

AVALIAÇÃO DA FIABILIDADE DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO NA PREVISÃO DA DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO *IN SITU* DE GEOSSINTÉTICOS

Evaluation of the reliability of the laboratory tests on the anticipation of *in situ* damage during installation of geosynthetics

Margarida P. Lopes*

M. Lurdes Lopes**

Miguel Paula***

RESUMO – Este trabalho apresenta o efeito da danificação durante a instalação no comportamento à tracção de três tipos diferentes de geossintéticos. A danificação é induzida nos geossintéticos por dois procedimentos: ensaios *in situ* e ensaios laboratoriais, executados de acordo com a ENV ISO 10722-1. São descritas as propriedades dos solos e dos geossintéticos. Nos ensaios *in situ* são usados dois tipos de solos compactados com duas energias diferentes para estudar a influência na danificação durante a instalação do tipo de geossintético e do tipo de solo, bem como da energia de compactação. Os ensaios laboratoriais de danificação durante a instalação foram executados com três agregados diferentes, dois naturais e um sintético. Os resultados dos ensaios *in situ* e laboratoriais são comparados para avaliar a fiabilidade dos ensaios de laboratório na previsão da danificação induzida *in situ*. Concluiu-se que a estrutura do geossintético, a dimensão das partículas do solo e a sua angulosidade, bem como a energia de compactação têm grande influência na danificação induzida *in situ*. Os resultados dos ensaios laboratoriais evidenciaram grande influência da estrutura do geossintético e da angulosidade das partículas de solo. Finalmente, constatou-se que a fiabilidade dos ensaios laboratoriais na previsão da danificação durante a instalação *in situ*, depende do tipo de geossintético e do tipo de solo confinante.

SYNOPSIS – This paper reports the results of the effect of damage during installation on the tensile properties of three different geosynthetics. The damage was induced on the geosynthetics using two different procedures: field trials and laboratory trials according to ENV ISO 10722-1. Soil and geosynthetic properties are described and the effect of damage during installation is studied. In what concerns the field trials two types of soils were used compacted with two different energies in order to conclude about the influence on damage during installation of the type of geosynthetic and of the type of soil, as well as, of the compaction energy. Damage during installation laboratory tests were performed with three different aggregates, two of them natural and one synthetic. The results of the field trials and of the laboratory tests are compared in order to conclude about the liability of the laboratory tests in the prediction of field damage during installation. It was concluded that the geosynthetic structure, as well as the grain size and the sharpness of the confining soil and, also, the compaction energy have strong influence on field damage during installation. On the other hand, damage during installation laboratory tests showed similar trend on the influence of the geosynthetic structure and of the sharpness of the confining soil. Finally, it was shown that the liability of the laboratory tests to predict geosynthetics field damage during installation depends on the type of geosynthetic and on the type of the site confining soil.

* 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

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

1 – INTRODUÇÃO

Para estudar a influência da danificação durante a instalação de geossintéticos na resistência à tracção destes materiais realizaram-se ensaios de campo e de laboratório para induzir danificação em três tipos diferentes de geossintéticos. Para além disso, efectuaram-se ensaios de tracção em amostras intactas e danificadas dos mesmos materiais.

Os geossintéticos considerados foram um geotêxtil tecido em polipropileno, uma geogrelha tecida biaxial em polyester e uma geogrelha biaxial extrudida em polietileno de alta densidade. Nos ensaios de campo foram utilizados dois solos diferentes e nos ensaios de laboratório usou-se um material granular sintético e dois materiais granulares naturais, um granítico e outro calcário.

2 – GEOSSINTÉTICOS

Os geossintéticos considerados no estudo foram os seguintes:

1. um geotêxtil tecido em polipropileno (Geotêxtil GTXt);
2. uma geogrelha tecida biaxial em poliéster (Geogrelha GGRt);
3. uma geogrelha biaxial extrudida em polietileno de alta densidade (Geogrelha GGRe).

As propriedades físicas e mecânicas do Geotêxtil GTXt e das Geogrelhas GGRt e GGRe são apresentadas, respectivamente nos Quadro 1 e na Figura 1, no Quadro 2 e na Figura 2 e no Quadro 3 e na Figura 3.

Para que a comparação dos resultados dos ensaios seja possível, os geossintéticos foram seleccionados com resistências à tracção nominais semelhantes (variáveis de 40 a 65 kN/m).

Quadro 1 – Propriedades do GTXt.

Geotêxtil	Massa por unidade de área (g/m ²)	Resistência à tracção		Extensão (%)
		MD (kN/m)	XMD (kN/m)	
GTXt	320	65	65	15

Nota: MD = direcção de fabrico. XMD = direcção perpendicular à de fabrico.

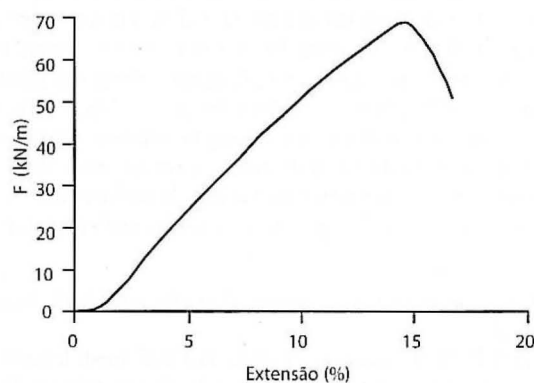


Fig. 1 – Comportamento à tracção do geotêxtil GTXt.

Quadro 2 – Propriedades da geogrelha biaxial GGRt.

Geogrelha	a_L (mm)	a_T (mm)	Resistência à tracção		Extensão	
			MD (kN/m)	XMD (kN/m)	MD (%)	XMD (%)
GGRt	25	25	55	55	15	15

Nota: MD = direcção de fabrico. XMD = direcção perpendicular à de fabrico.

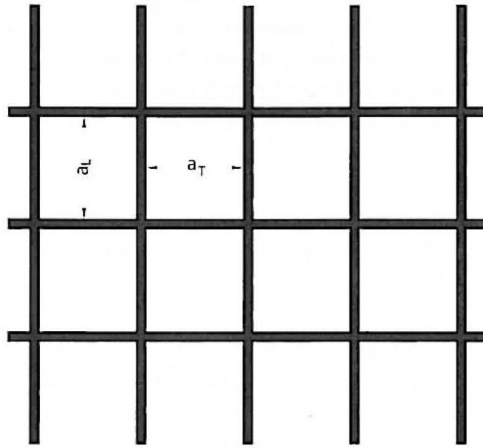


Fig. 2 – Geometria da geogrelha biaxial GGRt.

Quadro 3 – Propriedades da geogrelha biaxial GGRe.

a_L (mm)	a_T (mm)	b_{LR} (mm)	b_{TR} (mm)	t_j (mm)	t_{LR} (mm)	t_{TR} (mm)	Resistência à tracção		Extensão (%)
							MD (kN/m)	XMD (kN/m)	
33,0	33,0	2,2	2,5	5,8	2,2	1,4	40,0	40,0	11,5

Nota: MD = direcção de fabrico. XMD = direcção perpendicular à de fabrico.

