

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

COMPORTAMENTO DE FILTROS GEOTÊXTEIS EM TALUDES  
SUJEITOS A IMPACTOS DE ONDAS

JANAINA TATTO

ORIENTADOR: ENNIO MARQUES PALMEIRA

TESE DOUTORADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: G.TD-097/14

BRASÍLIA / DF: AGOSTO / 2014

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**COMPORTAMENTO DE FILTROS GEOTÊXTEIS EM TALUDES  
SUJEITOS A IMPACTOS DE ONDAS**

**JANAINA TATTO**

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.**

**APROVADA POR:**

---

**ENNIO MARQUES PALMEIRA, Ph.D. (UnB)  
(ORIENTADOR)**

---

**JOSE CAMAPUM DE CARVALHO, Ph.D. (UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**LUIS FERNANDO MARTINS RIBEIRO, D.Sc. (UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**MAURICIO EHRLICH, D.Sc. (Coppe/UFRJ)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

---

**MAURÍCIO MARTINES SALES, D.Sc. (UFG)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 7 DE AGOSTO DE 2014.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

TATTO, JANAINA	
Comportamento de Filtros Geotêxteis em Taludes Sujeitos a Impactos de Ondas. [Distrito Federal] 2014	
xxiii, 125 p., 120 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Geotecnia, 2014)	
Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental	
1. Geotêxtil não tecido	2. Erosão
3. Ondas	4. Canal hidráulico
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

TATTO, J. (2014). Comportamento de Filtros Geotêxteis em Taludes Sujeitos a Impactos de Ondas. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-097/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123 p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Janaina Tatto

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Estudo do Comportamento de Filtros Geotêxteis em Taludes sob Impacto de Ondas.

GRAU / ANO: Doutor / 2014

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Janaina Tatto  
Rua Val Paraíso, 295, Bairro São José - Camobi  
CEP.: 97095-670 – Santa Maria/RS - Brasil

## **AGRADECIMENTOS**

---

À Deus, por dar-me forças para vencer os obstáculos encontrados.

Ao professor Ennio Marques Palmeira, por ser um exemplo de orientador e de ser humano, ensinando muito além da Geotecnia. Possui características marcantes como paciência, tolerância, bom senso e ética. Agradeço pela constante disposição em ajudar, orientando como verdadeiramente deve ser. Agradeço pela oportunidade de convivência durante os últimos quatro anos.

Aos professores do programa de Pós-Graduação pelas inúmeras dúvidas esclarecidas, assim como ao professor Olavo Francisco dos Santos Júnior, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pela disponibilidade e interesse pela minha pesquisa.

À minha mãe Rosa, meus tios David e Luiz e aos primos Maurício, Tiago, Silvana, Rose e Iran, pelas palavras de estímulo.

Aos meus amigos e colegas do curso: Lucía, Elizabeth, Leonardo, Camilla, Marlon, Raydel, Ivonne, Jaime, Ewerton, Tania, Oisy, Marcus Vinícius, Larissa, Paulo André, entre outros, pelos anos de convivência e ajuda mútua.

As minhas amigas de infância Tatiane e Taiane pelo carinho e palavras de estímulo a cada reencontro em Santa Maria.

Aos técnicos do laboratório Jonas, Tiago e Saymon, pelo auxílio nas atividades em laboratório.

Ao sr. Moacyr, serralheiro responsável pela fabricação do canal hidráulico. Ao sr. Arhur, chefe da oficina, pela prestatividade e boa vontade em contribuir na confecção de peças do equipamento.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia pela oportunidade de concluir o curso de Doutorado em Geotecnia, em uma instituição de grande renome e reconhecimento.

Agradeço ao Instituto Geotécnico de Reabilitação do Sistema Encosta-Planície (REAGEO), Capes e ao CNPQ pelo apoio financeiro.

*“Quando os ventos de mudança sopram, umas pessoas levantam barreiras, outras constroem moinhos de vento.”*

**Érico Veríssimo**

As ondas podem causar danos severos às margens dos rios e ao longo da linha de costa devido à erosão. Este fenômeno pode ser observado mundialmente, podendo ser agravado devido as mudanças climáticas. Os geossintéticos podem ser utilizados para evitar ou minimizar o processo erosivo nas encostas provocados pelo impacto das ondas. Esta tese investigou e discutiu os resultados obtidos nos ensaios de laboratório para avaliar o comportamento dos sistemas filtrantes que consistiam em geotêxteis não tecidos ou um filtro granular. Para isso, um canal hidráulico de 6 m de comprimento; 1,5 m de altura e 1 m de largura, foi utilizado. As ondas eram geradas por um sistema gerador de ondas localizado em uma das extremidades do canal. Geotêxteis não tecidos e um filtro granular foram usados como filtros, colocados subjacentes a uma camada de enrocamento instalado no talude construído na extremidade oposta. Os geotêxteis utilizados tinham gramaturas entre 200 g/m<sup>2</sup> e 600 g/m<sup>2</sup>. Foram empregados diferentes tipos de solos para a construção do talude de 1,2 m de altura. Os piezômetros foram instalados no interior do talude para avaliar a variação da poropressão durante os ensaios. Também foram medidas a turbidez da água do canal, a variação da massa específica do solo de interface com o filtro, a granulometria das partículas do solo passantes através do geotêxtil, bem como das partículas impregnadas no geotêxtil. Os resultados obtidos mostraram que a presença do filtro geotêxtil pode evitar o processo de erosão provocada pelo impacto das ondas. As poropressões obtidas foram satisfatórias no término dos ensaios, apresentando uma satisfatória capacidade de drenagem do filtro geotêxtil. As características da onda, o geotêxtil utilizado e a distribuição do tamanho das partículas do solo a ser protegido influenciaram a massa do material erodido, assim como a turbidez da água. Os resultados obtidos com os filtros geotêxteis foram satisfatórios em comparação com os obtidos com o filtro granular convencional. Mesmo sob condições severas de fluxo, o filtro geotêxtil foi capaz de reter as partículas do solo, sem colmatção.

