

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

### **SOIL COMPOSITE /CONCRETE SYSTEMS: CHARACTERIZATION OF GEOCOMPOSITE- CONCRETE INTERFACE**

Carlos, Karina Gonçalves, *UM, Guimarães, Portugal*, [karinacarlos@live.com.pt](mailto:karinacarlos@live.com.pt)

Sena-Cruz, José, *UM, Guimarães, Portugal*, [jsena@civil.uminho.pt](mailto:jsena@civil.uminho.pt)

Barros, Joaquim A. O., *UM, Guimarães, Portugal*, [barros@civil.uminho.pt](mailto:barros@civil.uminho.pt)

Miranda, Tiago, *UM, Guimarães, Portugal*, [tmiranda@civil.uminho.pt](mailto:tmiranda@civil.uminho.pt)

Ferreira, Cristiana, *UM, Guimarães, Portugal*, [cristiana@civil.uminho.pt](mailto:cristiana@civil.uminho.pt)

Azenha, Miguel, *UM, Guimarães, Portugal*, [miguel.azinha@civil.uminho.pt](mailto:miguel.azinha@civil.uminho.pt)

#### **RESUMO**

Com o objectivo de caracterizar mecanicamente a interface entre um geocompósito, disponível no mercado, e um tipo de betão procedeu-se a um programa de ensaios experimentais. Este estudo foi iniciado com a realização de ensaios de determinação das propriedades em tracção do geocompósito, em conformidade com a norma NP EN ISO 10319:2005. A caracterização da ligação entre geocompósito e betão foi efectuada com recurso a ensaios de arranque directo, com diferentes níveis de tensão de confinamento, no sentido de ser obtida a envolvente de rotura da interface. Neste trabalho, a metodologia e os procedimentos adoptados nos diversos ensaios são descritos e os principais resultados obtidos são apresentados e analisados.

#### **ABSTRACT**

In order to characterize the mechanical interface between a geocomposite available in the market and a type of concrete, an experimental program was carried out. This study was initiated with a series of tests for the determination of the tensile properties of the geocomposite, according to the NP EN ISO 10319:2005 standard. The characterization of bond between geocomposite and concrete was carried out using direct pullout tests with different levels of confinement, in order to define the yield surface of the interface. In this work the methodology and procedures followed in the different experimental tests are described and the main results are presented and analysed.

#### **1. INTRODUÇÃO**

O uso de geocompósitos, constituídos por geotêxteis e geogrelhas ou geomembranas, em obras de Engenharia Civil, permite conferir capacidade drenante e de reforço (Lopes, 2000). No que diz respeito às funções de reforço, a técnica do solo reforçado com geossintéticos consiste na combinação dos dois materiais. No presente trabalho o geossintético é interposto entre solo e betão, pelo que interessa conhecer as condições de ligação entre estes três materiais, dado que no âmbito de um outro trabalho é necessário modelar a interacção solo-geossintético-estrutura de betão. A interacção do sistema solo/geocompósito/betão é complexa, envolvendo não só o comportamento das interfaces entre os materiais (rugosidades e eventuais embricamentos), mas também a própria resistência do geossintético.

Por um lado, o solo e o betão apresentam geralmente boa resistência à compressão e baixa à tracção; por outro lado, o geossintéticos apresenta boa resistência à tracção. No entanto, para o funcionamento eficaz deste sistema não estão somente em causa as resistências isoladas dos materiais, mas sobretudo os mecanismos de interacção entre eles.

Apesar da sua utilização crescente em obras de Geotecnia, o comportamento do sistema de interface entre os geocompósitos e o betão não se encontra devidamente caracterizado. Consequentemente verifica-se, por vezes, um dimensionamento desajustado e pouco fundamentado e uma utilização incorrecta deste tipo de materiais, com impacto directo no comportamento das estruturas.

Com vista a uma adequada caracterização de todo o sistema solo/geocompósito/betão foram realizados ensaios de tracção em tiras largas para determinação das propriedades mecânicas do geocompósito drenante, e foram executados ensaios de arranque directo para caracterização da interface geocompósito-betão.

