

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Alessandra Tavares de Castro

**Ensaio de Rampa e de Cisalhamento
Direto em Interfaces Solo-Geossintético**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Civil



Alessandra Tavares de Castro

**Ensaaios de Rampa e de Cisalhamento
Direto em Interfaces Solo-Geossintético**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Co-orientadora: Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Rio de Janeiro

Abril de 2008



Alessandra Tavares de Castro

**Ensaaios de Rampa e de Cisalhamento
Direto em Interfaces Solo-Geossintético**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada:

Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Orientador

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Co-orientador

COPPE/UFRJ

Michéle Dal Toé Casagrande

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Marcio de Souza S. de Almeida

COPPE/UFRJ

Paulo César de Almeida Maia

UENF

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de Abril de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Alessandra Tavares de Castro

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, em 2005. Realizou estágio de pesquisa no Laboratório de Mecânica dos Solos - auxiliando em projetos de pesquisa de geotecnia, entre 2003-2005. Ingressou no curso de mestrado em Engenharia Civil (Geotecnia) em 2005. Publicou artigo técnico sobre o assunto em congresso nacional. É Engenheira Civil da Construtora Norberto Odebrecht S.A.

Ficha Catalográfica

Castro, Alessandra Tavares de

Ensaio de Rampa e de Cisalhamento Direto em Interfaces Solo-Geossintético / Alessandra Tavares de Castro; orientador: Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão; co-orientadora: Anna Laura Lopes da Silva Nunes. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2008.

119 f.; 30 cm

1. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia Civil – Dissertação. 2. Geossintéticos. 3. Equipamentos de Laboratório. 4. Interação Solo-geossintético. 5. Parâmetros de Interface. I. Sayão, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim. II. Nunes, Anna Laura Lopes da Silva. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Dedico esta dissertação aos meus amados pais,
Dulce e Idemar e minha irmã Adriana

Agradecimentos

A Deus, minha luz e proteção.

Aos meus amados pais, Dulce e Idemar, pela educação e confiança.

À minha irmã querida, Adriana, pelo amor e carinho.

Ao meu amor Felipe pela força incondicional.

A todos os meus professores pela doação e ensinamentos, em especial à professora Christianne de Lyra Nogueira pela amizade, carinho e motivação.

Ao Prof^o. Sayão e à Prof^a Anna Laura, meus orientadores, pela oportunidade e simpática amizade.

Aos saudosos amigos de Minas Gerais.

À Construtora Norberto Odebrecht S.A. pela prática da boa engenharia.

Aos amigos que o Rio de Janeiro me deu, em especial ao Vini, pela parceria, aprendizado, orientação e amizade eterna e à minha irmã curitibana Amanda.

À PUC-Rio, à secretária Rita de Cássia e ao Laboratório de Estruturas pela acolhida e apoio.

À Huesker, pelo apoio ao projeto de pesquisa.

Ao CNPq pelo indispensável apoio financeiro.

Resumo

Castro, Alessandra Tavares de; Sayão, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim.
Ensaio de Rampa e de Cisalhamento Direto em Interfaces Solo-Geossintético. Rio de Janeiro, 2008. 119p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A aplicação de geossintéticos em obras geotécnicas vem crescendo intensamente nos últimos tempos, tornando cada vez mais importantes e necessários os estudos da resistência de interface para aplicação em projetos e obras. Em particular, tais estudos devem tratar das técnicas de ensaios de campo e de laboratório para a obtenção dos parâmetros de resistência (adesão e ângulo de atrito). Os ensaios de laboratório são utilizados com maior frequência por serem mais acessíveis e de fácil execução. Os ensaios de campo reproduzem mais diretamente as condições das obras, mas apresentam como desvantagem o custo elevado e a dificuldade de execução. Este trabalho tem como finalidades apresentar o equipamento de ensaio utilizado e analisar os resultados de um programa em interfaces solo-geossintético. O programa experimental envolveu ensaios de rampa, cisalhamento direto convencional e cisalhamento direto inclinado em solo com granulação grosseira (brita), em contacto com as geomembranas e as geogrelhas. Os resultados foram analisados avaliando-se as influências da tensão confinante e da inserção dos geossintéticos, e comparando-se os diferentes tipos de materiais e de técnicas de ensaio. A influência da tensão confinante foi estudada com base em três tensões confinantes distintas, de baixa magnitude (1,0; 1,7 e 2,4kPa). O aumento da tensão confinante implicou em um aumento, tanto do deslocamento até a ruptura quanto da resistência da interface. Este comportamento deve-se à possibilidade de rearranjo e imbricamento entre os grãos da brita. Em relação ao tipo de geossintético, a interface brita-geogrelha apresentou maior resistência do que a interface brita-geomembrana. Isto pode ser explicado em função da estrutura do geossintético, pois a geomembrana perde possui uma superfície lisa, o que favorece o deslizamento, ao contrário da

