

UM EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE ARRANQUE DE REFORÇOS POLIMÉRICOS

M. Lurdes Lopes¹, F. Queirós de Melo² e António S. Cardoso¹

¹ Departamento de Engenharia Civil, FEUP

² Departamento de Engenharia Mecânica, FEUP



RESUMO

Descreve-se uma caixa de arranque de grandes dimensões especialmente projectada e construída para o estudo dos fenómenos de interacção solo-reforço. Os procedimentos de ensaio e materiais utilizados são também descritos. O comportamento da interface solo granular-geogrelha é analisado através dos resultados de um ensaio de arranque com estes materiais.

1 - INTRODUÇÃO

Os geossintéticos são elementos obtidos a partir de polímeros sintéticos que se colocam à superfície ou no interior de obras de terra, podendo exercer funções de drenagem, filtragem, separação, protecção e reforço. Os vários tipos de geossintéticos (geotêxteis, geogrelhas, geomembranas, etc.) diferenciam-se fundamentalmente pela sua estrutura que resulta de diferentes processos de fabrico.

Os geossintéticos têm vindo a ser cada vez mais aplicados em obras geotécnicas, desempenhando diferentes funções. Este contínuo incremento da utilização de geossintéticos tem propiciado o aumento da variedade de tipos disponíveis, com composições e estruturas muito diversas, quer no mercado nacional, quer no internacional.

Estas duas circunstâncias impõem a necessidade da realização de ensaios, não só para controlar os valores das propriedades, como também para aferir a

adequação de um dado geossintético a uma dada aplicação.

Quando os geossintéticos são aplicados como elementos de reforço de solos é fundamental, para a adequada previsão do comportamento estrutural, o conhecimento do mecanismo de interacção solo-reforço. Com efeito, é através da interface entre reforço e o solo envolvente que se dá a transferência de tensões de um material para o outro, pelo que a eficácia do reforço no funcionamento conjunto depende fundamentalmente da sua interacção com o solo.

De entre os ensaios que facultam a caracterização do mecanismo de interacção solo-reforço, os ensaios de arranque são considerados por muitos investigadores como os mais apropriados quando o movimento relativo nas interfaces corresponde ao arranque da inclusão em relação ao solo envolvente (Andrawes e McGown, 1977; Eigenbrod e Locker, 1987;

Lopes, 1992; Farrag *et al.*, 1993; Kharchafi e Dysli, 1993; Ladeira, 1995; etc.).

Porém, a inexistência de normalização associada ao elevado número de factores que influenciam as propriedades mecânicas das interfaces fazem com que exista uma grande dispersão nos resultados publicados de ensaios de arranque. Estas diferenças resultam da utilização de diferentes tipos de equipamento e, conseqüentemente, dos efeitos de fronteira associados a cada um, de diferentes procedimentos de ensaio, de diferentes esquemas de colocação e compactação do solo, etc. (Juran *et al.*, 1988).

Com o objectivo de estudar os fenómenos envolvidos no comportamento mecânico das interfaces solo-geossintético a Secção de Geotecnia do DEC-FEUP encomendou ao INEGI o projecto e construção, mediante especificações próprias, de um equipamento de grandes dimensões para realização em laboratório de ensaios de arranque de reforços. Procurou-se que o equipamento fosse tão versátil quanto possível de modo a permitir a análise da influência no comportamento das interfaces de diversos parâmetros físicos, geométricos e mecânicos.

O comportamento das interfaces solo-reforços é definido no ensaio de arranque através da aplicação ao reforço, envolvido por solo, de uma força de tracção em regime de velocidade controlada e da medição dos deslocamentos de diversos pontos do reforço. A tensão normal à superfície de tracção ou plano de deslocamento pode ser prescrita de forma independente.

Portanto, o equipamento conduz à definição experimental do diagrama força de tracção-deslocamento de geossintéticos (geotêxteis, geogrelhas, geomembranas, etc.) envolvidos por solo e, conseqüentemente, de parâmetros mecânicos realistas caracterizadores da interacção entre esses dois materiais.

Embora o equipamento tenha vindo a ser usado no âmbito para o qual foi construído, isto é, a caracterização das interfaces entre solos e diferentes tipos de geossintéticos, pode também ser empregue para outros tipos de reforços, nomeadamente metálicos.

No presente artigo faz-se a descrição pormenorizada do equipamento desenvolvido e das metodologias de ensaio aplicadas. Usando os resultados de um ensaio de uma geogrelha uniaxial confinada por um solo granular, procura-se pôr em evidência a eficácia do equipamento desenvolvido para a previsão do comportamento mecânico das interfaces solo-reforço.

