

Determinação da Resistência de Interface entre Geomembranas e Geotêxteis por Meio do Ensaio de Cisalhamento Direto

Amanda Almeida Sousa

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, E-mail: amandasousa11@hotmail.com

Beatriz de Souza Garioli

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, E-mail: beatrizsgarioli@gmail.com

Nadia Maria Drago Scotá

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, E-mail: nadiadrago@hotmail.com

Karla Maria Wingler Rebelo

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, E-mail: karla.rebelo@ufes.br

RESUMO: Barreiras impermeabilizantes com sistemas de captação e desvio de fluxo são usualmente utilizados em obras de contenção de resíduos, como os aterros sanitários e as lagoas de efluentes. Usualmente estes sistemas são constituídos por uma combinação de diferentes materiais como solos e geossintéticos. Neste sentido, a resistência ao cisalhamento de interface entre os materiais constituintes destas barreiras pode ser baixa e condicionar a ruptura do sistema. Neste artigo, investigou-se o comportamento de resistência de interface entre geomembranas e geotêxteis por meio do ensaio de cisalhamento direto. Verificou-se que a resistência ao cisalhamento de interface é principalmente influenciada pela rugosidade da geomembrana, o que não é perceptível em relação à composição polimérica dos geotêxteis e ao efeito da inundação.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência ao cisalhamento, Interface, Geomembranas, Geotêxteis.

1 INTRODUÇÃO

As barreiras impermeabilizantes são constituídas pela combinação de diferentes materiais como, por exemplo, solos argilosos compactados, solos granulares e materiais geossintéticos.

Essas barreiras, quando dispostas em taludes, podem propiciar uma situação de instabilidade, pelas baixas resistências de interface que eventualmente estão presentes. A ruptura do aterro de resíduos perigosos de Kettleman Hills (Seed et al., 1990; Mitchell et al., 1990) constitui um exemplo bastante documentado da influência de resistência ao cisalhamento de interface no colapso do sistema.

Para determinação da resistência de interface em barreiras impermeabilizantes e o

conhecimento dos fatores que podem influenciar no seu comportamento, recorre-se aos ensaios de resistência ao cisalhamento tais como ensaio de cisalhamento direto, de plano inclinado, de arrancamento e *ring shear*.

Existem vários fatores que podem interferir no comportamento de resistência em interfaces de acordo com os materiais e condições de ensaios empregados. O'Rourke et al. (1990) cita o grau de compactação de materiais granulares em interfaces geomembrana / areia e a textura da geomembrana utilizada. Orman (1994) verificou o mesmo comportamento em relação à textura.

Outro fator verificado por Pasqualini *et al.* (1993) e Masada *et al.* (1994) refere-se às condições ambientais particulares como, por exemplo, a condição de umidade dos polímeros

devido à percolação do chorume e à ação da chuva durante a construção da camada impermeabilizante. Rebelo (2003) verificou o efeito das condições de compactação dos solos e o efeito da textura e composição polimérica em interfaces geomembranas / solos.

O presente trabalho investiga o comportamento de interface entre geomembranas e geotêxteis por meio do ensaio de cisalhamento direto. Para tal, foram avaliados o efeito da textura, da massa por unidade de área e da composição polimérica do geotêxtil nos parâmetros de resistência de interface.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição dos Materiais

Os geotêxteis utilizados foram de polipropileno (PP) e de poliéster (PET), do tipo não tecido e agulhado, com diferentes valores de massa por unidades de área. Para os geotêxteis de PP foram utilizadas as gramaturas de 300 g/m² e 800 g/m²; enquanto que para os de PET foram utilizados de 300 g/m² e 400 g/m².

Foram analisadas uma geomembrana de PEAD lisa (polietileno de alta densidade) de 1,5 mm de espessura e uma geomembrana de PEAD texturizada de 2,0 mm de espessura.

