

COMPORTAMENTO AO ARRANQUE DE REFORÇOS DANIFICADOS

Pullout behaviour of danified reinforcements

M. LURDES LOPES(*)

RESUMO - Neste trabalho estuda-se a influência da danificação do reforço no mecanismo de interacção solo-reforço através da análise dos resultados de onze ensaios de arranque conduzidos com uma geogrelha uniaxial em polietileno de alta densidade confinada por um solo granular.

Um dos ensaios foi efectuado com a geogrelha não danificada e os restantes dez com diferentes configurações de danificação executadas em laboratório. As condições e procedimentos de ensaio foram mantidas idênticas ao longo de todo o estudo.

O trabalho inicia-se pela caracterização física e mecânica dos materiais utilizados, seguindo-se a descrição das configurações de danificação adoptadas. Após a análise dos resultados obtidos no estudo serão formuladas algumas conclusões acerca da influência da danificação de geogrelhas do tipo considerado no seu mecanismo de interacção com o solo.

SYNOPSIS - This paper studies the influence of reinforcement damage on the soil-reinforcement interaction mechanism by analysing the results of eleven pull-out tests carried out with a HDPE uniaxial geogrid confined by a well graded very gravely sand.

In one test the geogrid was undamaged and in the other ten the geogrid was pre-damaged in the laboratory. All the tests were carried out for the same test conditions and procedures.

Following the physical and mechanical characterisation of the materials used, the damage configurations considered are described. Based on the pull-out test results the role of damage configuration on the soil-geogrid interaction mechanism is discussed. Finally, some general conclusions are put forward.

1 - INTRODUÇÃO

Se não houver cuidado suficiente, os geossintéticos são materiais que podem ser danificados durante as operações de manuseamento e colocação em obra, bem como, durante outro tipo de operações construtivas, como seja, a compactação do aterro sobrejacente.

O grau de danificação (extensão, importância e tipo) que pode ocorrer durante essas operações depende dos tipos de equipamentos, solo e reforço utilizados.

Em geral, os resultados de ensaios de campo e laboratório publicados até à data consideram a influência da danificação dos reforços em termos de redução das resistências à tracção a curto prazo, ao punçãoamento estático e dinâmico e ao rasgamento (Razaqpur *et al.*, 1993).

Porém, tendo em mente que estruturas reforçadas com geossintéticos, particularmente muros e taludes, têm um tempo de vida mais ou menos longo durante o qual é necessário assegurar, não só, a adequada resistência à tracção dos reforços, mas também, a adequada resistência ao arranque, ultimamente, tem-se vindo a dar cada vez mais importância a outros dois aspectos relacionados com o comportamento de geossintéticos danificados. Um deles, tem a ver com a influência da danificação no comportamento a longo prazo destes materiais e das

(*) Doutora em Engenharia Civil, Professora Auxiliar da FEUP

estruturas em que estão inseridos como elementos de reforço (Esteves, 1996; Esteves *et al.*, 1997), o outro, relaciona-se com a influência da danificação na resistência ao arranque dos geossintéticos (Razaqpur *et al.*, 1993; Lopes e Ayele, 1998).

Com o objectivo de prosseguir o estudo da influência da danificação dos geossintéticos no seu comportamento ao arranque, procedeu-se à danificação, em laboratório, de provetes de uma geogrelha uniaxial em PEAD, tendo-se executado dez configurações de danificação distintas. Posteriormente, os provetes da geogrelha não danificada e danificada foram ensaiados ao arranque num solo granular, sob condições e procedimentos de ensaio idênticos. São os resultados destes ensaios que irão ser analisados neste trabalho.

2 - EQUIPAMENTO E MATERIAIS

O equipamento de ensaio de arranque utilizado para o estudo do mecanismo de interacção solo-geogrelha tem de dimensões internas 1,53 m de comprimento, 1,00 m de largura e 0,80 m de altura (Figura 1), encontrando-se, tal como os procedimentos de ensaio seguidos, amplamente descrito em Ladeira (1995) e Lopes e Ladeira (1996, 1997).

