

EFEITO DA DDI DE GEOSINTÉTICOS NO SEU COMPORTAMENTO AO ARRANQUE - ENSAIOS LABORATORIAIS

EFFECT OF DDI OF GEOSYNTHETICS ON THEIR PULLOUT BEHAVIOUR - LABORATORY TESTS

Pinho Lopes, Margarida, *Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, mlopes@civil.ua.pt*
Lopes, Maria de Lurdes, *Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, lcosta@fe.up.pt*

RESUMO

Submeteram-se geossintéticos a procedimentos de instalação em obra, através da construção de aterros experimentais. Os efeitos da danificação induzida no comportamento mecânico de curto prazo foram avaliados recorrendo a ensaios de tracção de geossintéticos. Foi promovida uma campanha de ensaios de arranque de geossintéticos, realizados numa caixa de grandes dimensões e de acordo com a norma europeia EN 13738. A campanha de ensaios incluiu geossintéticos com diferentes estruturas e com a mesma resistência nominal e geossintéticos do mesmo tipo mas com valores de resistência nominal distintos. Com esta selecção de materiais procurou-se avaliar a influência do tipo de geossintético (estrutura) e da sua resistência nominal no efeito da DDI no comportamento ao arranque da interface solo-geossintético. Os resultados dos ensaios realizados são apresentados e discutidos.

ABSTRACT

Some geosynthetics were subjected to installation procedures when installed in experimental works. The effects of the damage induced on the geosynthetics by these procedures were evaluated using wide-width tensile tests. Simultaneously a test program was implemented to carry out pullout tests of geosynthetics in a large box, following the procedures of the European standard EN 13738. The geosynthetics tested include materials with different structures and identical values for their nominal strength and materials of the same type with different values for their nominal strength. The aim of using these materials is to study the influence of the type of geosynthetic (structure) and of its nominal strength on pullout behaviour. The main results obtained are presented and discussed.

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais questões relativas à utilização de geossintéticos em engenharia prende-se com a sua durabilidade. De entre os agentes indutores de redução de resistência dos geossintéticos, a danificação que estes podem sofrer por efeito das operações de construção e instalação em obra (designada por danificação durante a instalação, DDI) é dos mais pertinentes. Assim, o processo de instalação em obra pode (o que normalmente é inevitável) induzir alterações nos materiais, que poderão condicionar a resposta dos geossintéticos. Por essa razão, para avaliar o efeito da DDI no comportamento das interfaces solo-geossintético, nomeadamente quando o geossintético sofre arranque, foram realizados ensaios de arranque de geossintéticos antes e após os materiais terem sido submetidos a procedimentos de instalação.

2. GEOSSINTÉTICOS

Neste trabalho são apresentados os resultados referentes a três geossintéticos: duas geogrelhas extrudidas em polipropileno (PP), designadas por GG1 e GG2, e um geocompósito constituído por um geotêxtil não tecido em poliéster (PET) reforçado com aramida (estrutura tipo grelha), designado por GC. Estes materiais são biaxiais, ou seja, apresentam valores idênticos para a sua resistência à tracção na direcção de fabrico e na direcção perpendicular ao fabrico. A resistência à tracção da GG1 e do GC é de 40kN/m enquanto que para a GG2 é de 20kN/m. Dado que este estudo está direccionado essencialmente para aplicações em que os geossintéticos exercem a função de reforço, apresentam-se resultados apenas para a direcção de fabrico.

3. PROGRAMA DE TRABALHOS

O programa de trabalhos estabelecido consiste em: 1) induzir os efeitos de DDI em provetes dos geossintéticos em campo sob condições reais; 2) e em caracterizar esses efeitos, relativamente ao comportamento mecânico isolado dos geossintéticos (ensaios de tracção) e 3) no que se refere ao comportamento da interface solo-geossintético (ensaios de arranque).

A DDI de geossintéticos pode ser induzida em campo, no entanto, não há nenhum procedimento normalizado. Assim, procedeu-se à construção de aterros experimentais onde se instalaram os geossintéticos em causa, recorrendo a procedimentos construtivos adequados a este tipo de materiais. Para mais detalhe ver [1]. Posteriormente os geossintéticos foram exumados. Os geossintéticos foram instalados em contacto com um solo residual granítico, cuja curva granulométrica está representada na Figura 1. A dimensão média das partículas é 0,35 mm. Algumas características deste material estão indicadas nos Quadros 1 e 2.

