

INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DO REFORÇO NO MECANISMO DE INTERACÇÃO COM O SOLO

The role of the reinforcement structure on the interaction mechanism with the soil

M. LURDES LOPES*
MIGUEL LADEIRA**

RESUMO - Neste trabalho procura-se realçar o papel da estrutura dos reforços e das barras transversais das grelhas no mecanismo de interacção com os solos. Para tal descrevem-se e analisam-se os resultados de sete ensaios de arranque realizados com um equipamento de grandes dimensões num solo arenoso.

A influência da estrutura dos reforços no mecanismo em causa é avaliada através da análise dos resultados de cinco ensaios realizados com três tipos de estruturas distintas de geossintéticos. Por seu turno, a influência das barras transversais das grelhas no mecanismo de interacção com o solo é abordada através da análise dos resultados de ensaios realizados com geogrelhas e paragrelhas intactas e com materiais similares aos quais foram retirados os elementos transversais.

SYNOPSIS - The rôle of the reinforcement structure on its interaction mechanism with the soil is studied based upon the results of five pull-out tests carried out with three different types of geosynthetic structures in a granular soil.

The influence of the transverse bars of the grids on their interaction mechanism with a granular soil is analysed by comparing the results of four pull-out tests, two of them carried out with samples of an intact geogrid and an intact paragrid and another two with samples of similar materials without transverse bars.

1 - INTRODUÇÃO

A interacção solo-reforços é da máxima importância em qualquer sistema de reforço. É no mecanismo da sua mobilização que se baseia o funcionamento global e conjunto do solo reforçado. A transferência de esforços entre o solo e as inclusões é controlada por aquele mecanismo de interacção e depende de uma larga gama de parâmetros, tais como:

- propriedades mecânicas e físicas do solo (densidade, tamanho das partículas e sua distribuição, humidade, etc.);
- propriedades mecânicas e geométricas dos reforços;
- geometria do sistema de reforço;
- processo construtivo, etc..

Nos sistemas de reforço, em geral, identificam-se três mecanismos fundamentais de interacção:

- atrito lateral ao longo das inclusões;
- atrito solo-solo;
- impulso passivo nos elementos transversais do reforço.

A resistência global das interfaces pode, consoante o tipo de reforço aplicado, resultar de um ou mais do que um mecanismo de interacção.

* Eng. Civil, Prof. Auxiliar da FEUP

** Eng. Civil, Mestre em Estruturas de Engenharia Civil

Neste trabalho, designar-se-á o coeficiente que mede essa resistência global por coeficiente de resistência e o ângulo na interface correspondente por ângulo de atrito aparente. É de notar que, quando tem lugar apenas o primeiro dos mecanismos de interacção atrás indicados, o coeficiente de resistência coincide com o coeficiente de atrito e o ângulo de atrito aparente com o ângulo de atrito na interface

Dos três mecanismos fundamentais de interacção referidos apenas um deles exerce a sua contribuição quando o reforço é um geotêxtil (mobilização do atrito lateral ao longo das inclusões) e, somente, dois quando o reforço é uma grelha e não se detectam deslocamentos relativos do solo ao longo das aberturas da inclusão. Neste caso, haverá que considerar as contribuições da mobilização do atrito lateral ao longo do reforço (Fig. 1a) e da mobilização do impulso passivo nas barras transversais da grelha (Fig. 1b).

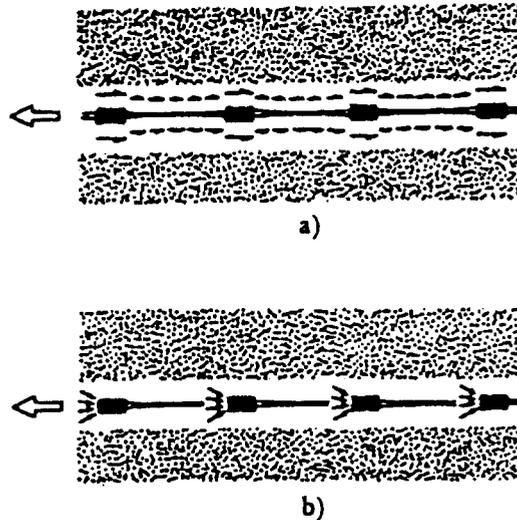


Fig. 1 - Mecanismo de interacção solo-grelha: a) atrito lateral ao longo do reforço; b) impulso passivo nas barras transversais da grelha (Jewell *et al.*, 1984).