## **2. ENSAIO DE TRACÇÃO EM TIRAS LARGAS**

### **2.1. Geocompósito Drenante**

No âmbito do presente trabalho foi usado um geocompósito drenante, constituído por uma georrede plástica, cuja designação comercial é INTERDRAIN GMG 412, do fabricante Interdrain (2009). Trata-se de um geocompósito drenante, constituído por uma geogrelha plástica com uma espessura de cerca de 4 mm e dois geotêxteis não tecidos com espessuras próximas de 0.3 mm. Para a caracterização mecânica do geocompósito foram realizados ensaios de tracção em conformidade com a norma NP EN ISO 10319:2005. O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi desenvolvido pelos Laboratórios de Estruturas e Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho de acordo com as especificações da referida norma. Para o efeito, foram concebidos e construídos dispositivos para montagem e fixação dos provetes de geossintético, nomeadamente garras com ligações aparafusadas e superfícies fresadas, de forma a evitar o escorregamento do provete.

Com vista à determinação da resistência à tracção e das extensões na rotura do geocompósito foram ensaiados quatro provetes na direcção do seu fabrico. Cada provete foi cortado com uma largura de  $200 \pm 1$  mm e um comprimento de  $300 \pm 1$  mm. O comprimento foi determinado de modo a assegurar uma distância efectiva de 100 mm entre as garras. Na zona das garras foi utilizado um adesivo do tipo epoxy no geocompósito de modo a aumentar a fixação do provete a estas. Os ensaios foram realizados sob controlo de deslocamentos a uma velocidade de 20 mm/min. As Figuras 1(a) e 1(b) apresentam um dos provetes do geocompósito drenante utilizado e o equipamento utilizado, no decurso de um dos ensaios. O Quadro 1 apresenta os resultados dos ensaios de tracção com o geocompósito.

Os resultados indicam que a resistência à tracção máxima obtida experimentalmente é de 19,7 kN/m, com um valor médio de 19,1 kN/m.

Na Figura 2 apresentam-se os resultados em termos da relação resistência à tracção *versus* extensão definida com base na variação de comprimento medido entre garras. Nesta figura apresenta-se, também, uma foto evidenciando um modo de rotura típico observado nestes ensaios.

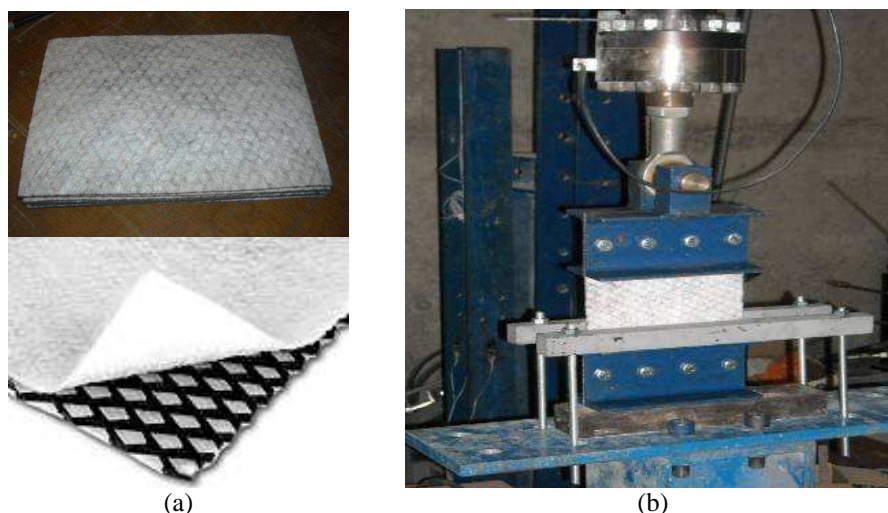


Figura 1 – Ensaio de Tracção em Tiras Largas: (a) Geocompósito Drenante Utilizado; (b) Configuração de Ensaio

