

SISTEMAS DE SOLO COMPÓSITO/BETÃO: CARACTERIZAÇÃO DA INTERFACE GEOCOMPÓSITO-SOLO

SOIL COMPOSITE /CONCRETE SYSTEMS: CHARACTERIZATION OF THE GEOCOMPOSITE- SOIL INTERFACE

Carlos, Karina Gonçalves, *UM, Guimarães, Portugal*, karinacarlos@live.com.pt

Sena-Cruz, José, *UM, Guimarães, Portugal*, jsena@civil.uminho.pt

Barros, Joaquim A. O., *UM, Guimarães, Portugal*, barros@civil.uminho.pt

Miranda, Tiago, *UM, Guimarães, Portugal*, tmiranda@civil.uminho.pt

Ferreira, Cristiana, *UM, Guimarães, Portugal*, cristiana@civil.uminho.pt

Azenha, Miguel, *UM, Guimarães, Portugal*, miguel.azinha@civil.uminho.pt

RESUMO

O conhecimento dos mecanismos de interação entre solos e geossintéticos é fundamental para o dimensionamento de obras em solo reforçado. Com o objectivo de caracterizar a interface entre um solo e um geossintético, foram realizados ensaios de corte directo e de arranque de um geocompósito drenante disponível no mercado. Os ensaios de corte directo foram realizados em conformidade com a norma NP EN ISO 12957-1:2007. Para a determinação da resistência do geocompósito ao arranque no solo foi concebida e utilizada uma caixa de arranque em laboratório, tendo os ensaios sido realizados de acordo com os procedimentos referidos na norma NP EN 13738:2007.

ABSTRACT

The knowledge of the interaction mechanism between soils and geosynthetics is crucial for the design of construction in reinforced soil. With the purpose of characterising the mechanical behaviour of the interface between a soil and a geosynthetic, direct shear tests and pullout tests were carried out with a geocomposite available in the market. The direct shear tests were performed in compliance with the NP EN ISO 12957-1:2007 standard. For the determination of the pullout resistance of the geocomposite in the soil, a pullout box was conceived and used in the laboratory, and the tests were carried out in accordance with the NP EN 13738:2007 standard.

1. INTRODUÇÃO

O comportamento de uma estrutura constituída por solo reforçado com geossintéticos está condicionado às propriedades do reforço, propriedades do solo e interação solo-geossintético (Lopes, 2000). Das referidas propriedades, são particularmente importantes a resistência à tracção do geossintético, os parâmetros de interação mecânica entre o solo e o reforço, bem como os efeitos do confinamento do solo adjacente no comportamento tensão-deformação do material sintético. Os mecanismos de interação mecânica entre o solo e os reforços implicam uma completa redistribuição das tensões e das deformações no maciço reforçado (Gomes, 1993).

As propriedades dos geossintéticos são caracterizadas através de ensaios de tracção em tiras largas. Para a caracterização da interface solo-geossintético são utilizados ensaios que permitem considerar as solicitações impostas em obra: condições de instalação, modo, tempo e intensidade das solicitações, condições ambientais e interacção com os meios adjacentes (Vidal

et al., 1999). Os ensaios geralmente adoptados na avaliação do desempenho do sistema solo/geossintético devem ter em conta as condições reais de campo. A interface solo/geossintético é usualmente complexa e depende, não somente do tipo e das propriedades do reforço, como também das características do solo envolvente e do nível de tensão actuante no reforço.

Neste trabalho, para caracterização da interface entre um solo e um geocompósito foram realizados ensaios de corte directo e ensaios de arranque. Estes dois ensaios, apesar de conceptualmente parecerem semelhantes pois representam movimentos de interacção solo-reforço, traduzem situações diferentes de solicitações impostas. Nos ensaios de corte directo a resistência da interface é mobilizada pelo deslizamento do solo em relação ao reforço. No caso dos ensaios de arranque a caracterização do comportamento da interface solo-geossintético é realizada através do movimento do reforço em relação ao solo envolvente. Neste trabalho procede-se à comparação dos resultados obtidos entre as duas tipologias de ensaios.

2. MATERIAIS EM ESTUDO

2.1. Geocompósito

No âmbito do presente trabalho foi utilizado um geocompósito drenante, constituído por uma georrede plástica e dois geotêxteis não tecidos. A Figura 1 apresenta o geocompósito drenante utilizado.