A capacidade resistente da interface, resultante destas duas fontes, tem como limite máximo a capacidade resistente correspondente a um reforço perfeitamente rugoso ($tg\delta=tg\phi'$) cobrindo a mesma área plana.

2 - MATERIAIS UTILIZADOS, PROGRAMA E CONDIÇÕES DE ENSAIO

Para o estudo da influência da estrutura do geossintético, bem como das barras transversais das grelhas no mecanismo de interacção solo-reforço, realizou-se um conjunto de sete ensaios de arranque num equipamento de grandes dimensões (1,53m x 1,00m x 0,80m) (Ladeira e Lopes, 1995).

Os geossintéticos utilizados para a realização deste trabalho foram:

- uma geogrelha uniaxial em polietileno de alta densidade (GG);
- dois geotêxteis tecidos, um em poliéster (GTPET) e outro em polipropileno (GTPP);
- duas paragrelhas, constituídas por filamentos de poliéster envolvidos por uma película de polietileno, contendo uma delas (PG2) o dobro das barras transversais da outra (PG1).

Estes cinco geossintéticos foram ensaiados para o estudo do papel da estrutura do reforço no mecanismo de interacção deste com o solo. A influência das barras transversais das grelhas no mesmo mecanismo de interacção foi estudado comparando os resultados dos ensaios de

amostras intactas da geogrelha e de uma das paragrelhas com os obtidos em ensaios de materiais similares aos quais foram retiradas as barras transversais.

No Quadro I indica-se algumas propriedades físicas e mecânicas dos geossintéticos utilizados.

Quadro I - Propriedades físicas e mecânicas dos geossintéticos utilizados.

| Geossintéticos | Propriedades | | | |
|----------------|--------------|-----|-----|----|
| | I | II | III | IV |
| GG | 500 | 2,7 | 55 | 13 |
| GTPET(*) | 450 | 1,0 | 50 | 15 |
| GTPP | 550 | 2,0 | 120 | 12 |
| PG1 | 400 | 1,5 | 50 | 10 |
| PG2 | 550 | 1,5 | 50 | 10 |

(*) Direcção transversal

I - Massa por unidade de superfície (g/m^2)

II - Espessura sob pressão de 2kPa (mm)

III - Força de tracção máxima (kN/m)

IV - Extensão sob força máxima (%)

O solo utilizado nos ensaios é arenoso, estando a sua curva granulométrica representada na Fig.2. Esta areia apresenta valores dos diâmetros, D_{10} , D_{30} , D_{50} , e D_{60} , respectivamente, 0,35mm, 0,62mm, 1,20mm e 1,70mm, sendo o coeficiente de uniformidade, C_u , igual a 4,85 e o coeficiente de curvatura, C_c , igual a 0,65.