Quadro 1 - Resultados dos Ensaios de Tracção com o Geocompósito

Provetes	Resistência à tracção máxima (kN/m)	Média (kN/m)	Desvio padrão (kN/m)	Coefficiente de variação	Extensão (%)
Geocompósito_1	18,8	19,1	0,51	3%	36,32
Geocompósito_2	19,7				41,67
Geocompósito_3	18,6				41,33
Geocompósito_4	19,4				42,17

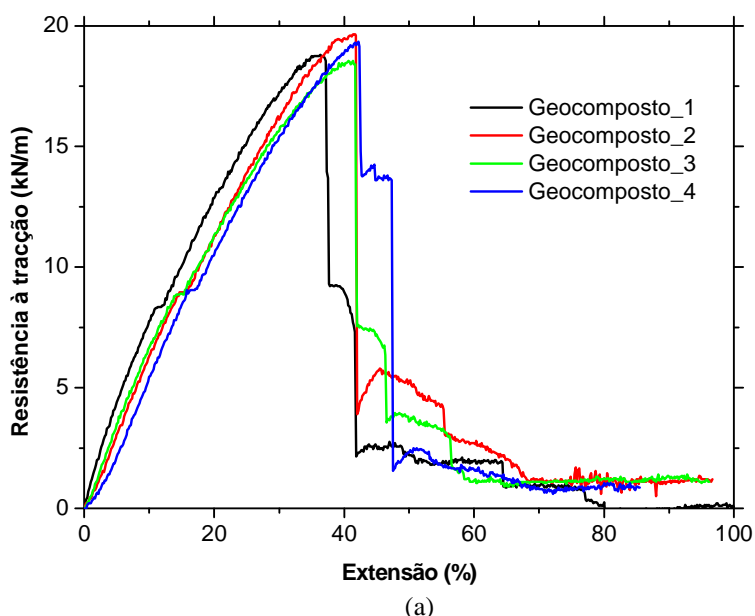


Figura 2 - Resultados dos Ensaios de Tracção com o Geocompósito: (a) Curva Resistência à Tracção *versus* Extensão; (b) Modo de Rotura de um dos Provetes

A partir da Figura 2(a) constata-se que a resposta, em termos de resistência à tracção *versus* extensão, é eminentemente não linear até à força máxima. A não linearidade até a força máxima pode ser explicada pelo início do rompimento dos filamentos do geocompósito. O decréscimo súbito da força de tracção está directamente associado com a rotura dos geotêxteis. A georrede confere a baixa resistência residual que se observa na fase final do ensaio.

O valor de resistência à tracção máxima fornecido na ficha técnica do fabricante do geocompósito é de 19 kN/m para a direcção estudada. Confrontando o valor do catálogo com o obtido experimentalmente, verifica-se uma concordância muito próxima.