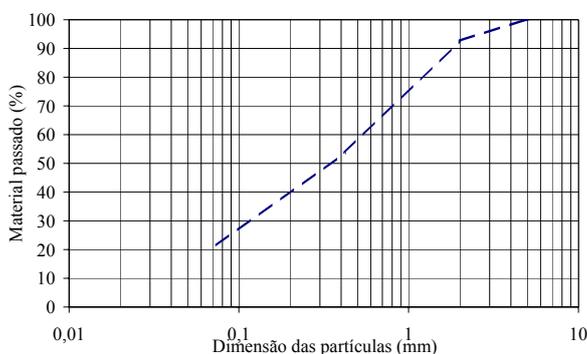


Figura 1 – Curva granulométrica do solo em que os geossintéticos foram instalados.

Quadro 1 – Caracterização granulométrica do material de aterro utilizado

% < 0,074mm	D ₁₀	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	D _{max}	C _U	C _C
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	-	-
21,53	0,07	0,17	0,38	0,68	5,00	9,64	0,58

Para caracterizar o efeito da DDI de geossintéticos no seu comportamento mecânico a curto prazo recorreu-se ao ensaio de tracção – EN ISO 10319 [2], enquanto que avaliar o comportamento mecânico das interfaces solo-geossintético se recorreu a ensaios de arranque – EN 13738 [3]. Note-se que os resultados aqui apresentados são apenas uma parte de uma extensa campanha de ensaios realizada amplamente apresentada e discutida em [4].

Quadro 2 – Caracterização laboratorial do material de aterro utilizado

Limites			W _n	E.A.	Proctor	
					γ_{dmax}	W _{opt}
LL	LP	IP	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)
NP	NP	NP	8,70	25,50	1,92	11,30

4. COMPORTAMENTO MECÂNICO A CURTO PRAZO

4.1 Ensaio de tracção

Os ensaios de tracção foram efectuados seguindo os procedimentos referidos na EN ISO 10319, sobre amostras dos três geossintéticos, tanto intactas como danificadas. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 3 e incluem os valores médios da resistência à tracção (força máxima por unidade de largura) e da extensão registada para o valor máximo da força, bem como os coeficientes de variação correspondentes.

Quadro 3 – Resultados dos ensaios de tracção das amostras intactas e danificadas.

Geossintético		Resistência à tracção	Coefficiente de variação	Extensão	Coefficiente de variação
		(kN/m)	(%)	(%)	(%)
GG1	Intacto	47,03	0,96	8,23	21,52
	Danificado em campo	35,44	8,28	5,02	12,74
GG2	Intacto	28,69	0,60	10,64	16,45
	Danificado em campo	23,37	1,87	8,05	7,15
GC	Intacto	42,68	0,77	4,38	5,91
	Danificado em campo	33,56	7,41	3,24	15,42

Como se pode verificar, os valores da resistência à tracção das amostras intactas dos três geossintéticos considerados são superiores aos valores nominais respectivos (definidos pelos produtores). Além disso, os valores do coeficiente de variação dessa grandeza são bastante baixos, sempre inferiores a 1%. No que se refere à extensão na rotura, o coeficiente de variação é mais elevado, em particular para a GG1 e para o GC (mas sempre inferior a 9%).

Como se verifica, após DDI, a resistência à tracção e a extensão correspondente dos geossintéticos em estudo sofrem uma redução, relativamente aos valores das amostras intactas correspondentes. No caso da GG2, após a DDI em campo, a resistência à tracção deste geossintético mantém-se superior ao valor nominal correspondente. É ainda importante notar que, em geral, após DDI, os coeficientes de variação das grandezas referidas aumentam, relativamente aos valores obtidos para as amostras intactas. Esta diferença representa a heterogeneidade da DDI e, conseqüentemente, do comportamento mecânico.

Na Figura 2 estão representados os valores residuais após DDI para a resistência à tracção e para a extensão correspondente dos três geossintéticos estudados. Da figura verifica-se que no caso

da GG1, após a DDI induzida, o valor residual da resistência à tracção é de 75%, enquanto a extensão residual correspondente é de 63%. Por sua vez, para a GG2 os efeitos da DDI induzida são um pouco menos significativos, já que valores residuais obtidos são para a resistência à tracção e para a extensão são 82% e 78%, respectivamente. No caso do GC, os valores residuais destas grandezas são 79% e 74%, respectivamente.