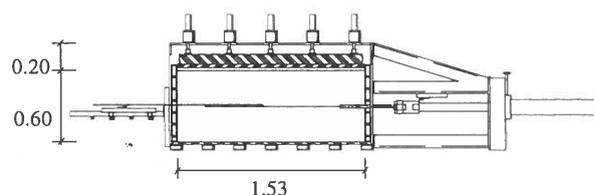


Figura 1 - Esquema do sistema experimental.

2 - EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

2.1 - Descrição geral

O sistema experimental é composto pelos seguintes elementos fundamentais, esquematicamente representados na Figura 1: i) caixa onde é colocado o geossintético a ensaiar envolvido por solo; ii) cilindro de aplicação da força de tracção e respectiva célula de medição da carga; iii) conjunto de cilindros calçadores para aplicação da carga vertical; iv) mesa para instalação dos equipamentos de medição (LVDT's) dos deslocamentos de diversos pontos do geossintético durante o decorrer do ensaio.

A caixa propriamente dita tem dimensões interiores de 1.53m de comprimento, 1.00m de largura e 0.80m de altura. A opção por um equipamento de grandes dimensões teve como objectivo a minimização da influência das fronteiras laterais nos resultados.

Por sua vez, a redução da influência da rigidez da fronteira superior e a garantia da uniformização da distribuição das pressões verticais aplicadas são conseguidas instalando, na superfície do solo colocado na caixa, uma placa de *neoprene* macio com 0.025m de espessura. Esta placa absorve também as irregularidades da superfície livre.

No intuito de diminuir o efeito da proximidade da parede frontal utiliza-se

uma manga em aço inoxidável com 0.20m de comprimento (no interior da caixa).

A caixa consiste numa estrutura desmontável composta por módulos metálicos sobrepostos por forma a permitir variações da altura do solo acima e abaixo do nível a que se situa o reforço. Um dos módulos tem duas aberturas (uma na face anterior e outra na face posterior) em praticamente toda a sua largura, permitindo, assim, arrancar reforços com larguras até 0.75m e a passagem dos arames inextensíveis para medição dos deslocamentos ao longo da inclusão.



a)



b)

Figura 2 - Equipamento para realização de ensaios de arranque: a) vista frontal e sistema hidráulico; b) vista lateral.

A parede frontal, do lado em que se procede ao arranque das inclusões, foi um elemento estrutural particularmente reforçado, uma vez que se comporta como um elemento rectangular composto por perfis justapostos e sujeito à força uniformemente distribuída

do solo quando este é sujeito a tensões de corte por acção do arranque do reforço.

Foi dada, ainda, uma atenção especial à estrutura de suporte do cilindro principal que, devido às dimensões consideráveis deste, é constituída por perfis relativamente compridos sujeitos também a esforços de encurvadura.

A força de arranque é realizada por um sistema hidráulico (Figura 2a). O equipamento permite a execução de ensaios com velocidade constante estabilizada, sendo esta definida pelo utilizador. Para cumprir estes requisitos adoptou-se um circuito hidráulico em que a bomba para os movimentos ditos principais, ou seja, arranque realizado a velocidade constante, é do tipo diesel (ver 2.2). Esta bomba tem caudal variável e, dado estar dotada de pistões de apertadas tolerâncias, evidencia baixa flutuação de funcionamento e fugas extremamente reduzidas.

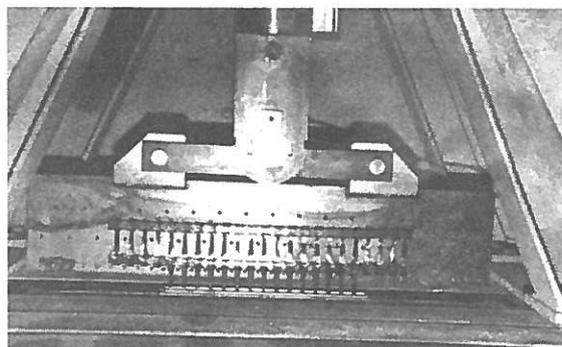


Figura 3 - Célula de carga para medição da força de arranque e pega para transmissão dessa força.

A força de arranque é medida através de uma célula de carga, especialmente concebida para o efeito, que está posicionada entre o veio do cilindro principal e a pega que transmite a força de arranque à amostra (Figura 3). Esta pega é constituída por duas placas que comprimem a amostra entre ambas por aparafusamento. Um conjunto de 10 cilindros de pequena dimensão colocados na parte superior da caixa (Figura 2) permite aplicar uma pressão de confinamento seleccionada pelo utilizador, que se mantém constante no decorrer do ensaio, ou permite definir uma

fronteira rígida, impedindo os movimentos verticais. No primeiro caso, é instalada, na superfície do solo, uma placa de *neoprene* macio com 0.025m de espessura e, sobre esta, uma placa de laminado de madeira onde actuam os cilindros calcadores, mantidos a uma pressão constante estabilizada por um circuito contendo um acumulador oleo-pneumático (ver 2.2). Na segunda variante, a placa de laminado de madeira, bastante rígida, assenta directamente sobre a superfície do solo e, sobre ela, actuam os cilindros calcadores, tendo a sua câmara de óleo estanque por válvulas de vedação perfeita.