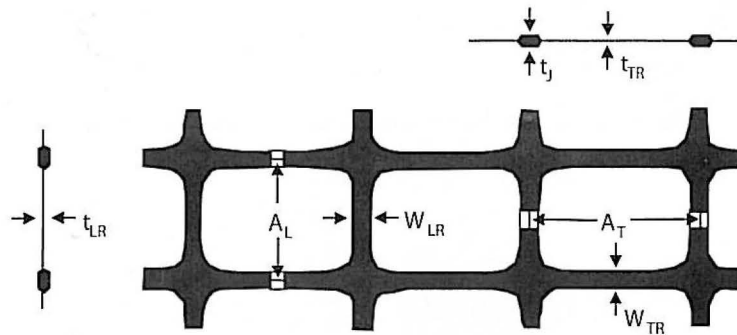


Fig. 3 – Geometria da geogrelha biaxial GGRe.

3 – ENSAIOS DE CAMPO DE DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO

Não existe nenhum procedimento normalizado relativamente aos ensaios de campo de danificação durante a instalação de geossintéticos. Contudo, considerou-se da maior importância danificar em condições reais os geossintéticos para comparar essa danificação com a induzida em laboratório.

Assim, foram executados alguns aterros temporários, onde os geossintéticos foram colocados entre camadas de solo compactado de acordo com os procedimentos comuns em aplicações de reforço de solos. Sobre a fundação, competente e livre de raízes e de materiais contundentes foi vertido, espalhado, nivelado e compactado solo. Sobre esta camada de solo foram colocados os geossintéticos, sem dobras. Em nenhum caso foi permitido o tráfego de equipamentos de construção sobre os geossintéticos antes de sobre eles existir uma camada de solo com, pelo menos, 0,15m de espessura. Em seguida, duas camadas com 0,20m de espessura de solo foram vertidas, espalhadas, niveladas e compactadas à energia especificada.

Após a conclusão dos aterros procedeu-se à exumação dos geossintéticos; o solo foi cuidadosamente removido e os geossintéticos recuperados. Na Figura 4 apresenta-se a sequência de construção e exumação.

Foram usados dois solos (Figura 5 e Quadro 4), um “tout-venant” (Solo 1) e um solo residual do granito (Solo 2). A dimensão máxima das partículas do Solo 1 era 50,8mm e do Solo 2 era 5mm. Para estudar a influência da energia de compactação na danificação induzida, consideraram-se duas energias de compactação (EC 1 – 90% do Proctor normal e EC 2 – 98% do Proctor normal). Assim, foram executados quatro aterros temporários (Lopes e Lopes, 2001).



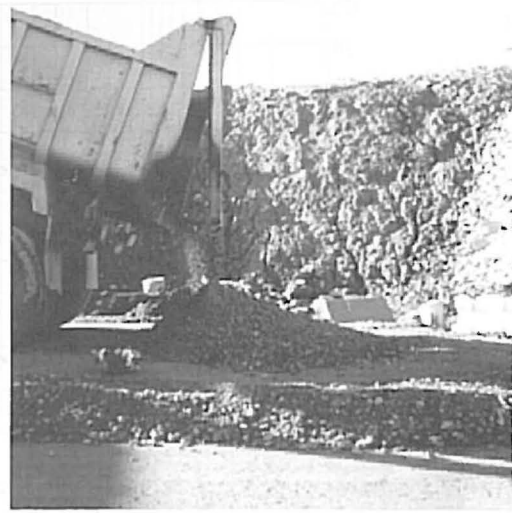
a) deposição da 1ª camada de solo

b) espalhamento da 1ª camada de solo

Fig. 4 – Ensaios de campo: sequência de construção e exumação.



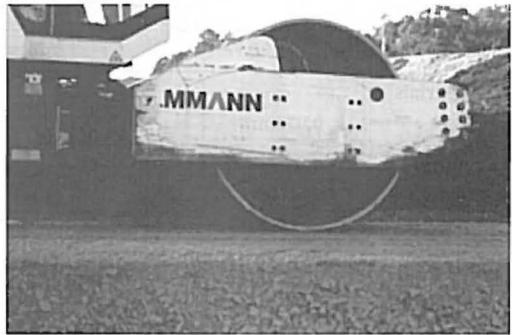
c) compactação da 1ª camada



d) deposição da 2ª camada de solo



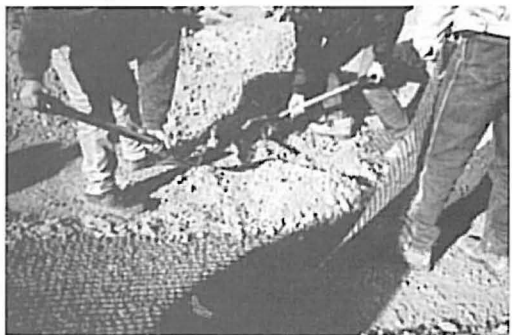
e) espalhamento da 2ª camada de solo



f) compactação da 2ª camada de solo



g) retirada à máquina do solo



h) exumação manual dos geossintéticos

Fig. 4 (continuação) – Ensaios de campo: seqüência de construção e exumação.

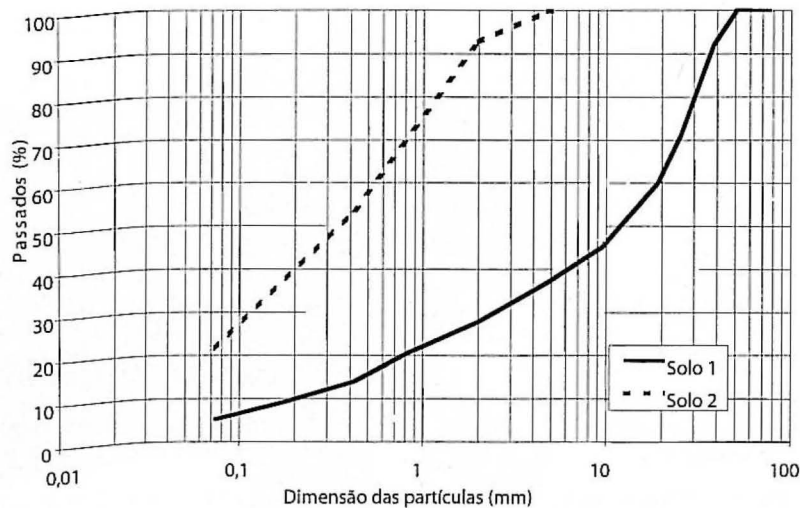


Fig. 5 – Distribuição das dimensões das partículas dos Solos 1 e 2.