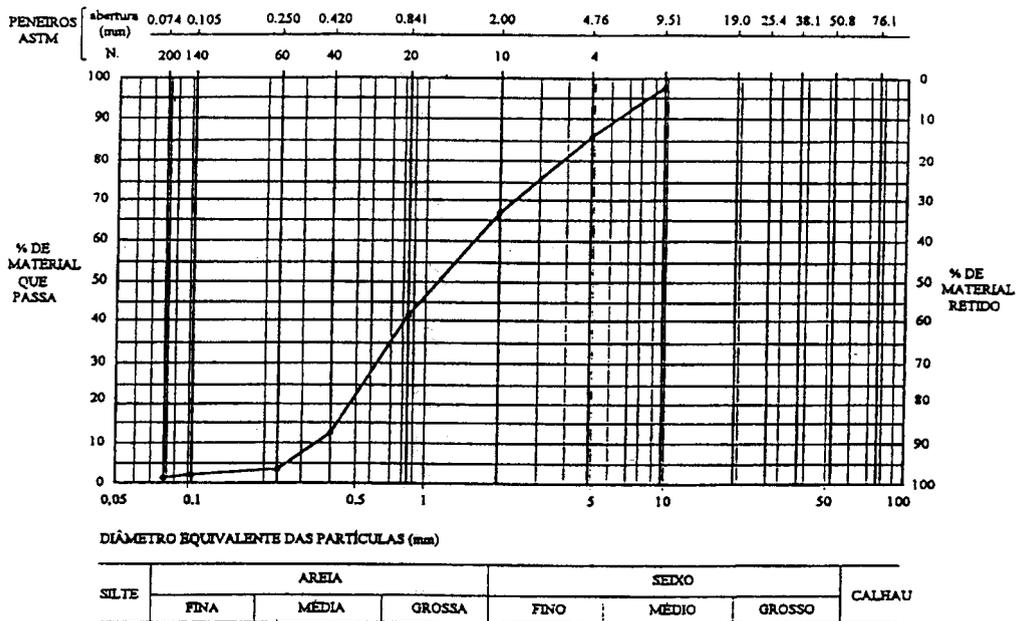


Fig. 2 - Curva granulométrica da areia utilizada nos ensaios

O peso volúmico mínimo determinado para o solo foi de $16,1 \text{ kN/m}^3$, sendo o peso volúmico máximo igual a $18,9 \text{ kN/m}^3$. Nos ensaios realizados a areia encontrava-se com um teor em água próximo de 0,1%. O valor do ângulo de atrito residual encontrado para o solo,

através de ensaios de corte directo, para a tensão de confinamento (46,7 kPa) e peso volúmico ($17,5\text{kN/m}^3$) presentes nos ensaios foi de $35,1^\circ$.

O programa e condições de ensaio consideradas neste trabalho são as indicadas no Quadro II.

Quadro II- Programa e condições de ensaio.

| Parâmetro | Geossintético | Dimensões da amostra Comp./Larg. (m) | Peso volúmico do solo (kN/m^3) | Pressão de confinamento (kPa) | Velocidade de ensaio (mm/min) | Altura de solo acima/abaixo da amostra (m) | Comprimento da manga (m) |
|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Estrutura do Geossintético | GG PG1 PG2 GTPET GTPP | 0,96/0,33 | | 46,7 | 5,4 | 0,30/0,30 | 0,20 |
| Influência das barras | GG | 0,96/0,33c/bt 0,96/0,33s/bt | 17,5 | 46,7 | 5,4 | 0,30/0,30 | 0,20 |
| Transversais | PG2 | 0,96/0,33c/bt 0,96/0,33s/bt | 17,5 | 46,7 | 5,4 | 0,30/0,30 | 0,20 |

3 - ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 - Influência da estrutura do geossintético

Com o objectivo de proceder à análise da influência da estrutura do geossintético no comportamento durante o arranque deste, realizaram-se ensaios em que se utilizaram amostras dos cinco geossintéticos indicados no Quadro II.

Na Fig. 3a, b e c podem ver-se colocadas no interior da caixa de arranque, respectivamente, a geogrelha (GG), o geotêxtil tecido em polipropileno (GTPP) e uma das paragrelhas (PG1).

Na Fig. 4 apresentam-se as curvas deslocamento frontal/força de arranque obtidas nos ensaios realizados com os cinco geossintéticos diferentes.

Nos ensaios realizados com as duas paragrelhas e com o geotêxtil tecido em poliéster, ensaiado na direcção transversal, a rotura ocorre por falta de resistência à tracção e não por falta de aderência.

A rotura das duas paragrelhas dá-se para valores próximos da força de arranque, sendo esta, por sua vez, próxima do valor deste parâmetro medido durante o arranque da geogrelha. Por seu turno, os dois geotêxteis ensaiados evidenciam comportamentos ao arranque bem distintos. Com efeito, o geotêxtil em poliéster, ensaiado na direcção transversal, rompe por falta de resistência à tracção ao passo que o geotêxtil em polipropileno, ensaiado na direcção longitudinal, apresenta um bom comportamento ao arranque, mantendo, praticamente constante o valor máximo da força até ao final do ensaio. Observa-se um comportamento ao arranque mais dúctil quando o geossintético utilizado é um geotêxtil do que quando é uma geogrelha uniaxial.