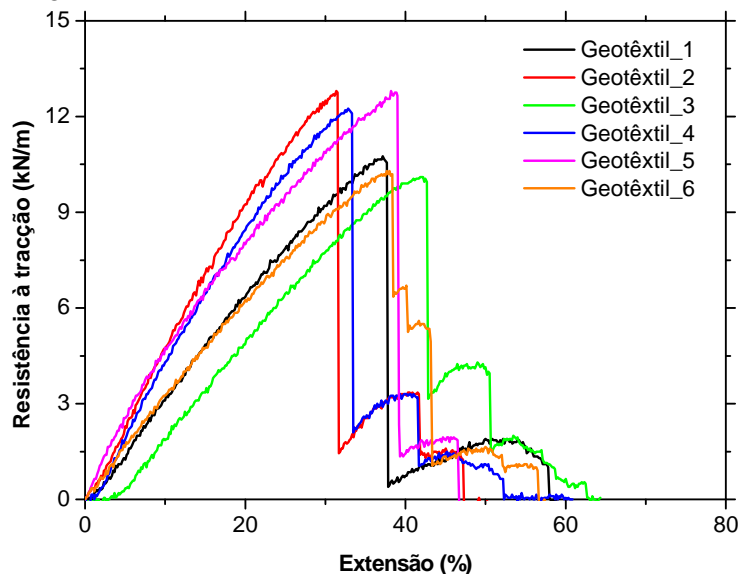
## 2.2. Geotêxtil

Tendo em vista a caracterização total do material, foram também realizados ensaios de tracção somente com o geotêxtil constituinte do geocompósito drenante. Estes ensaios foram realizados de acordo com a norma NP EN ISO 10319:2005 também utilizada para o geocompósito. O equipamento utilizado e a metodologia de preparação dos provetes foram os mesmos dos ensaios de tracção com o geocompósito, referidos na secção anterior, tendo sido, neste caso, ensaiados seis provetes. O Quadro 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de tracção.

Quadro 2 - Resultados dos Ensaios de Tracção com o Geotêxtil

Provetes	Resistência à tracção máxima (kN/m)	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação	Extensão (%)
Geotêxtil_1	10,8				37,2
Geotêxtil_2	10,3				37,7
Geotêxtil_3	12,8	11,5	1,26	11%	38,2
Geotêxtil_4	12,8				31,4
Geotêxtil_5	10,1				42,2
Geotêxtil_6	12,3				32,8

Os resultados indicam que a resistência à tracção máxima conseguida experimentalmente é de 12,8 kN/m, com um valor médio de 11,5 kN/m. As relações resistência à tracção *versus* extensão entre extremidades das amarras são apresentadas na Figura 3(a), ilustrando-se na Figura 3(b) um dos modos de rotura obtidos.



(a)



(b)

Figura 3 - Resultados dos Ensaios de Tracção com o Geotêxtil: (a) Curva Resistência à Tracção *versus* Extensão; (b) Modo de Rotura de um dos Provetes

Da análise conjunta destes resultados é possível concluir que o comportamento resistente à tracção do geocompósito deve-se essencialmente à resposta do geotêxtil. O facto de a resistência à tracção do geocompósito ser um pouco inferior ao dobro da resistência do geotêxtil poderá dever-se ao: (i) não simultâneo rompimento dos dois geotêxteis; (ii) considerável efeito de Poisson na georrede repercutir-se na “performance” dos geotêxteis.

### 3. ENSAIO DE ARRANQUE GEOCOMPÓSITO-BETÃO

#### 3.1. Descrição dos Ensaios

Para a caracterização da interface entre o geocompósito drenante e o betão foram realizados ensaios de arranque directo com diferentes níveis de tensão de confinamento. Devido a inexistência de uma norma específica para estudar a interacção entre estes materiais, todo o procedimento de ensaio adoptado teve como base os ensaios experimentais efectuados ao geocompósito, bem como a experiência acumulada por autores deste trabalho na caracterização de interfaces (Sena-Cruz *et al.*, 2004; Sena-Cruz *et al.*, 2006).

Para a realização deste ensaio foram preparados cubos de betão da classe C25/30 com 15 cm de lado. O geocompósito foi previamente colocado na face inferior da cofragem do cubo, procedendo-se à betonagem directamente sobre o geocompósito. Os provetes de geocompósito foram cortados com uma largura de 15 cm e comprimento de 40 cm, de modo a assegurar uma distância adequada entre o provete de betão e a garra de fixação do equipamento de ensaio. Os ensaios foram realizados sem confinamento e com diferentes níveis de tensão de confinamento. Para os provetes com tensão de confinamento, adoptaram-se os seguintes valores: 2,3 kPa, 25 kPa, 50 kPa e 100 kPa.

#### 3.2. Resultados - Ensaios de Arranque sem Confinamento

Os ensaios decorreram para uma idade do betão superior aos 28 dias. O equipamento utilizado e o reforço do geocompósito na zona da garra foram os mesmos utilizados para os ensaios de tracção simples em tiras largas (ver secção 2 deste trabalho), com ligeiras adaptações. Nas Figuras 4(a) e 4(b) representa-se a configuração do ensaio utilizada. Os ensaios foram realizados por controlo de deslocamento a uma velocidade de 5 mm/min, de forma suficientemente lenta para identificação de todos os modos de rotura.