Pode assim executar-se ensaios sob duas condições diferentes: i) sob força constante (cilindros calcadores sob pressão estabilizada), sendo permitidos os deslocamentos verticais; ii) com deslocamentos verticais da fronteira superior nulos por forma a garantir a realização do ensaio a volume constante.

Os movimentos de aproximação do cilindro principal e de activação dos cilindros calcadores são efectuados através de uma bomba de engrenagens, de caudal superior ao da bomba diesel, possibilitando movimentos mais rápidos (ver 2.2).

A pressão de confinamento é medida por uma célula de carga entreposta entre um dos cilindros calcadores e a placa superior de contraplacado (Figura 4).

É importante notar que a medição dos deslocamentos em vários pontos do reforço é fundamental quando este é extensível, como é o caso dos geossintéticos. Com efeito, em reforços deste tipo o movimento durante o arranque apresenta duas componentes, uma correspondente à deformação por corte na interface solo-reforço e a outra relativa à elongação da própria inclusão. Esta última é de maior significado na parte anterior da amostra, estando esta mais próxima do ponto de aplicação da força. A possibilidade de conhecer em separado cada uma das componentes do movimento permite, naturalmente, uma melhor compreensão do fenómeno de interacção entre o solo e os geossintéticos.

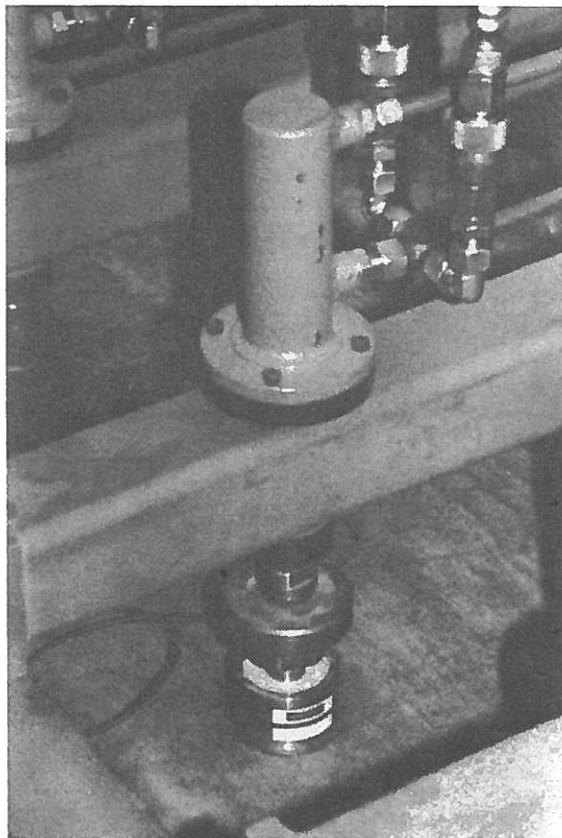


Figura 4 - Célula de carga para medição da pressão de confinamento.

A medição dos deslocamentos em vários pontos ao longo do reforço é feita colocando varetas inextensíveis ligadas, numa das extremidades, ao geossintético através de peças que não debilitam a sua resistência e, na outra extremidade, a potenciómetros lineares instalados numa mesa situada na parte posterior da caixa (Figuras 1 e 2b).

Na parte frontal da caixa é também instalado um potenciómetro linear para medição do deslocamento frontal da amostra.

Um sistema automático de aquisição faz o registo de todos os valores medidos. Esse sistema está ligado a um computador com *software* especializado que permite adquirir valores em ordem a diversas grandezas, tais como, tempo, deslocamento, força, pressão, etc.. Neste trabalho optou-se pela aquisição de valores em ordem ao tempo.