Nos ensaios usou-se um solo granular com a curva granulométrica representada na Figura 2. O solo apresentava um peso volúmico seco máximo e mínimo de $18,9 \text{ kN/m}^3$ e $16,1 \text{ kN/m}^3$, respectivamente. O peso volúmico seco do solo utilizado nos ensaios foi de $17,5 \text{ kN/m}^3$. O ângulo de atrito interno do solo definido em ensaios de corte directo, para o peso volúmico seco e para a tensão de confinamento ($48,4 \text{ kPa}$) usados nos ensaios, foi de $35,2^\circ$, sendo nula a coesão do material.

A geogrelha ensaiada é uma geogrelha uniaxial em PEAD com 55 kN/m de resistência à tracção definida em ensaios de tracção-elongação de curto prazo. Os provetes da geogrelha foram colocados no meio de $0,60 \text{ m}$ de altura de solo, tendo, no início do ensaio, $0,33 \text{ m}$ de largura e $0,96 \text{ m}$ de comprimento confinados por solo. A velocidade de ensaio adoptada foi de $1,8 \text{ mm/min}$. A Figura 3 mostra as dimensões dos provetes e a posição dos pontos de medição dos deslocamentos ao longo do reforço para a geogrelha não danificada. É de referir que, quer as dimensões dos provetes, quer a localização dos pontos de medição dos deslocamentos foram mantidas em todos os provetes ensaiados durante o estudo.

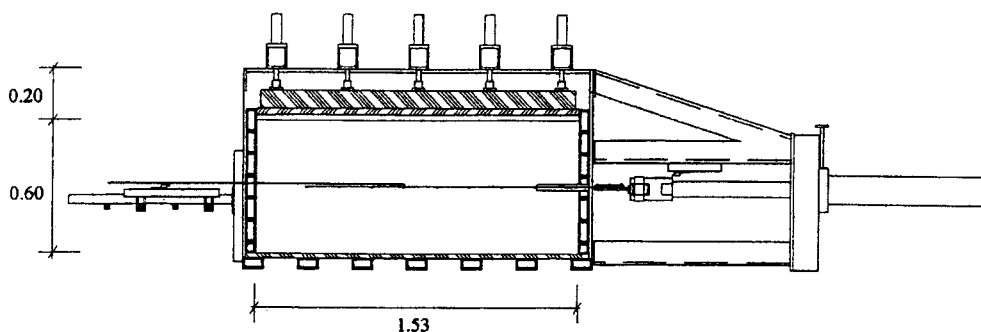


Figura 1 - Representação esquemática da caixa de arranque

3 - CONFIGURAÇÕES DE DANIFICAÇÃO ANALISADAS

Como já foi referido, para análise da influência da configuração da danificação da geogrelha em estudo no seu comportamento ao arranque foram executados em laboratório dez tipos de configurações de danificação distintos.

