

## **EFEITO DA DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE LONGO PRAZO DE UMA GEOGRELHA TECIDA EM PET**

### **EFFET OF DAMAGE DURING INSTALATION ON MECHANICAL BEHAVIOR OF A WOVEN POLYESTER GEOGRID**

Paula, António Miguel Verdelho, *Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal,*

[mpaula@ipb.pt](mailto:mpaula@ipb.pt)

Pinho-Lopes, Margarida, *Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal,*

[mlopes@ua.pt](mailto:mlopes@ua.pt)

Lopes, Maria de Lurdes, *Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Portugal,*

[lcosta@fe.up.pt](mailto:lcosta@fe.up.pt)

#### **RESUMO**

Este trabalho apresenta o efeito da danificação durante a instalação de uma geogrelha tecida em poliéster (PET) no seu comportamento mecânico de tracção a curto e a longo prazo. Foi realizado um programa de ensaios onde o geossintético foi sujeito a ensaios de campo de danificação durante a instalação (DDI), usando dois tipos de solos compactados, cada um para com duas energias de compactação. A caracterização do efeito da danificação induzida no comportamento mecânico do geossintético foi estudada através de ensaios de tracção (ensaios de curto prazo), e ensaios de fluência e rotura em fluência em tracção (ensaios de longo prazo). Os resultados do estudo são apresentados e analisados. Finalmente, são referidas as principais conclusões do estudo.

#### **ABSTRACT**

This paper reports the results of the effect of damage during installation (DDI) on the long-term and short-term tensile mechanical behaviour of a woven polyester (PET) geogrid. This material has been subjected to field damage tests, using two different soils compacted with two compaction energies each. To characterize the effect of the damage induced on the mechanical behavior of geosynthetic, tensile test (short-term behaviour), and tensile creep tests and creep rupture tests (long-term behaviour) were carried out. The results of the study are presented and analysed. Finally, the main conclusions are put forward.

#### **1. INTRODUÇÃO**

Um dos aspectos de mais relevantes na área dos geossintéticos é o estudo da sua durabilidade, em particular, às acções mecânicas a que estão sujeitos durante os processos de instalação e construção. Sob estas acções os geossintéticos podem ser danificados e a alteração das suas propriedades pode comprometer o bom funcionamento das construções em que estão inseridos.

Para contribuir para o conhecimento do efeito da danificação durante a instalação de geossintéticos no seu comportamento mecânico, foi realizado um programa de ensaios. Um geossintético (geogrelha tecida em PET) foi sujeito a ensaios de campo de danificação durante a instalação (DDI). A caracterização do efeito da danificação induzida no comportamento mecânico do geotêxtil foi estudada através de ensaios de tracção, fluência e rotura em fluência, realizados no Laboratório de Geossintéticos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Foram ensaiadas amostras intactas e danificadas da geogrelha.

A informação apresentada é uma actualização da informação adquirida e já apresentada em Pinho-Lopes *et al.* (2000), Pinho-Lopes *et al.* (2002) e Paula *et al.* (2008).

## 2. MATERIAIS E ENSAIOS REALIZADOS

### 2.1. Geossintético

O geossintético considerado no estudo foi uma geogrelha tecida em poliéster (geogrelha GGRt). As propriedades mecânicas nominais da geogrelha GGRt são as apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades da GGRt

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

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

### 2.2. Programa de Ensaios

#### 2.2.1. 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 o geossintético para avaliar a danificação induzida ao material.

Assim, foram construídos alguns aterros temporários, onde o geossintético foi colocado entre camadas de solo compactado de acordo com os procedimentos comuns em aplicação de reforço de solos. Sobre a fundação, competente e livre de raízes e de materiais contundentes foi vertido, espalhado, nivelado e compactado o solo. Sobre esta camada de solo foi colocado o geossintético, sem dobras. Em nenhum caso foi permitido o tráfego de equipamentos de construção sobre o geossintético antes de sobre ele existir uma camada de solo com pelo menos, 0,15m de espessura. Em seguida, duas camadas de 0,20m de espessura de solo foram vertidas, espalhadas, niveladas e compactadas à energia específica. Após a conclusão dos aterros procedeu-se à exumação dos geossintéticos; o solo foi cuidadosamente removido e o geossintético recuperado (Pinho-Lopes, 2006).

Foram usados dois solos (Quadro 2), um “tout-venant” (Solo 1) e um solo residual do granito (Solo 2). A dimensão máxima das partículas do Solo 1 é de 50,8mm e do Solo 2 é de 5mm. Para estudar a influência da energia de compactação na danificação induzida, consideraram-se duas energias de compactação (EC1 – 90% do Proctor normal e EC2 – 98% do Proctor normal). Assim foram executados quatro aterros temporários, Lopes e Lopes (2001).