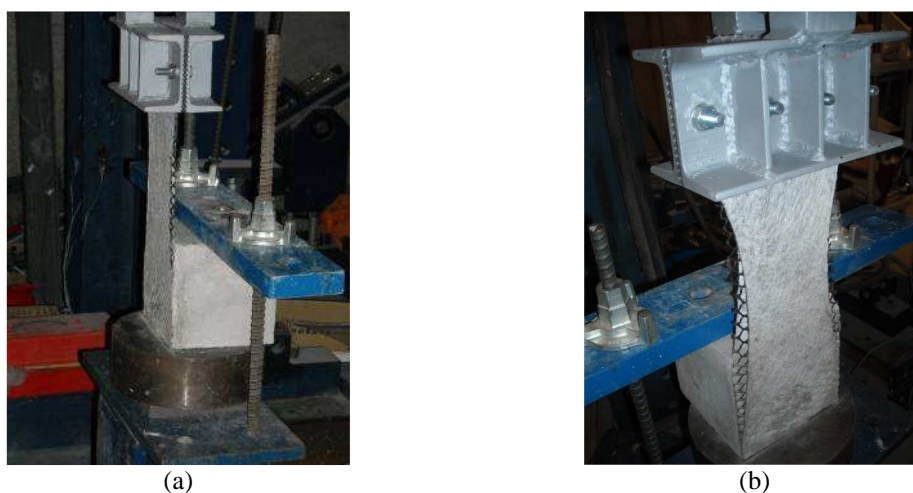


Figura 4 - Configuração do Ensaio de Arranque sem Confinamento: (a) Perspectiva Geral do Ensaio; (b) Configuração no Decurso de um dos Ensaios

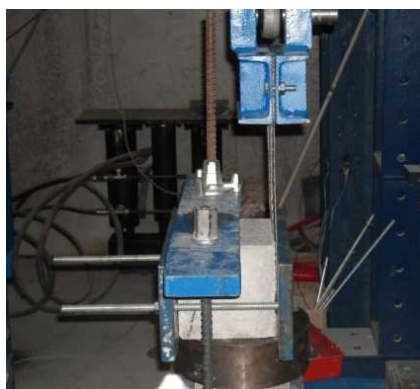
No Quadro 3 são apresentados os resultados obtidos dos ensaios de arranque sem confinamento e o modo de rotura observado. Da análise dos resultados verifica-se que a força máxima obtida é próxima, por defeito, da resistência à tracção do geotêxtil. Este valor não foi alcançado devido ao facto de, no caso da fixação ao betão, este não promover as condições ideais de fixação, quando comparadas com as usadas nos ensaios de tracção uniaxial. A partir destes ensaios também se conclui que o valor médio de adesão é de 63,4 kPa.

Quadro 3 - Resultados dos Ensaios de Arranque sem Confinamento

Provete	Força máxima (kN/m)	Modo de rotura
Geocompósito-betão 1	8,5	Rotura do geotêxtil junto ao betão. Destacamento do geocompósito.
Geocompósito-betão 2	10,5	Rotura do geotêxtil junto ao betão. Destacamento parcial do geocompósito

### 3.3. Resultados - Ensaios de Arranque com Confinamento

Para aplicação de tensões de confinamento nos ensaios de arranque foram utilizadas duas chapas com ligações aparafusadas de forma a confinar o provete entre elas. Com vista a uma maior precisão da tensão aplicada, foi utilizada uma chave dinamométrica. Apenas para o nível de confinamento de 2,3 kPa, devido ao seu baixo valor, recorreu-se a aplicação de um peso que introduzia no provete a tensão requerida (utilizando um sistema de alavancas). A Figura 5(a) apresenta a configuração utilizada para o ensaio com tensões de confinamento de 25 kPa, 50 kPa e 100 kPa e a Figura 5(b) o método de aplicação do confinamento em detalhe.