## **ABSTRACT**

---

Waves can cause severe damages to slopes of river banks and along the coast line due to erosion. Examples of such erosion mechanisms can be found almost everywhere around the world and this problem has been aggravated in many countries by climate changes. Geosynthetics can be used to avoid or minimize erosion mechanisms in slopes caused by the shock of waves. This thesis investigated and discussed the results obtained in laboratory tests to evaluate the behaviour of filter systems consisting of nonwoven geotextiles and a granular filter. For the tests a channel 6 m long; 1,5 m high and 1 m wide was employed. A wave generator system at one of the channel ends produced the waves. Nonwoven geotextiles or a granular filter were used as filters under a rockfill layer installed on a slope of an embankment constructed at the other end of the channel. The geotextiles used had masses per unit area varying between 200 g/m<sup>2</sup> and 600 g/m<sup>2</sup>. Different types of soils were employed to build the embankment, which was 1.2 m high. Piezometers were installed in the soil to assess the variation of pore pressures during the tests. Additional analysis comprised the evaluation of channel water turbidity, variation of soil void ratio at different locations close to the filter and measurement of the diameters of the soil particles that piped through the geotextile, as well as of those that were entrapped in the geotextile. The results obtained showed that the presence of a geotextile filter can avoid the erosive process caused by the shock of waves. The pore pressure showed satisfactory values at the end of the tests, showing good drainage capability of the geotextile layer. The characteristics of the wave, the geotextile material used and the grain size distribution of the soil to be protected influenced the mass of material eroded and consequently the turbidity of the water. The results obtained with the geotextile filters compared well with those with the conventional granular filter. Even under adverse conditions the geotextile filter was capable of retaining the soil particles without clogging.

Capítulo	Página
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 MOTIVAÇÕES DA PESQUISA .....	1
1.2 OBJETIVO GERAL DA PESQUISA .....	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4 ESTRUTURA DA TESE .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	5
2.1 ONDAS .....	6
2.2 EROSÃO COSTEIRA.....	8
2.2.1 Conceito.....	8
2.2.2 Causas .....	10
2.2.3 Consequências .....	13
2.2.4 Possíveis soluções .....	14
2.2.4.1 Gerenciamento costeiro .....	14
2.2.4.2 Obras de engenharia .....	16
2.3 GEOSSINTÉTICOS .....	19
2.4 ESTUDOS EM LABORATÓRIO UTILIZANDO CANAIS E GEOSSINTÉTICOS .....	26
<b>3 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS</b> .....	29
3.1 EQUIPAMENTOS .....	29
3.1.1 Canal hidráulico com gerador de ondas .....	29
3.1.2 Instrumentação e sistema de aquisição de dados.....	33
3.1.3 Granulômetro a laser .....	40
3.1.4 Turbidímetro e microscópio digital .....	43
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS .....	43
3.2.1 Geossintéticos.....	43
3.2.2 Solos .....	44
3.2.2.1 Talude .....	44

<b>3.2.2.2 Filtro convencional</b> .....	47
<b>3.2.2.3 Riprap</b> .....	48
<b>3.3 PROGRAMA DE ENSAIOS</b> .....	48
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	50
4.1 CONSTRUÇÃO DO TALUDE .....	50
<b>4.1.2 Instalação dos filtros</b> .....	50
<b>4.1.2.1 Filtro geotêxtil</b> .....	50
<b>4.1.2.2 Filtro convencional</b> .....	54
<b>4.1.2.3 Colocação do riprap</b> .....	54
4.2 ENCHIMENTO DO CANAL E GERAÇÃO DE ONDAS .....	56
4.3 ESVAZIAMENTO DO CANAL E COLETA DO SOLO PASSANTE PELO FILTRO .....	57
4.4 REMOÇÃO DO REVESTIMENTO E OBSERVAÇÃO DO AVANÇO DO PROCESSO EROSIVO .....	57
4.5 OBTENÇÃO DO GRAU DE IMPREGNAÇÃO DO GEOTEXTIL .....	58
4.6 RETIRADA DE AMOSTRAS DE SOLO NA SUPERFÍCIE DO TALUDE .....	60
4.7 OBTENÇÃO DA TURBIDEZ DA ÁGUA NO CANAL .....	62
4.8 MONITORAMENTO DO DESLOCAMENTO DO TALUDE DE AREIA .....	64
<b>5 RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	66
5.1 POROPRESSÕES NO TALUDE .....	66
5.2 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DO FILTRO SOB AÇÃO DAS ONDAS .....	72
5.3 QUANTIDADE DE SOLO ERODIDO NOS DIFERENTES SISTEMAS .....	82
5.4 MOVIMENTAÇÃO DO RCD-R .....	85
5.5 DESLOCAMENTO DOS MARCOS INTERNOS E O PROCESSO EROSIVO ...	88
5.6 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE RETENÇÃO DO FILTRO GEOTÊXTIL ...	90
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	94
SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	95
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	97