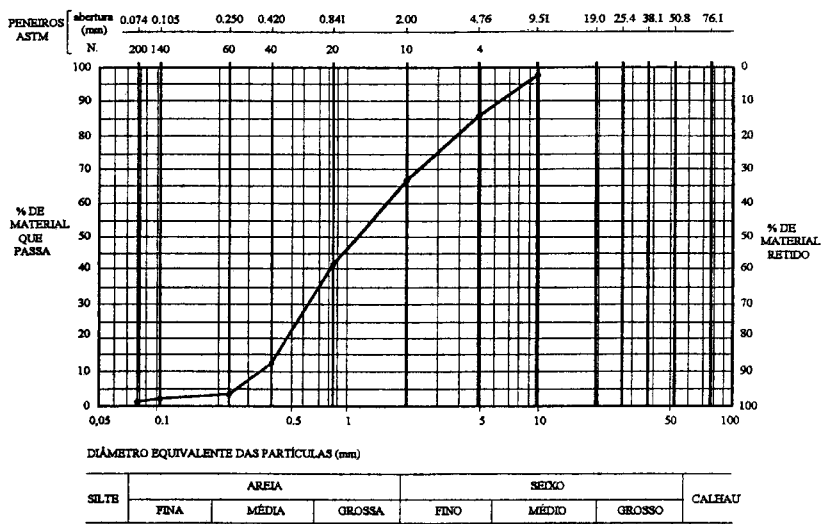


Figura 2 - Curva granulométrica do solo utilizado nos ensaios

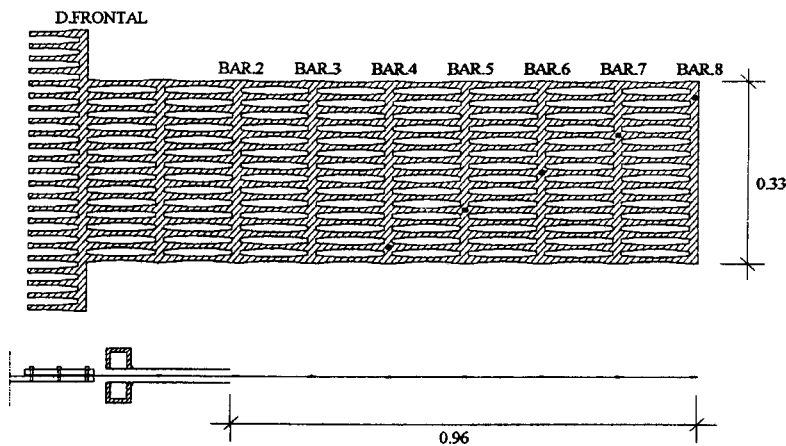


Figura 3 - Provete não danificado. Dimensões e posição dos pontos de medição dos deslocamentos ao longo do reforço

As Figuras 4 e 5 representam a danificação executada na área dos provetes confinada por solo no início do ensaio e os pontos de medição dos deslocamentos ao longo do reforço, que, como já foi dito coincidem com os considerados nos provetes não danificados.

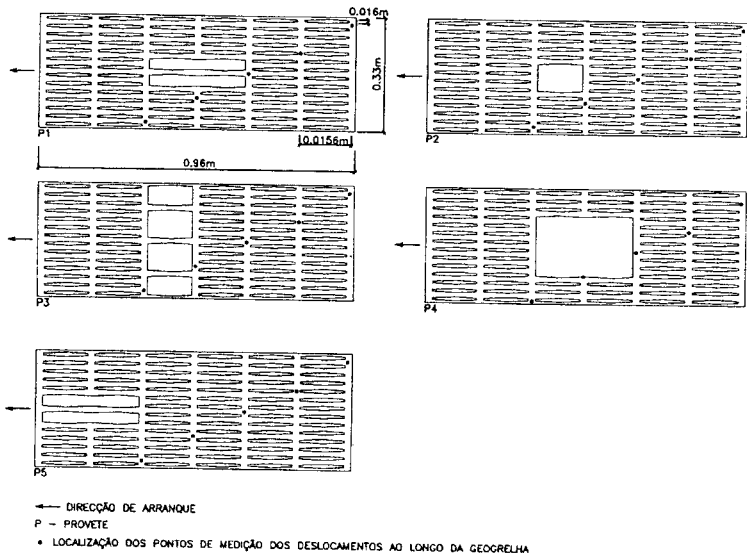


Figura 4 - Geogrelha danificada. Provetes P1, P2, P3, P4, P5

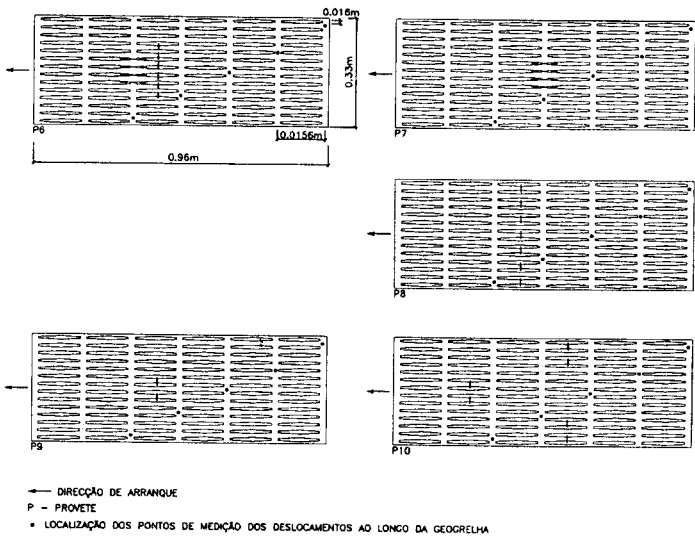


Figura 5 - Geogrelha danificada. Provetes P6, P7, P8, P9, P10

Aos provetes danificados representados na Figura 4 (provetes P1 a P5) foram retirados elementos da geogrelha (barras longitudinais e parte de barras transversais no caso dos provetes

P1, P4 e P5, e, apenas barras longitudinais no caso dos provetes P2 e P3). Como se pode verificar nos provetes P1 e P5 a configuração da danificação é idêntica, porém, a sua localização ao longo do comprimento inicialmente confinado do provete é diferente, no provete P1 localiza-se a meio desse comprimento, estando no provete P5 localizada junto à entrada da manga metálica de 0,20 m de comprimento situada adjacente à parede frontal do equipamento de ensaio.