Para estes geossintéticos e para as condições de DDI consideradas, as maiores reduções observadas referem-se à extensão na rotura dos materiais. Note-se que para todos os geossintéticos e para as condições de instalação em obra considerados, as alterações no comportamento mecânico de curto prazo (expressas em termos da resistência à tracção e da extensão correspondente) não são muito importantes. De facto, o solo em contacto com os geossintéticos tem partículas relativamente finas, o que diminui o efeito mecânico de contacto entre estes materiais.

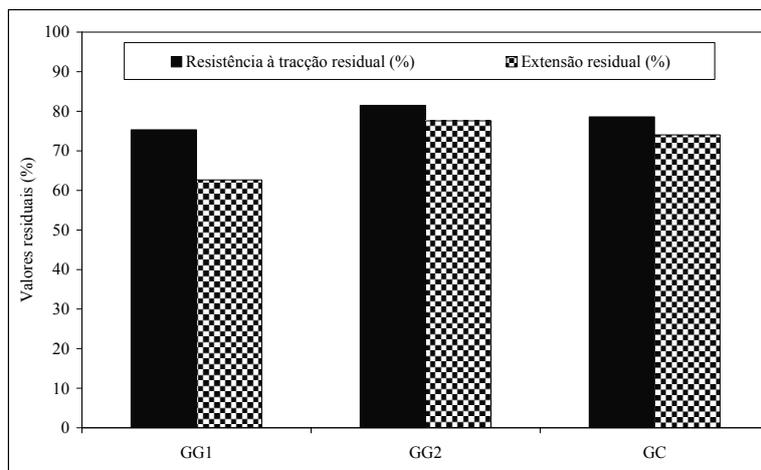


Figura 2 – Valores residuais da resistência à tracção e da extensão após DDI em campo.

4.2 Coeficiente parcial de segurança para a DDI

No dimensionamento de estruturas com geossintéticos, para representar os diferentes agentes de degradação destes materiais, recorre-se a coeficientes parciais de segurança. Assim, podem ser definidos coeficientes de segurança parciais para considerar o efeito da DDI, comparando o valor da resistência à tracção do material não danificado com o valor correspondente após DDI (Equação 1):

$$CS_{DDI} = \frac{F_{1,int}}{F_{1,da}} \quad (1)$$

Em que CS_{DDI} (Quadro 4) é o coeficiente de segurança parcial para a DDI, $F_{1,int}$ é a resistência à tracção das amostras intactas e $F_{1,da}$ é a resistência à tracção das amostras danificadas.

Quadro 4 – Coeficientes parciais de segurança após DDI

Geossintético	CS_{DDI}
GG1	1,33
GG2	1,23
GC	1,27

Como se pode verificar, para os geossintéticos estudados, os valores obtidos são relativamente baixos traduzindo os efeitos reduzidos da DDI induzida nas condições em análise.

5. COMPORTAMENTO AO ARRANQUE

5.1 Ensaio de arranque

Os ensaios de arranque foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na EN 13738, tendo-se ensaiado, no mínimo, três provetes para cada tipo de amostra.

Recorreu-se ao equipamento do Laboratório de Geossintéticos da FEUP que tem as seguintes dimensões interiores: 1,53m de comprimento, 1,00m de largura e 0,80m de altura total. A meia altura da caixa existe uma manga de aço, usada para reduzir a influência da parede frontal, e através da qual o geossintético é colocado no interior da caixa de arranque. A instrumentação do ensaio é feita usando potenciômetros lineares para medição de deslocamentos e células de carga para medição da força de arranque e da pressão de confinamento.

Nos ensaios realizados pretendia-se aplicar, ao nível do provete, uma tensão normal de 50kPa. A velocidade de ensaio utilizada foi de 2mm/min. Ao longo do ensaio as diferentes grandezas foram medidas e registadas a intervalos de 4 segundos.