<b>ANEXO</b> .....	103
A – Ações futuras sobre gerenciamento costeiro .....	104
<b>APÊNDICES</b> .....	105
B – Detalhes da montagem do canal hidráulico .....	106
C – Detalhes sobre a montagem do piezômetro .....	107
D – Calibração dos piezômetros elétricos .....	108
E – Poropressão <i>versus</i> tempo .....	111
F – Distribuição granulométrica do solo erodido com e sem ultrassom .....	114
G – Distribuição granulométrica do solo impregnado no geotêxtil com ultrassom .....	116
H – Grau de impregnação das amostras de geotêxteis .....	120
I – Distribuição granulométrica do solo da face do talude depois do ensaio .....	122
J – Massa específica seca.....	125

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
Tabela 2.1 – Comparativo entre as características das ondas geradas em diversos ambientes .....	8
Tabela 2.2 – Causas naturais e antrópicas da erosão costeira no Brasil. Fonte: Modificado de Souza (2009a).....	11
Tabela 2.3 – Indicadores de erosão costeira monitorados nas praias do Estado de São Paulo. Fonte: Souza em 1997 e 2001 e Souza & Suguio em 2003 citados por Souza (2009a) .....	12
Tabela 2.4 – Síntese de algumas situações das praias brasileiras em relação às causas (Tabela 2.2) e aos indicadores (Tabela 2.3) de erosão costeira. Fonte: Modificado de Souza <i>et al.</i> (2005) .....	12
Tabela 2.5 – Instrumentos de apoio do Projeto Orla do Ministério do Meio Ambiente .	15
Tabela 2.6 – Obra, funções, características e materiais utilizados nas principais obras de proteção da costa. Alfredidi & Arasaki (2009), com modificações .....	17
Tabela 2.7 – Principais critérios de retenção para fluxo cíclico .....	25
Tabela 2.8 – Estudo em laboratório que utilizaram canais com gerador de ondas .....	28
Tabela 3.1 - Características da onda gerada .....	35
Tabela 3.2 – Resumo do equipamento .....	35
Tabela 3.3- Especificações gerais dos transdutores de pressão fornecidas pelo fabricante .....	37
Tabela 3.4 – Características dos geotêxteis utilizados segundo Palmeira <i>et al.</i> (2010).	44
Tabela 3.5 – Principais características dos materiais utilizados para a confecção do talude e do filtro convencional .....	46
Tabela 3.6 – Dados referentes aos critérios de filtro de Terzaghi citado por Lambe & Whitman (1969) .....	47
Tabela 3.7 – Características dos ensaios realizados .....	48
Tabela 3.8 – Momento da obtenção dos resultados .....	49
Tabela 3.9 – Tempo aproximado da realização do ensaio .....	49

Tabela 4.1 – Principais características dos ensaios .....	52
Tabela 4.2 – Áreas de coleta das amostras da face do talude para a obtenção da granulometria (ver também a Figura 4.11) .....	61
Tabela 5.1 – Resultados obtidos nos ensaios realizados .....	66
Tabela 5.2 – Principais características granulométricas dos solos erodidos .....	74
Tabela 5.3 – Massa de solo seco empregado na formação do talude e massa erodida ...	84
Tabela 5.4 – Critérios de retenção para os geotêxteis utilizados .....	91
Tabela F.1 – Distribuição granulométrica do solo erodido com e sem ultrassom .....	114
Tabela G.1 – Silte + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup> , na área de influência da onda .....	116
Tabela G.2 – Silte + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup> , na área de influência da onda .....	116
Tabela G.3 – 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup> , na área de influência da onda .....	117
Tabela G.4 – 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup> , na área de influência da onda .....	117
Tabela G.5 – 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup> , na área inferior de influência da onda .....	118
Tabela G.6 – 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 400 g/m <sup>2</sup> , na área de influência da onda .....	119
Tabela I.1 – Granulometria da face com silte + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup> .....	122
Tabela I.2 – Granulometria da face com silte + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup> .....	122
Tabela I.3 – Granulometria da face com 40% silte + 60% areia e geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	123
Tabela I.4 – Granulometria da face com 40% silte + 60% areia e geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>	123
Tabela I.5 – Granulometria da face com 40% silte + 60% areia e geotêxtil de 400 g/m <sup>2</sup>	124
Tabela I.6 – Granulometria da face com 40% silte + 60% areia e filtro convencional ...	124