2.2 Execução dos Ensaios de Cisalhamento Direto

O ensaio de cisalhamento de interface foi realizado seguindo a Norma Brasileira NBR ISO 12957-1, com área de interface constante. A configuração do ensaio é apresentada na Figura 1, sendo que o deslocamento máximo alcançado foi da ordem de 15 mm. A Figura 2 ilustra o equipamento utilizado.

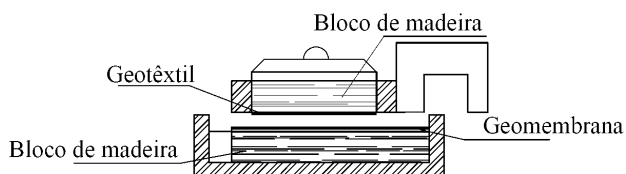


Figura 1. Configuração do ensaio de cisalhamento direto.



Figura 2. Ensaio de cisalhamento direto.

Os ensaios foram realizados com velocidade de 0,3 mm/min. Os carregamentos verticais aplicados foram 50 kPa, 100 kPa e 150 kPa. Para os ensaios inundados, concomitantemente à aplicação da tensão normal, realizou-se a inundação do corpo de prova com água destilada durante um período de aproximadamente 15 minutos.

3 RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Comportamento das curvas de tensão cisalhante versus deslocamento

As Figuras 3 e 4 apresentam as curvas típicas de resistência ao cisalhamento versus deslocamento para a geomembrana de PEAD lisa em contato com o geotêxtil de PP 300 g/m² e PET 300 g/m².

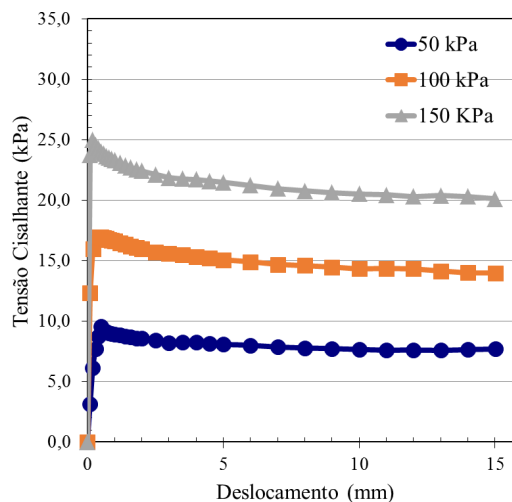


Figura 3. Curvas de tensão cisalhante versus deslocamento: PEAD lisa/geotêxtil de PP 300 g/m².

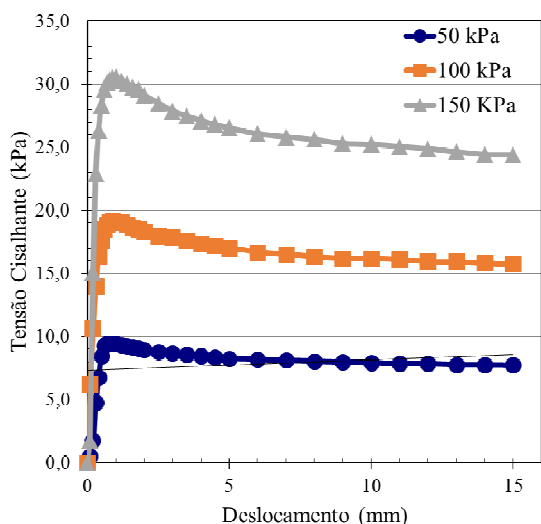


Figura 4. Curvas de tensão cisalhante versus deslocamento: PEAD lisa/geotêxtil de PET 300 g/m².

Verifica-se que a resistência ao cisalhamento de pico em interfaces com PEAD lisa / geotêxteis foi mobilizada com deslocamentos entre 0,2 mm e 1,6 mm para GT PP 300 g/m² e entre 0,4 mm e 1 mm para GT PET 300 g/m². Após atingir a resistência de pico, constata-se um decréscimo de resistência até atingir a condição residual, mobilizada com deslocamentos de aproximadamente 7 mm para GT PP 300 g/m² e 10 mm para GT PET 300 g/m².