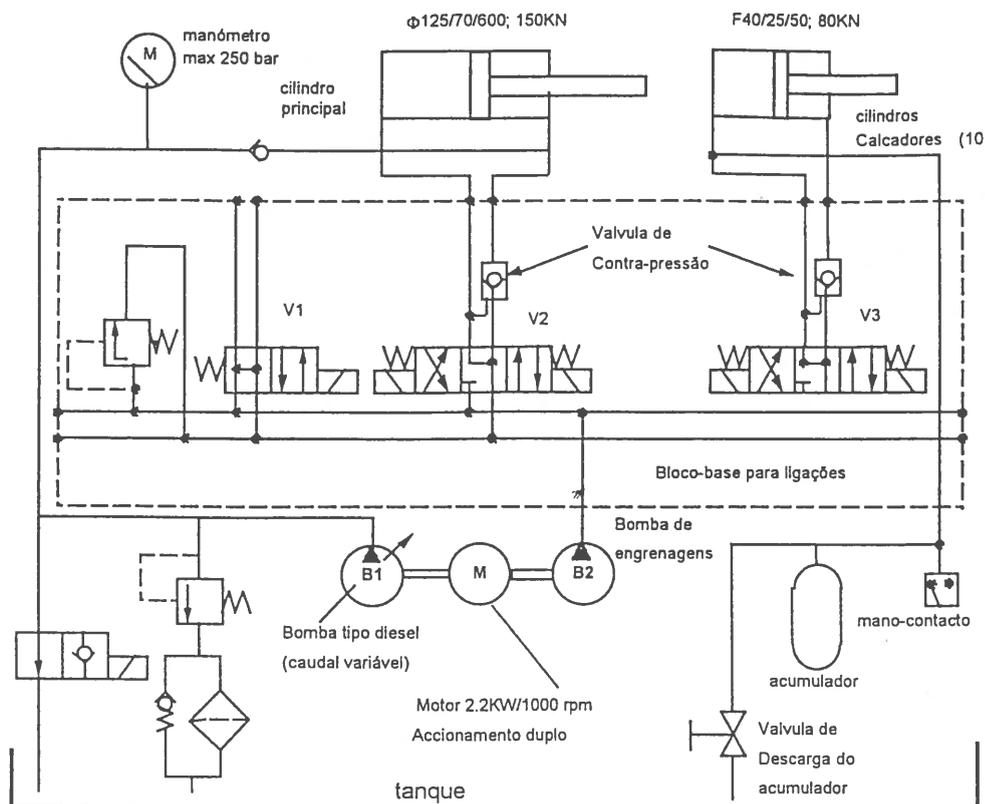


Figura 5 - Circuito hidráulico.

2.2 - Circuito hidráulico

Foi especificado que as velocidades de aplicação da força de arranque deviam ser muito estáveis, o que, à partida, impôs duas importantes condições à concepção do equipamento: 1) - motor tinha que possuir uma rotação com uma flutuação mínima, isto é, a sua velocidade devia variar muito pouco com o binário resistente; para cumprir esta condição, adoptou-se um motor de 900rpm, em vez das usuais 1500rpm, com um binário de característica mergulhante, o que conduz a uma pequena sensibilidade da velocidade de rotação em relação à carga no veio (binário exterior); 2) - bomba oleodinâmica devia ter uma cilindrada muito precisa e um caudal de fugas mínimo, a fim de proporcionar ao receptor um funcionamento muito estável; conseqüentemente, optou-se por incluir no circuito uma bomba doseadora de dois cilindros do tipo *Diesel* com caudal variável.

A precisão de fabrico de bombas deste tipo é muito elevada, o que assegura que o caudal seja extremamente estável e praticamente isento de fugas. O custo desta

bomba é bastante elevado quando comparado com o de uma bomba de engrenagens de características semelhantes; no entanto, o seu excelente desempenho justifica a opção.

Para os movimentos de aproximação do cilindro principal e de activação dos calcadores, existe uma bomba de engrenagens de caudal superior ao da bomba *Diesel*, possibilitando movimentos mais rápidos.

Na Figura 5 mostra-se o esquema do circuito hidráulico. Como se referiu, este consta de duas bombas, uma bomba doseadora de caudal variável, para movimentos de precisão, e uma bomba de engrenagens, para movimentos rápidos.

Para manter a pressão dos 10 cilindros calcadores constante e estabilizada usa-se um circuito contendo um acumulador oleopneumático (ver Figura 2).

As características essenciais do conjunto são as seguintes:

- força máxima disponível de 150kN (à pressão máxima de 175bar);
- 10 cilindros calcadores;

- força máxima de 6kN por cilindro calcador (duplo efeito);
- velocidades de ensaio de 0 a 20mm/min;
- velocidade de recuo (regresso à posição inicial de ensaio) fixa a 50mm/segundo;
- leitura dos deslocamentos a partir de LVDT ou potenciômetros.

2.3 - Sequência de operações

O circuito hidráulico (ver esquema apresentado na Figura 5) foi concebido de modo a ser possível realizar as seguintes operações:

- 1) - Todas as válvulas em repouso (tal como se apresentam no esquema): a bomba *Diesel* [3] debita para o tanque através da válvula de assento 2x2 [2]; por sua vez, a bomba de engrenagens [4] debita para o tanque através do “centro aberto” (posição de repouso com descarga) da válvula distribuidora 4x2 [7.2]. A passagem de caudal para o tanque vindo de [4] é feita sob uma pequena contrapressão oferecida pela válvula [14], a fim de manter sempre um caudal de aspiração na bomba *Diesel* [3].
- 2) - Movimento dos calcadores para baixo (aplicação da pressão de confinamento): activa-se [7.2], que fecha; activa-se [7.5] que faculta a passagem de caudal para a câmara superior dos 10 cilindros calcadores [16]. Logo que a pressão transmitida por estes à superfície do solo atinja o valor prescrito, o pressostato [12] desactiva a distribuidora [7.5], colocando-a de novo em posição central, e, desactivando [7.2], coloca de novo a bomba [4] em vazio. Os calcadores ficam imobilizados sob pressão prescrita em [12], a qual é estabilizada pelo acumulador [11].
- 3) - Movimentos rápidos (avanço e recuo) do cilindro principal [15]: são assegurados por toque sem memória na botoneira do painel da máquina, isto é, retirando o dedo não há persistência do movimento, o que é muito conveniente por questões de segurança. Portanto, para avançar [15], o caudal é fornecido pela bomba [4], tendo activado [7.2] e a

distribuidora [7.3]; para recuar, continua [7.2] em serviço e [7.3] inverte a sua posição.

- 4) - Movimento lento (durante a realização de um ensaio; o cilindro nunca pode recuar com a bomba *Diesel*): activam-se primeiro os calcadores como descrito anteriormente, depois activa-se apenas a válvula de assento [2], fechando o débito ao tanque. O caudal da bomba *Diesel*, debitado à câmara activa do cilindro de serviço, pode ser variado infinitamente pelo operador, alterando concomitantemente a velocidade do ensaio.

3 - ENSAIOS REALIZADOS

3.1 - Materiais utilizados

Com o equipamento descrito estudou-se as características da interface entre um solo e uma geogrelha uniaxial em polietileno de alta densidade. A amostra de geogrelha tinha 0.33m de largura (15 barras longitudinais) e 0.96m de comprimento (7 barras transversais). Junto da parede frontal, para diminuir os efeitos de fronteira, a geogrelha foi envolvida por uma manga com um comprimento, no interior da caixa, de 0.20m. Na Figura 6 apresenta-se a geometria da inclusão bem como a localização dos pontos de medição dos deslocamentos ao longo desta. Por sua vez, a Figura 7 mostra a curva carga-deformação da geogrelha.

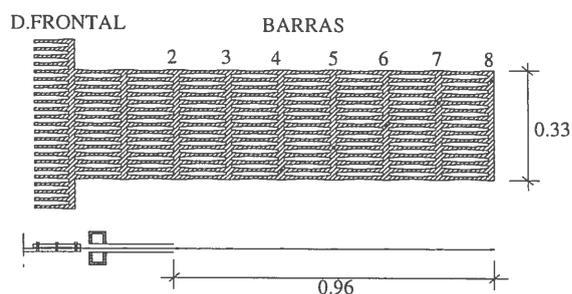


Figura 6 - Geometria da amostra e localização dos pontos de medição dos deslocamentos

Nos ensaios usou-se um solo arenoso com a curva granulométrica representada na Figura 8. Os coeficientes de uniformidade, D_u , e de curvatura, D_c , são iguais a 4.85 e a 0.65, respectivamente.

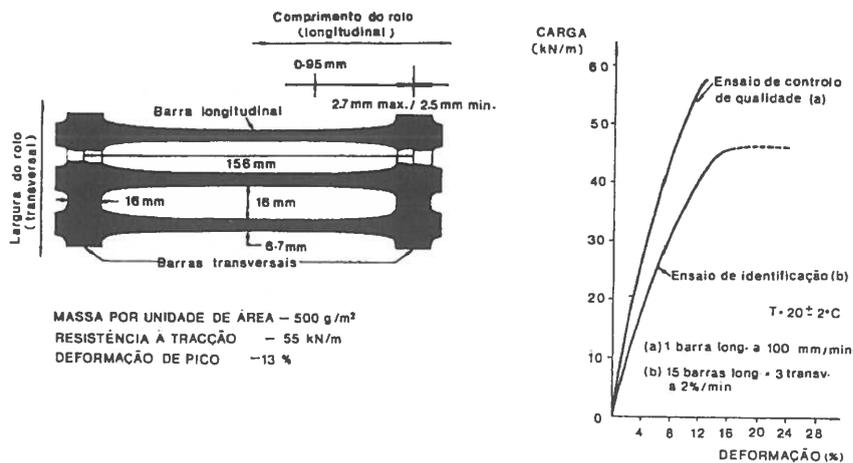


Figura 7 - Geometria e curva carga-deformação da geogrelha ensaiada.