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 2.1 – Características gerais de uma onda regular .....	6
Figura 2.2 – Classificação do tipo de onda para diferentes frequências (Alfredini, 2000) .....	7
Figura 2.3 – Trajetórias das partículas de água em função da profundidade. Fonte: U.S. Army Corps of Engineers (2002a) com modificações .....	7
Figura 2.4 – Sistema praial. Fonte: modificado de Alfredini & Arasaki (2009) e Souza <i>et al.</i> (2005) .....	9
Figura 2.5 – Balanço sedimentar na zona litorânea. Fonte: Alfredini & Arasaki (2009) .....	9
Figura 2.6 – Esquema do ataque de ondas de tempestades na praia ou duna. Fonte: U.S. Army Corps of Engineers (2002c) com modificações .....	13
Figura 2.7 – Obras longitudinais aderentes à costa: a) muro de concreto em degraus, b) enrocamento com filtro geotêxtil, c) pneus, d) muro, e) sacos de areia, f) enrocamento, g) parede de troncos e sacos de areia .....	19
Figura 2.8 – Revestimentos de taludes empregando filtro granulares e filtro geotêxtil (modificado - Lawson, 1992) .....	21
Figura 2.9 – Uso de geotêxtil como elemento integrante do sistema de proteção. a) abaixo do enrocamento, b) abaixo de blocos de concreto, c) abaixo de camada de asfalto. Fonte: U.S. Army (2002d) .....	22
Figura 2.10 – Fluxo através do geotêxtil: a) seção transversal, b) detalhe da zona 1: fluxo unidirecional, c) detalhe da zona 2: fluxo cíclico(modificado - Faure <i>et al.</i> , 2010) .....	23
Figura 3.1 – Esquema do canal hidráulico, sem escala .....	29
Figura 3.2 – Equipamento sem a rampa metálica .....	30
Figura 3.3 – Equipamento, sem a rampa metálica, com o ensaio sendo executado ..	30
Figura 3.4 – Base do canal hidráulico .....	31
Figura 3.5 – Esquema da rampa metálica .....	32

Figura 3.6 – Sistema gerador de ondas formado por um motoredutor, disco metálico, duas hastes metálicas e uma placa móvel .....	34
Figura 3.7 – Encaixe inferior da placa geradora de ondas .....	35
Figura 3.8 – Sistema para medição de poropressões .....	37
Figura 3.9 – Equipamento controlador de pressão utilizado para calibração dos piezômetros .....	38
Figura 3.10 – Fixação dos piezômetros: a) fiação dos piezômetros, b) detalhe da fixação dos piezômetros no lado externo do canal, c) conexões utilizadas .....	39
Figura 3.11 – Detalhe da posição dos piezômetros. Desenho em escala .....	40
Figura 3.12 – Posição dos piezômetros de acordo com os ensaios realizados. Desenho em escala .....	41
Figura 3.13 – Granulômetro a laser .....	42
Figura 3.14 – Sistema de difração do granulômetro a laser .....	42
Figura 3.15 – Outros equipamentos: a) turbidímetro, b) microscópio digital .....	43
Figura 3.16 – Geotêxteis não tecidos utilizados com ampliação de 40x: a) gramatura de 200 g/m <sup>2</sup> , b) gramatura de 400 g/m <sup>2</sup> , c) gramatura de 600 g/m <sup>2</sup> .....	44
Figura 3.17 – Solos utilizados com ampliação de 40x: a) areia, b) silte arenoso, c) 40% silte + 60 % areia .....	45
Figura 3.18 – Curvas granulométricas da areia, silte, mistura de 40% silte + 60% areia e areia da pedra porosa .....	45
Figura 3.19 – Curvas granulométricas da mistura de 40% silte + 60% areia e de seu filtro convencional .....	47
Figura 3.20 – Resíduo da Construção e demolição Reciclado (RCD-R) .....	48
Figura 4.1 – Construção do talude por pluviação. a) reservatório superior, b) nivelamento do talude. c) detalhe do conduíte e niple de PVC, d) posicionamento do piezômetro .....	51
Figura 4.2 – Construção do talude sobre a rampa metálica, utilizando uma pá metálica .....	51
Figura 4.3 – Colocação do revestimento sobre o talude de areia: a) vista geral, b) área com vaselina sólida .....	53