Nos provetes danificados representados na Figura 5 não foram retirados elementos da geogrelha, foram cortadas barras transversais e longitudinais em diferentes localizações. Nos provetes P8 a P10 foram, apenas, cortadas barras longitudinais, no provete P6 foi cortada parte da barra transversal 4 (ver Figura 3) e parte das barras longitudinais entre as barras transversais 4 e 5 e no provete P7 foi cortada parte da barra transversal 5.

Com as dez configurações de danificação adoptadas pretende-se, em termos globais, distinguir o papel de danificações muito significativas (provetes P1 a P5) do de danificações menos significativas (provetes P6 a P10). Em termos particulares procurar-se-á definir a influência da localização da danificação ao longo do comprimento do reforço, bem como, o papel da supressão ou corte de barras transversais da geogrelha, ou apenas de barras longitudinais.

4 - ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de arranque realizados com vista à definição da influência da configuração da danificação de geogrelhas na sua interacção com o solo envolvente serão analisados, não só, em termos de resistência máxima ao arranque, mas também, em termos de deslocamentos frontais do reforço para essa resistência máxima.

O Quadro I mostra os valores da força de arranque máxima e o deslocamento frontal para essa força máxima da geogrelha não danificada e do mesmo material danificado com as configurações indicadas na Figura 4 (provetes P1 a P5), ou seja, com as configurações de danificação que serão genericamente designadas neste trabalho como muito significativas. No mesmo quadro indica-se a relação existente entre os valores da força de arranque máxima das geogrelhas danificadas e a da geogrelha não danificada, bem como, a relação existente entre os valores do deslocamento frontal medido para a força de arranque máxima nas geogrelhas danificadas e na geogrelha não danificada.

Quadro I - Relações entre os valores das forças de arranque máximas e entre os valores dos deslocamentos frontais para a força de arranque máxima da geogrelha (provetes ND e provetes P1 a P5).

Provetes	Força máxima de arranque (F) (kN/m)	$F_{(D)}/F_{(ND)}$	Deslocamento frontal para a força de arranque máxima (δ) (m)	$\delta_{(D)}/\delta_{(ND)}$
ND	36,44	1,00	0,087	1,00
P1	33,10	0,91	0,142	1,63
P2	37,35	1,02	0,126	1,45
P3	21,86 *	0,60	0,053 *	0,61
P4	28,24 *	0,77	0,098 *	1,13
P5	36,10 *	0,99	0,096 *	1,10

Notas: * - os provetes rompem por falta de resistência à tracção; D - danificada; ND - não danificada

A Figura 6 mostra a variação da força de arranque com o deslocamento frontal do reforço para o material não danificado e para as configurações de danificação P1 e P5. Como já foi dito os provetes P1 e P5 têm a mesma configuração de danificação (ver Figura 4) mas a sua posição ao

longo do comprimento da geogrelha é diferente (P1 localiza-se a meio do comprimento confinado do provete e P5 à frente, junto à manga). Pode-se observar que o comportamento ao arranque do provete P5 é idêntico ao do do provete não danificado até romper por falta de resistência à tracção para um deslocamento frontal de 0,096 m. O provete P1 rompe por falta de resistência ao arranque (rotura por falta de resistência ao corte) para um deslocamento frontal de 0,142 m, atingindo a força de arranque máxima de 33,10 kN/m. O valor máximo da força de arranque do provete não danificado é de 36,44 kN/m, sendo o deslocamento frontal para esta força máxima de 0,087 m.

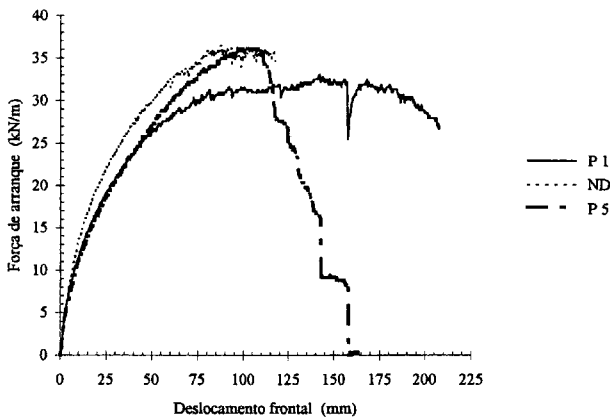


Figura 6 - Influência da localização da danificação ao longo do comprimento da geogrelha (provetes não danificado, P1 e P5).