geogrelha, que conta com o efeito do imbricamento do solo nas aberturas da malha.

Palavras-Chave

Geossintéticos; geogrelha; geomembrana; ensaios de laboratório; iteration mechanism; ensaios de rampa; ensaios de cisalhamento direto.

Abstract

Castro, Alessandra Tavares de; Sayão, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim. **Tilt Tests and Direct Shear on Soil-Geosynthetic Interfaces**. Rio de Janeiro, 2008. 119p. MSc. Dissertation – Department of Civil Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The use of geosynthetics in geotechnical construction is growing up intensively on the last years, which make the study on interface strength more important and necessary to its application on projects and construction.

Particularly, these studies should watch out field and laboratory tests in order to obtain strength parameters (adhesion and friction angle). Laboratory tests are more frequently used, due to their accessibility and easy execution. Field tests reproduce construction condition in a directly way, but have as disadvantages high cost and hard execution condition.

The current research have as objectives present the test equipment used and analyze software results obtained for soil and geosynthetic interfaces. The experimental program involved ramp tests, conventional direct shear test and inclined direct shear test. This program was carried out on gravel soil in contact with two different types of geosynthetics (geomembrane and geogrids).

Results were analyzed based on the influence of confining pressure and the introduction of geosynthetics, and comparing the different materials and test techniques. The confining pressure influence/importance was studied based on three different low magnitude confining pressures (1,0; 1,7 e 2,4kPa). The confining pressure increases resulted in an increase of both displacements until the failure and interface strength. This behavior could be explained due to the possibility of interlocking e between the gravel grains.

Considering the geosynthetic type, gravel-geogrid interface presented higher strength than gravel- geomembrane interface. This could be explained by the structure of the geosynthetic; geomembrane has low strength due to its smooth surface, which benefits the slide. Geogrid instead, counts with the soil interlocking; effects in the mesh holes.

Keywords

Geosynthetics, geogrid; geomembrane; laboratory test; mecanismos de interação; ramp test; direct shear test.

Sumário

1	Introdução	23
1.1.	Considerações Iniciais	23
1.2.	Motivação e Objetivos	24
1.3.	Escopo da Dissertação	24
2	Revisão Bibliográfica	25
2.1.1.	Considerações Iniciais	25
2.1.2.	Geossintéticos	26
2.1.3.	Geogrelhas	28
2.1.4.	Geomembranas	30
2.1.5.	Propriedades dos Geossintéticos	30
2.1.6.	Propriedades Físicas	31
2.1.7.	Propriedades Mecânicas	32
2.2.	Mobilização da Resistência da interface Solo-Geossintético	34
2.3.	Avaliação da Resistência da interface Solo-Geossintético	35
2.4.	Ensaio para avaliação da Resistência da Interface Solo - Geossintético	36
2.4.1.	Ensaio de Cisalhamento Direto	37
2.4.2.	Ensaio de Rampa	43
2.5.	Considerações Finais	61
3	Programa Experimental	62
3.1.	Considerações Iniciais	62
3.2.	Materiais Utilizados	62
3.2.1.	Solo	62
3.2.2.	Geossintéticos	65
3.3.	Preparação dos Corpos de Prova	66
3.4.	Equipamento	69