Quadro 2 - Resultados obtidos da caracterização laboratorial do Solo 1 e Solo 2

Solo	% < 0,074mm	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>30</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	D <sub>max</sub> (mm)	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>
Solo 1	5,18	0,22	2,68	11,78	19,15	50,80	87,81	1,71
Solo 2	21,53	0,07	0,17	0,38	0,68	5,00	9,64	0,58

#### 2.2.2. Ensaios de caracterização da danificação induzida

A avaliação do grau de danificação induzido no geossintético é feita submetendo provetes intactos e danificados em campo ao mesmo ensaio de caracterização. A caracterização do efeito da danificação induzida no comportamento mecânico do geossintético foi estudada através de ensaios de tracção, fluência e rotura em fluência.

Os ensaios de tracção foram realizados de acordo com a norma NP EN ISO 10319 (2006). O ensaio consiste na aplicação ao provete de geossintético de forças de tracção crescentes a uma razão de

( $20\pm 5$ )% por minuto até à sua rotura. Deve ser ensaiado um mínimo de 5 provetes de cada amostra de geossintético.

Os ensaios de fluência e rotura em fluência de geossintéticos encontram-se descritos na norma europeia EN ISO 13431 (1999). Estes tipos de ensaios baseiam-se no seguinte princípio: os provetes do material a ensaiar são submetidos a uma força estática constante, em condições de temperatura e humidade constantes. Essa carga deve estar distribuída igualmente em toda a largura do provete. A Figura 1 ilustra dois pórticos utilizados na realização dos ensaios de fluência e rotura em fluência e um provete em ensaio.

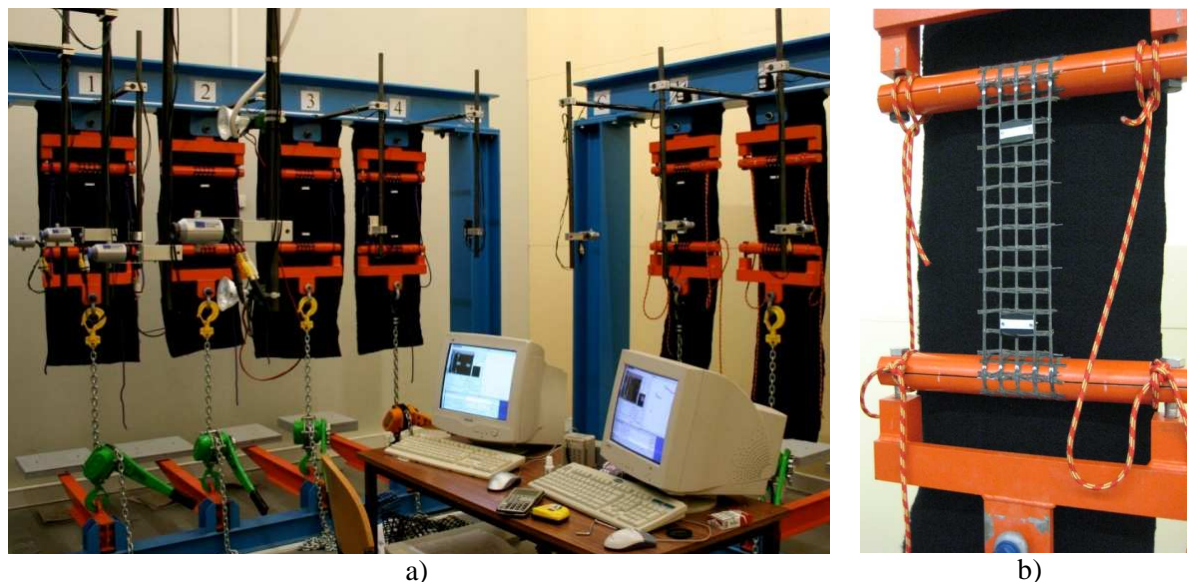


Figura 1 – a) Pórticos utilizados na realização dos ensaios de fluência e rotura em fluência; b) provete em ensaio.

No ensaio de fluência a carga é mantida durante um período de 1000 horas. A extensão do provete é medida em intervalos de tempo específicos. Caso haja rotura do material antes de decorridas 1000 horas o tempo até à rotura é registado. Foram realizados ensaios de fluência para níveis de carga distintos, inferiores a 60% da resistência à tracção do geossintético em estudo (de acordo com o definido na norma EN ISO 13431: 1999).

No ensaio de rotura em fluência a carga é mantida até à rotura. O tempo decorrido desde a aplicação total da carga até à rotura é determinado recorrendo a um relógio incorporado no equipamento de ensaio que regista esse mesmo intervalo de tempo. Foram realizados ensaios de rotura em fluência para níveis de carga distintos entre 50% a 90% da resistência à tracção do geossintético, para cada um desses níveis de carga foram ensaiados três provetes, num total de doze provetes para cada tipo de amostra do geossintético em estudo (de acordo com o definido na norma EN ISO 13431: 1999).