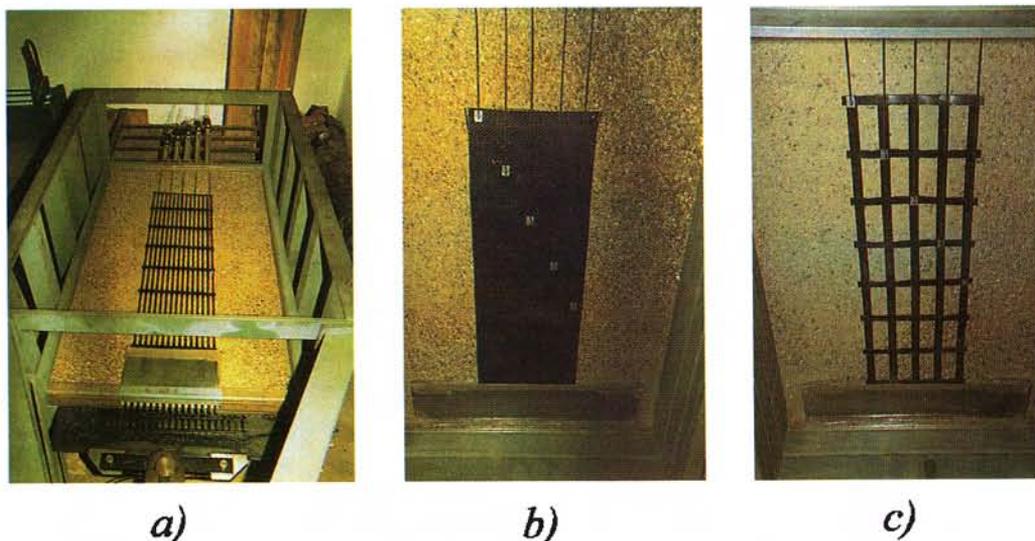


Fig. 3 - Geossintéticos colocados no interior da caixa de arranque: a) geogrelha (GG); b) geotêxtil tecido em polipropileno (GTPP); c) paragrelha (PG1).

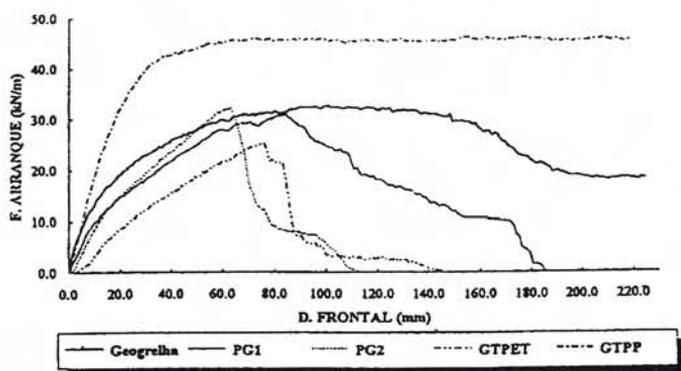


Fig. 4 - Resposta ao arranque de cinco geossintéticos de três tipos diferentes

Analisando o início do arranque dos reforços, fenómeno que tem lugar quando a extremidade posterior do reforço se desloca em relação ao solo envolvente (Ladeira e Lopes, 1995), verifica-se que este tem lugar para valores do deslocamento frontal bastante distintos conforme o tipo de geossintético ensaiado. De facto, enquanto na geogrelha o arranque tem início quando o deslocamento frontal é igual a 37,4mm, nas duas paragrelhas esse deslocamento é de cerca de 25,7mm, sendo no geotêxtil tecido em polipropileno (GTPP) de 17,8mm (é interessante notar que este último material é, de todos os ensaiados, o que apresenta maior resistência à tracção (ver Quadro I). No geotêxtil tecido em poliéster (GTPET) a rotura por falta de resistência à tracção ocorre antes do início do arranque da inclusão. Refira-se que os valores máximos da força, medidos nos casos em que o geossintético rompe por falta de resistência à tracção, são inferiores aos catalogados pelos respectivos fornecedores quanto à força de tracção máxima. Esta constatação poderá ser justificada, pelo menos em parte, pelas características do equipamento e condições de ensaio utilizadas, nomeadamente, o tipo de pega e a velocidade de ensaio (distintos dos correntemente utilizados nos ensaios de tracção).