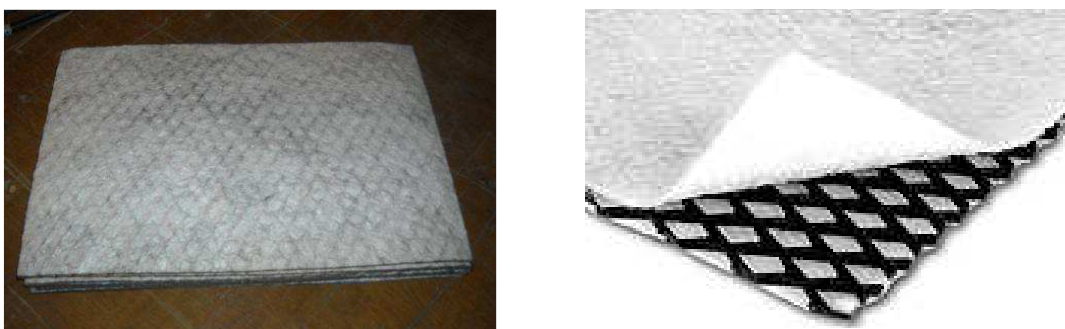


Figura 1 - Geocompósito Drenante Utilizado nos Ensaios

Os ensaios de caracterização mecânica do geocompósito realizados por Carlos *et al.* (2010) permitiram constatar que a resistência à tracção deste material é 19 kN/m. Nesses ensaios foi ainda possível identificar que o comportamento resistente do geocompósito se deve essencialmente ao desempenho do geotêxtil.

2.2. Solo

Neste trabalho foi utilizado um solo natural, recolhido no Sul de Portugal e cuja curva granulométrica está representada na Figura 2. Com base nos resultados de identificação do solo pode concluir-se tratar-se de uma areia siltosa. Segundo os resultados dos trabalhos de prospecção e caracterização mecânica levados a cabo previamente ao presente estudo, o peso volúmico natural do solo é de 17 kN/m³, com os seguintes parâmetros de resistência ao corte: ângulo de atrito efectivo de 37° e coesão efectiva nula.

Tendo por bases medidas efectuadas *in situ*, constatou-se que o teor em água do solo utilizado nos ensaios de caracterização mecânica da interface variou entre 14 e 15%. A compactação do solo para o ensaio de arranque foi realizada com base em ensaios de compactação estática.