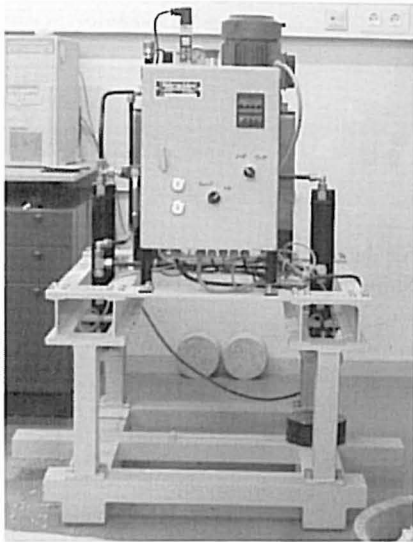
Quadro 4 – Propriedades dos Solos 1 e 2.

Materiais	Granulometria	Limites			W_n (%)	EA (%)	Proctor	
	% 0,074mm	LL	LP	IP			γ_{max} (g/m ³)	W_{opt} (%)
Solo 1	5,18	NP	NP	NP	–	57,4	2,11	7,8
Solo 2	21,53	NP	NP	NP	8,7	25,5	1,92	11,3

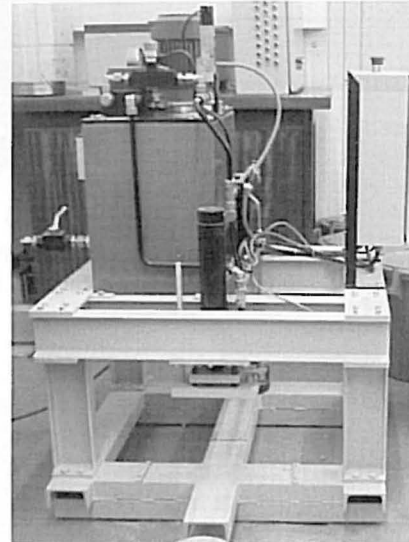
4 – ENSAIOS DE LABORATÓRIO DE DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO

4.1 – Equipamento

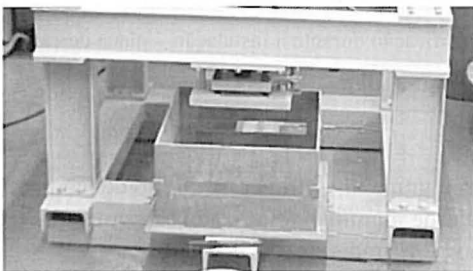
O equipamento de ensaio de laboratório de danificação durante a instalação de geossintéticos foi desenvolvido de acordo com a ENV ISO 10722-1 (Geotextiles and geotextiles-related products – Procedure for simulating damage during installation – Part 1: Installation in granular materials). O equipamento (Figura 6) é constituído por uma estrutura que aplica cargas dinâmicas. A caixa encontra-se dividida em duas partes, a inferior e a superior, tem 0,15m de altura total e uma área de 0,30 m x 0,30 m (Figura 7). A placa de carga com 0,10m de comprimento, 0,20m de largura e 0,015m de espessura (Figura 8) está colocada no centro da caixa. Uma descrição exhaustiva do equipamento pode ser encontrada em Pinho Lopes e Lopes (2003).



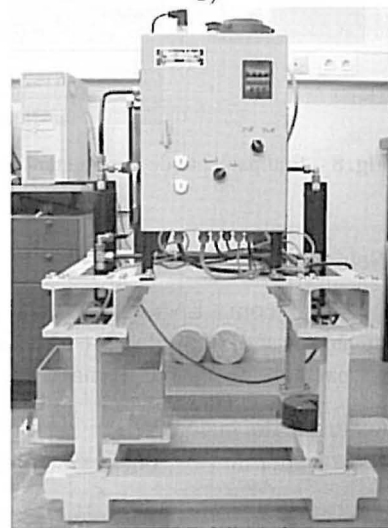
a)



b)



c)



d)

Fig. 6 – Equipamento de ensaio laboratorial de danificação durante a instalação:
a) vista frontal e sistema de controlo; b) vista lateral e sistema hidráulico;
c) caixa de danificação colocada; d) vista frontal com a caixa de danificação.

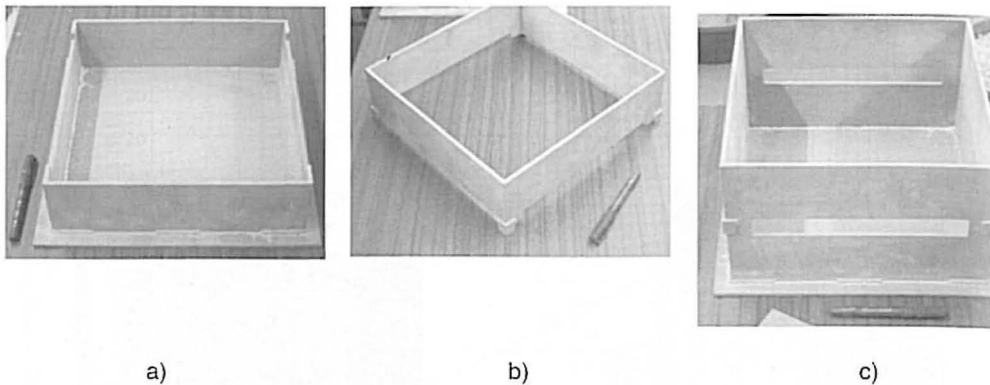


Fig. 7 – Equipamento de ensaio laboratorial de danificação durante a instalação:
 a) metade inferior da caixa; b) metade superior da caixa; c) caixa completa.

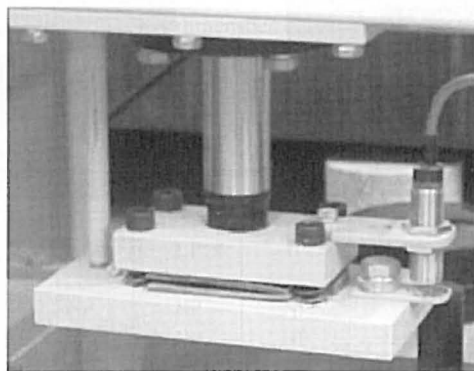


Fig. 8 – Equipamento de ensaio laboratorial de danificação durante a instalação – placa de carga.

4.2 – Solos

De acordo com a ENV ISO 10722-1, o material granular a utilizar no ensaio de laboratório de danificação durante a instalação é sintético – óxido de alumínio sinterizado (Figura 9). 100 % do material passa no peneiro de 10mm e 0% passa no peneiro de 5mm.

A dureza do material deve ser definida de acordo com a prEN 1097-2, e deve ter uma resistência à abrasão Los Angeles não inferior a 1,9.

A ENV ISO 10722-1 refere que o agregado deve ser peneirado através do peneiro com 5mm de malha depois de cada cinco utilizações e que o material passado deve ser eliminado. Após 20 utilizações todo o material deve ser eliminado.

Para além do estudo efectuado com o agregado sintético foram também realizados ensaios com agregados naturais: Solo 3, granítico, e Solo 4, calcário (Figura 10). A selecção destes solos teve por objectivo a utilização de materiais com uma distribuição granulométrica uniforme e com uma gama de diâmetros idêntica à do material granular sintético. A gama de diâmetros do Solo 3 varia entre 4,75mm e 12,5mm e a do Solo 4 varia de 4,75 mm a 19mm (Figura 11 e Quadro 5). A resistência à abrasão Los Angeles é de 28% e de 19,3%, respectivamente para os Solos 3 e 4.