(a)



(b)

Figura 5 - Configuração do Ensaio de Arranque com Confinamento: (a) Perspectiva Geral do Ensaio; (b) Detalhe da Aplicação do Confinamento

O Quadro 4 apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios de arranque executados com diferentes níveis de confinamento, bem como os respectivos modos de rotura.

Quadro 4 - Resultados dos Ensaios de Arranque com Confinamento

Provete	Tensão de confinamento (kPa)	Força máxima (kN/m)	Modo de rotura
Geocompósito-betão 3	2,3	12,3	Rotura do geotêxtil junto ao betão e destacamento de uma parte do geocompósito
Geocompósito-betão 4	2,3	13,3	Rotura do geotêxtil junto ao betão e destacamento de uma parte do geocompósito
Geocompósito-betão 5	25	11,9	Rotura do geotêxtil junto ao betão, seguida de rotura da segunda camada de geotêxtil.
Geocompósito-betão 6	50	12,3	Rotura do geotêxtil junto ao betão, seguida de rotura da segunda camada de geotêxtil.
Geocompósito-betão 7	100	14,5	Rotura do geotêxtil junto ao betão, seguida de rotura da segunda camada de geotêxtil



Da análise deste quadro é possível concluir que a força máxima mobilizada até níveis de confinamento de 50 kPa é essencialmente igual, crescendo ligeiramente quando o nível de confinamento aumenta para 100 kPa. Os valores obtidos para um nível de confinamento de 2,3 kPa encontram-se acima do expectável, quando comparado com os valores obtidos para níveis de confinamento de 25 kPa e 50 kPa. Por outro lado, e tal como seria de esperar, é possível concluir que em qualquer dos casos, o geocompósito mobiliza ambos os geotêxteis. Por último, é de referir que os modos de rotura foram muito similares em todos os ensaios.

### 3.4. Análise Global dos Resultados

Da análise dos resultados foram construídas duas possíveis envolventes de rotura. Com a envolvente verifica-se o desenvolvimento das tensões na interface geocompósito-betão com o aumento das tensões de confinamento (ver Figura 6). A envolvente de rotura global (a) foi realizada com a totalidade dos resultados obtidos nos ensaios de arranque, constatando-se existirem dois valores díspares dos restantes, os quais dizem respeito às tensões obtidas nos ensaios de arranque com confinamento de 2,3 kPa. Uma vez que se trata de um confinamento muito baixo, aplicado com recurso a um método pouco preciso, a confiança nos valores obtidos é menor. Considerou-se, por isso, mais ajustado definir a envolvente de rotura final (b), onde não são contabilizados esses dois valores. As Figuras 6(a) e 6(b) apresentam duas possíveis envolventes de rotura. Da envolvente de rotura final, foram obtidos os seguintes parâmetros resistentes da interface geocompósito-betão: adesão de 65,7 kPa e ângulo de atrito de 17,9°.

Nos ensaios de arranque geocompósito-betão, a transferência de tensões entre os dois materiais é possível devido à movimentação relativa dos mesmos. A resistência a esta movimentação é devida a uma tensão de aderência. No caso dos ensaios realizados sem qualquer confinamento, a tensão inicial deve-se somente a aderência entre o betão e o geocompósito. Em analogia com o que pode ser observado em interfaces solo/geocompósito (Mendes, 2006), pode considerar-se que os espaços entre os filamentos da camada de geotêxtil em contacto com o betão são parcialmente preenchidos e impregnados, logo há uma tendência do geocompósito apresentar melhor comportamento quando sujeito à tracção. Se for tida em conta a existência de tensão de confinamento, é encontrada mais uma razão para a melhoria do global do geocompósito à tracção, conforme foi confirmado no programa experimental. Relativamente aos modos de rotura observados, no caso de confinamento nulo, constatou-se um total destacamento da

camada exterior de geotêxtil e da geogrelha. Por outro lado, na camada junto ao betão, ainda é mobilizada alguma resistência até à rotura. No caso dos ensaios com tensão de confinamento, o modo de rotura mobilizou uma maior resistência do geocompósito.