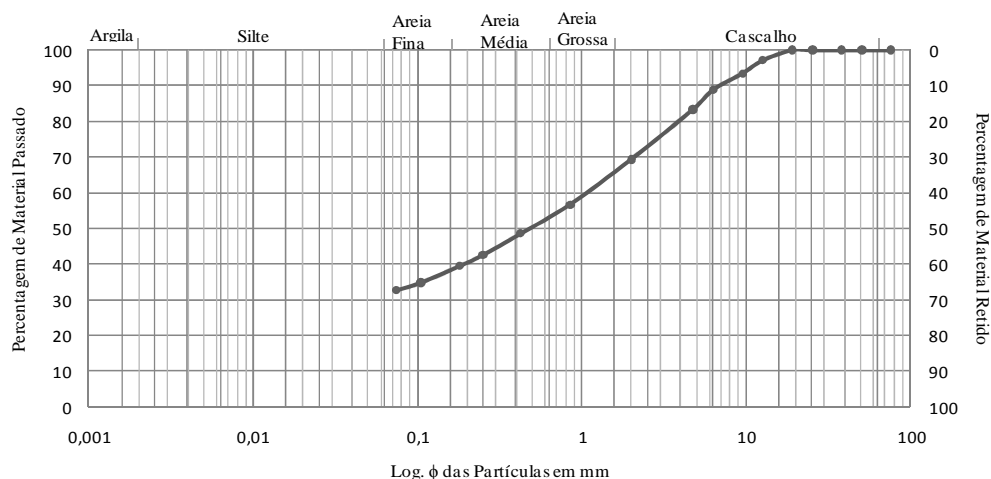


Figura 2 - Curva Granulométrica do Solo Utilizado no Estudo

3. ENSAIO DE CORTE DIRECTO

3.1. Descrição Sumária dos Ensaios

Os ensaios de corte directo foram realizados no Laboratório de Geossintéticos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A caracterização da interface solo/geossintético relativamente ao corte foi realizada de acordo com procedimentos referidos na norma NP EN ISO 12957-1:2007. Neste ensaio, a resistência ao corte é mobilizada devido ao deslocamento relativo da parte superior da caixa de ensaio, preenchida com solo, em relação ao geocompósito. A parte inferior pode ser preenchida com solo ou base rígida. No presente caso, devido a superfície lateral contínua do geossintético, os ensaios foram realizados com o geocompósito sobre uma base rígida (Lopes, 2010). A Figura 3 apresenta o equipamento utilizado.

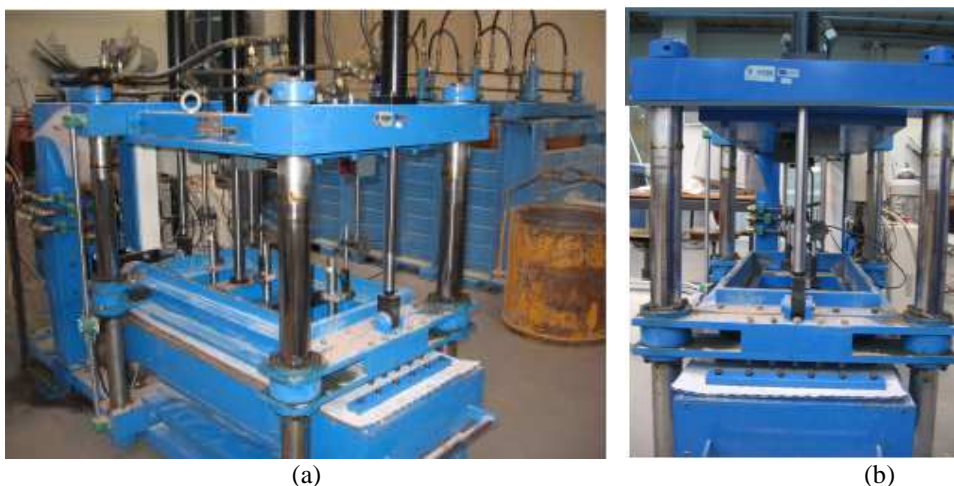


Figura 3 - Equipamento Utilizado para o Ensaio de Corte Directo (Lopes, 2010): (a) Perspectiva Geral do Equipamento; (b) Vista de Frente do Equipamento

Nos ensaios foram usadas as tensões de confinamento indicadas na NP EN ISO 12957-1: 2007 (50 kPa, 100 kPa e 150 kPa). Adicionalmente, foram realizados ensaios com tensão de confinamento de 10 kPa. Os provetes dispunham de um comprimento de 1,0 m e 0,4 m de largura.

3.2. Resultados

No Quadro 1 resumem-se os resultados dos ensaios de corte para as diferentes tensões de confinamento.

Quadro 1 - Resultados Ensaio de Corte (Lopes, 2010)

Provetes	Tensão de confinamento aplicada (kPa)	Resistência ao Corte máxima (kN/m)	Deslocamento (mm)
10_1		9,9	10,45
10_2	10	8,2	10,97
10_3		9,4	25,13
50	50	26,6	26,23
100_1		44,5	35,68
100_2	100	46,0	26,21
100_3		46,9	27,87
150	150	65,9	39,69

Na Figura 4 apresentam-se os resultados dos ensaios de corte em termos de resistência ao corte *versus* deslocamentos, bem como uma foto do geocompósito posicionado durante o ensaio de corte.