5.2 Resultados dos ensaios de arranque

No Quadro 5 são apresentados os resultados dos ensaios de arranque em termos da força de arranque máxima e do deslocamento frontal do provete para o qual esta ocorre, acompanhados dos coeficientes de variação respectivos. No quadro é ainda incluída informação sobre o tipo de rotura observado para os provetes ensaiados. Como se pode verificar, para a geogrelha GG1 a rotura ocorre por arranque em todos os provetes, quer das amostras intactas, quer das amostras danificadas. Por sua vez, para os restantes materiais a rotura ocorre por tracção. Isto apenas significa que a resistência ao arranque destes materiais é superior ao valor máximo da força de arranque registado durante o ensaio.

Quadro 5 – Resultados dos ensaios de arranque das amostras intactas e danificadas

Geossintético		Força de arranque máxima	Coeficiente de variação	Deslocamento frontal	Coeficiente de variação	Modo de rotura dos provetes
		(kN/m)				
GG1	Intacto	39,24	5,30	66,40	4,19	Arranque
	Danificado em campo	37,86	3,08	70,63	5,62	Arranque
GG2	Intacto	17,69	0,63	38,39	7,30	Tracção
	Danificado em campo	18,13	9,92	39,19	8,66	Tracção
GC	Intacto	22,20	6,63	55,08	6,97	Tracção
	Danificado em campo	20,24	3,02	46,98	4,12	Tracção

As alterações observadas no comportamento ao arranque dos geossintéticos, após a DDI induzida, não são muito significativas. De facto, para a geogrelha GG1 há uma redução da resistência ao arranque de cerca de 2% após DDI, enquanto que o deslocamento frontal correspondente diminui cerca de 0,4%. Como se verifica, os valores dos coeficientes de variação associados a estas grandezas também sofrem alterações: para a resistência ao arranque há uma diminuição de 5,3% para 3,0%; para o deslocamento frontal aumenta de 4,2% para 5,6%. Estes valores podem significar que não há alterações de realce após DDI nos valores limite obtidos do ensaio de arranque deste geossintético, já que as variações nos resultados são de ordem de grandeza semelhante às diferenças observadas para o coeficiente de variação.

No caso da geogrelha GG2 após DDI a força de arranque máxima e o deslocamento frontal correspondente aumentam cerca de 2,5% e 2%, respectivamente. Além disso, o coeficiente de variação destas grandezas também aumenta, em particular para a força de arranque máxima; estas alterações traduzem a maior heterogeneidade da resposta do geossintético após ser submetido a DDI.

Por último, para o GC após DDI há uma diminuição de ambas as grandezas: 8,8% e 14,7% para a força de arranque máxima e deslocamento frontal associado, respectivamente. É de notar que o coeficiente de variação destas grandezas sofre um decréscimo, o que significa que o comportamento dos provetes submetidos a DDI é mais uniforme. Dado que neste geossintético a rotura ocorre por tracção, é provável que estas alterações reflectam a diminuição da resistência à tracção e extensão referidas anteriormente.

5.3 Coeficiente parcial de segurança para a DDI

De forma análoga à seguida para avaliar a resistência de curto prazo dos geossintéticos estudados, foi também determinado o coeficiente parcial de segurança para avaliar a resistência ao arranque após DDI (Equação 2).

$$CS_{ar,DDI} = \frac{F_{ar,int}}{F_{ar,da}} \quad (1)$$

Em que $CS_{ar,DDI}$ é o coeficiente de segurança parcial para a força de arranque após DDI, $F_{ar,int}$ é a força de arranque máxima das amostras intactas e $F_{ar,da}$ é a força de arranque máxima das amostras danificadas. Note-se que estes coeficientes de segurança devem ser sempre não inferiores a 1,0.

Os valores determinados são apresentados no Quadro 6. Como se pode verificar, para os geossintéticos estudados, os valores obtidos são relativamente baixos e próximos de 1,0, traduzindo os efeitos reduzidos da DDI induzida nas condições em análise. Note-se que o coeficiente de segurança parcial obtido para a geogrelha GG2 seria inferior a 1,0.