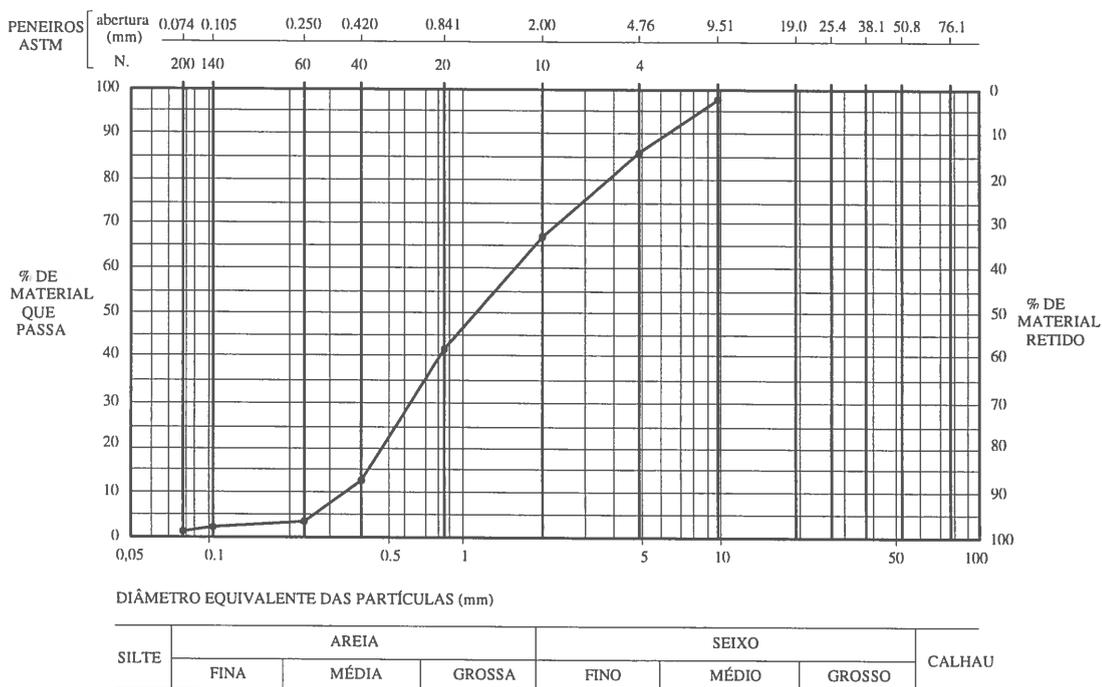


Figura 8 - Curva granulométrica da areia utilizada nos ensaios.

Os pesos específicos mínimo e máximo do solo eram, respectivamente, iguais a 16.1 e 18.9kN/m³. Nos ensaios realizados a areia foi compactada de modo a que o seu peso específico fosse igual a 17.5kN/m³; o teor em água era da ordem de 0.1%.

A espessura de solo acima e abaixo do reforço era de 0.30m, perfazendo uma espessura total de 0.60m. A pressão dos cilindros calcadores foi regulada de modo a que a pressão de confinamento ao nível da geogrelha fosse 46.7kPa.

O valor do ângulo de atrito residual do solo, determinado através de ensaios de corte directo, para a tensão de confinamento e o

peso específico característicos do ensaio era igual 35.1°.

O ensaio foi efectuado com uma razão de deslocamentos (velocidade) igual a 5.4mm/min. No Quadro I resume-se as características do ensaio.

3.2 - Procedimento de ensaio

Antes de se iniciar o ensaio procedeu-se à calibração de todos os aparelhos, ou seja, dos potenciómetros lineares para medição dos deslocamentos e das duas células de carga, uma trabalhando à compressão e a outra à tracção.

Quadro I - Características do ensaio

Tipo de geossintético	Geogrelha uniaxial
Comp./largura da amostra (m)	0.96/0.33
Comprimento da manga (m)	0.20
Espessura de solo sob/sobre a amostra (m)	0.30/0.30
Peso especif. do solo (kN/m ³)	17.5
Pressão de confinamento (kPa)	46.7
Velocid. do ensaio (mm/min)	5.4

O enchimento da caixa com a areia atrás indicada foi realizado por camadas sucessivas com 0.15m de espessura após compactação. O volume de areia correspondente a cada camada foi vertido de um balde colocado a uma altura constante de 0.40m em relação à última camada colocada. Em seguida, cada camada foi nivelada e compactada com um martelo vibratório eléctrico de modo a obter-se o peso específico desejado, o que foi controlado com um gamadensímetro.

Quando a areia atingiu o nível da manga instalada na parede frontal, colocou-se o reforço sobre a superfície do solo compactado, introduzindo-o na referida manga.

Em seguida, a extremidade anterior do reforço foi ligada à pega, constituída por duas placas aparafusadas, estando os parafusos convenientemente distribuídos de modo a não danificarem a grelha. Nos ensaios com geotêxteis, a zona de ligação à pega deve ser previamente endurecida com uma resina epoxi.

A pega foi posicionada no exterior da caixa junto à parede frontal e à entrada da manga. Foram, então, colocados os arames inextensíveis para a medição dos deslocamentos ao longo do reforço ligando-os aos potenciómetros lineares, os quais foram posicionados na parte posterior e anterior da caixa.

