

## **11. Conclusões e Sugestões**

A importância do estudo de interfaces solo-geossintético é inquestionável. Os ensaios normalmente utilizados para isto são cisalhamento direto, arrancamento e rampa, sendo que a escolha do ensaio mais adequado é função do tipo de geossintético e de sua solicitação na massa de solo.

Sendo assim, este trabalho teve como finalidade construir um equipamento capaz de realizar ensaios de rampa, cisalhamento direto convencional e inclinado e arrancamento.

O objetivo principal consistiu em habilitar o equipamento desenvolvido para a execução de ensaios de rampa, cisalhamento direto convencional e inclinado. O equipamento e acessórios destes ensaios foram construídos e testados para quantificação do atrito entre caixas, limite do sistema de força cisalhante e limite de utilização do sistema de confinamento. Foram também realizados ensaios de acurácia para a avaliação da precisão do equipamento. Foram ensaiados interfaces, solo-solo, solo-geogrelha e solo-geomembrana, Os resultados dos ensaios foram interpretados e analisados em termos de resistência das interfaces solo-geossintético.

### **11.1. Conclusões**

Apesar do caráter ainda incipiente do protótipo de equipamento de ensaio de desenvolvido, a pesquisa apresentada neste trabalho permite algumas conclusões gerais.

Em relação ao equipamento:

- (i) O equipamento tem capacidade de realizar ensaios de rampa, cisalhamento direto convencional e inclinado utilizando a mesma estrutura e acessórios;
- (ii) O equipamento de ensaio é formado por componentes simples, de custos reduzidos e fácil manutenção e operação;

- (iii) A configuração correspondente às duas caixas de ensaio, superior e inferior, permite a execução de ensaios em interfaces solo-solo e solo-rocha (brita).
- (iv) O sistema de rolamento da caixa superior sobre a inferior mostrou-se eficiente, garantindo a restrição de deslocamento lateral e a condição de atrito desprezível. A caixa superior (não preenchida) desloca-se a partir de inclinações de rampa inferiores a  $0,5^\circ$ ;
- (v) As caixas de ensaio de dimensões diferentes garantem a manutenção de uma área de interface constante em qualquer momento do ensaio e evitam perda de material;
- (vi) O sistema de confinamento por placas de aço é eficiente quanto à uniformidade da área carregada. Porém, restringe a utilização do equipamento em função da tendência de tombamento quando o centro de gravidade se afasta do terço central do conjunto solo-placas;
- (vii) A instrumentação composta por 1 medidor de ângulo e 2 *tell-tales* mostrou-se adequada, além de oferecer as vantagens de custos reduzidos e simplicidade de operação.

Em relação aos ensaios das interfaces estudadas:

- (i) Os ensaios de acurácia forneceram valores de desvio padrão e coeficiente de variação reduzidos, indicando a confiabilidade dos resultados de ensaios;
- (ii) As análises da influência das dimensões das caixas de ensaio demonstraram que a relação comprimento/altura interfere significativamente nos resultados;
- (iii) As variações da forma e tamanho das caixas de ensaios pouco afetam os resultados desde que respeitados os limites de utilização do equipamento;
- (iv) As análises da influência da metodologia de teste indicaram que os ensaios de rampa com face inclinada não forneceram bons resultados quando comparados aos ensaios com as faces verticais;
- (iv) A análise da influência do desgaste excessivo e do dano da geomembrana mostrou que eles alteram significativamente os resultados, uma vez que alteram a rugosidade da superfície do geossintético;
- (v) A apresentação dos resultados dos ensaios por meio de curvas deslocamento vs tensão cisalhante permitiu a utilização de um critério de ruptura unificado.

Em relação aos ensaios de rampa das interfaces:

- (i) A análise da influência da tensão confinante nos resultados indicou que seu aumento tem conseqüências distintas. Nas interfaces solo-solo, solo-geogrelha e solo-geomembrana Cipageo, o ângulo de rampa aumenta com o acréscimo da tensão confinante. Entretanto, para a interface areia-geomembrana Polimanta, independente da densidade relativa, não há variação do ângulo de rampa na ruptura. O comportamento desta interface é condicionado pela estrutura da geomembrana lisa e polida;
- (ii) Em relação à influência da densidade relativa do solo, observou-se que o aumento de 15 para 90% corresponde a um aumento de 2,7° no ângulo de atrito de interface para a geogrelha. Para as duas interfaces com geomembranas, não se observou variação significativa no ângulo de atrito;
- (iii) A redução da densidade relativa do solo mostra que, para todas as interfaces ensaiadas, há uma perda de eficiência, sendo mais acentuada nas interfaces solo-geomembrana;
- (iv) O aumento da densidade relativa corresponde a uma redução dos deslocamentos na ruptura para as três interfaces. Entretanto, não se observa tendência quanto à variação do ângulo de rampa, pois a interface areia-geogrelha apresenta uma tendência de elevação do ângulo de rampa, a interface solo-geomembrana Cipageo uma redução e na interface solo-geomembrana Polimanta não se observa variação;
- (v) Quanto à influência do tipo de solo, o ângulo de atrito aumenta com o aumento da granulometria para todas as interfaces ensaiadas. Verifica-se, também, que com aumento da granulometria, houve redução da eficiência na interface solo-geogrelha e um acréscimo para a interface solo-geomembrana;
- (vi) Em relação ao tipo de geossintético, as interfaces com geomembrana apresentam menor resistência quando comparadas às interfaces solo-geogrelha, devido à estrutura do geossintético.

Em relação aos ensaios de cisalhamento direto convencional das interfaces:

- (i) As análises de influência da tensão normal nas tensões cisalhantes de ruptura indicaram que as diferentes interfaces apresentam comportamentos semelhantes;
- (ii) Quanto à influência do tipo de solo, observou-se que o aumento da granulometria das interfaces corresponde a um aumento do ângulo de atrito. Verificou-se, também, que há uma redução da eficiência na interface solo-geogrelha e um aumento para a interface solo-geomembrana;
- (iii) Em relação ao tipo de geossintético, observou-se que as interfaces com geomembrana apresentam menor resistência quando comparadas com as interfaces solo-geogrelha, devido à estrutura do material.

Em relação aos ensaios de cisalhamento direto inclinado das interfaces:

- (i) As análises da influência da tensão normal indicaram que seu aumento acarretou em comportamentos similares, no que concerne à tensão cisalhante de ruptura para as diferentes interfaces;
- (ii) Quanto à influência do tipo de solo, observou-se que o aumento da granulometria corresponde a um aumento do ângulo de atrito de interface. Verifica-se, também, que há uma redução da eficiência, na interface solo-geogrelha, e um aumento de eficiência, para a interface solo-geomembrana;
- (iii) Com relação ao tipo de geossintético, as interfaces com geomembrana apresentam menor resistência, quando comparadas com as interfaces solo-geogrelha, em função da estrutura do material.

Em relação à comparação entre ensaios de rampa, cisalhamento direto convencional e inclinado:

- (i) Os deslocamentos correspondentes à ruptura são reduzidos independentemente do tipo de ensaio e de interface;
- (ii) Nas interfaces areia-areia e areia-geogrelha, os ângulos de atrito tendem a diminuir com o aumento da tensão confinante, independentemente do tipo de ensaio;

(iii) Nas interfaces areia-geomembrana, não há variação significativa do ângulo de atrito secante com a tensão normal obtido de ensaios de cisalhamento. Ao contrário dos ensaios de rampa, nos quais ângulo de atrito secante diminui com aumento da tensão normal;

(iv) O ângulo de atrito de interface diminui com o aumento da inclinação da plataforma de ensaio para todas as interfaces ensaiadas;

(v) Os ensaios de cisalhamento direto convencional forneceram os maiores valores de parâmetros de interface. Os menores valores são obtidos por meio dos ensaios de rampa. Os ensaios de cisalhamento direto inclinado forneceram parâmetros intermediários.

## **11.2. Sugestões para Futuras Pesquisas**

O estudo desenvolvido neste trabalho representa apenas a etapa inicial de um amplo projeto de pesquisa sobre comportamento mecânico e resistência de interfaces solo-geossintético. Várias sugestões para pesquisas futuras podem ser salientadas, entre elas:

(i) Comparação dos comportamentos de resistência das interfaces deste trabalho obtidos de ensaios de rampa e cisalhamento direto com os obtidos de ensaios de arrancamento;

(ii) Estudo da resistência de interfaces com outros materiais e geossintéticos para comparação dos mecanismos;

(iii) Avaliação da mobilização de resistência no geossintético em ensaios de rampa instrumentados com células de carga e transdutores de deformação;

(iv) Estudo da fluência de geossintéticos em ensaios de rampa;

(v) Aprimoramento do equipamento através das melhorias do sistema de confinamento e da instrumentação;

(vi) Habilitação e calibração do equipamento para ensaios de arrancamento e cisalhamento direto para tensões mais elevadas;