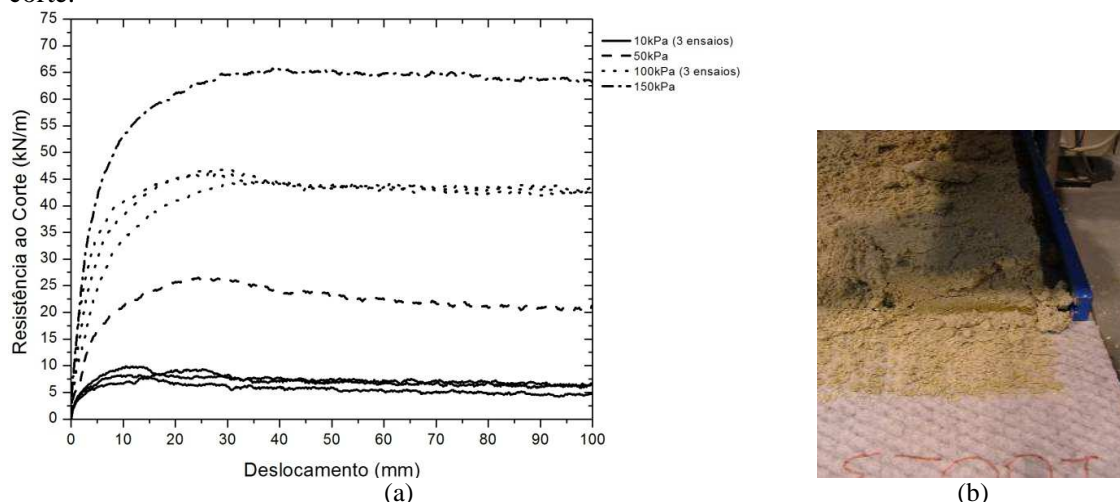


Figura 4 - Resultados dos Ensaio de Corte Directo (Adaptado de Lopes, 2010): (a) Curva Resistência ao Corte *versus* Deslocamento; (b) Provete de Geocompósito Durante o Ensaio de Corte

A análise da Figura 4 permite verificar que a resposta aos deslocamentos impostos é claramente não linear. Esta não-linearidade é acentuada à medida que se atinge a resistência ao corte máxima. Mobilizada toda a resistência ao corte do geocompósito, observa-se um comportamento dúctil com uma perda residual de resistência. A Figura 5 apresenta a relação entre a rigidez secante e a deformação, com vista a caracterização da rigidez da interface geocompósito-solo nos ensaios de corte.

O Quadro 2 apresenta os resultados da rigidez para 0,1% e 1% de deformação, retirados a partir da relação apresentada na Figura 5. A partir da análise dos resultados verifica-se que a rigidez aumenta com o aumento da tensão de confinamento. A influência da impregnação do solo no material confinado pode explicar, entre outros factores, este aumento de rigidez (Mendes, 2006). A rigidez diminui rapidamente com o aumento dos níveis de deformação impostos.

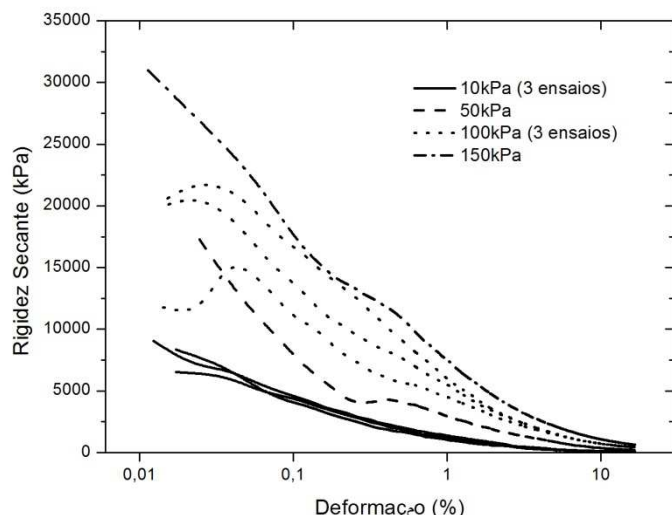


Figura 5 – Rigidez Secante *versus* Deformação (Adaptado de Lopes, 2010)

Quadro 2 - Resultados de Rigidez para Deformações de 0.1% e 1%

Tensão de Confinamento	Rigidez (kPa) para 0,1 % de deformação	Rigidez (kPa) para 1 % de deformação
10 kPa	3960	1051
	4296	1252
	4489	1399
50 kPa	8493	2790
	10661	5415
100 kPa	14139	5945
	17001	5481
	18128	7490

Através da análise dos resultados foram construídas duas envolventes de rotura (Figura 6). Na envolvente de rotura da Figura 6a estão representados os valores para as tensões de confinamento impostas na norma. Na envolvente de rotura da Figura 6b foram acrescentados os valores para as tensões de confinamento de 10 kPa.