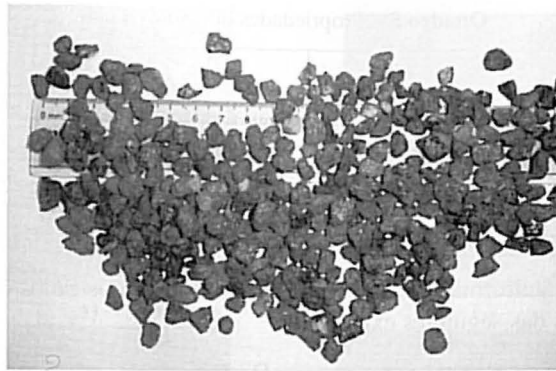
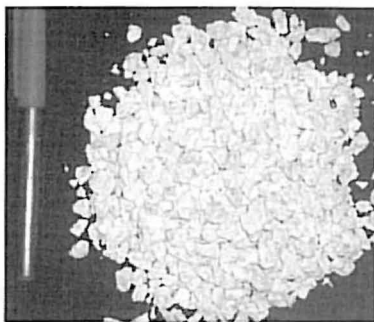
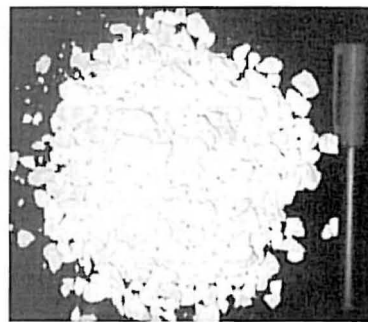


Fig. 9 – Material granular sintético.



a)



b)

Fig. 10 – Materiais granulares naturais: a) Solo 3, b) Solo 4.

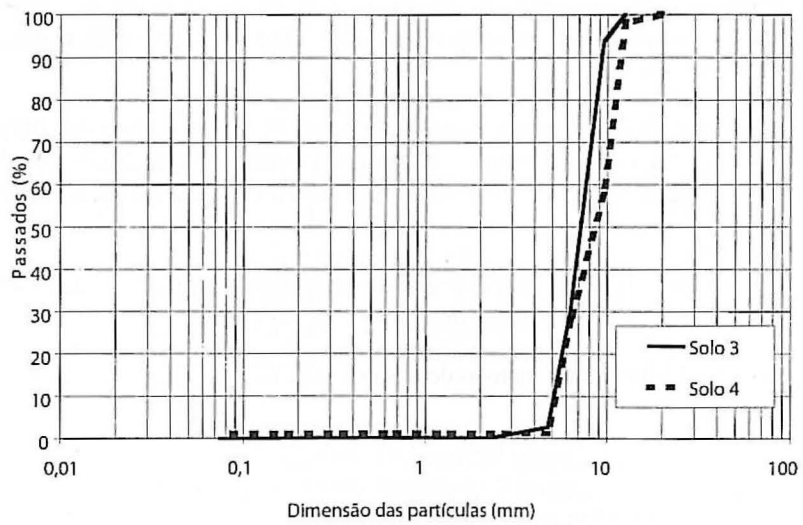


Fig. 11 – Distribuição granulométrica dos Solos 3 e 4.

Quadro 5 – Propriedades dos Solos 3 e 4.

Solos	D _{min} (mm)	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	D _{máx} (mm)	C _u	C _c	Resistência à abrasão (Los Angeles) (%)
Solo 3	4,75	5,20	6,30	7,10	7,75	12,5	1,49	0,98	28
Solo 4	4,75	5,30	6,60	8,70	9,60	19	1,81	0,86	19,3

Os coeficientes de uniformidade, C_u, e de curvatura, C_c, dos Solos 3 e 4 foram calculados, respectivamente através das seguintes expressões:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (2)$$

Em concordância com a ENV ISO 10722-1, os Solos 3 e 4 foram peneirados no peneiro de malha 5mm, após cada cinco utilizações, o material passado foi eliminado. Após 20 utilizações o material foi totalmente eliminado (Paula, 2003).

4.3 – Método de Ensaio

A metade inferior da caixa é cheia com duas camadas de material granular compactadas com uma placa apropriada (com 300mm x 300mm) que aplica durante 60 segundos uma pressão de (200 ± 2) kPa.

No centro da camada superficial, nivelada, coloca-se o geossintético, devendo os cantos livres deste ficar igualmente espaçados dos lados da caixa. Os limites livres do provete devem ser protegidos de qualquer eventual danificação durante o ensaio. O provete deve estar plano, livre de vincos, mas não estar pré-tensionado.

A metade superior da caixa é então colocada e preenchida com 75 mm de altura de material granular solto. A placa de carga (100 mm x 200 mm x 15 mm) é colocada no centro da caixa e a carga dinâmica é aplicada. A carga é cíclica de (5 ± 5) kPa a (900 ± 10) kPa à frequência de 1 Hz para 200 ciclos.

No final do ensaio o material granular é removido cuidadosamente de modo a que não seja induzida danificação adicional no provete ensaiado.

As Figuras 12 e 13 ilustram o método de ensaio.