Com este programa de ensaios pretende-se aumentar o suporte técnico-científico dos valores dos coeficientes de segurança a considerar no dimensionamento das estruturas que integrem geossintéticos, em especial naqueles em que o comportamento mecânico, de curto e de longo prazo, dos geossintéticos é relevante.

### 3. ANÁLISE DE RESULTADOS

#### 3.1. Ensaios de Tracção

Os resultados dos ensaios de tracção para caracterizar o efeito da danificação durante a instalação no comportamento a curto prazo do geossintético estão apresentados no Quadro 3 em termos de

resistência à tracção, extensão na rotura e os correspondentes valores do coeficiente de variação, como indicador da dispersão dos resultados

Os mesmos resultados são apresentados no Quadro 4 em termos de resistência à tracção residual e extensão na rotura residual. O valor residual destas grandezas ( $X_{residual}$ ) que, consoante o caso, é a resistência à tracção residual ( $R_{residual}$ ) ou a extensão na rotura residual ( $\epsilon_{Fmáx\ res}$ ), é definido pela seguinte expressão:

$$X_{residual} = \frac{X_{danificada}}{X_{intacta}} \times 100(\%) \quad (1)$$

Onde  $X_{danificada}$  é a resistência à tracção ou extensão na rotura do material danificado e  $X_{intacta}$  dizem respeito ao material intacto ou de referência.

Quadro 3 - Resultados de ensaios de tracção – resistência à tracção (R), coeficiente de variação da resistência à tracção ( $CV_s$ ), extensão na rotura ( $\epsilon$ ) e coeficiente de variação da extensão na rotura ( $CV_\epsilon$ )

Geossintético	Parâmetros	Material intacto	Após DDI – ensaios de campo			
			Solo 1		Solo 2	
			EC1	EC2	EC1	EC2
GGRt	R (kN/m)	83,4	52,0	45,9	64,5	62,2
	$CV_s$ (%)	2,4	8,8	8,7	6,0	6,3
	$\epsilon$ (%)	14,9	11,8	11,9	13,8	13,2
	$CV_\epsilon$ (%)	5,7	5,1	2,5	4,6	3,1

Quadro 4 - Resultados do ensaios de tracção – resistência à tracção residual e extensão na rotura residual

Geossintético	Grandezas (%)	Solo 1		Solo 2	
		EC1	EC2	EC1	EC2
GGRt	$R_{residual}$	62,4	55,0	77,3	74,6
	$\epsilon_{Fmáx\ res}$	79,2	79,9	92,6	88,6

A resistência à tracção residual varia entre 55% e 77,3%. O valor mais baixo diz respeito ao provetes danificados em campo com Solo 1 e EC2.

O coeficiente de variação da resistência à tracção para o material intacto está abaixo dos 2,5%, para os materiais danificados em campo, este valor varia entre 6,0% e 8,8%. Os maiores valores deste coeficiente dizem respeito aos provetes danificado em campo com o Solo 1, que curiosamente são aqueles que exibem menores valores da resistência à tracção após DDI. Isto indica que, para este caso, a maior danificação está associada a maior variabilidade dos resultados obtidos.

A extensão na rotura residual do geossintético estudado varia entre 79,2% e 92,6%. A redução deste valor segue a mesma tendência que a resistência à tracção residual. No entanto, em todos os casos a redução da extensão na rotura após danificação induzida em campo é menor que a observada para a resistência à tracção.

O coeficiente de variação da extensão na rotura dos provetes intactos é maior que o coeficiente para a resistência à tracção, 5,7% para a extensão na rotura e 2,4% para a resistência à tracção. Após danificação em campo, estes valores variam entre 2,5% e 5,1%, sempre abaixo do valor obtido para os provetes de referência. Isto indica que a danificação induzida nas diferentes condições consideradas, é menos variável, em termos de extensão na rotura do que o mesmo coeficiente para o material de referência.

Da análise dos Quadros 3 e 4, verifica-se que o solo mais agressivo para a GGRt é o Solo 1, a que correspondem valores da resistência à tracção residual de 62,4% e 55% para as duas energias de compactação consideradas (EC1 e EC2), respectivamente. A maior agressividade do Solo 1 ( $D_{50}=11,78\text{mm}$ ) pode ser explicada pelo facto de ter partículas maiores que o Solo 2 ( $D_{50}=0,28\text{mm}$ ).

Como esperado, a energia de compactação usada nos ensaios de campo de DDI influencia o comportamento mecânico do material estudado. À maior energia de compactação (EC2) correspondem menores valores da resistência à tracção e da valor da extensão na rotura.