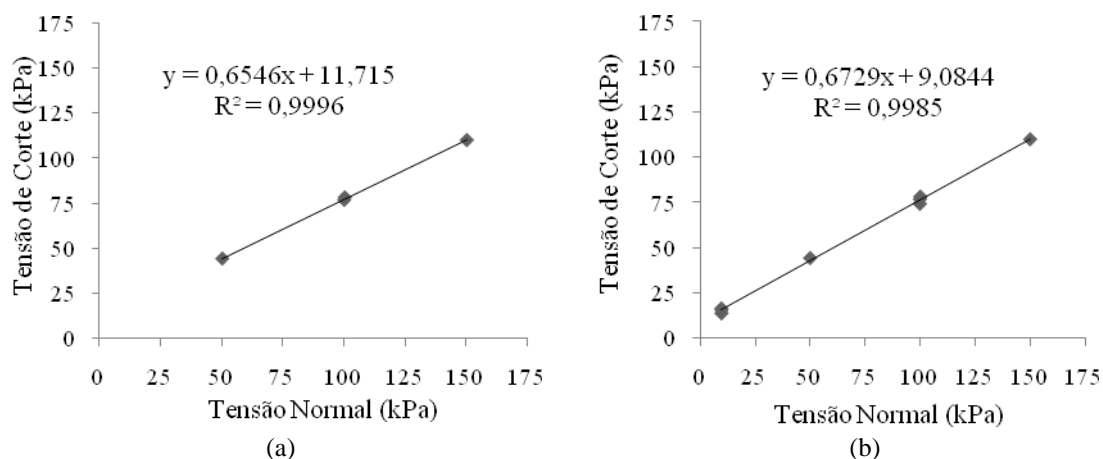


Figura 6 – Envolventes de Rotura Obtidas a Partir dos Ensaios de Corte (Lopes, 2010): (a) Com as Tensões de Confinamento Impostas Pela Norma; (b) Com Todas as Tensões de Confinamento Aplicadas

Verifica-se que a envolvente de rotura não é significativamente alterada pela inclusão dos resultados obtidos para as mais baixas tensões de confinamento. Assim, a partir da análise de

todos os resultados obtidos nos ensaios de corte directo, concluiu-se que a interface solo-geocompósito pode ser caracterizada por um ângulo de atrito de $34,11^\circ$ e uma adesão de 9,12 kPa.

4. ENSAIO DE ARRANQUE

4.1. Descrição Sumária dos Ensaios

O ensaio de arranque permite avaliar o comportamento de inclusões no solo, quando solicitadas por uma força de tracção que possam levar à perda de aderência com o solo circundante.

O ensaio de arranque do geocompósito embebido em solo foi realizado em conformidade com a norma NP EN 13738:2007. A tensão normal aplicada foi apenas a tensão provocada por uma camada superior do solo com 30 cm de espessura, traduzida por uma tensão de confinamento de 5,1 kPa. Os provetes ensaiados foram cortados segundo a norma, com um comprimento igual a três vezes a sua largura. As Figuras 7(a) e 7(b) apresentam o equipamento utilizado no ensaio de arranque.

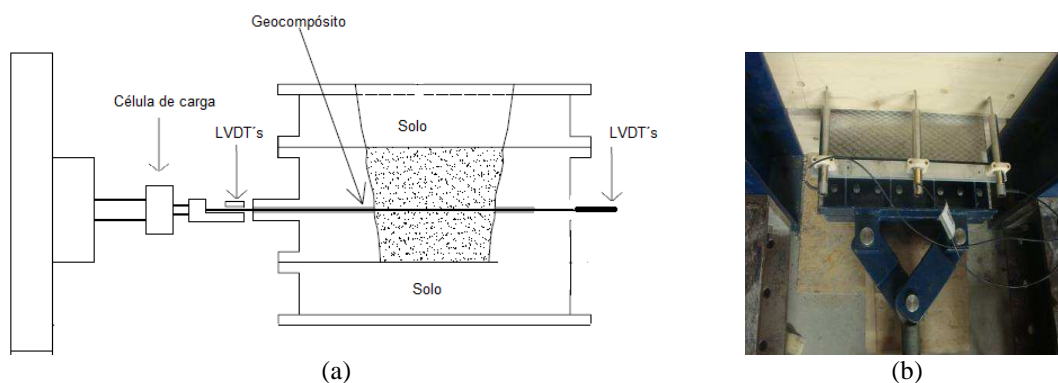


Figura 7 - Equipamento Utilizado no Ensaio de Arranque: (a) Esquema de Ensaio; (b) Detalhe da Garra para Arranque do Geocompósito

4.2. Resultados

O Quadro 6 apresenta os resultados dos ensaios de arranque. Na Figura 8 apresentam-se as curvas da relação resistência ao arranque *versus* deslocamento frontal, bem como a configuração após término do ensaio de arranque.