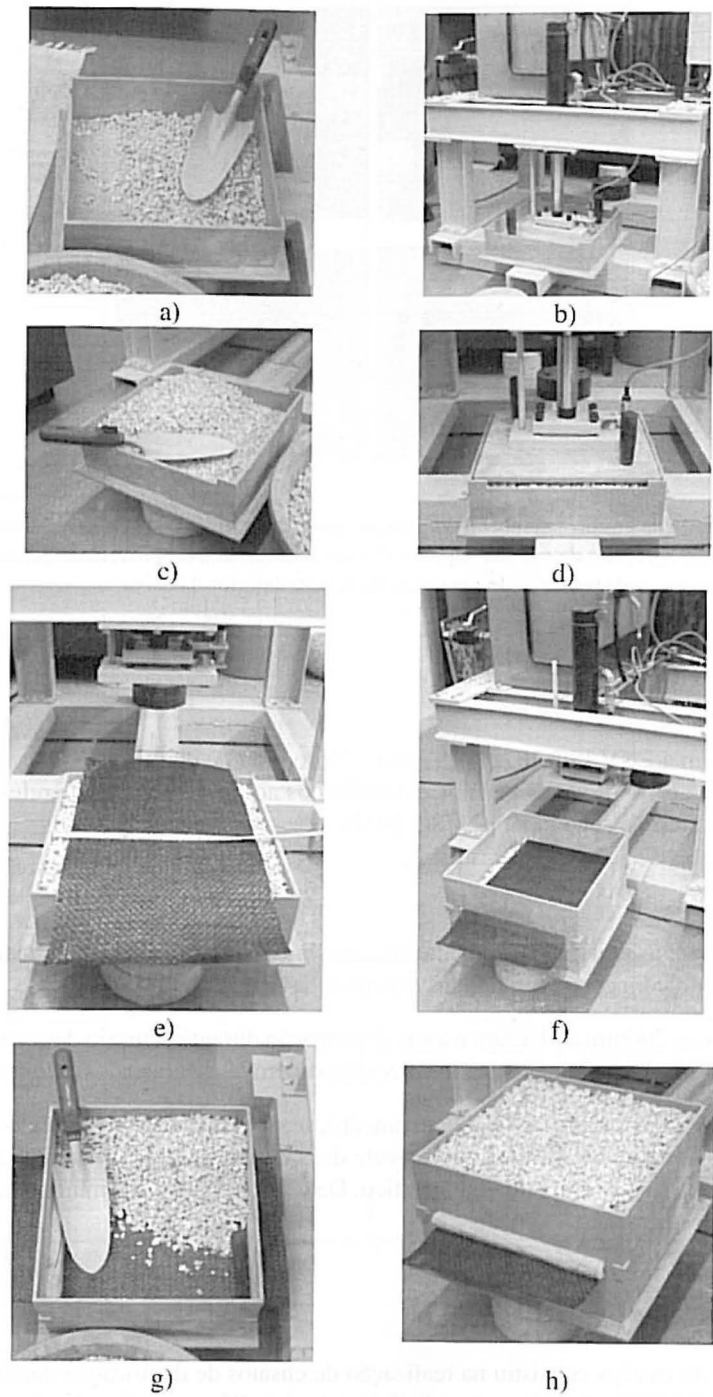


Fig. 12 – Método de ensaio: a) colocação da 1ª camada de agregado na metade inferior da caixa; b) compactação da 1ª camada de agregado; c) colocação da 2ª camada de agregado na metade inferior da caixa; d) compactação da 2ª camada de agregado; e) colocação do provete de geossintético; f) colocação da metade superior da caixa; g) enchimento da metade superior da caixa com agregado solto; h) vista da caixa antes do início do ensaio.

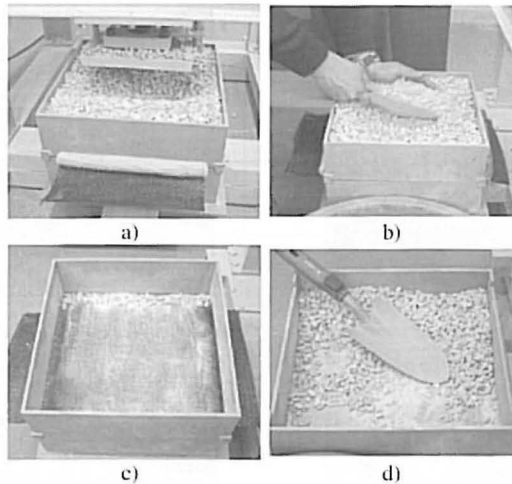


Fig. 13 – Método de ensaio – remoção do provete após o ensaio: a) vista da caixa após o ensaio; b) remoção do agregado da metade superior da caixa; c) retirada do provete de geossintético; d) remoção do agregado da metade inferior da caixa.

5 – ENSAIOS DE TRACÇÃO

5.1 – Introdução

De acordo com a ENV ISO 10722-1 a avaliação do grau de danificação induzido no geossintético é feita submetendo provetes intactos e danificados ao mesmo ensaio de referência, normalmente o ensaio de tracção segundo a EN ISO 10319.

5.2 – Método de Ensaio

Para caracterizar a danificação induzida nos geossintéticos em estudo foram realizados ensaios de tracção de acordo com os procedimentos descritos na EN ISO 10319.

Os provetes têm 200mm de largura e a sua deformação durante o ensaio deve ser medida usando dois pontos de referência, situados na linha central do provete e afastados pelo menos de 60mm.

Os provetes são fixos nas pegas do equipamento, sendo a distância entre pegas de pelo menos 100mm. O ensaio consiste na aplicação ao provete de forças de tracção crescentes a uma razão de $(20 \pm 5)\%$ por minuto até à rotura do geossintético. Deve ser ensaiado um mínimo de 5 provetes de cada amostra de geossintético.

6 – PROGRAMA DE ENSAIOS

O programa de ensaios consistiu na realização de ensaios de danificação durante a instalação sobre os três geossintéticos descritos, usando dois métodos diferentes (Quadro 6) num mínimo de cinco provetes por geossintético e na realização de ensaios de tracção de provetes intactos e danificados com o objectivo de caracterizar a danificação induzida (Quadro 7).

Embora os Quadros 6 e 7 mencionem 15 e 18 ensaios, respectivamente, cada ensaio foi repetido quatro vezes, o que dá um total de 165 ensaios realizados.

Quadro 6 – Programa de ensaios de danificação durante a instalação.

Ensaio	Método de danificação	Solo	Geossintético
DT1	<i>In situ</i>	Solo 1	GTXt
DT2			GGRt
DT3			GGRe
DT4		Solo 2	GTXt
DT5			GGRt
DT6			GGRe
DT7	Laboratório	Agregado sintético	GTXt
DT8			GGRt
DT9			GGRe
DT10		Solo 3	GTXt
DT11			GGRt
DT12			GGRe
DT13		Solo 4	GTXt
DT14			GGRt
DT15			GGRe

Quadro 7 – Programa de ensaios de tracção.

Ensaio	Método de provete	Solo	Geossintético
TT1	Intacto (referência)	-	GTXt
TT2			GGRt
TT3			GGRe
TT4	<i>In situ</i>	Solo 1	GTXt
TT5			GGRt
TT6			GGRe
TT7		Solo 2	GTXt
TT8			GGRt
TT9			GGRe
TT10	Laboratório	Agregado sintético	GTXt
TT11			GGRt
TT12			GGRe
TT13		Solo 3	GTXt
TT14			GGRt
TT15			GGRe
TT16		Solo 4	GTXt
TT17			GGRt
TT18			GGRe

7 – ANÁLISE DE RESULTADOS

7.1 – Introdução

Os resultados dos ensaios de tracção efectuados para caracterizar o efeito da danificação durante a instalação no comportamento a curto prazo dos geossintéticos são expressos em termos de resistência à tracção residual. A resistência à tracção residual ($S_{residual}$) é definida pela seguinte expressão:

$$S_{residual} = \frac{S_{danificada}}{S_{intacta}} \times 100 \text{ (em \%)} \quad (3)$$

Onde $S_{danificada}$ é a resistência à tração do material danificado e $S_{intacta}$ é a resistência à tração do material de referência.

Como indicador da dispersão dos resultados, refere-se o coeficiente de variação da resistência à tração, *C.V.*

7.2 – Materiais Danificados *In Situ*

Os resultados dos ensaios de campo de danificação durante a instalação de geossintéticos encontram-se no Quadro 8 e nas Figuras 14 e 15, em termos de resistência residual (Quadro 8 e Figura 14) e do correspondente coeficiente de variação (Quadro 8 e Figura 15).