Figura 4.4 – Fixação do geotêxtil por meio da canaleta .....	53
Figura 4.5 – Filtro convencional: a) filtro teste e b) filtro sobre o talude .....	54
Figura 4.6 – Formação do filtro convencional sobre o talude: a) talude e areia grossa, b) areia grossa e pedregulho fino, c) pedregulho fino e pedregulho grosso, d) pedregulho grosso e RCD-R .....	55
Figura 4.7 – Colocação da 1ª camada de RCD-R no ensaio que utilizou 40% silte + 60% areia +RCD-R sem filtro .....	56
Figura 4.8 – Localização dos agregados RCD-R numerados .....	56
Figura 4.9 – Esquema das amostras de geotêxtil em cada ensaio em escala .....	58
Figura 4.10 – Esquema das áreas de impregnação no geotêxtil não tecido .....	59
Figura 4.11 – Retirada do solo impregnado do geotêxtil .....	60
Figura 4.12 – Localização dos pontos de coleta das amostras de solo para a obtenção da massa específica seca e da granulometria .....	61
Figura 4.13 – Retirada da amostra de solo para a obtenção da massa específica seca no ensaio que empregou silte + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup> .....	62
Figura 4.14 – Localização dos pontos de coleta de água para turbidez: a) ensaios em filtro convencional, b) ensaio com filtro convencional .....	62
Figura 4.15 – Equipamento utilizado para a coleta de água .....	63
Figura 4.16 – Obtenção da turbidez .....	64
Figura 4.17– Marcos internos e externos: a) vista interna da lateral do canal, b) detalhe dos marcos internos e externos .....	64
Figura 4.18 – Deslocamento dos marcos internos .....	65
Figura 5.1 – Poropressão <i>versus</i> tempo para o talude formado por 40% silte + 60% areia: a) geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup> , b) geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup> , c) sem filtro, d) filtro convencional .....	67
Figura 5.2 – Poropressão máxima no talude: a) areia, b) silte, c) 40% silte + 60% areia .....	69
Figure 5.3 – Poropressão máxima ao longo da superfície do talude: a) areia, b) silte, c) 40% silte + 60% areia .....	70

Figure 5.4 – Poropressão máxima normalizada para diferentes sistemas .....	70
Figura 5.5 – Localização dos piezômetros .....	71
Figura 5.6 – Gradiente hidráulico para diferentes sistemas .....	72
Figura 5.7 – Diâmetros de partículas passantes pelo geotêxtil normalizados pela abertura de filtração: a) normalização do diâmetro máximo da partícula do solo erodido pela abertura de filtração do geotêxtil, b) furos deixados pela agulha no processo de fabricação do filtro geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup> após o ensaio com silte .....	73
Figura 5.8 – Diâmetros máximos das partículas impregnadas no geotêxtil normalizados pelo FOS: a) diâmetro das partículas impregnadas no geotêxtil normalizadas pela abertura de filtração do geotêxtil, b) diâmetro das partículas impregnadas no geotêxtil normalizados pelo diâmetro máximo das partículas do solo do talude .....	75
Figura 5.9 – Grau de impregnação em cada amostra de geotêxtil e valores médios em ensaios com solo com 40% silte + 60% areia: a) geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup> , b) geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup> .....	76
Figura 5.10 – Grau de impregnação médio das amostras de geotêxteis .....	77
Figura 5.11 – Área de deposição do solo erodido sobre o geotêxtil no ensaio com silte e geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup> .....	77
Figura 5.12 – Vista superior, inferior e lateral das amostras de geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup> no ensaio com 40% silte e 60% areia: a) vista inferior área II, b) vista superior área I, c) vista superior área II, d) vista lateral área I, e) vista lateral área II .....	78
Figure 5.13 – Razão entre o diâmetro máximo das partículas do solo do talude depois e antes do ensaio .....	79
Figura 5.14 – Turbidez <i>versus</i> tempo para o solo com 40% silte e 60% areia .....	81
Figura 5.15 – Turbidez máxima <i>versus</i> tipo de filtro para ensaios com o solo com 40% silte + 60% areia .....	81
Figura 5.16 – Amostras da água em ensaios com solo com 40% silte + 60% areia: a) sem filtro, b) com filtro granular .....	82
Figura 5.17 – Massa específica do solo inicial e final .....	83
Figure 5.18 – Massa total de solo erodido: a) massa total erodida, b) massa total erodida para turbidez $\cong$ 1 NTU .....	83
Figura 5.19 – Imagens dos taludes ao término dos ensaios .....	86
Figura 5.20 – Vista do talude ao término do ensaio: a) areia + RCD-R sem filtro,	