Quadro 6 - Resultados do Ensaio de Arranque

Ensaio	Resistência máxima ao arranque (kN/m)	Deslocamento frontal (mm)
Ensaio de Arranque 1	10,8	151,86
Ensaio de Arranque 2	9,7	153,4

As curvas relativas aos dois ensaios efectuados são bastante concordantes principalmente até deslocamentos da ordem dos 30 mm. A partir da análise da curva resistência ao arranque *versus* deslocamento verifica-se que, inicialmente, a força de arranque evolui de forma aproximadamente linear. Posteriormente, a resistência ao arranque passa a exibir gradualmente um comportamento plástico, com um aumento da resistência ao arranque cada vez menor para deformações crescentes, mas nunca sem atingir um patamar plástico que, provavelmente, só seria possível de alcançar para níveis de deformação muito elevados.

Na Figura 9 apresentam-se as curvas rigidez secante *versus* deformação para cada ensaio.

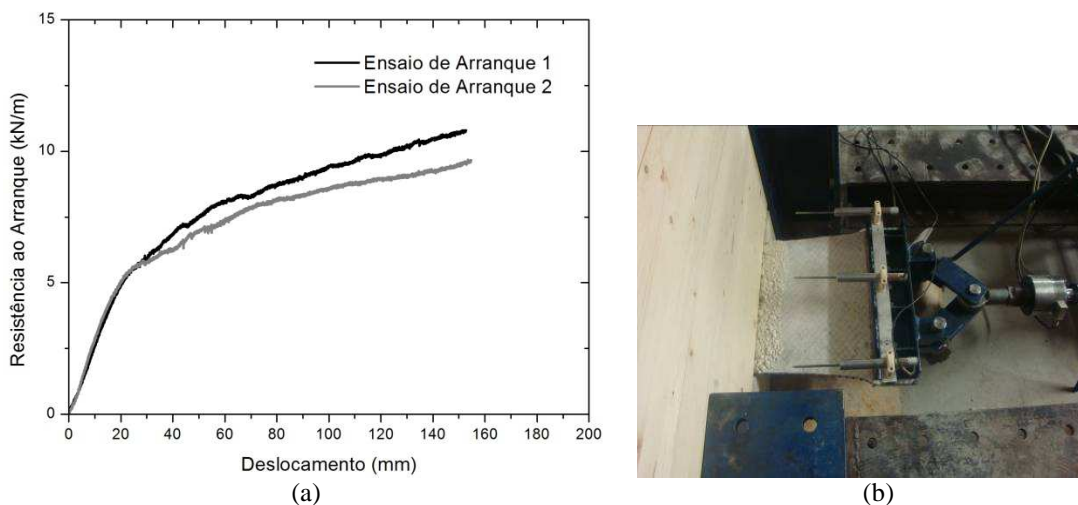


Figura 8 - Resultados dos Ensaios de Arranque: (a) Curva Resistência ao Arranque *versus* Deslocamento Frontal; (b) Aspecto Final do Provette Após a Realização do Ensaio

