}} = A_1 \cdot A_{2,EN} \quad (7)$$

Com os resultados dos ensaios realizados propõe-se uma nova abordagem em que a avaliação da resistência à tracção das amostras danificadas,  $F_{30,da}$ , é feita directamente dos resultados dos ensaios e inclui a redução motivada pela danificação durante a instalação e pela fluência e rotura em fluência. É então proposto um novo coeficiente de redução conjunto,  $A_{1,2 \text{ proposto}}$ , também indicado na Fig. 13, assim definido:

$$A_{1,2 \text{ proposto}} = \frac{F_{1,0}}{F_{30,da}} \quad (8)$$

No Quadro 3 estão resumidos os coeficientes de redução referidos, segundo as abordagens tradicional e proposta, constatando-se a importância do sobredimensionamento que resulta da aplicação da metodologia tradicional.

**Quadro 3 - Coeficientes de redução: método convencional e novo método.**

Material	A <sub>1</sub>	A <sub>2,EN</sub>	A <sub>1,2(tradicional)</sub> *	A <sub>1,2 (proposto)</sub>	Sobre-dimensionamento
Geogrelha tecida em PET (55 kN/m)	1,67	1,68	2,81	1,99	41%
Geotêxtil tecido em PP (320g/m <sup>2</sup> ) (65kN/m)	1,90	2,37	4,52	3,26	39%

\*A<sub>1,2</sub> = A<sub>1</sub> x A<sub>2</sub>

## 6 - CONCLUSÕES

Os resultados disponíveis dos ensaios realizados para caracterizar a danificação mecânica de geossintéticos a curto e a longo prazo após danificação durante a instalação (induzida laboratorialmente) foram apresentados e discutidos.

No que diz respeito à alteração do comportamento mecânico a curto prazo, definido por ensaios de tracção, verifica-se que pode ser muito distinta. De facto, materiais constituídos pelo mesmo polímero, mas de tipos completamente distintos, exibem uma redução de resistência após a indução laboratorial de DDI que pode variar de 10% a 100%.

Ao analisar os resultados de materiais do mesmo tipo (geotêxteis tecidos) com resistências nominais distintas, observou-se a clara influência desta característica: a resistências nominais mais elevadas estão associadas maiores percentagens de resistência retida.

Com os resultados obtidos foi também possível comprovar que para cada um dos geossintéticos pode haver uma variação de resultados significativa: geralmente maior para os materiais mais sensíveis à DDI induzida laboratorialmente. Esta constatação pode significar que os diferentes geossintéticos respondem com mecanismos distintos à danificação induzida.

Relativamente ao comportamento mecânico a longo prazo dos dois geossintéticos estudados constatou-se, em ambos os casos, a existência do efeito sinérgico positivo entre a danificação durante a instalação e a fluência dos materiais. De facto, quando se comparam os valores do coeficiente de redução conjunto para estes dois fenómenos medido e o obtido através das metodologias tradicionais de dimensionamento, conclui-se que estas últimas conduzem a um sobredimensionamento da ordem dos 40% para os dois geossintéticos.

Para confirmar estas conclusões é necessário prosseguir os estudos e acumular mais resultados experimentais. Caso os resultados já obtidos se confirmem e se verifique comportamento semelhante das amostras danificadas no campo, os procedimentos de

dimensionamento de geossintéticos devem ser revistos num sentido que aponta para a diminuição do coeficiente de redução conjunto para a danificação durante a instalação e rotura em fluência e fluência ( $A_{1,2}$ ). Essa eventual diminuição conduzirá à redução dos custos da utilização dos geossintéticos, aumentando a atracção por esta solução.

## AGRADECIMENTOS

As autoras desejam expressar os seus agradecimentos à Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen (Alemanha) e ao tBU, Institut für textile Bau- und Umweltechnik GmbH (Alemanha), pelo apoio na realização dos ensaios laboratoriais, e ao IEP/ICERR e ICOR, pelo apoio na realização dos ensaios de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, T. M. e Bathurst, R. J. *Combined allowable strength reduction factor for geosynthetic creep and installation damage*. Geosynthetics International, Vol. 3, No 3, pp. 407-439, 1996.
- Biling, J. H., Greenwood, J. H. e Small, G. A. *Chemical and mechanical durability of geotextiles*. 3<sup>th</sup> International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Den. Hoedt. (ed.), Balkema, pp. 621-626, 1990.
- Bräu, G. *Damage of geosynthetics during installation – experience from real sites and research works*. Geosynthetics: Applications, Design and Construction, First European Geosynthetics Conference, Eurogeo 1, pp. 145- 150, Maastricht, The Netherlands, 1996.
- Bräu, G. *Experience with damage during installations in Germany – Field and laboratory testing*. Seminar in Installation Damage in Geosynthetics, November 1998, ERA Technology, U.K., pp. 2.1.1-2.1.15, 1998.
- Christopher, B. R. e Elias, V. *Evaluation of installation damage in geosynthetics: a U.S. perspective*. Seminar in Installation Damage in Geosynthetics, November 1998, ERA Technology, U.K., pp. 1.2.1-1.2.12, 1998.
- Elvidge, C. B. e Raymond, G. P. *Laboratory survivability of nonwoven geotextiles on open graded crushed aggregate*. Geosynthetics International, Vol. 6, No 2, pp. 93-117, 1999.
- EN ISO 10319, *Geotextiles – Wide-width tensile test*. 1996.
- EN ISO 13431, *Geotextiles and geotextile-related products – Determination of tensile creep and creep rupture behaviour*. 1999.
- ENV 107221-1, *Geotextiles and geotextile-related products – Procedure for simulating damage during installation – Part 1: Installation in granular materials*. 1997.
- Fox, P. J.; Triplett, E. J.; Kim, R. H. e Olsta, J. T. *Field study of installation damage for geosynthetic clay liners*. Geosynthetics International, Vol. 5, No 5, pp. 491-520, 1998.
- Greenwood, J. H. *The nature of mechanical damage*. Seminar volume on installation damage on geosynthetics, 1.1.1-1.1.15, Leatherhead, Surrey, UK, 1998.
- Ingold, T. S. *Geotextiles and Geomembranes Manual*. Elsevier Advanced Technology, 1st edition, 515p., 1994.
- Pinho Lopes, M.; Recker, C.; Müller-Rochholz, J. e Lopes, M. L. *Installation damage and creep of geosynthetics and their combined effect – experimental analysis*. Proceedings of Eurogeo 2000, Vol. 2 , pp. 895-897, Bologna, Italy, 2000.
- Watts, G. R. A. e Brady, K. C. *Site damage trials on geotextiles*. Fourth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, The Hague, ed. Den Hoedt G. Balkema, Rotterdam, Netherlands, pp. 603-607, 1990.