Após os ensaios de campo de danificação durante a instalação é possível definir valores para os coeficientes de redução para a DDI a usar no dimensionamento de geossintéticos (Quadro 5) através da seguinte equação:

$$\gamma_{DDI} = \frac{S_{\text{intacto}}}{S_{\text{danificado}}} \quad (2)$$

Onde,  $\gamma_{DDI}$  é o coeficiente de redução para danificação durante a instalação,  $S_{\text{intacto}}$  é a resistência à tracção do material intacto e  $S_{\text{danificado}}$  é a resistência à tracção do material danificado.

Quadro 5 - Coeficientes de redução para a danificação durante a instalação

Geossintético	$\gamma_{DDI}$			
	Solo 1		Solo 2	
	EC1	EC2	EC1	EC2
GGRt	1,60	1,84	1,29	1,34

Os valores obtidos para o coeficiente de redução referente à DDI reflectem os resultados referidos anteriormente. Estes valores variam entre 1,29 (para o geossintético após DDI com o Solo 2 e EC1) e 1,84 (para o geossintético após DDI com o Solo 1 e EC2)

### 3.2. Ensaios de Rotura em Fluência

Na Figura 2 estão representados os resultados dos ensaios de rotura em fluência, assim como as curvas de rotura em fluência e os limites inferiores de confiança de 95% (designados na figura por LIC (95%)) para o geossintético estudado e para os diferentes tipos de provetes considerados (intactos e danificados em campo com os dois solos e as duas energias de compactação). Os resultados de ensaios de rotura em fluência permitem inferir o tempo de vida do material sob acção de carga constante, recorrendo a extrapolações. No entanto, estas devem ser realizadas com cautela e com informação relevante, pelo que se deve evitar extrapolações superiores a duas ordens de grandeza. Por esta razão as extrapolações foram feitas apenas para 30 anos de vida do geossintético.

Para todos os provetes ensaiados, é possível observar que a inclinação da curva de rotura em fluência é maior no material intacto do que nos materiais danificados em campo. Aliás, as curvas correspondentes às amostras intactas e às amostras danificadas tendem a aproximar-se, isto pode indicar que o efeito da rotura em fluência é maior no material intacto do que nos materiais danificados. Entre os materiais danificados esse efeito é menor no material com maior grau de danificação a curto prazo, GGRt após DDI com Solo 1 e EC1 (de referir que, até à data da realização deste artigo, os resultados de rotura em fluência com o Solo 1 e EC2 ainda não foram realizados). É também neste material (GGRt após DDI com Solo 1 e EC1) que se observa uma maior dispersão de resultados.

Os resultados apresentados indicam que, após 30 anos de serviço sob carga constante, o material intacto sofreria rotura e a carga correspondente seria, aproximadamente, 60% da resistência à tracção do geossintético.

As normas Europeias para o dimensionamento de obras com geossintéticos usam diferentes coeficientes de redução para representar cada uma das acções estudadas, a DDI e a rotura em fluência

e, posteriormente, sobrepõem esses dois mecanismos. Com os resultados obtidos neste trabalho, os valores dos coeficientes de redução para a DDI e rotura em fluência foram determinados considerando a sinergia entre os dois mecanismos, usando a metodologia descrita por Pinho-Lopes *et al.* (2000). Mais detalhes estão em Pinho Lopes (2006).