Posteriormente, foram compactadas mais duas camadas de areia com 0.15m de espessura, instaladas as placas de neoprene macio e de contraplacado e fixadas as barras com os cilindros calcadores.

Finalmente, seleccionou-se a razão de deslo-camentos (velocidade de ensaio) e a tensão de confinamento, levando-se a zero todos os dispositivos antes de iniciar o ensaio.

4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

A garantia de reprodutibilidade dos resultados dos ensaios é obviamente muito importante. Para isso realizaram-se dois ensaios nas condições indicadas no Quadro I, tendo-se comprovado uma boa concordância quer em relação à resposta ao arranque (Figura 9a) quer em relação aos deslocamentos das barras transversais (Figura 9b).

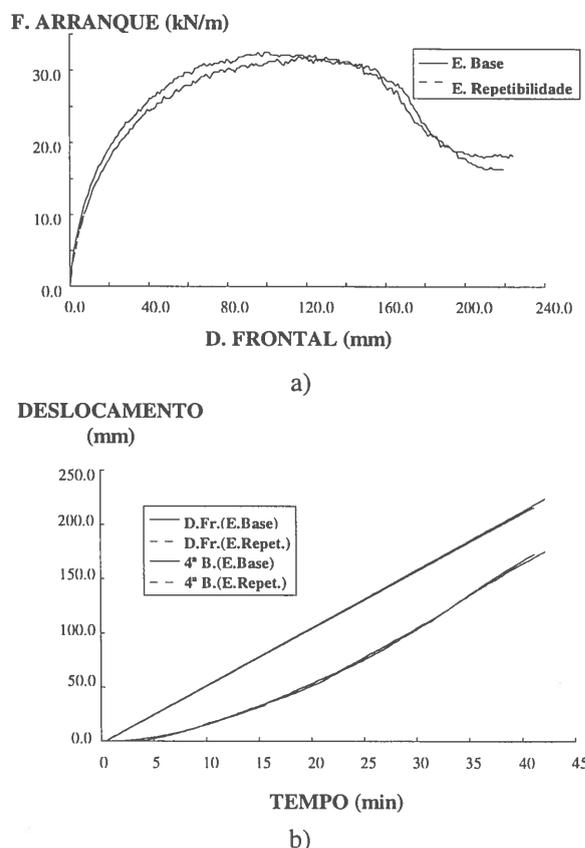


Figura 9 - Reprodutibilidade dos ensaios de arranque: a) resposta à força de arranque; b) deslocamentos frontal e da 4ª barra transversal (ver Figura 6)

Com efeito as curvas representativas da variação da força de arranque com o deslocamento frontal de cada um dos ensaios estão muito próximas (Figura 9a), sendo a maior diferença nos valores registados para a força de arranque da

ordem dos 6% para deslocamentos frontais de cerca de 60.0mm. As forças máximas de arranque medidas diferem apenas de 1%, sendo os seus valores 32.2 e 31.9kN/m.

No que se refere aos deslocamentos frontais e da quarta barra transversal da geogrelha verifica-se que são praticamente coincidentes nos dois ensaios efectuados.

A avaliação da resistência ao corte mobilizada nas interfaces solo-geogrelha durante o arranque desta carece do conhecimento da distribuição dos deslocamentos ao longo do reforço. De facto, contrariamente ao que acontece quando os reforços são rígidos, os deslocamentos ao longo de inclusões extensíveis, como é o caso das geogrelhas, não são constantes; resultam do somatório do deslocamento correspondente à deformação por corte na interface solo-reforço e do deslocamento relativo à elongação da própria inclusão.

Com o objectivo de esclarecer o modo como se mobiliza progressivamente a resistência ao longo do comprimento da geogrelha à medida que a força de arranque aumenta, procedeu-se ao registo dos deslocamentos ao longo do reforço para várias percentagens da força máxima de arranque medida.

Faz-se a representação dos deslocamentos e dos deslocamentos por deformação do reforço ao longo deste, nos pontos correspondentes às barras transversais da geogrelha que inicialmente estão confinadas pelo solo. Tal representação não apresenta diferenças significativas relativamente à correspondente ao comprimento de reforço confinado no instante em que a força de arranque é máxima. Por outro lado, entende-se que a representação adoptada (com medições dos deslocamentos nas barras transversais da grelha) é de melhor compreensão.

Assim, na Figura 10 apresenta-se a variação dos deslocamentos ao longo do comprimento da geogrelha, que se encontra confinado no início do ensaio, para valores da força de arranque correspondentes a 50, 60, 70, 80, 90 e 100% da força máxima de arranque medida. Optou-se por não

considerar percentagens inferiores às indicadas por se ter constatado que os deslocamentos medidos eram de pouco significado, ou seja, até 50% da força máxima de arranque a percentagem da resistência mobilizada na interface é pouco importante para as condições do ensaio levado a cabo.