b) 40% silte + 60% areia sem filtro, c) areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup> .....	87
Figura 5.21 – Retirada da areia grossa do filtro convencional .....	87
Figura 5.22 – Onda gerada no ensaio com areia sem filtro: a) onda gerada após 10 s, b) posição inicial e final do RCD-R, c) vista do talude totalmente submerso .....	87
Figura 5.23 – Areia erodida depositada sobre o RCD-R no ensaio com areia sem filtro .....	88
Figura 5.24 – Marcos de RCD-R na face do talude no ensaio que empregou areia, RCD-R e geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup> : a) vista frontal, b) vista frontal mostrando a posição inicial e final, c) vista superior mostrando a posição inicial e final .....	88
Figura 5.25 – Movimento dos marcos internos, destacando a região erodida e a região de deposição no ensaio que empregou RCD-R sem filtro geotêxtil .....	89
Figura 5.26 – Movimento dos marcos internos, destacando a região de compactação do talude ao término do ensaio que empregou RCD-R e geotêxtil não tecido como revestimento .....	89
Figura 5.27 – Processo erosivo instalado nos primeiros 45 min no ensaio com areia e RCD-R sem filtro: a) vista lateral, b) movimento das partículas devido ao avanço e recuo da onda .....	90
Figura 5.28 – Avanço do processo erosivo no ensaio com areia, RCD-R sem filtro	91
Figura 5.29 – Diâmetros máximos das partículas passantes normalizadas pelo diâmetro máximo das partículas do solo do talude .....	93
Figura A.1 – Ações futuras à respeito do gerenciamento costeiro brasileiro .....	104
Figura B.1 – Extremidades do canal hidráulico .....	106
Figura B.2 – Detalhes da lateral do canal. Sistema de vedação. Sem escala .....	106
Figura C.1 - Detalhes do piezômetro e sua instalação: a) transdutor de pressão, b) esquema elétrico da ligação do cabo elétrico com o piezômetro. Fonte: modificado do manual de instruções fornecidas pela fabricante, c) esquema elétrico da ligação do cabo com o aquisitor de dados .....	107
Figura D.1 – Informações referentes à calibração dos piezômetros: a) pressão medida e pressão imposta no piezômetro P1 nos cinco carregamentos e descarregamentos, b) média e desvio padrão das pressões obtidas no piezômetro P1, c) desvio padrão nos piezômetros P1, P2, P3, P4, P5 e P6 .....	108
Figura D.2 – Histerese do transdutor de pressão 01 .....	108

Figura D.3 – Histerese do transdutor de pressão 02 .....	109
Figura D.4 – Histerese do transdutor de pressão 03 .....	109
Figura D.5 – Histerese do transdutor de pressão 04 .....	109
Figura D.6 – Histerese do transdutor de pressão 04 .....	110
Figura D.7 – Histerese do transdutor de pressão 05 .....	110
Figura D.8 – Histerese do transdutor de pressão 06 .....	110
Figura E.1 – Poropressão <i>versus</i> tempo para areia + RCD-R sem filtro .....	111
Figura E.2 – Poropressão <i>versus</i> tempo para areia, RCD-R e geotêxtil de 200g/m <sup>2</sup> .	111
Figura E.3 – Poropressão <i>versus</i> tempo para silte, RCD-R e geotêxtil de 200g/m <sup>2</sup> ..	112
Figura E.4 – Poropressão <i>versus</i> tempo para silte, RCD-R e geotêxtil de 600g/m <sup>2</sup> ..	112
Figura E.5 – Poropressão <i>versus</i> tempo para 40% silte + 60% areia, RCD-R e geotêxtil de 400g/m <sup>2</sup> .....	113
Figura F.1 – Curvas granulométricas dos solos erodidos com ultrassom: a) areia, b) silte, c) 40% silte + 60% areia .....	115
Figura H.1 – Grau de impregnação das amostras de geotêxteis .....	121
Figura J.1 – Esquema da face frontal do talude de solo mostrando apresentando a massa específica seca encontrada em cada ponto .....	125

## **LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES**

- #: Peneira
- %: Porcentagem
- $\lambda$ : Grau de impregnação do geotêxtil
- <: Menor
- >: Maior
- $\leq$ : Menor ou igual
- $\geq$ : Maior ou igual
- A: Amplitude da onda
- A: Altura do talude
- A: Argila
- AA: Corte
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABTP: Associação Brasileira dos Terminais Portuários
- AF: Areia fina
- AG: Areia grossa
- AL: Estado de Alagoas
- AM: Areia média
- Art: Artigo
- ASTM: American Society of Testing and Materials
- CFGG: Comitê Francês de Geotêxtil
- CGS: Sociedade Canadense de Geotecnia
- CIRM: Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
- cm: Centímetro
- $\text{cm}^3$ : Centímetro cúbico
- CPGG: Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia
- Cu: Coeficiente de Uniformidade
- CV: Cavalo vapor
- d: Profundidade da lâmina de água
- D: Diâmetro da partícula de solo
- DGEG: Companhia de Estradas da Alemanha
- $D_n$ : n% das partículas do solo com diâmetro D inferiores a  $D_n$

- $D_{85p}$ : 85% das partículas do solo passante com diâmetro  $D$  inferiores a  $D_{85}$
- $D_{85i}$ : 85% das partículas do solo impregnado com diâmetro  $D$  inferiores a  $D_{85}$
- $D_{85final}$ : 85% das partículas do solo da face do talude, final do ensaio, com diâmetro  $D$  inferiores a  $D_{85}$
- $D_{85inicial}$ : 85% das partículas do solo da face do talude, inicial do ensaio, com diâmetro  $D$  inferiores a  $D_{85}$
- e: Partículas erodidas
- E: Energia mecânica
- EC: Energia cinética
- $e_{max}$ : Índice de vazios máximo
- $e_{min}$ : Índice de vazios mínimo
- $e_{nat}$ : Índice de vazios natural
- EP: Energia Potencial
- EPA: Agência de Proteção Ambiental Americana
- EUA: Estados Unidos da América
- f: Frequência
- f: Função
- FOS: Abertura de filtração pelo método de ensaio peneiramento hidrodinâmico
- g: Grama
- g: Aceleração da gravidade
- GC: Grau de compacidade
- GERCO: Gerenciamento Costeiro
- GIZC: Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional
- GSCs: Areia ensacada com geotêxtil
- GWR: Areia envelopada frontalmente com geotêxtil tecido
- H: Altura da onda
- h: Altura da lâmina de água acima do piezômetro
- h: Hora
- H: Distancia horizontal do talude
- Hz: Hertz
- i: Partículas impregnadas
- i: Gradiente hidráulico