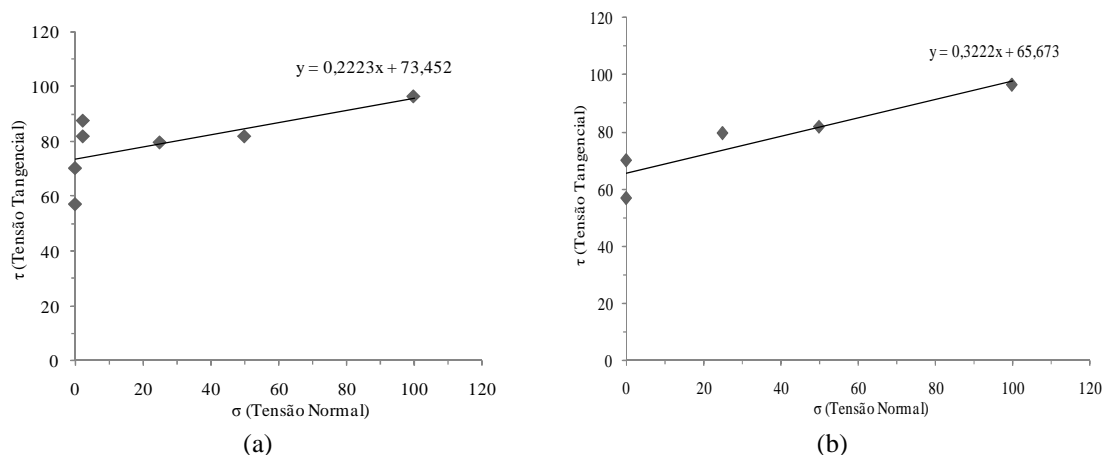


Figura 6 - Envoltentes de Rotura Obtidas a Partir dos Ensaios de Arranque: (a) Global, com Base em Todos os Ensaios; (b) Alternativa

#### 4. CONCLUSÕES

No presente trabalho foram descritos e analisados os ensaios efectuados com vista à caracterização mecânica da interface entre um geocompósito drenante e um betão. Para tal, efectuaram-se ensaios de arrancamento directo. Adicionalmente, o geocompósito foi caracterizado com recurso a ensaios de tracção uniaxial.

Os resultados obtidos com os ensaios de tracção não confinada ao geocompósito drenante e ao geotêxtil indicam que a resistência do geocompósito deve-se, principalmente, ao comportamento do geotêxtil. A resistência à tracção máxima obtida nos ensaios com o geocompósito foi de 19 kN/m e nos ensaios com o geotêxtil foi de 12,8 kN/m. Os ensaios de arranque entre um geocompósito e um betão revelaram um aumento da resistência máxima ao arranque com a aplicação de níveis de confinamento crescentes ao conjunto. A força máxima de arranque para os ensaios sem tensão de confinamento aplicada foi cerca de 10,5 kN/m, valor próximo da resistência máxima do geotêxtil. Por outro lado, com a aplicação de um nível de confinamento de 100 kPa, o valor da força máxima de arranque aumentou para os 14,5 kPa. Estas observações são corroboradas pela configuração obtida nos modos de rotura dos ensaios.

#### REFERÊNCIAS

- Lopes, M. L. (2000). Sebenta da disciplina de "Geossintéticos, Aplicações e Dimensionamento" do curso de Mestrado em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. FEUP; Porto.
- Mendes, M. J. (2006). *Comportamento Carga-Alongamento de Geotêxteis não tecidos submetidos à Tracção Confinada*. Brasília.
- NP EN ISO 10319 (2005). Geotêxteis - Ensaios de tracção em tiras largas.
- Sena-Cruz, J. S., e Barros, J. A. (2004). Bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete. *Journal of Composites for Construction*, ASCE, 8(6), pp. 519-527.
- Sena-Cruz, J., S., Barros, J. A., Gettu, R. e Azevedo, A. (2006). Bond behavior of near surface mounted CFRP laminate strips under monotonic and cyclic loading. *Journal of Composites for Construction*, ASCE, 10(4), pp. 295-303.