Quadro 6 – Coeficientes parciais de segurança após DDI

Geossintético	$CS_{ar,DDI}$
GG1	1,04
GG2	1,00
GC	1,10

6. INFLUÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS NO EFEITO DA DDI

6.1 Introdução

Apresentam-se resultados referentes a três geossintéticos, no entanto, é possível fazer uma avaliação da influência do tipo de geossintético e dos valores da sua resistência nominal no efeito da DDI induzida. De facto, os geossintéticos GG1 e GC têm a mesma resistência nominal e estruturas distintas, enquanto que as duas geogrelhas consideradas GG1 e GG2 são do mesmo tipo, isto é, têm a mesma estrutura mas distinguem-se pelo valor da resistência nominal.

6.2 Influência do tipo de geossintético

No que se refere ao efeito do tipo de geossintético nos resultados, e relativamente ao comportamento mecânico de curto prazo, comparando o comportamento do GG1 e do GC verifica-se que as menores reduções de resistência à tracção e extensão após DDI foram registadas para o GC. De facto, enquanto que a GG1 é uma grelha extrudida com juntas integrais, o GC é uma associação de uma grelha em aramida entre duas folhas de um geotêxtil não tecido. Este último material funciona como uma camada de protecção para a grelha, minimizando o efeito das acções mecânicas de contacto existentes durante o processo de instalação em obra.

No caso do comportamento ao arranque, a relação observada é a oposta, já que as maiores reduções observadas foram registadas para o GC (embora com valores reduzidos). No entanto, é necessário lembrar que no GC a rotura ocorre por tracção, o que significa que a resistência ao arranque correspondente é superior ao valor da força de arranque na rotura. As diferenças observadas no comportamento ao arranque destes geossintéticos são consequência da sua estrutura, não havendo um efeito claro da DDI induzida (Figura 4). Assim, no GC que é um material contínuo há mobilização de atrito solo-geotêxtil nas faces superior e inferior do provete; para a GG1, que tem aberturas, há ainda mobilização de resistência passiva nas barras transversais.

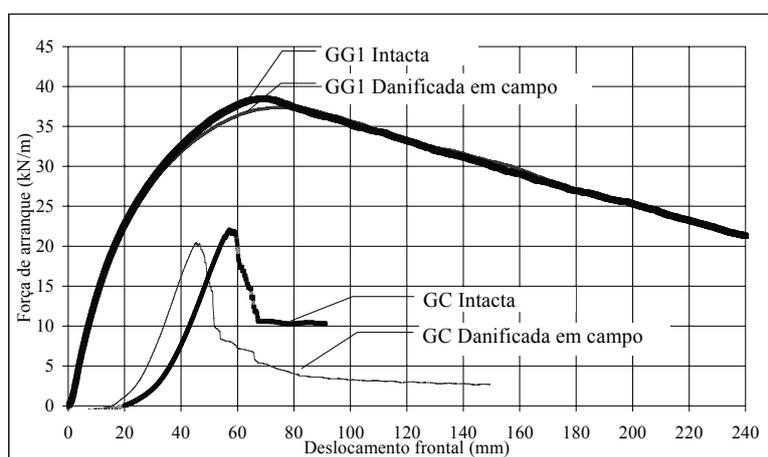
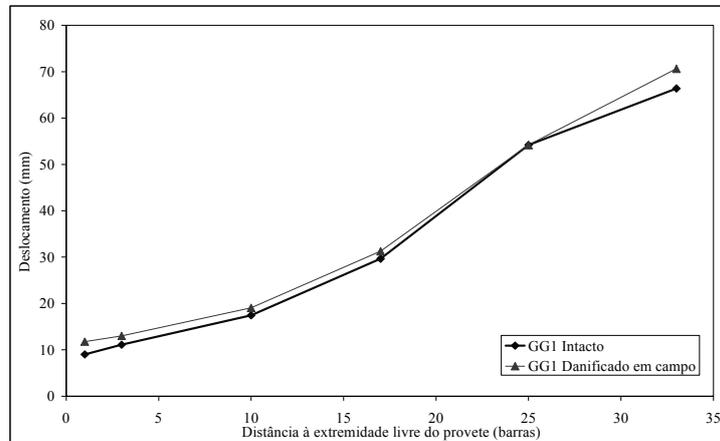


Figura 3 – Curvas de arranque da GG1 e do GC, intactos e após DDI em campo.