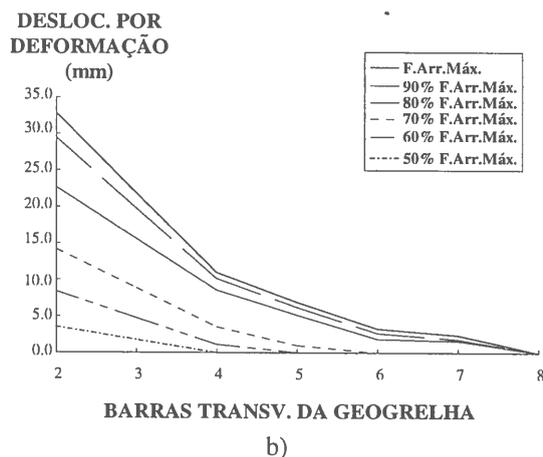
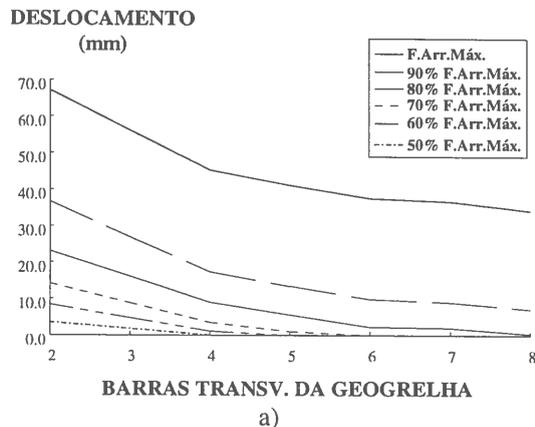


Figura 10 - Distribuição dos deslocamentos ao longo do comprimento da geogrelha para várias percentagens da força de arranque máxima

Como se verifica da análise da figura, neste tipo de reforços a resistência é mobilizada progressivamente ao longo do seu comprimento à medida que a força de arranque aumenta. Até percentagens da força máxima de arranque da ordem dos 60% apenas o terço anterior do reforço contribui para a resistência. Para percentagens superiores, a resistência vai sendo progressivamente mobilizada na parte posterior do reforço. Quando se atinge os 80% da força máxima de arranque toda a

extensão do reforço contribui para a resistência da interface, sendo para este valor da força que se inicia o movimento de arranque do reforço.

É possível, ainda, constatar o aumento significativo do incremento dos deslocamentos ao longo da inclusão para percentagens da força máxima de arranque superiores a 70%. Naturalmente que o acréscimo desse incremento para percentagens da força máxima de arranque da ordem dos 90 a 100% está intimamente associado ao arranque do reforço.

5 - CONCLUSÃO

A transferência de tensões do solo para os reforços num maciço reforçado dá-se através da interacção que se desenvolve entre os dois materiais. É, pois, fundamental a correcta definição desse mecanismo de interacção.

O equipamento apresentado neste artigo permite a caracterização dos fenómenos de interacção solo-reforços, em especial no caso do movimento relativo previsto *in situ* ser o de arranque da inclusão em relação ao solo envolvente.

Com base nos resultados apresentados conclui-se que o equipamento desenvolvido é perfeitamente adequado para a definição da resistência das interfaces solo-reforço desde que sejam convenientemente consideradas as condições presentes *in situ*, isto é, tensão de confinamento, tipo de solo e de reforço, densidade do solo e razão de deformação.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrawes, K. Z. e McGown, A. (1977). Alteration of soil behaviour by inclusion of materials with different properties. Proc. of the Symp. on Reinforced Earth, TRRL/Heriot-Watt University, Edinburgh, pp. 88-10.
- Eigenbroad, K. D. e Locker, J. G. (1987). Determination of friction values for the design of sides slopes lined or protected with geosynthetics. Canadian Geot. Journal, Vol. 24, nº 4, pp.509-519.
- Farrag, K., Acar, Y. B. e Juran, I. (1993). Pull-out resistance of geogrid reinforcements. Int. Journal of Geotextiles and Geomembranes, Vol. 12, nº 2, pp.133-159.
- Juran, I., Guermazi, A., Chen, G. L. e Ider, M. H. (1988). Modelling and simulation of load transfer in reinforced soil: Part 1. Int. Journal Numer. Anal. Meth. Geomech., Vol. 12, pp.141-155.
- Ladeira, M. A. (1995). Estudo dos fenómenos da interacção solo-geossintético através de ensaios de arranque. Dissertação de Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil, FEUP, Porto.
- Lopes, L. C. (1992). Muros reforçados com geossintéticos. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, FEUP, Porto.
- Kharchafi, M. e Dysli, M. (1993). Study of soil-geotextile interaction by a X-ray method. Int. Journal of Geotextiles and Geomembranes, Vol. 12, nº 4, pp. 307-325.