Os resultados referem-se aos Solos 1 e 2, usados nos aterros temporários e às duas energias de compactação aplicadas E.C. 1 – 90% do Proctor normal e E.C. 2 – 98% do Proctor normal.

Quadro 8 – Resultados de ensaios de tração após DDI *in situ*.

Solos	Quantidade (%)	Solo 1		Solo 2	
		E. C. 1	E. C. 2	E. C. 1	E. C. 2
GTXt	$S_{residual}$	56,4	34,0	*	90,6
	C.V.	8,6	5,0	*	1,0
GGRt	$S_{residual}$	62,8	55,2	77,5	74,8
	C.V.	8,9	8,7	6,0	6,3
GGRe	$S_{residual}$	90,9	76,4	88,8	75,1
	C.V.	4,4	7,7	8,0	8,3

*Não foi possível obter estes resultados.

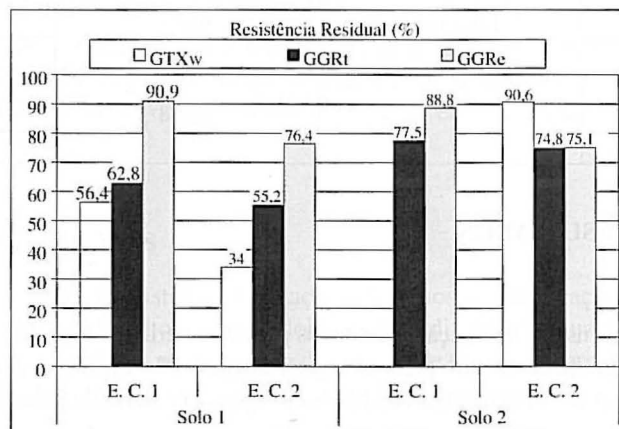


Fig. 14 – Ensaios *in situ* – resistência residual.

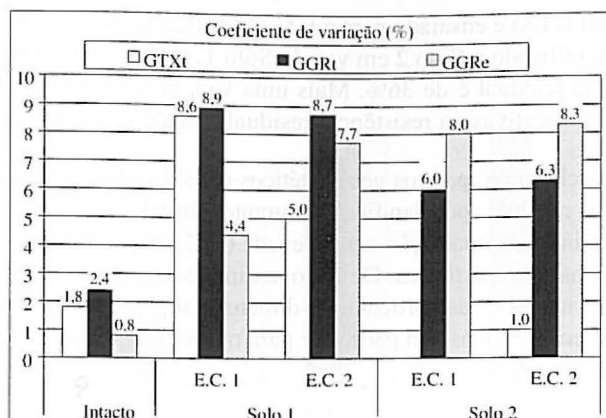


Fig. 15 – Ensaio *in situ* – coeficiente de variação da resistência à tracção.

7.2.1 – Influência do tipo de geossintético

Para estudar a influência do tipo de geossintético na danificação induzida durante a instalação são analisados, separadamente, os resultados referentes a um solo e a uma energia de compactação. Para o Solo 1 e para as duas energias de compactação consideradas, os menores e maiores valores de resistência residual ocorreram, respectivamente, para o Geotêxtil GTXt e para a Geogrelha GGRt.

Para o Solo 2 obtiveram-se resultados semelhantes, excepção feita no caso da utilização do Solo 2 e da E.C. 2 (98% do Proctor normal) onde o valor mais elevado da resistência residual foi obtido para o Geotêxtil GTXt.

Devido à sua estrutura o Geotêxtil GTXt é mais sensível à danificação durante a instalação. A inspecção visual do material, depois dos ensaios *in situ*, permitiu constatar a existência de cortes e incisões na trama e, em alguns locais, a destruição total desta. Estes danos influenciam a distribuição da carga ao longo do material, conduzindo a uma menor resistência do geossintético.

A danificação durante a instalação afecta também a estrutura da Geogrelha GGRt. Observaram-se também cortes, incisões e alterações no revestimento do material. Contudo, estes danos afectam menos este geossintético do que o Geotêxtil GTXt (ver Quadro 8).

Exceptuando o caso referido atrás, a Geogrelha GGRt é o material que apresenta maior resistência residual após a danificação durante a instalação. Este material é extrudido, isto é, produzido a partir de uma folha de polímero que é estirada e perfurada, formando juntas integrais e por isso menos sensível à danificação mecânica.

7.2.2 – Influência do tipo de solo

Para avaliar a influência do tipo de solo em contacto com o geossintético são comparados os resultados referentes à aplicação da mesma energia de compactação.

Não foi possível ensaiar o Geotêxtil GTXt no Solo 2 para a E.C. 1. Quando a Geogrelha GGRt é ensaiada com o Solo 2 regista-se um aumento da resistência residual de 23% em relação ao valor obtido para este parâmetro com o Solo 1. No caso da Geogrelha GGRt não se observam alterações significativas na resistência residual quando é o usado o Solo 1 ou o Solo 2.

Quando o Geotêxtil GTXt é ensaiado para a E.C. 2 verifica-se um aumento da resistência residual de 166% quando é utilizado o Solo 2 em vez do Solo 1, enquanto que para a Geogrelha GGRt o aumento da resistência residual é de 36%. Mais uma vez, no caso da Geogrelha GGRt não se observam alterações significativas na resistência residual quando é o usado o Solo 1 ou o Solo 2.

Assim, pode-se concluir que, para os geossintéticos considerados, a influência do tipo de solo envolvente na resistência residual após danificação durante a instalação dos materiais é significativa, em especial para a energia de compactação mais elevada (E.C. 2). A influência do tipo de solo pode ser justificada pela dimensão de partículas. De facto, a dimensão máxima das partículas do Solo 2 é 5mm, enquanto o Solo 1 tem 60% de partículas de dimensão superior a 5mm, tornando-se, por isso, mais agressivo para os geossintéticos, em particular para o Geotêxtil GTXt e para a Geogrelha GGRt.

7.2.3 – Influência da energia de compactação

Para analisar a influência da energia de compactação comparam-se os resultados referentes a cada um dos solos considerados.

Com o Solo 1, todos os geossintéticos apresentam menor resistência residual após danificação quando é usada a energia de compactação mais elevada (E.C. 2). Com o Solo 2 são obtidos resultados semelhantes, excepto para o caso do Geotêxtil GTXt que foi inconclusivo devido à falta de resultados para uma das energias de compactação.

Com efeito, a redução da resistência residual para a E.C. 2 em relação à E.C. 1 é, no caso do Solo 1, 40% para o Geotêxtil GTXt, 12% para a Geogrelha GGRt e 16% para a Geogrelha GGRt. No caso do Solo 2 essa redução é de 3% para a Geogrelha GGRt e 15% para a Geogrelha GGRt. Assim, pode-se também concluir que com os materiais usados a influência da energia de compactação é mais significativa quando é utilizado o solo mais agressivo.