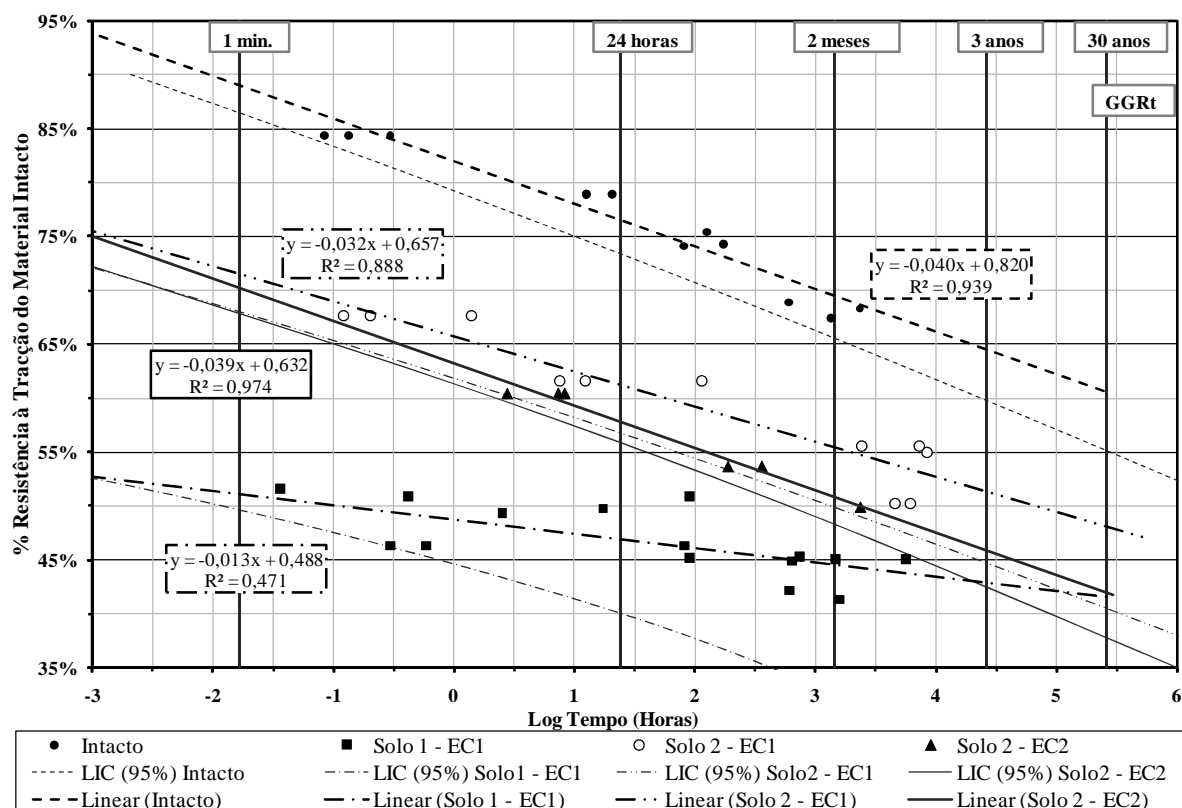


Figura 2 – Curvas de rotura em fluência obtidas para a GGRt

O coeficiente de redução para os dois mecanismos actuando simultaneamente ( $\gamma_{FLUÊNCIA,DDI}$ ) é determinado usando a Equação 3:

$$\gamma_{FLUÊNCIA,DDI} = \frac{F_{1min,ref}}{F_{30anos,da}} \quad (3)$$

Onde,  $F_{1min,ref}$  é a carga de rotura após 1 minuto do material intacto (referencia) e  $F_{30anos,da}$  é a carga de rotura após 30 anos. Os valores obtidos estão representados no Quadro 6. Os valores apresentados para o material intacto referem-se apenas ao efeito de rotura em fluência (já que não há danificação induzida) e pode ser designado por  $\gamma_{FLUÊNCIA}$ .

Quadro 6 - Coeficientes de redução para a rotura em fluência e danificação durante a instalação – considerando a sinergia

Geossintético	$\gamma_{FLUÊNCIA,DDI}$				
	Intacto	Solo 1		Solo 2	
		EC1	EC2	EC1	EC2
GGRt	1,47	2,13	*	1,84	2,12

\* Não foi possível obter este valor

Os valores dos coeficientes de redução variam entre 1,47 e 2,13. Este ultimo valor corresponde ao material danificado com o Solo 1 e EC1.

No Quadro 7 estão representados os valores dos coeficientes de redução para a rotura em fluência e DDI determinados pela metodologia tradicional (sobreposição do efeito de rotura em fluência e DDI

considerados separadamente). Estes coeficientes são determinados multiplicando os coeficientes de redução para a DDI ( $\gamma_{DDI}$ ) e rotura em fluência ( $\gamma_{FLUÊNCIA}$ ) – Equação 4.

$$\gamma_{FLUÊNCIA,DDI,trad} = \gamma_{FLUÊNCIA} \times \gamma_{DDI} \quad (4)$$

Quadro 7 - Coeficientes de redução para a rotura em fluência e danificação durante a instalação – metodologia tradicional

Geossintético	$\gamma_{FLUÊNCIA,DDI,trad}$			
	Solo 1		Solo 2	
	CE1	CE2	CE1	CE2
GGRt	2,35	2,70	1,90	1,97

Comparando os valores do Quadro 6 e 7, é possível concluir que a metodologia tradicional apresenta valores inferiores aos da nova metodologia apresentada por Pinho-Lopes (2006). Assim, para o geossintético estudado sobre as condições descritas, a metodologia tradicional leva a valores de coeficiente de redução mais conservadores.

### 3.3. Ensaio de Fluência

De acordo com a norma EN ISO 13431 (1999), para cada geossintético, devem ser realizados ensaios de fluência sobre quatro provetes, cada um correspondendo a um nível de carga distinto e com duração de 1000 horas cada.

Na Figura 3 apresentam-se os resultados obtidos para o material intacto, danificado com Solo 1 – EC1 e na Figura 4 apresentam-se os resultados obtidos para o material danificado com o Solo 2 – EC1 e Solo 2 – EC2. Não são apresentados os resultados do geossintético danificado com o Solo 1 – EC2, porque até à data da preparação deste trabalho, os ensaios ainda não finalizaram. A carga aplicada a cada provete está também indicada nas figuras, como uma percentagem da resistência à tracção do geossintético intacto. Em alguns casos, para cada percentagem de carga, foram ensaiados 3 provetes.