As Figuras 5 e 6 apresentam a curva típica de resistência ao cisalhamento *versus* deslocamento para a interface geomembrana de PEAD texturizada / geotêxtil de PP 300 g/m² e PET 300g/m², respectivamente.

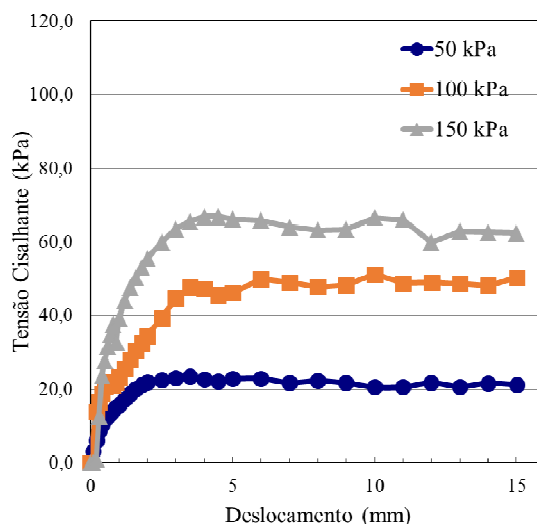


Figura 5. Curvas de tensão cisalhante versus deslocamento: PEAD texturizada/geotêxtil de PP 300 g/m².

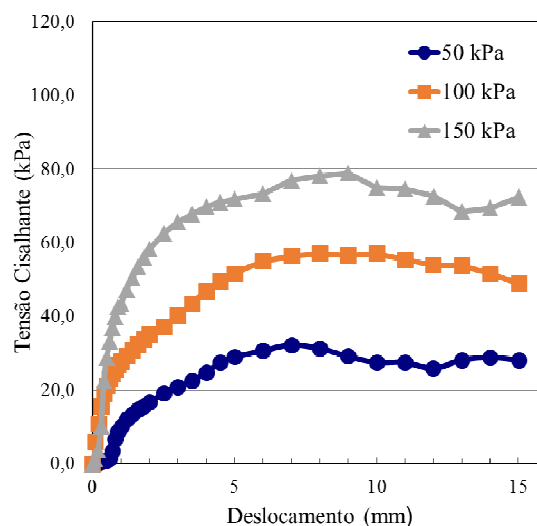


Figura 6. Curvas de tensão cisalhante versus deslocamento: PEAD texturizada/geotêxtil de PET 300 g/m².

Observa-se que, devido à sua característica rugosa, a resistência ao cisalhamento foi mobilizada para deslocamentos maiores do que os verificados para interfaces com PEAD lisa, atingindo a condição de pico em torno de 2,0 a 4,0 mm para GT PP 300 g/m² e em torno de 6,0 a 9,0 mm para GT PET 300 g/m². Atingido a resistência de pico, verifica-se um pequeno decréscimo de resistência para todos os níveis de tensão, ao contrário do observado nas geomembranas lisas. Devido à característica

rugosa e à limitação do deslocamento da caixa, a resistência residual foi adotada com 15 mm de deslocamento.

3.2 Envoltórias de Resistência

As Figuras 7 e 8 apresentam as envoltórias de resistência em geomembranas de PEAD lisa e PEAD texturizada, para os geotêxteis de PET 300 g/m² e PET 400 g/m², respectivamente.

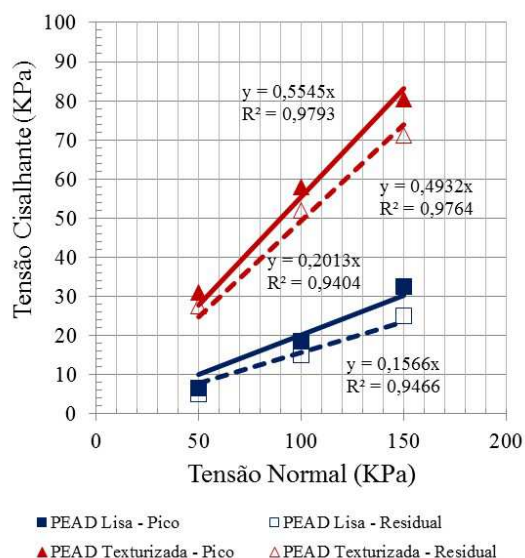


Figura 7. Envoltória de resistência: interface PEAD lisa e PEAD texturizada com geotêxtil PET 300 g/m².