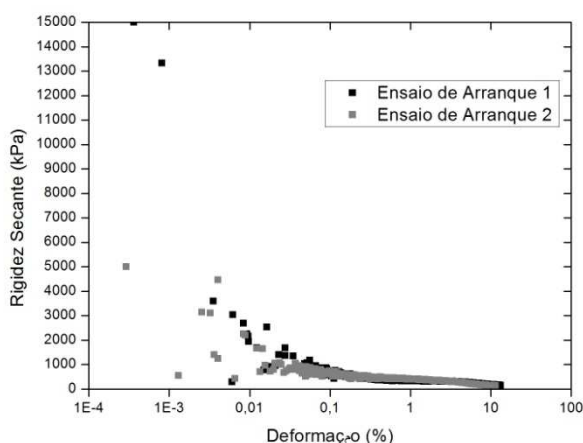


Figura 9 – Rigidez Secante *versus* Deformação

Para deformações muito baixas os valores de rigidez não apresentam grande precisão, devido às limitações de resolução dos transdutores utilizados. No entanto, para deformações mais elevadas é possível analisar o comportamento dos provetes em termos de rigidez. Por exemplo, para deformações da ordem de 1% a rigidez toma o valor de 345,2 kPa para o ensaio de arranque 1 e de 403,5 kPa para o ensaio de arranque 2. Os ensaios de corte directo foram realizados para tensões iguais ou superiores a 10 kPa. De qualquer forma, se esses resultados forem extrapolados para o nível de tensão de confinamento utilizado nos ensaios de arranque obtém-se um valor de rigidez de cerca de 1000 kPa, mais do que 2,5 vezes a resistência obtida naqueles ensaios. Estes resultados apontam para a necessidade da definição clara das condições de solicitação do material em obra, movimentos relativos associados, para que a determinação dos parâmetros de rigidez possa ser feito através dos ensaios que melhor as traduzem.

Da análise da rigidez da interface é de esperar que, com o confinamento aplicado, a rigidez na interface durante o arranque seja maior do que a rigidez do material submetido a tracção simples. No entanto, outros factores que condicionam o ensaio devem ser tidos em conta, nomeadamente o tipo de material confinante, o tipo de geossintético, a tensão de confinamento aplicada (valor da tensão e tipo de confinamento), velocidade do ensaio e, principalmente, a influência da impregnação (Mendes, 2006).

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados dos ensaios de corte concluiu-se que a interface geocompósito-solo apresenta uma adesão de 9,12 kPa e um ângulo de atrito de 34,11°. Para além da análise dos parâmetros de resistência ao corte, foi também possível analisar a rigidez da interface para pequenas deformações e para diferentes tensões de confinamento, efectuar comparações com a rigidez do material inserido no solo e ainda verificar a influência de outras condicionantes do ensaio. Os ensaios de arranque revelam valores de resistência máxima ao arranque de, em média, 10 kN/m. Conclui-se também, a partir da comparação dos dois ensaios realizados, que a diferença entre os valores de rigidez, para a mesma deformação, é considerável.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a colaboração do Laboratório de Geossintéticos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em especial à Professora Maria Lurdes Lopes, na realização dos ensaios de corte directo.

REFERÊNCIAS

- Carlos, K. G., Sena-Cruz, J. S., Barros, J. A., Miranda, T., Ferreira, C. e, & Azenha, M. (2010). Caracterização mecânica de sistemas solo/geocompósito/betão: interface geocompósito – betão. Artigo submetido para publicação no 12º Congresso Nacional de Geotecnia, Guimarães.
- Gomes, R. (1993). Interação solo reforço e mecanismos de ruptura em solos reforçados com geotêxteis. Escola de Engenharia de São Carlos, USP-São Carlos.
- Interdrain (2009). INTERDRAIN GMG 412: Ficha técnica. www.interdrain.net (acesso a 3 de Março de 2009).
- Lopes, M. L. (2000). Sebenta de apoio à disciplina de "Geossintéticos, Aplicações e Dimensionamento" do curso de Mestrado em mecânica dos solos e Engenharia geotécnica. FEUP; Porto.
- Lopes, M. L. (2010). *Geocompósito drenante - Ensaio de Corte Directo*. Laboratório de Geossintéticos da FEUP, Porto.
- Mendes, M. J. (2006). *Comportamento Carga-Alongamento de Geotêxteis não tecidos submetidos à Tracção Confinada*. Brasília.
- NP EN 13738. (2007). Geotêxteis e produtos relacionados – Determinação da resistência ao arranque.
- NP EN ISO 12957-1. (2007). Geossintéticos. Determinação das características de atrito; Parte 1: Ensaio de corte directo.
- Vidal, D. d., Fabrin, T., & Montez, F. (1999). O conceito de fatores de redução aplicados às propriedades dos geossintéticos. *1º Simpósio Sul-Americano de Geossintéticos - 3º Simpósio Brasileiro de Geossintéticos - Geossintéticos'1999*, (pp. 189-197). Rio de Janeiro.