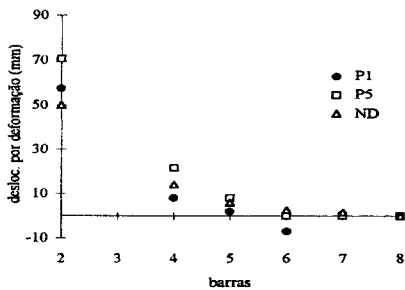


Figura 7 - Deslocamentos por deformação ao longo da geogrelha (provetes não danificado, P1 e P5).

A Figura 7 mostra os deslocamentos por deformação ao longo do comprimento da geogrelha para os provetes não danificado, P1 e P5. Pode observar-se da figura que a contribuição para a resistência ao arranque da parte posterior do provete P5 é nula, já que, as barras 6, 7 e 8 não se movem durante o ensaio. A grande deformação observada na parte anterior do provete pode ser justificada pela localização da danificação (à entrada da manga). Com efeito, logo que o arranque da geogrelha começa, a zona danificada entra na área não confinada da manga, deforma-se mais do que o provete não danificado e rompe por falta de resistência à tracção antes de se iniciar a mobilização das tensões de corte na sua interface com o solo na parte posterior do provete. Como a área da frente do provete P1 não se encontra danificada durante o arranque todo o provete contribui para a

resistência da sua interface com o solo, rompendo quando a resistência máxima ao arranque do reforço é atingida.

O motivo pelo qual o provete P1 evidencia menores deslocamentos por deformação na barra 6 do que na barra 8 deve-se à localização do potenciômetro linear na barra 6 (imediatamente atrás da área danificada). Verifica-se uma redução localizada dos movimentos em causa, sugerindo uma mais fácil penetração dos grãos de solo nas aberturas maiores da geogrelha, coincidentes com a área danificada, dando origem ao aumento local da mobilização do impulso passivo na barra transversal posicionada imediatamente atrás.

A Figura 8 mostra a variação da força de arranque com o deslocamento frontal da geogrelha para os provetes não danificado e P1 a P4 (ver Figura 4).

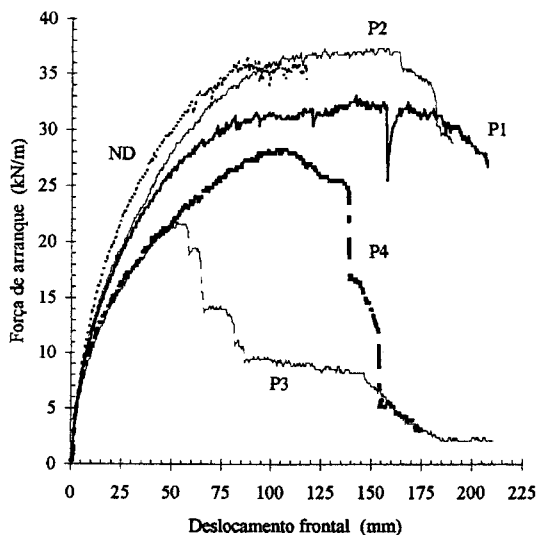


Figura 8 - Influência da danificação no comportamento ao arranque de geogrelhas (provetes não danificado e P1 a P4).

A Figura 8 e o Quadro I sugerem que o comportamento dos provetes danificados P1 e P2 é distinto do dos provetes danificados P3 e P4. Com efeito, tal como no provete não danificado, nos provetes P1 e P2 a rotura dá-se por falta de resistência ao arranque, enquanto que nos provetes P3 e P4 (mais danificados) a rotura ocorre por falta de resistência à tracção do reforço. Apesar da extensibilidade dos reforços danificados com a configuração P1 e P2 aumentar (ver Quadro I) a sua rigidez é ainda suficiente para mobilizar tensões de corte ao longo de todo o seu comprimento, sendo a resistência máxima ao arranque idêntica à do provete não danificado. O ligeiro acréscimo observado no caso da configuração P2 deve-se, provavelmente, ao alargamento localizado da abertura da geogrelha, permitindo uma mais fácil penetração dos grãos de solo e conduzindo ao aumento local da mobilização do impulso passivo na barra transversal da geogrelha posicionada atrás.