7.3 – Materiais Danificados em Laboratório

O Quadro 9 e as Figuras 16 e 17 apresentam os resultados dos ensaios laboratoriais de danificação durante a instalação de geossintéticos, em termos de resistência residual (Quadro 9 e Figura 16) e do correspondente coeficiente de variação (Quadro 9 e Figura 17).

Os resultados referem-se aos três tipos de agregados usados, o sintético, indicado na ENV ISO 10722-1, e os dois naturais (Solos 3 e 4).

Quadro 9 – Resultados de ensaios de tracção após DDI em laboratório.

Geossintético	Quantidade (%)	Agregado sintético	Solo 3	Solo 4
GTXt	S _{residual}	43,2	64,7	75,2
	C.V.	11,8	4,2	3,8
GGRt	S _{residual}	59,6	88,7	98,8
	C.V.	7,5	7,4	2,7
GGRt	S _{residual}	101,3	95,1	99,1
	C.V.	1,3	2,9	2,0

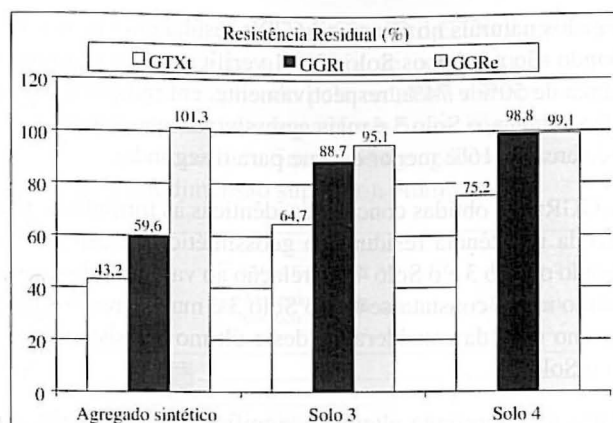


Fig. 16 – Ensaio de laboratório – resistência residual.

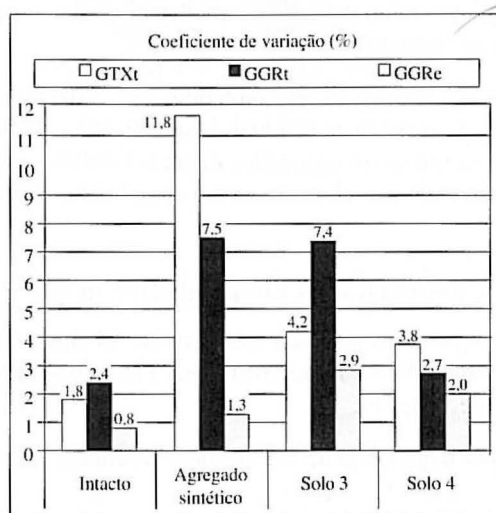


Fig. 17 – Ensaio de laboratório – coeficiente de variação da resistência à tracção.

7.3.1 – Influência do tipo de geossintético

Para avaliar o papel do tipo de geossintético na danificação durante a instalação induzida em laboratório os resultados referentes a cada agregado utilizado vão ser analisados em separado.

A tendência observada com base nos resultados dos ensaios *in situ* é também verificada nos ensaios de laboratório. Isto é, para os três agregados usados o material que apresenta menor resistência residual após DDI é o Geotêxtil GTXt e aquele que apresenta maior resistência residual é a geogrelha GGR.

7.3.2 – Influência do tipo de agregado

A avaliação da influência do tipo de agregado usado nos ensaios laboratoriais é feita discutindo os resultados obtidos com os três agregados para cada geossintético.

A acção dos agregados naturais no Geotêxtil GTXt resulta em valores elevados da resistência residual. De facto, quando são usados os Solos 3 e 4 verifica-se um acréscimo da resistência residual no geotêxtil de cerca de 50% e 74%, respectivamente, em relação à obtida quando é utilizado o agregado sintético. No entanto, o Solo 3 é mais agressivo do que o Solo 4, já que para o primeiro a resistência residual é cerca de 16% menor do que para o segundo.

Para a Geogrelha GGRt são obtidas conclusões idênticas às formuladas para o Geotêxtil GTXt. Isto é, há um aumento da resistência residual do geossintético de cerca de 49% e 60%, respectivamente, quando é usado o Solo 3 e o Solo 4 em relação ao valor obtido quando é utilizado o agregado sintético. Do mesmo modo constata-se que o Solo 3 é mais agressivo para a Geogrelha GGRt do que o Solo 4, sendo no caso da consideração deste último a resistência residual cerca de 11% superior à obtida para o Solo 3.

A Geogrelha GGRe não apresenta alteração significativa de resistência quando é posta em contacto com o agregado sintético. Uma explicação para esta ocorrência pode estar relacionada com a reorientação das fibras durante o ensaio laboratorial de danificação durante a instalação. A utilização do Solo 3 leva a uma redução de resistência de 6% e quando é usado o Solo 4 essa redução é de 2%, observando-se um comportamento semelhante ao dos outros dois geossintéticos no que se refere à acção dos agregados naturais.

Exceptuando a Geogrelha GGRe, os geossintéticos em contacto com o agregado sintético apresentam menores valores de resistência residual do que quando são postos em contacto com os agregados naturais. No que se refere aos agregados naturais verifica-se que o Solo 3 é mais agressivo do que o Solo 4, já que conduz a valores menores da resistência residual.

7.4 – Comparação entre os Resultados dos Ensaio de DDI In Situ e em Laboratório

As Figuras 18 e 19 comparam os resultados dos ensaios in situ e laboratoriais de danificação durante a instalação de geossintéticos, respectivamente, em termos de resistência residual e do correspondente coeficiente de variação.

A Figura 18 mostra uma larga gama de valores de resistência residual (de 34% a 101%).

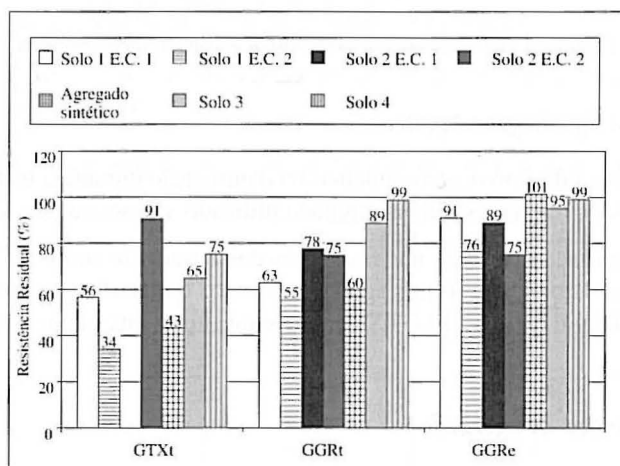


Fig. 18 – Ensaio *in situ* e de laboratório – resistência residual.