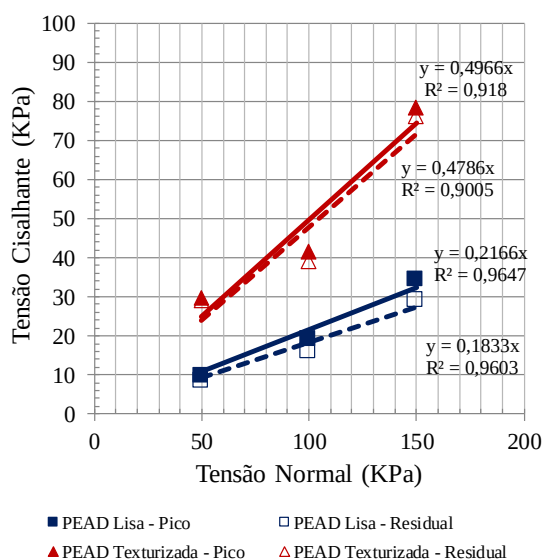


Figura 8. Envoltória de resistência: interface PEAD lisa e PEAD texturizada com geotêxtil PET 400 g/m².

Com base nos resultados apresentados nas Figuras 7 e 8, verifica-se que as envoltórias de

resistência nas interfaces com geomembrana e geotêxtil são aproximadamente lineares, com intercepto de coesão nulo. A partir destas envoltórias, foram obtidos ângulos de atrito de pico e residual de 11° e 9°, respectivamente, para as geomembranas de PEAD lisa com geotêxtil de PET 300 g/m²; já para a PEAD texturizada observou-se o ângulo de atrito de pico de 29° e residual de 26°.

Quanto à interface com geotêxtil de PET 400 g/m², foram obtidos os valores de ângulo de atrito igual a 12° e 10°, respectivos às condições de pico e residual para GM PEAD lisa; e valores de ângulo de atrito igual a 26° e 25°, respectivas às condições de pico e residual para GM PEAD texturizada.

As Figuras 9 e 10 apresentam as envoltórias de resistências em geomembranas de PEAD lisa e PEAD texturizada, para os geotêxteis de PP 300 g/m² e PP 800 g/m², respectivamente.

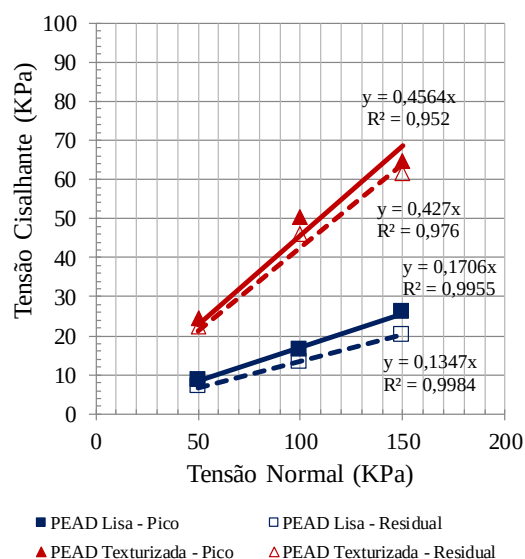


Figura 9. Envoltória de resistência: interface PEAD lisa e PEAD texturizada com geotêxtil PP 300 g/m².