No caso das configurações de danificação P3 e P4 a grande redução da rigidez do reforço na zona danificada inibe a mobilização de tensões de corte na sua interface com o solo no comprimento situado atrás dessa área, contribuindo apenas para a resistência da interface o comprimento do reforço situado à frente. Nestes dois casos a rotura dá-se por falta de resistência à tracção da geogrelha na área não confinada por solo (manga).

Nos casos em que a rotura ocorre por falta de resistência ao arranque verifica-se que o deslocamento frontal para a força máxima de arranque aumenta com a danificação do reforço (ver Quadro I), ou seja, a geogrelha torna-se mais extensível quando danificada. Com efeito, verifica-se que para valores próximos de forças máximas de arranque o deslocamento frontal aumenta cerca de 45% a 63% quando a geogrelha está danificada.

O Quadro II mostra os valores da força de arranque máxima e os valores do deslocamento frontal para essa força máxima da geogrelha não danificada e do mesmo material danificado com as configurações indicadas na Figura 5 (provetes P6 a P10), ou seja, com as configurações de danificação designadas genericamente neste trabalho como menos significativas. No mesmo quadro indica-se a relação existente entre os valores da força de arranque máxima das geogrelhas danificadas e a da geogrelha não danificada, bem como, a relação existente entre os valores do deslocamento frontal medido para a força de arranque máxima nas geogrelhas danificadas e na geogrelha não danificada.

A Figura 9 mostra a variação da força de arranque com o deslocamento frontal da geogrelha para os provetes danificados de P6 a P10 (ver Figura 5).

A Figura 9 e o Quadro II mostram que quando a danificação é pequena, caso da configuração P9 (duas barras longitudinais cortadas, entre as barras transversais 4 e 5), a resistência ao arranque do material não sofre alterações significativas, aumentando, porém, a sua extensibilidade.

À medida que a danificação aumenta verifica-se uma diminuição cada vez mais importante da resistência ao arranque da geogrelha. É de notar, que a redução mais significativa dessa resistência ocorre quando há corte simultâneo de barras transversais e longitudinais (caso da configuração P6) e é de cerca de 38%.

A extensibilidade do material danificado é superior à do não danificado, verificando-se que o aumento desse parâmetro é cada vez mais significativo à medida que o número de barras longitudinais cortadas aumenta (por exemplo, configuração P9 versus configuração P8). Porém, tal como se verifica com a resistência ao arranque, o maior aumento de extensibilidade dá-se quando há corte simultâneo de barras transversais e longitudinais, como é o caso da configuração P6, e é de cerca de 26%.

O corte de barras longitudinais e transversais da geogrelha conduz, em termos globais, a reduções mais significativas da resistência ao arranque do que a retirada de elementos da geogrelha (caso das configurações P1 e P2), sendo, no entanto, o aumento da extensibilidade menor.

É importante realçar que, correspondendo o corte de barras a danificações comuns durante a armazenagem e colocação de geogrelhas em obra, será de esperar que a falta dos cuidados exigidos durante essas tarefas possa conduzir a reduções significativas da resistência ao arranque do material.

Quadro II - Relações entre os valores das forças de arranque máximas e entre os valores dos deslocamentos frontais para a força de arranque máxima da geogrelha (provetes ND e provetes P6 a P10).

Provetes	Força máxima de arranque (F) (kN/m)	$F_{(D)}/F_{(ND)}$	Deslocamento frontal para a força de arranque máxima (δ) (m)	$\delta_{(D)}/\delta_{(ND)}$
ND	36,44	1,00	0,087	1,00
P6	22,77	0,62	0,110	1,26
P7	24,90	0,68	0,091	1,04
P8	23,08	0,63	0,101	1,16
P9	36,44	1,00	0,096	1,10
P10	29,15	0,80	0,095	1,09

Notas: * - os provetes rompem por falta de resistência à tracção; D - danificada; ND - não danificada