3.5. Metodologia de Ensaio	71
3.5.1. Ensaio de Rampa	71
3.5.2. Ensaio de Cisalhamento Direto Convencional	71
3.5.3. Ensaio de Cisalhamento Direto Inclinado	72
3.6. Programa de Ensaios	72
4 Análise dos Resultados	74
4.1. Considerações Iniciais	74
4.2. Metodologia de Análise de Resultados	74
4.3. Apresentação dos Resultados	77
4.4. Ensaio de Rampa – RP	78
4.4.1. Influência da Tensão Confinante	78
4.4.2. Influência do Geossintético	83
4.4.3. Eficiência	85
4.5. Ensaio Cisalhamento Direto Convencional – CC	86
4.5.1. Influência da Tensão Confinante	86
4.5.2. Influência do Tipo Geossintético	90
4.5.3. Eficiência das Interfaces	93
4.6. Ensaio Cisalhamento Direto Inclinado a 4,5° – (CI-4,5)	93
4.6.1. Influência da Tensão Confinante	93
4.7. Ensaio Cisalhamento Direto Inclinado a 9,0° – (CI-9,0)	95
4.7.1. Influência da Tensão Confinante	95
4.7.2. Influência do Geossintético	100
4.7.3. Eficiência das Interfaces	102
4.8. Ensaio Cisalhamento Direto Inclinado a 18,0° – (CI-18,0)	102
4.8.1. Influência da Tensão Confinante	102
4.8.2. Eficiência da Interface	106
4.9. Comparação dos Ensaios de Interface	106
4.9.1. Interface Solo-Solo	106
4.9.2. Interface Solo-Geogrelha	107
4.9.3. Interface Solo-Geomembrana	108
4.10. Considerações Finais	110
5 Conclusões	112

5.1. Sugestões para Pesquisas Futuras	113
6 Referências Bibliográficas	115

Lista de Figuras

Figura 1 - Geogrelha tecida de poliéster revestida com PVC (Maccaferri)	29
Figura 2 – Geomembrana de Pead lisa nas duas faces (Nortene)	30
Figura 3 - Resultados de ensaios de tração em faixa larga (a) e grab test (b)	33
Figura 4 - Modos de interação solo-geossintético (Aguiar, 2003)	34
Figura 5 - Efeito da montagem do Ensaio de Cisalhamento Direto (Adaptado de Saez, 1997)	38
Figura 6 - Efeito das Dimensões do Equipamento de Cisalhamento Direto (Adaptado de Saez, 1997)	40
Figura 7 - Influência da espessura de solo da caixa superior na interface areia-geotêxtil em ensaios de cisalhamento direto (Gourc et al., 1996)	41
Figura 8 - Sistema de Interação Solo Geossintético no Equipamento de cisalhamento direto (Sieira, 2000)	42
Figura 9 - Esquema de talude de disposição de resíduos com sistemas de multicamadas de geossintéticos (Adaptado Mello et al., 2003)	44
Figura 10 - Conjunto de forças do ensaio de rampa (Rezende, 2005)	45
Figura 11 - Variação da distribuição da tensão normal com a inclinação da rampa: (a) condição inicial e (b) durante o ensaio (Rezende, 2005)	46
Figura 12 - Influência da tensão confinante no valor do ângulo de atrito de interface (ϕ_{sg}) (Wasti e Özduzgun, 2001)	48
Figura 13 - Variação da tensão normal em função do comprimento normalizado: (a) Inclinação de 15° e (b) Inclinação de 25° (Mello et al. 2003)	49
Figura 14 - Equipamento da Universidade do Porto (Lopes, 2001)	51
Figura 15 - Deslocamentos medidos em duas interfaces na rampa (Modificado – Girard et al., 1994)	54