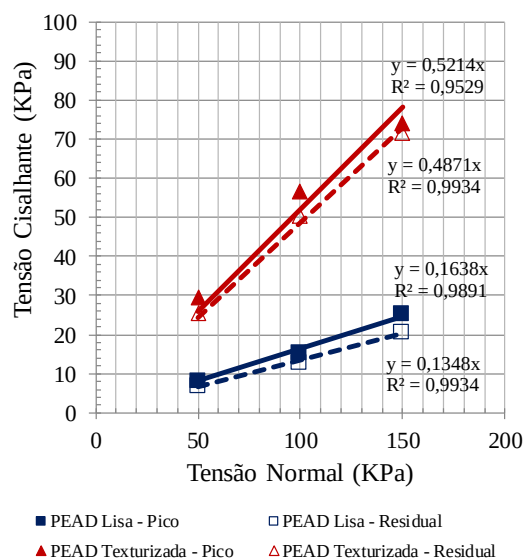


Figura 10. Envoltória de resistência: interface PEAD lisa e PEAD texturizada com geotêxtil PP 800 g/m².

A partir destas envoltórias, foram obtidos para a geomembrana de PEAD lisa ângulos de atrito de 10° e 8°, e para a geomembrana de PEAD texturizada ângulos de 25° e 23°, respectivamente aos ângulos de atrito de pico e residual na interface com o geotêxtil de PP 300 g/m². Quanto à interface com geotêxtil de PP 800 g/m², foram obtidos os valores de ângulo de atrito igual a 9° e 8°, respectivos às condições de pico e residual para GM PEAD lisa e de 28° e 26° para a GM PEAD texturizada.

Conforme esperado, os resultados dos ensaios mostram a influência da textura no ganho de resistência no comportamento de resistência de interface.

3.3 Resultados dos Ângulos de Atrito

A Tabela 1 apresenta o sumário dos parâmetros de resistência de interface obtidos, sendo δ_p o ângulo de atrito de pico e δ_r o ângulo de atrito residual, e D corresponde à relação entre o coeficiente de atrito residual e o de pico.

Conforme esperado, os resultados dos ensaios indicaram que a rugosidade da geomembrana contribui significativamente para o aumento de resistência de interface. O ângulo de atrito foi maior na geomembrana de PEAD texturizada para todas as configurações de ensaio. Nas interfaces com geomembranas lisas

de PEAD foram encontrados baixos valores de ângulos de atrito.

Tabela 1. Sumário dos ângulos de atrito de interfaces obtidos.

Interface	δ_p (°)	δ_r (°)	D
PEAD lisa / GT PET 300 g/m²	11	9	0,82
PEAD lisa / GT PET 300 g/m² (Condição Inundada)	11	11	1,00
PEAD lisa / GT PET 400 g/m²	12	10	0,83
PEAD lisa / GT PP 300 g/m²	10	8	0,80
PEAD lisa / GT PP 300 g/m² (Condição Inundada)	10	9	0,90
PEAD lisa / GT PP 800 g/m²	9	8	0,89
PEAD texturizada / GT PET 300 g/m²	29	26	0,90
PEAD texturizada / GT PET 400 g/m²	26	25	0,96
PEAD texturizada / GT PP 300 g/m²	25	23	0,92
PEAD texturizada / GT PP 800 g/m²	28	26	0,93

Verificou-se para a interface com PET 300g/m², um aumento de 164% e 189% respectivos aos ângulos de atrito de pico e residual nas geomembranas texturizadas em relação às geomembranas lisas. Para a interface com PET 400g/m², verificou-se um aumento de 117% e 150% respectivos aos ângulos de atrito de pico e residual nas geomembranas texturizadas em relação às geomembranas lisas.

Para as interfaces com geotêxtil de PP foi verificado o mesmo comportamento. Verificou-se um aumento de 150% e 188%, respectivos aos ângulos de atrito de pico e residual, nas interfaces com geotêxtil de 300 g/m² de massa por unidade de área. Para o geotêxtil de 800 g/m² de massa por unidade de área o aumento foi de 211% e 225%, respectivos aos ângulos de atrito de pico e residual.