ICOLD: Comissão Internacional de Grandes Barragens  
IGS: Associação Internacional de Geossintéticos  
J: Joule  
K: Permeabilidade  
Kg: Quilograma  
km: Quilômetro  
 $K_n$ : Permeabilidade normal do plano do geotêxtil  
kPa: Quilopascal  
l: Litro  
L: Comprimento da onda  
L: Largura do talude  
M.C.A: Metro coluna d'água  
m: Metro  
 $m^2$ : Metro quadrado  
 $m^3$ : Metro cúbico  
 $M_A$ : Gramatura do geotêxtil  
 $m_f$ : Massa de filamentos do geotêxtil por unidade de área  
min: Minuto  
ml: Mililitro  
 $m_m$ : Massa de material impregnado por unidade de área  
mm: Milímetro  
MMA: Ministério do Meio Ambiente  
NA: Nível de água  
NA: Não se aplica  
Nm: Newton metro  
Nº: Número  
NTU: Unidade de turbidez  
°: Grau  
 $O_n$ : Abertura de filtração  
P: Profundidade do talude  
PEGC: Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro  
PF: Pedregulho fino

PG: Pedregulho grosso  
PGZC: Plano Gerencial da Zona Costeira  
PIANC: Associação Internacional Permanente dos Congressos de Navegação  
PM: Pedregulho médio  
PMGC: Plano Municipal  
P<sub>n</sub>: Piezômetro  
PNGC: Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro  
PPA: Plano Plurianual  
PR: Estado do Paraná  
PSRM: Plano Setorial para os Recursos do Mar  
PVC: Policloreto de vinila  
R.S: Ribeiro e Souza  
RCD-R: Resíduo da Construção e Demolição Reciclado  
RN: Estado do Rio Grande do Norte  
Rpm: Rotações por minuto  
s: Segundo  
S: Silte  
S1: Saída de água principal no canal  
S2: Saída de água alternativa no canal  
S3: Saída de água alternativa no canal  
SIGERCOM: Sistema de Informação dos Gerenciamento Costeiro e Marinho  
SP: Estado de São Paulo  
T: Período da onda  
t: Tempo  
t<sub>GT</sub>: Espessura nominal do geotêxtil  
U.S. United States  
U: Forma da canaleta de alumínio  
u<sub>max</sub>: Poropressão máxima  
UFBA: Universidade Federal da Bahia  
UnB: Universidade de Brasília  
V: Distância vertical do talude  
V: Voltz

- v: Velocidade da onda
- W: Watts
- x: Aumento
- X: Ensaio realizado
- Z: Extensão da frente de onda (1 m, igual a largura do canal)
- z: Profundidade do piezômetro em relação ao nível de água estático
- ZEEC: Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro
- $\alpha$ : Inclinação do talude
- $\mu$ : Micro ( $10^{-6}$ )
- $\pi$ : Pi (3,1415)
- $\rho$ : Massa volumétrica da água
- $\rho_d$ : Massa específica seca
- $\rho_s$ : Massa específica dos grãos
- $\Psi$ : Permissividade do geotêxtil
- $\gamma_w$ : Peso específico da água

# CAPÍTULO I

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 MOTIVAÇÕES DA PESQUISA

Do ponto de vista da Geotecnia, a identificação, avaliação e compreensão do processo erosivo por meio do impacto de ondas, em ambiente marinho, fluvial, lagos ou reservatório artificiais, são fundamentais para a elaboração de projetos de controle deste tipo de erosão. Neste contexto, os geossintéticos são cada vez mais utilizados na tentativa de remediar o avanço dos processos erosivos. Nos dias atuais, são empregados vários tipos de geossintéticos em obras de controle de erosões, tais como: geotêxteis tecidos e não tecidos, geocélulas, geomantas, georredes, geocompostos, incluindo-se os materiais naturais biodegradáveis (biomantas) formadas, por exemplo, por fibras de côco.

Desde os tempos coloniais, a população brasileira concentra-se nas proximidades da costa e, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 20% a 25% do total da população localiza-se nessa área. A falta de planejamento da ocupação e do desenvolvimento sustentável, em muitos casos, permitiu o avanço da urbanização muito próximo da linha de costa, originando ou agravando o avanço da erosão. Também há o aumento desordenado da construção de edificações dentro da faixa dinâmica do litoral, intensificada pela especulação imobiliária e expansão da atividade turística.