Figura 16 - Comparação das cargas com dois tipos de solo para as interfaces: (a) geotêxtil não-tecido; (b) geomembrana lisa e (c) geomembrana texturizada (Mello, 2001)	55
Figura 17 - Situação típica em um talude reforçado com geossintéticos	57
Figura 18 - Estrutura principal do equipamento desenvolvido por Aguiar (2003)	59
Figura 19 - Sistema de monitoramento dos deslocamentos (Rezende,2005)	60
Figura 20 - Sistema de fixação do geossintético (Rezende,2005)	60
Figura 21 - Equipamento de Rampa da PUC-Rio (Aguiar, 2003)	61
Figura 22 - Amostra representativa da brita ensaiada	63
Figura 23 - Curva Granulométrica da Brita	63
Figura 24 - Envoltória de resistência da interface BR-BR. Ensaio de Cisalhamento Direto Convencional	64
Figura 25 - Amostra representativa da Geogrelha (GG) ensaiada	65
Figura 26 - Amostra representativa da Geomembrana (GM) ensaiada	66
Figura 27 - Preparação do corpo de prova	67
Figura 28 - Conclusão da preparação do corpo de prova para o ensaio de rampa (tensão confinante intermediária)	68
Figura 29 - Acessórios utilizados apenas para os ensaios: cisalhamento direto e inclinado	69
Figura 30 - Configuração para ensaio de Rampa (Aguiar, 2008)	70
Figura 31 - Configuração para ensaios de Cisalhamento Direto e Inclinado (Aguiar, 2008)	70
Figura 32 - Ensaio de rampa após a ruptura	71
Figura 33 - Plataforma durante o ensaio de cisalhamento direto inclinado	72
Figura 34 - Esquema de forças do Ensaio de Rampa. (Aguiar, 2003)	75
Figura 35 - Esquema de forças do Ensaio de Cisalhamento Direto Inclinado. (Aguiar, 2008)	76
Figura 36 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para a interface BR-BR. Ensaio de RP	79
Figura 37 - Envoltória de resistência da interface BR-BR. Ensaio de RP	80
Figura 38 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para a interface BR-GG. Ensaio de RP	81

Figura 39 - Envoltória de resistência da interface BR-GG. Ensaio de Rampa	81
Figura 40 - Curvas tensão vs deslocamento para a interface BR-GM. Ensaio de RP	82
Figura 41 - Envoltória de resistência da interface BR-GM. Ensaio de RP	83
Figura 42 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para as interfaces BR-BR;BR-GG e BR-GM ($\sigma_n = 1,7$ kPa). Ensaio de RP	84
Figura 43 - Envoltórias de resistência das interfaces BR-BR; BR-GG e BR-GM. Ensaio RP	85
Figura 44 - Curvas tensão vs deslocamento para a interface BR-BR. Ensaio CC	87
Figura 45 - Envoltória de resistência da interface BR-BR. Ensaio CC	87
Figura 46 - Curvas tensão vs deslocamento para a interface BR-GG. Ensaio CC	88
Figura 47 - Envoltória de resistência da interface BR-GG. Ensaio CC.	89
Figura 48 - Curvas tensão vs deslocamento para a interface BR-GM. Ensaio CC	90
Figura 49 - Envoltória de resistência da interface BR-GM. Ensaio Cisalhamento Direto	90
Figura 50 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para as interfaces BR-BR;BR-GG e BR-GM ($\sigma_n = 1,7$ kPa). Ensaio CC	92
Figura 51 - Envoltórias de resistência das interfaces BR-BR; BR-GG e BR-GM. Ensaio CC	92
Figura 52 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para a interface BR-GM. Ensaio CI-4,5	94
Figura 53 - Envoltória de resistência da interface BR-GM. Ensaio CI-4,5	95
Figura 54 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para a interface BR-BR. Ensaio CI-9,0	96
Figura 55 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para a interface BR-GG. Ensaio CI-9,0	97
Figura 56 - Envoltória de resistência da interface BR-GG. Ensaio CI-9,0	98
Figura 57 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para a interface BR-GM. Ensaio CI-9,0	99