Como seria de esperar, para as diferentes condições, as deformações associadas a níveis de carga mais elevados são mais significativas.

Todos os ensaios dos provetes intactos foram terminados 1440 horas depois (2 meses de ensaio). Até esse período nenhum provete sofreu rotura. Para tempos de ensaio mais longos poderá ocorrer a rotura do provete. Assim, os resultados deste tipo de ensaios devem ser utilizados com prudência, em particular quando se pretende extrapolar os resultados no tempo. De referir que alguns ensaios apresentados nas figuras ainda estão a decorrer

Em todas as situações (provetes intactos e danificados), a razão de deformação é constante ao longo da escala logarítmica do tempo. Alguns provetes da GGRt após DDI e para níveis de carga elevados sofrem rotura durante os ensaios de fluência. No entanto, a razão de deformação não aumenta antes de sofrer rotura, não sendo possível antever a rotura do provete.

Nos materiais danificados, a dispersão dos resultados é maior, principalmente no material danificado com Solo 1 – EC1, aquele que maior grau de danificação provoca nas amostras do geossintético.

Comparando a extensão após 1 minuto de ensaio, ver Quadro 8, verificamos que é semelhante nos provetes intactos e danificados, para níveis de carga aplicada idênticos. No entanto, como era de esperar, a extensão é reduzida com a diminuição do nível de carga aplicado ao provete.

No Quadro 9 são apresentados os valores da razão de deformação, avaliada em escala logarítmica do tempo. Fazendo a comparação entre os valores obtidos para os provetes intactos, após DDI e para os

vários níveis de carga aplicados, nota-se que sua variação é pequena, entre 0.23 e 0.28 (excepção para os provetes ensaiados após DDI com o Solo 1 – EC1 e Solo 2 – EC1 e nível de carga de 15%).

Quadro 8 - Extensão (%) após 1 minuto de ensaio de fluência

% resistência à tracção do material intacto	Intacto	Solo 1 - EC1	Solo 2 - EC1	Solo 2 - EC2
60	11.54	*	11.18	*
50	9.79	*	9.26	10.50
38	*	8.53	8.48	*
30	7.84	7.82	7.02	*
20	4.79	5.48	*	*
15	*	2.65	3.29	*