3.2 - Influência das barras transversais das grelhas

Como já foi referido no decorrer do presente trabalho, é nas barras transversais das grelhas que é mobilizado o impulso passivo do solo. A capacidade resistente devido a essa mobilização pode constituir uma parcela importante da capacidade resistente total nas interfaces solo-grelha.

Assim, e na tentativa de dar uma ideia dessa parcela de resistência, procedeu-se ao estudo da influência das barras transversais das grelhas nos resultados dos ensaios de arranque. Para tal, executaram-se ensaios com e sem barras transversais. Este estudo incidiu em dois tipos de geossintéticos, a geogrelha (GG) e a paragrelha (PG2) (ver Quadro I). Todos os outros parâmetros de ensaio estão indicados no Quadro II. Nos ensaios realizados sem barras transversais foram utilizadas amostras com as mesmas características das amostras com a geometria de fábrica às quais foram cortadas os elementos transversais de união das barras longitudinais. Na Fig.5 pode-se observar a geogrelha estudada após a sua colocação no interior da caixa de arranque.

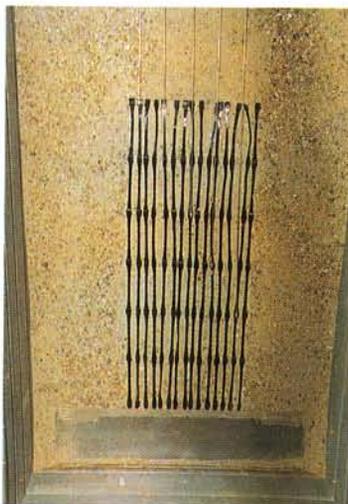
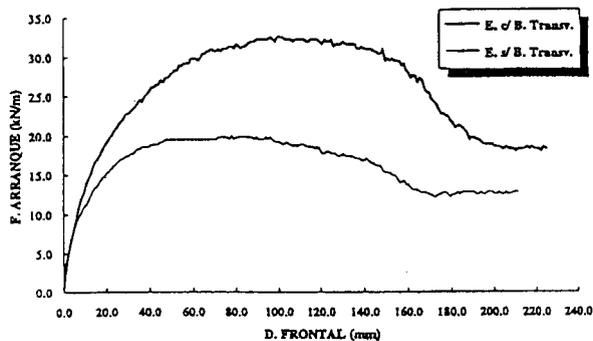


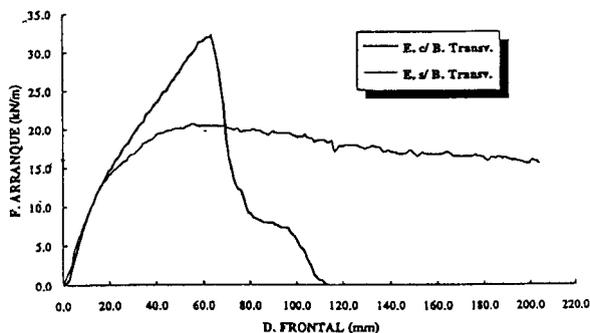
Fig. 5 - Geogrelha posicionada na caixa de arranque após corte das barras transversais

A resposta ao arranque, tanto da geogrelha como da paragrelha, em relação ao ensaio realizado com as amostras com barras transversais, vem significativamente alterada (Fig.6).

Nos ensaios realizados com a geogrelha a força de arranque máxima decresce de 32,2 kN/m (ensaio com barras transversais) para 19,8 kN/m. No ensaio realizado com a geogrelha com barras transversais esta força é obtida quando o deslocamento frontal é igual a 92,7mm enquanto no ensaio realizado sem barras transversais a força máxima ocorre quando esse deslocamento é igual a 72,7mm. Assim, a força de arranque máxima neste segundo ensaio é mobilizada mais rapidamente, em virtude da inexistência do mecanismo de interacção correspondente à mobilização da resistência passiva nas barras transversais das grelhas, no entanto, é cerca de 40% menor do que a obtida no ensaio realizado com barras transversais. Esta diferença atinge cerca de 50% quando o deslocamento frontal é de 165,0mm, reduzindo-se no entanto para 30% no final do ensaio.



a)



b)

Fig. 6 - Influência das barras transversais na variação da força de arranque com o deslocamento frontal: a) geogrelha uniaxial; b) paragrelha (PG2)

No que se refere ao valor do coeficiente de resistência na interface solo-geogrelha, verifica-se que, tal como seria de esperar, este diminui quando se retiram os elementos transversais. Com efeito, passa de 0,564 para 0,338 quando se retiram esses elementos.