Figura 58 - Envoltória de resistência da interface BR-GM. Ensaio CI-9,0	99
Figura 59 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para as interfaces BR-BR;BR-GG e BR-GM. ($\sigma_n = 1,7$ kPa). Ensaio CI-9,0	101
Figura 60 - Envoltórias de resistência das interfaces BR-BR; BR-GG e BR-GM. Ensaio CI-9,0	101
Figura 61 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para as interfaces BR-BR. Ensaio CI-18,0	103
Figura 62 - Envoltória de resistência da interface BR-BR. Ensaio CI -18,0	104
Figura 63 - Curvas deslocamento (δ) vs tensão cisalhante (τ) para as interfaces BR-GG. Ensaio CI-18,0	105
Figura 64 - Envoltória de resistência da interface BR-GG. Ensaio CI-18,0	105
Figura 65 - Envoltórias de resistência da interface BR-BR. Ensaios de RP, CC, CI-9,0 e CI-18	107
Figura 66 - Envoltórias de resistência da interface BR-GG. Ensaios de RP, CC, CI (9,0°) e CI (18°)	108
Figura 67 - Envoltórias de resistência da interface BR-GM. Ensaios de RP, CC, CI-4,5 e CI-9,0	109

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais aplicações dos geossintéticos (Vertematti, 2004)	27
Tabela 2 - Tipos de geossintéticos e suas principais aplicações (Vertematti, 2004)	28
Tabela 3 - Influência da granulometria e da angularidade em interfaces solo-solo e solo-geossintético (Gomes, 1993)	43
Tabela 4 - Influência da tensão de confinamento no comportamento da interface solo-geossintético (Lopes, 2001)	48
Tabela 5 - Influência do tipo de geossintético nos resultados dos ensaios de rampa (Aguiar, 2003)	52
Tabela 6 - Comparação entre as interfaces solo-geogrelha e solo-geomembrana para a tensão confinante de 3,2 kPa	53
Tabela 7 - Influência da granulometria do solo nos resultados dos ensaios de rampa (Lopes, 2001)	56
Tabela 8 - Equipamentos de Rampa (Aguiar, 2008)	58
Tabela 9 - Características granulométricas da brita	64
Tabela 10 - Características físicas da brita	64
Tabela 11 - Característica da Geogrelha Fortrac 35/25-20/30 (Huesker, 2008)	65
Tabela 12 - Característica da Geomembrana Polimanta (Engepol, 2007)	66
Tabela 13 - Programa de ensaios	73
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de Rampa para as interfaces BR-BR79	
Tabela 15 - Resultados dos ensaios de Rampa para a interface BR-GG	80
Tabela 16 - Resultados dos ensaios de Rampa para as interfaces BR-GM82	
Tabela 17 - Resultados dos ensaios de Rampa para interfaces BR-BR; BR-GG e BR-GM	84
Tabela 18 – Parâmetros de resistência e eficiências de interação das interfaces. Ensaio de Rampa	85

Tabela 19 - Resultados dos ensaios de Cisalhamento Direto Convencional para a interface BR-BR	86
Tabela 20 - Resultados dos ensaios de Cisalhamento Direto para a interface BR-GG	88
Tabela 21 - Resultados dos ensaios de Cisalhamento Direto para a interface BR-GM	89
Tabela 22 - Resultados dos ensaios de Cisalhamento Convencional ara as interfaces BR-BR; BR-GG e BR-GM	91
Tabela 23 – Parâmetros de resistência e eficiências de interação das interfaces. Ensaio de Cisalhamento Direto Convencional	93
Tabela 24 - Resultados dos ensaios de Cisalhamento Direto (4,5°) para interface BR-GM	94
Tabela 25 - Resultados dos ensaios de Cisalhamento Direto Inclinado (9,0°) para a interface BR-BR	96
Tabela 26 - Resultados dos ensaios de Cisalhamento Direto para a interface BR-GG	97
Tabela 27 - Resultados dos ensaios CI-9,0 para a interface BR-GM	98
Tabela 28 - Resultados dos ensaios CI-9,0 para as interfaces BR-BR; BR-GG e BR-GM	100
Tabela 29 – Parâmetros de resistência e eficiências de interação das interfaces. Ensaio CI-9,0	102
Tabela 30 - Resultados dos ensaios de Cisalhamento Direto Inclinado (18,0°) para a interface BR-BR	103
Tabela 31 - Resultados dos ensaios CI-18,0 para a interface BR-GG	104
Tabela 32 - Parâmetros de resistência e eficiências de interação das interfaces. Ensaio de CI-18,0	106
Tabela 33 - Resultados dos ensaios RP; CC; CI-9,0 e CI-18,0 para a interface BR-BR	107
Tabela 34 - Resultados dos ensaios RP; CC; CI-9,0 e CI-18,0 para a interface BR-GG	108
Tabela 35 - Resultados comparativos entre uma mesma interface submetidos aos diferentes ensaios	109