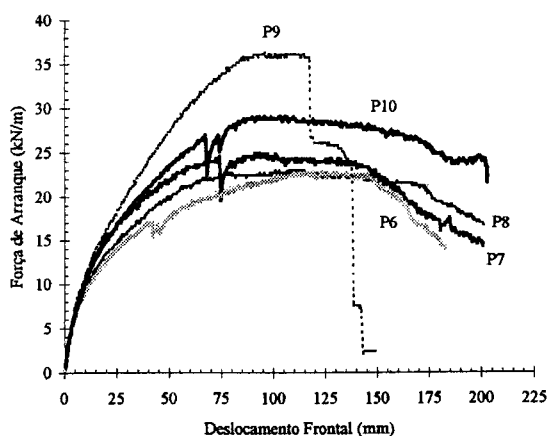


Figura 9 - Influência da danificação no comportamento ao arranque de geogrelhas (provetes danificados P6 a P10).

5 - CONCLUSÕES

O estudo da influência da danificação de geogrelhas no comportamento da interface solo-reforço efectuado com base em resultados de ensaios de arranque de uma geogrelha uniaxial em PEAD confinada por um solo granular permite formular as seguintes conclusões fundamentais:

1 - a localização ao longo do comprimento do reforço da mesma configuração de danificação influencia o comportamento ao arranque deste, dando origem a rotura por falta de resistência à tracção quando a danificação está localizada próximo do ponto de aplicação da força de arranque;

2 - configurações de danificação que envolvam corte de barras de geogrelha e configurações de danificação em que sejam retirados esses elementos levam a um comportamento ao arranque do material distinto;

3 - no caso de remoção de barras quando o número destes elementos retirados é pequeno a rotura dá-se por falta de resistência ao corte, sendo a redução máxima de resistência observada

cerca de 9%, pelo contrário, quando o número de elementos retirado é grande a rotura dá-se por falta de resistência à tracção;

4 - no caso de corte de barras a rotura ocorre por falta de resistência ao corte, aumentando a redução da resistência da interface com o aumento do número de barras cortadas, atingindo um máximo de 38%, no caso de corte simultâneo de barras longitudinais e transversais;

5 - a extensibilidade do reforço aumenta com a sua danificação, sendo esse aumento maior no caso da danificação envolver retirada de elementos da geogrelha ou corte simultâneo de barras longitudinais e transversais;

6 - sendo o corte de barras um tipo de danificação comum durante os períodos de armazenagem e colocação em obra de geogrelhas, a falta dos cuidados exigidos durante essas tarefas pode conduzir a reduções significativas da resistência ao arranque do material.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao FEDER e ao PROGRAMA PRAXIS XXI o patrocínio e apoio financeiro fornecido no âmbito do projecto de investigação 3/3.1/CEG/2598/95.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ESTEVES, S.A.C. - *The Strength of Geosynthetics and Construction Damage Effects*, M.Phil. Thesis, University of Strathclyde, Glasgow, UK, 288p., 1996.

ESTEVES, S.; MCGOWN, A. e LOPES, M. L. - *Métodos de avaliação dos efeitos da danificação durante a construção em geossintéticos*. Actas do 6º Congresso Nacional de Geotecnia, Vol. 1, Lisboa, pp. 19-28., 1997.

LOPES, M. L. e LADEIRA, M. - *Influência da estrutura do reforço no mecanismo de interacção com o solo*. Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia - Geotecnia, Nº 77, Lisboa, pp. 5-12., 1996.

LOPES, M. L. e LADEIRA, M. - *Avaliação do papel das condições de ensaio na definição da resistência ao arranque dos reforços*. Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia - Geotecnia, Nº 82, Lisboa, 1998.

LADEIRA, M. A. S. A. - *Estudo dos Fenómenos de Interação Solo-Geossintético Através de Ensaios de Arranque*. Dissertação de Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, FEUP, Porto, 196p., 1995.

LOPES, M. L. e AYELE, T. - *Influence of reinforcement damage on the pull-out resistance of geogrids*. Proc. 6th Int. Conf. on Geosynthetics, Vol. 2, Atlanta, USA, pp. 1183-1188, 1998.

RAZAQPUR, A.G.; BAUER, G.E.; HALIM, A.O.A. e ZHAO, Y. - *Pullout resistance and load-slip response of mechanically damaged geogrids*. Geosynthetic Soil Reinforcement Testing Procedures, ASTM STP 1190, Philadelphia, USA, pp.195-206, 1993.