Quanto aos ensaios realizados com a paragrelha (PG2), constatou-se igualmente um decréscimo da força máxima de arranque, de 32,2 kN/m para 20,7 kN/m, respectivamente, para os ensaios com e sem barras transversais. Enquanto no ensaio com barras transversais se dá a rotura do reforço por falta de resistência à tracção, no instante em que o deslocamento frontal é de 63,0 mm, e não por falta de aderência, no ensaio realizado sem aqueles elementos a força de arranque máxima é atingida no instante em que o deslocamento frontal é igual a 55,8 mm. Neste caso, no final do ensaio a redução observada na força de arranque é cerca de 25%.

Dos resultados obtidos, conclui-se o seguinte:

- a ausência das barras transversais conduz a um decréscimo da força de arranque atingindo, no caso da geogrelha, valores na ordem dos 50%;
- esta redução deve-se à não mobilização da resistência passiva nos elementos transversais, e à falta da rigidez que estes elementos conferem ao conjunto;
- a diferença de comportamentos é mais notória para deslocamentos médios, pois, no início do ensaio o deslocamento é pequeno e a mobilização do impulso passivo nas barras transversais das amostras intactas ainda não se iniciou, por seu turno, no final do ensaio todos os imbrincamentos dos grãos de solo estão desfeitos, aproximando-se, por isso, as resistências das interfaces solo-reforço nos ensaios em comparação;
- tanto para a geogrelha como para a paragrelha, constata-se um comportamento mais dúctil nos ensaios realizados sem elementos transversais. Nestes ensaios, a mobilização

da resistência máxima para deslocamentos frontais menores deve-se à inexistência do mecanismo de interação correspondente à mobilização da resistência passiva nas barras transversais das grelhas.

É de realçar que a comparação de resultados de ensaios de arranque realizada procura apenas dar uma ideia do valor da contribuição, para a resistência global dos materiais ensaiados, da mobilização da resistência passiva nas barras transversais das grelhas. Com efeito, os resultados obtidos não expressam a influência da dimensão dos grãos de solo na resistência passiva mobilizada nesses elementos, sendo de prever, por esta razão, que na realidade a percentagem da mobilização da resistência passiva seja ligeiramente menor do que a medida.

4 - CONCLUSÕES

Neste trabalho realizou-se o estudo da influência da estrutura do reforço e das barras transversais das grelhas no mecanismo de interação solo/reforço através da realização de ensaios de arranque num equipamento de grandes dimensões.

Dos resultados obtidos é possível concluir em termos gerais que :

- é determinante o papel da estrutura do reforço no mecanismo em estudo;
- estruturas mais deformáveis (por exemplo: o geotêxtil tecido em polipropileno) podem evidenciar melhor comportamento ao arranque que estruturas menos deformáveis (por exemplo: a geogrelha) caso a resistência das primeiras seja significativamente superior à das segundas;
- comportamento ao arranque dos geotêxteis é mais dúctil do que o das geogrelhas;
- a ausência das barras transversais nas grelhas conduz a uma diminuição considerável da força de arranque, atingindo no caso da geogrelha estudada, valores na ordem dos 50%;
- esta redução deve-se à inexistência do mecanismo de interação correspondente à mobilização da resistência passiva nos elementos transversais das grelhas, e à falta da rigidez que estes elementos conferem ao conjunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JEWELL, R.A.; MILLIGAN, G.W.E.; SARSBY, R.W. e DUBOIS, D. - *Interaction between soil and grids*. Proc. Conf. on Polymer Grid Reinforcement, Thomas Telford ed., London, pp. 18-30, 1984.
- LADEIRA, M e LOPES, M. L. - *O ensaio de arranque para estudo dos fenómenos de interação solo-reforços*. Geotecnia, nº.74, pp. 39-49, 1995.