Com relação à composição polimérica, verificou-se para a interface com geotêxtil de massa por unidade de área de 300 g/m², que os geotêxteis de PP e PET apresentam o mesmo comportamento. Por sua vez, Jones e Dixon (1998) ao analisar geotêxteis de PP e de PEAD, observaram que os geotêxteis de PEAD apresentaram uma redução de 1° a 2° nos ângulos de atrito. Entretanto, em seus trabalhos foram utilizados solos de cobertura acima do geotêxtil, enquanto neste trabalho foi utilizada uma base rígida de madeira.

Em relação à massa por unidade de área, os resultados dos ensaios indicaram que não existe uma influência significativa deste parâmetro nas interfaces analisadas.

Com relação à inundação, os resultados dos ensaios realizados nas interfaces com geomembrana de PEAD lisa com geotêxtil de PP 300g/m² e PET 300g/m² mostraram que não ocorre variação significativa nos ângulos de atrito de interface comparados aos ensaios não inundados.

4 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados indicaram que o comportamento de resistência ao cisalhamento em interfaces geomembranas/geotêxteis depende principalmente da rugosidade das geomembranas utilizadas.

Verificou-se que as tensões cisalhantes de pico e residual nas geomembranas texturizadas foram mobilizadas para deslocamentos maiores do que nas geomembranas lisas, além do que, a queda de resistência pós-pico foi menor. Constatou-se que a superfície texturizada contribuiu para um aumento significativo nos ângulos de atrito de pico e residual.

Observou-se ainda um efeito desprezível na resistência de interface devido à inundação.

Também foi observado que a composição polimérica do geotêxtil não influencia expressivamente nos valores de resistência de interface.

Por meio dos resultados aqui apresentados, foram obtidos alguns parâmetros de resistência de interface envolvendo geomembranas e geotêxteis de diferentes composições poliméricas e massa por unidade de área.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Jovens Talentos para a Ciência, por meio da CAPES, e ao Fundo de Apoio à Pesquisa (FAP) da UFES pelo suporte financeiro e incentivo à pesquisa. À equipe de técnicos e funcionários do Laboratório de Solos da UFES pelo suporte técnico e de infraestrutura e ao Laboratório de

Geossintéticos da USP de São Carlos, pelos ensaios de caracterização das amostras. E às empresas Ober, Geotex e Engepol pelo fornecimento dos materiais utilizados.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). Norma Brasileira NBR ISO 12957-1. Geossintéticos: determinação das características de atrito. Parte 1: Ensaio de cisalhamento direto
- Jones, D.R.V; Dixon, N. (1998). Shear strength properties of geomembrane/geotextile interfaces. *Geotextiles and Geomembranes* – 16 - pp.45-71.
- Masada, T. et al. (1994). Modified direct shear study of a clay-liner – geomembranes interfaces exposed to landfill leachate– *Geotextile and geomembranes* 13- pp. 165– 179
- Mitchell, J.K.; Seed, R.B.; Seed, B.H. (1990). Kettleman Hills waste landfill slope failure I: liner system properties, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 116, n. 4, p. 647-668.
- O'Rourke, T.D.; Druschel, S.J.; Netravali, A.N. (1990). Shear strength characteristics of sand-polymer interfaces. *Journal of Geotechnical Engineering*. vol. 116, no 4, pp. 451-469.
- Orman, M.E. (1994). Interface shear strength properties of roughened HDPE– *Journal of Geotechnical Engineering* – vol. 120, no 4-pp. 758 a 761.
- Pasqualini, E.; Sani, D.; Roccatto, M. (1993). Factors influencing geomembrane interface friction, *Proceedings of the Symposium Green 93*, Geotechnics related to the environment. Bolton, UK. Edited by R. M. Sarsby.
- Rebello, K.M.W. (2003). *Resistência de interface entre geomembranas e solos através do ensaio de ring shear*, Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 194 p.
- Seed, R.B.; Mitchell, J.K.; Seed, B.H. (1990). Kettleman Hills waste landfill slope failure II: stability analyses, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 116, n. 4, p. 668-689.