\* Não foi possível obter este valor

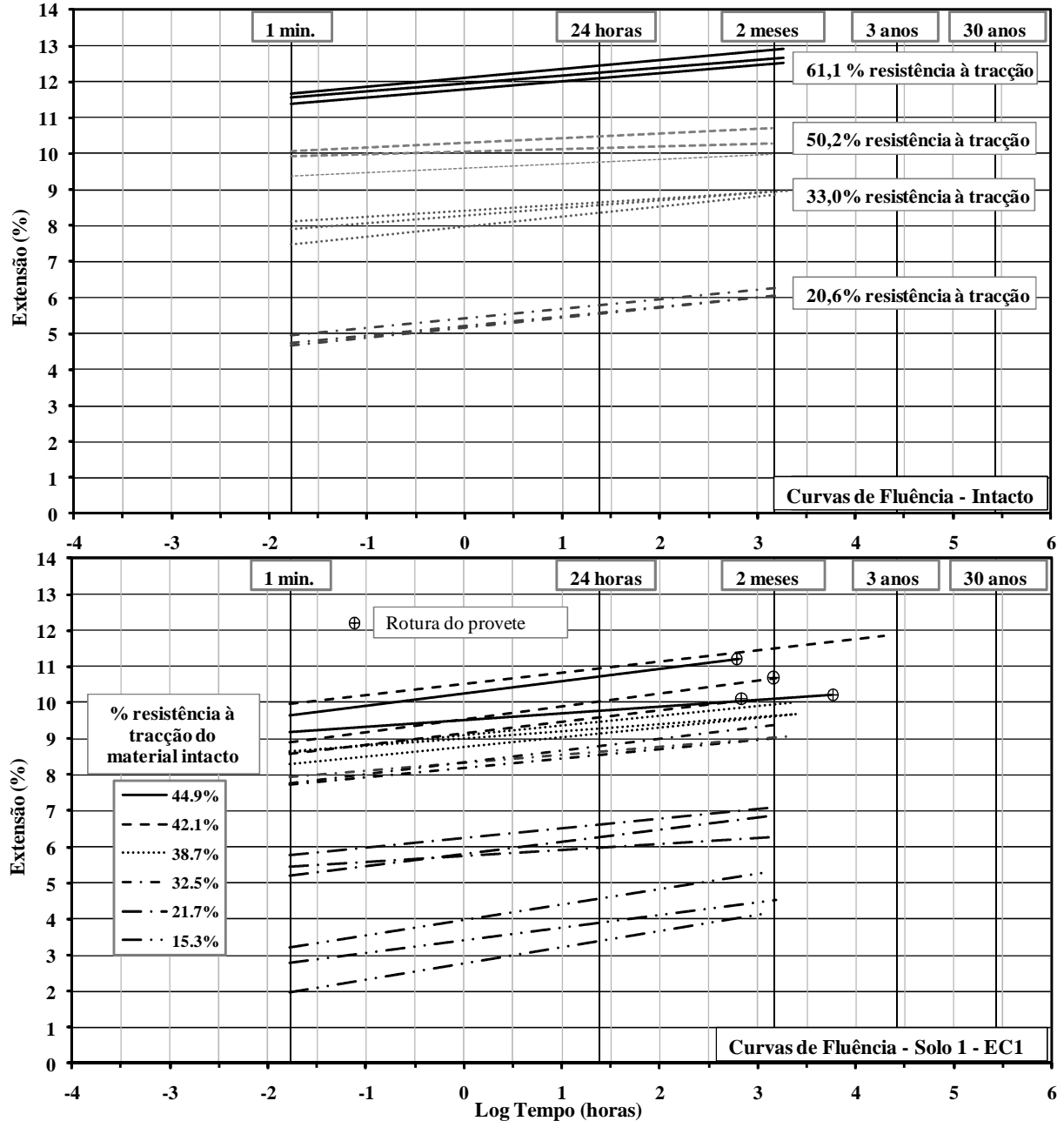


Figura 3 – Curvas de fluência obtidas para a GGRt



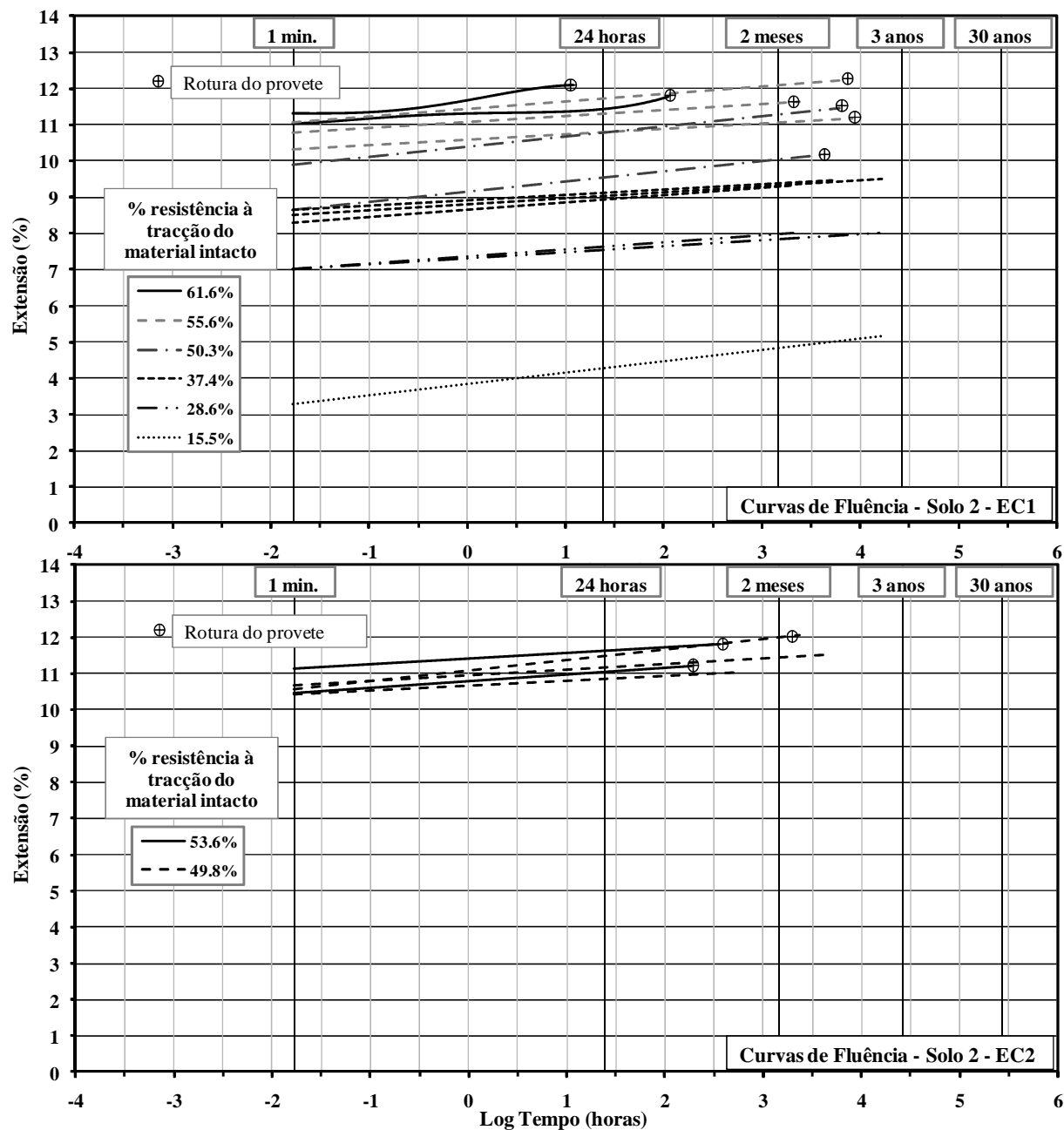


Figura 4 – Curvas de fluência obtidas para a GGRt

Quadro 9- Razão de deformação dos provetes, medida em escala logarítmica do tempo

% resistência à tracção do material intacto	Intacto	Solo 1 - EC1	Solo 2 - EC1	Solo 2 - EC2
60	0.23	*	0.23	*
50	0.11	*	0.28	0.21
38	*	0.25	0.17	*
30	0.22	0.27	0.18	*
20	0.27	0.26	*	*
15	*	0.41	0.31	*

\* Não foi possível obter este valor

## 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se o efeito da danificação durante a instalação no comportamento mecânico de tracção a curto e longo prazo de uma geogrelha tecida em poliéster. Foram realizados ensaios de campo de danificação durante a instalação, para dois tipos de solos e duas energias de compactação. A caracterização da danificação no comportamento mecânico foi estudada através de ensaios de tracção, ensaios de rotura em fluência e fluência. Com base nos resultados é possível concluir:

- O efeito do tipo de solo e da energia de compactação na resistência à tracção a curto prazo do geossintético é significativo. O solo com partículas maiores é mais agressivo (Solo 1). Além disso, a maior energia de compactação (EC2) leva a maiores reduções desta propriedade mecânica;
- O efeito da rotura em fluência nos vários tipos de amostra é claro, já que em todas elas se verifica uma tendência para obter tempos de vida inferior para cargas mais elevadas. Após 30 anos de serviço sob carga constante, o material intacto sofrerá rotura para 60% da resistência à tracção. Entre os materiais danificados o efeito da rotura em fluência é menor no material com maior grau de danificação a curto prazo. O coeficiente de redução para o efeito combinado de DDI e rotura em fluência foi analisado e comparado com os valores da metodologia tradicional; verifica-se que, para as condições estudadas, a metodologia tradicional apresenta valores inferiores aos da nova metodologia;