A danificação induzida *in situ* pelo Solo 2 no Geotêxtil GTXt é menor do que a induzida pelos outros materiais granulares, mesmo para a energia de compactação mais elevada (E.C. 2). O comportamento observado pode ser explicado pela reduzida dimensão das partículas do Solo 2, dado que este tem como dimensão máxima de partícula 5mm, enquanto que o Solo 1 tem cerca de 60% de partículas com dimensão superior a 5mm e os agregados utilizados nos ensaios de laboratório têm 100% de partículas com dimensão superior a 5mm.

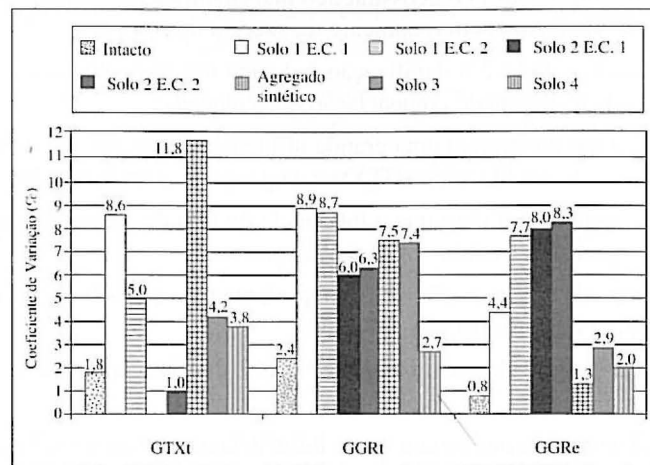


Fig. 19 – Ensaio *in situ* e de laboratório – coeficiente de variação da resistência à tracção.

Quando o material de aterro em contacto com o Geotêxtil GTXt é idêntico ao Solo 2, os ensaios laboratoriais de DDI são muito conservativos, em especial quando o agregado utilizado é o exigido pela EN ISO 10722-1. Os valores menos conservativos obtidos nos ensaios laboratoriais foram conseguidos com a utilização do Solo 4, embora mesmo neste caso o grau de segurança seja de cerca de 20%.

Quando o material de aterro é do tipo do Solo 1 os resultados laboratoriais de DDI são optimistas quando a energia de compactação utilizada é a mais elevada. Quando a energia de compactação seleccionada é a menor, os resultados dos ensaios laboratoriais de DDI mantêm-se optimistas quando os agregados seleccionados são os naturais. Porém, quando o agregado utilizado é o sintético os resultados apresentam um grau de segurança de 30%.

O coeficiente de variação da resistência à tracção mais elevado (11,8%) foi obtido nos ensaios laboratoriais em que foram usados o agregado sintético e o Geotêxtil GTXt.

Para a Geogrelha GGRt verifica-se que os resultados dos ensaios laboratoriais são optimistas, em relação aos valores obtidos nos ensaios *in situ*, quando são usados agregados naturais. Quando o agregado é o sintético os valores laboratoriais são idênticos aos obtidos *in situ* quando o material de aterro é o Solo 1, e cerca de 30% inferiores do que quando em campo é usado o Solo 2.

Para a Geogrelha GGRc constata-se que os ensaios laboratoriais de DDI fornecem resultados muito optimistas seja qual for o agregado usado para a previsão da danificação induzida *in situ* pelos Solos 1 e 2. Os valores mais próximos são encontrados quando em laboratório se considera o Solo 3 para prever a danificação induzida em campo pelos Solos 1 e 2, para a energia de compactação menor.

8 – CONCLUSÕES

Após a apresentação dos estudos laboratoriais e de campo da danificação durante a instalação de três tipos de geossintéticos diferentes e da influência nesta do tipo de solo envolvente e da energia de compactação, são de realçar os seguintes aspectos:

- os ensaios de campo evidenciaram que quanto o solo confinante é o que apresenta maior dimensão de partículas (Solo 1) o geossintético mais danificado é o geotêxtil tecido (GTXt) e que a danificação aumenta com o aumento da energia de compactação;
- quando é utilizado o Solo 2 a danificação induzida nos geossintéticos é reduzida, mesmo quando é aplicada a energia de compactação mais elevada;
- os ensaios de campo mostraram uma grande influência do tipo de solo confinante na danificação induzida no geotêxtil tecido (GTXt) e na geogrelha tecida (GGRt);
- os ensaios de campo mostraram que a influência do tipo de solo confinante na danificação induzida na geogrelha extrudida (GGRt) é desprezável;
- o papel da energia de compactação é mais importante para a GGRt quando é utilizado o Solo 1 e é idêntica para a GGRt para os dois solos;
- em termos gerais, o geossintético menos sensível à danificação *in situ* é a geogrelha extrudida (GGRt);
- os ensaios de laboratório mostraram que a influência do tipo de geossintético na sua danificação durante a instalação é idêntica à observada nos ensaios *in situ*, isto é, o geossintético mais danificado é o Geotêxtil GTXt e o menos danificado é a Geogrelha GGRt, seja qual for o agregado confinante;
- a danificação induzida em laboratório à Geogrelha GGRt é insignificante e praticamente independente do tipo de agregado usado;
- a Geogrelha (GGRt) e o Geotêxtil (GTXt) evidenciaram o mesmo tipo de influência do agregado confinante, sendo o agregado mais agressivo o sintético e o menos agressivo o calcário;
- quando *in situ* o material de aterro em contacto com o Geotêxtil (GTXt) é idêntico ao Solo 2, os resultados dos ensaios laboratoriais de DDI são muito conservativos, sendo os menos pessimistas os obtidos com o agregado calcário (Solo 4);
- quando *in situ* o material de aterro em contacto com o Geotêxtil (GTXt) é idêntico ao Solo 1, os resultados dos ensaios laboratoriais de DDI são muito optimistas, excepto quando a energia de compactação usada *in situ* é a menor e o agregado utilizado em laboratório é o sintético;
- os resultados dos ensaios laboratoriais de DDI dão resultados seguros para prever a danificação durante a instalação *in situ* da geogrelha tecida GGRt quando o agregado usado é o sintético, porém, quando o material de aterro é o Solo 1, os resultados dos ensaios laboratoriais e de campo são idênticos;
- os resultados dos ensaios laboratoriais de DDI dão resultados inseguros para prever a danificação durante a instalação *in situ* da geogrelha extrudida GGRt.

9 – AGRADECIMENTOS

Os autores querem expressar os seus agradecimentos pelo apoio financeiro e patrocínio à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), POCTI e FEDER (Projecto de Investigação: POCTI/ECM/42822/2001).

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lopes, M. P e Lopes M. L., “Efeito no comportamento mecânico dos geossintéticos da danificação sofrida durante a instalação – resultados iniciais”, *Geotecnia, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia*, nº 93, pp.81-99, 2001.
- Paula, A. M. V, *Danificação durante a instalação – avaliação laboratorial da influência no comportamento dos geossintéticos*, Dissertação de Mestrado em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, FEUP, Porto, Portugal, 155p., 2003.
- Pinho Lopes, M. e Lopes M. L., “Um equipamento para realização de ensaios laboratoriais de danificação durante a instalação de geossintéticos”, *Geotecnia, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia*, nº 98, pp.7-24, 2003.