Lista de Símbolos e Abreviações

a	Adesão solo-geossintético
A	Área de contato entre o solo e o geossintético
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BR	Brita
C	Carga aplicada à plataforma
c	Coesão
CC	Ensaio de Cisalhamento direto convencional
CI-4,5	Ensaio de Cisalhamento direto inclinado à 4,5°
CI-9,0	Ensaio de Cisalhamento direto inclinado à 9,0°
CI-18,0	Ensaio de Cisalhamento direto inclinado à 18,0°
Cc	Coefficiente de curvatura
Cu	Coefficiente de uniformidade
D ₅₀	Diâmetro médio da partícula de solo
D _{máx}	Diâmetro máximo da partícula de solo
D _r	Densidade relativa da partícula de solo
e	Índice de vazios do solo
e _{máx}	Índice de vazios máximo do solo
e _{mín}	Índice de vazios mínimo do solo
e _{Dr=15%}	Índice de vazios referente à Dr = 15% do solo
E _c	Eficiência da interface (parcela da adesão)
E _φ	Eficiência da interface (parcela do atrito)
F	Componente tangencial do peso da caixa superior
f	Coefficiente de aderência (análogo à E _φ)
GG	Geogrelha
GGB	Geogrelha soldada
GGE	Geogrelha extrudada
GGW	Geogrelha tecido
GM	Geomembrana

GMR	Geomembrana reforçada
GMT	Geomembrana texturizada
h	Altura da amostra de solo
IGS	International Geosynthetics Society
L	Comprimento da base da amostra de solo
M	Massa depositada na plataforma
N	Força confinante vertical
NBR	Norma Brasileira
P	Força vertical confinante
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PET	Poliéster
PP	Polipropileno
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
PVC	Policloreto de Vinila
Q	Peso da caixa superior
RP	Ensaio de rampa
T	Componente tangencial do peso da caixa superior
W	Peso da amostra
x	Braço de alavanca
α	Ângulo de rampa
α_{rup}	Ângulo de rampa na ruptura
δ	Deslocamento da caixa de ensaio
δ_{rup}	Deslocamento da caixa de ensaio na ruptura
μ_A	Gramatura
t_{GT}	Espessura nominal
n_{GT}	Porosidade
ϕ	Ângulo de atrito interno do solo
ϕ_{sec}	Ângulo de atrito secante
ϕ_{sg}	Ângulo de atrito da interface
λ	Coefficiente de aderência (análogo à E_c)
ρ_f	Massa específica da fibra

ρ_w	Massa específica da água
σ	Tensão normal na interface
$\sigma_{\text{máx}}$	Tensão normal máxima
$\sigma_{\text{mín}}$	Tensão normal mínimo
σ_n	Tensão normal inicial na interface
σ_{rup}	Tensão normal na ruptura
σ_t	Resistência à tração
γ	Peso específico do solo
$\gamma_{\text{máx}}$	Peso específico máximo
$\gamma_{\text{mín}}$	Peso específico mínimo
τ	Tensão cisalhante na interface
τ_{rup}	Tensão cisalhante na ruptura