- Nos ensaios de fluência, as deformações associadas a níveis de carga mais elevados são mais significativas. Alguns provetes após DDI e para níveis de carga elevados sofrem rotura durante os ensaios de fluência. No entanto, a razão de deformação não aumenta antes de sofrer rotura, ou seja, não há indicação de que a rotura do provete irá ocorrer. A dispersão dos resultados é grande, principalmente nos provetes danificados com o material granular que maior danificação provoca no geotêxtil em estudo, o “tout-venant” – Solo 1.

Por último é importante salientar que há ainda ensaios se encontram a decorrer que permitirão confirmar (ou não) as tendências observadas e referidas neste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a apoio financeiro do Projecto PTDC/ECM/67547/2006.

## REFERÊNCIAS

- EN ISO 13431 (1999). “Geotextiles and geotextile-related products – Determination of tensile creep and tensile creep rupture behaviour”.
- NP EN ISO 10319:2005 (Ed. 1). “Geotêxteis – Ensaio de tracção em tiras largas”.
- Paula A.M.V., Pinho-Lopes M., Lopes, M.L. (2008). “Combined effect of damage during installation and long-term mechanical behaviour of geosynthetics”, Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Geosynthetics Conference, Edinburgh, UK.
- Pinho-Lopes, M., Recker, C., Müller-Rochholz, J., Lopes, M.L. (2000). Installation damage and creep of geosynthetics and their combined effect - experimental analysis”, EuroGeo 2000, Bologna, October 2000, Vol. II, pp. 825-830.
- Pinho-Lopes, M., Recker, C., Lopes, M. L., Müller-Rochholz, J. (2002). Experimental analysis of the combined effect of installation damage and creep of geosynthetics – new results, Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, September 2002, Vol.4, pp. 1539-1544.

Pinho-Lopes M.J.F. (2006). “Estudo dos coeficientes de segurança a aplicar a estruturas de controlo de erosão de solos e de estabilização de maciços com geossintéticos“, Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, F.E.U.P., Porto.

Margarida P. Lopes e M. Lurdes Lopes (2001) “Efeito no comportamento mecânico dos geossintéticos da danificação durante a instalação – resultados iniciais”, Geotecnia, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia, nº93, pp.81-99, Lisboa.