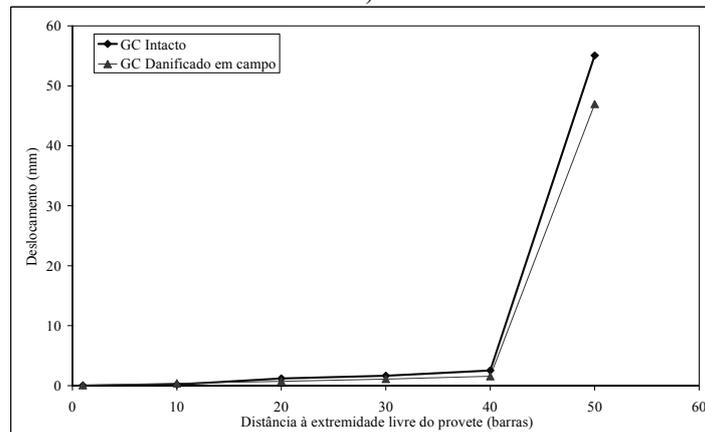
Para melhor clarificar esta questão, na Figura 5 são apresentados os deslocamentos totais médios ao longo dos provetes do GG1 e do GC no momento da rotura. Note-se que o comportamento do material intacto e danificado é muito semelhante, quer para o GG1 quer para o GC.

Como se verifica, enquanto que para a GG1 no momento da rotura todo o comprimento confinado dos provetes está mobilizado, para o GC apenas a parte frontal, mais próxima da

pega, é mobilizada. No início do ensaio o comprimento não confinado dos provetes é muito reduzido mas, à medida que o ensaio decorre este vai aumentando. Para a GG1, ao longo do ensaio, o comprimento confinado do provete é progressivamente mobilizado; no caso do GC tal não ocorre; há extensões muito significativas nessa zona do GC que originam rotura em tracção.



a)



b)

Figura 4 – Deslocamentos totais médios no instante em que ocorre a rotura do GG1 e do GC, intactos e após DDI em campo.

6.3 Influência da resistência nominal

Para avaliar a influência da resistência nominal dos geossintéticos no efeito da DDI induzida podem comparar-se os resultados referentes às duas geogrelhas estudadas.

Para estes dois geossintéticos verifica-se que a geogrelha com resistência nominal mais elevada (GG1) é a que apresenta maior diminuição da sua resistência à tracção e extensão após DDI. No entanto, é preciso lembrar que os valores indicados são valores médios e que a sua análise tem que ser acompanhada dos correspondentes valores dos coeficientes de variação. Assim, note-se que o coeficiente de variação da resistência à tracção das amostras da GG2 após DDI em campo é bastante reduzido (inferior a 2%), enquanto que para a GG1 esse valor é de cerca de 8%, reflectindo uma maior variabilidade dos valores medidos da resistência à tracção dos provetes. Assim, pode apenas ser uma questão estatística, não se podendo afirmar com certeza se as diferenças verificadas nos valores da resistência residual são consequência directa e única da variação da resistência nominal dos materiais em causa.

É importante salientar que embora neste trabalho apenas se apresentem alguns resultados, estes referem-se a uma campanha de ensaios muito alargada. Para outras condições de DDI, quer em laboratório, quer em campo (sob condições reais), a geogrelha com maior resistência nominal (GG1) é a que exhibe menores reduções dos valores obtidos dos ensaios de tracção (ver [4]).

No que se refere ao comportamento ao arranque, a resposta destes dois geossintéticos é distinta, em particular no que se refere à forma de rotura. De facto, a forma das curvas de arranque para a GG1 e para a GG2 são, qualitativamente semelhantes, até ao momento em que ocorre a rotura por tracção da GG2 (Figura 6). Quando ocorre rotura por tracção esta é frágil, tal como ocorre nos ensaios de tracção deste geossintético.

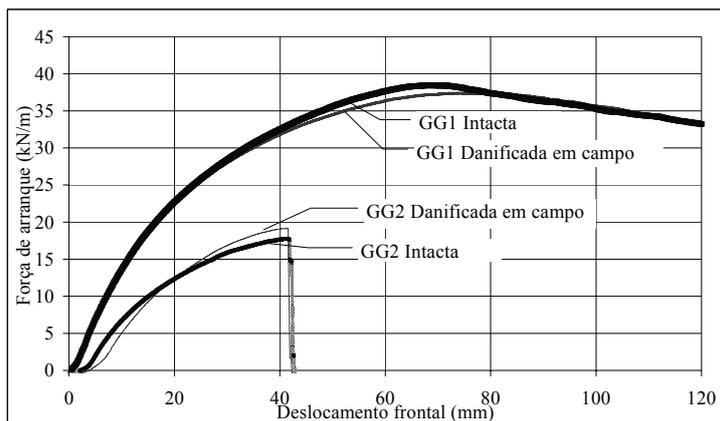


Figura 5 – Curvas de arranque da GG1 e da GG2, intactos e após DDI em campo.

No que se refere aos efeitos da DDI no comportamento ao arranque, as diferenças observadas no comportamento das amostras em causa não são claras, não havendo uma tendência nítida de alteração.

Na Figura 7 apresentam-se ainda os deslocamentos totais médios da GG2 no momento da rotura. Como se pode verificar, por comparação com a Figura 5a, embora a rotura ocorra por tracção, nesse instante há mobilização de grande parte do comprimento confinado dos provetes.

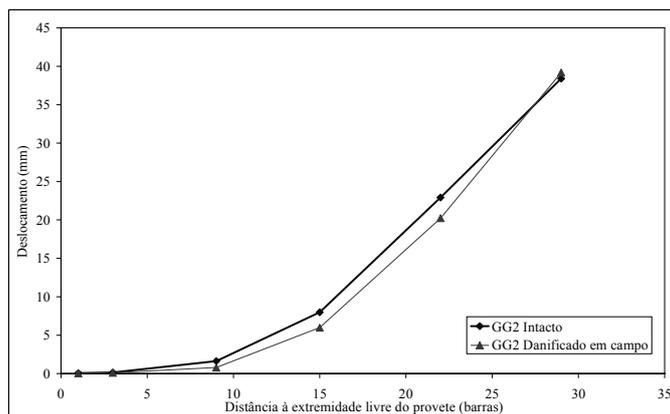


Figura 6 – Deslocamentos totais médios no instante em que ocorre a rotura da GG2 intacta e após DDI em campo.

7. CONCLUSÕES

Como principais conclusões deste estudo salientam-se:

- após DDI, a resistência à tracção dos três geossintéticos sofre uma redução, relativamente aos valores das amostras intactas correspondentes;
- a extensão para a força máxima dos geossintéticos danificados é menor do que para os materiais intactos;
- os coeficientes parciais de segurança para a DDI, determinados a partir dos resultados dos ensaios de tracção, indicam que, caso os geossintéticos sejam instalados solo residual granítico considerado, os valores variam entre 1,2 e 1,4;
- os resultados dos ensaios de arranque indicam que, para as situações analisadas não há alterações significativas após a DDI induzida;
- é clara a influência do tipo de geossintético no comportamento mecânico de curto prazo dos geossintéticos estudados; no que se refere ao comportamento ao arranque, verifica-se que as diferenças observadas não estão relacionadas com o efeito da DDI, mas com o próprio mecanismo de arranque;
- para os resultados apresentados a influência da resistência nominal do geossintético no comportamento mecânico de curto prazo dos geossintéticos estudados não é evidente; no entanto, dos trabalhos de investigação já realizados (com os mesmos geossintéticos e diferentes condições de indução de DDI e outros geossintéticos) permitem afirmar que este é um parâmetro muito importante; no que se refere ao comportamento ao arranque, as diferenças obtidas não estão relacionadas com o efeito da DDI, mas com o próprio mecanismo de arranque.

8. REFERÊNCIAS

[1] Lopes, Maria de Lurdes e Pinho Lopes, Margarida, “Danificação Durante a Construção de Geossintéticos – Estudo dos Coeficientes de Segurança a Adoptar”, Relatório de Acção de Investigação no âmbito do protocolo ICERR/FEUP (2001).

[2] EN ISO 10319, Geotextiles – Wide-width tensile test (1996).

[3] EN 13738, Geotextiles and geotextiles-related products – Determination of anchorage properties by means of a pull out test (2004).

[4] Pinho Lopes, Margarida João Fernandes de, “Estudo de coeficientes de segurança a aplicar a estruturas de controlo de erosão e de estabilização de maciços com geossintéticos”. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil na F.E.U.P., Porto (2004).