É inevitável um destaque na mídia das consequências do impacto das ondas do mar na costa do continente, que possui, aproximadamente, 7400 km de extensão e abrange 17 estados brasileiros (Globo, 2010; Folha, 2010). Há relatos que nos últimos 20 anos a linha de costa avançou 800 m em alguns trechos do litoral do estado do Rio Grande do Norte, aproximando-se desta forma das edificações existentes (Tribuna do Norte, 2010). Pesquisas realizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006a) mostram que mais que 50% do litoral dos estados do Rio Grande do Sul e Bahia estão submetidos à processos erosivos.

Cabe lembrar que o efeito estufa é um problema global e que pode agravar as questões relacionadas à erosão costeira pela gradual elevação do nível médio do mar. Além disso, com a aprovação da nova Lei dos Portos (Nº 12.815/13), regulamentada pelo Decreto Nº 8.033/13, o governo federal anunciou que foram requeridos, somente no mês de julho de 2013, cerca de 50 pedidos para construção de novos terminais privados no país (ABTP, 2013). Em

consequência disso, os projetos de tais terminais deverão conter sistemas de proteção das margens dos corpos d'água.

Em se tratando de reservatórios artificiais, os relatos sobre a erosão hídrica originada pelo impacto das ondas nas margens desprotegidas também é crescente diante das mais de 50 mil grandes barragens em operação no mundo, segundo os dados mundiais de 2003, apresentados pelo ICOLD (2008). O processo erosivo torna-se preocupante devido ao assoreamento desses reservatórios, diminuindo o volume de água utilizável e reduzindo a quantidade de energia gerada. Os sedimentos são originados do solo exposto devido à retirada da vegetação ou pelo seu uso inadequado em áreas de contribuição para o reservatório, sendo intensificados pelo impacto das ondas.

Em relação ao ambiente fluvial, de acordo com Alfredini & Arasaki (2009), o Brasil possui uma das maiores redes fluviais do mundo, com cerca de 20.000 km em condições de navegação, sendo a malha navegável total estimada em 50.000 km. Erosões excessivas nestes ambientes podem causar o assoreamento do canal navegável, entre outras consequências.

Diante destas circunstâncias, existe a necessidade da realização de pesquisas buscando entender os mecanismos do processo erosivo originados pelo impacto de ondas nas estruturas de controle da erosão, o aperfeiçoamento das técnicas empregadas para controle e o desempenho dos elementos de proteção do solo.

Desta forma, a motivação desta pesquisa é o estudo do desempenho do filtro geotêxtil não tecido no controle da erosão por meio do impacto de ondas, observando o nível de degradação dos taludes e visando contribuir para o entendimento da interação entre o geotêxtil e o solo a ser protegido diante de condições severas de fluxo.

## **1.2 OBJETIVO GERAL DA PESQUISA**

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o comportamento de sistemas de proteção de taludes utilizando geotêxtil não tecido contra o processo erosivo hídrico originado por meio do impacto de ondas, sob condições dinâmicas de fluxo e avaliar a contribuição do filtro geotêxtil. Esta pesquisa se enquadra em ambientes onde o processo erosivo é provocado por ondas originárias pelo vento ou gravidade, possuindo altura na ordem de centímetros.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa foram os seguintes:

- Avaliar o desempenho de equipamento projetado e construído para ensaios de taludes submetidos a impactos de ondas;
- Avaliar a solução de proteção de talude, sujeito a impactos de ondas, com utilização de filtro geotêxtil;
- Comparar os desempenhos de diferentes tipos de geotêxteis não tecidos;
- Comparar o desempenho de filtro granular convencional com os de filtros geotêxteis;
- Quantificar fatores intervenientes no comportamento de filtros geotêxteis; e
- Avaliar a acurácia de critérios de filtro sob condições cíclicas de fluxo.

Para o entendimento do comportamento do filtro geotêxtil, como elemento de proteção de taludes contra o processo erosivo originado por meio de impactos de ondas, foi construído um canal hidráulico com um sistema gerador de ondas.

### 1.4 ESTRUTURA DA TESE

Essa tese está dividida em 6 capítulos. Uma breve descrição do conteúdo apresentado em cada capítulo é feita a seguir.

O *Capítulo 1* apresenta a **introdução** ao tema e a motivação da pesquisa, seus objetivos e a estrutura da dissertação em capítulos.

No *Capítulo 2* é apresentada uma **revisão bibliográfica** sobre o assunto, onde se aborda o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

O *Capítulo 3* descreve os **equipamentos** e os **materiais** utilizados nos ensaios, apresentando construção do canal hidráulico, o sistema de aquisição de dados, bem como a apresentação das características relevantes dos materiais empregados.

No *Capítulo 4* é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa, descrevendo-se os procedimentos de montagem do equipamento, instrumentação e sistema de aquisição de dados, construção do talude juntamente com o revestimento de sua face, entre outros.

O *Capítulo 5* versa sobre os resultados obtidos e análises realizadas, abordando-se o desempenho dos sistemas de proteção da face do talude.

No *Capítulo 6* são apresentadas as **conclusões e sugestões** para as pesquisas futuras.

Os **Anexos e Apêndices** completam o volume da tese.

## CAPÍTULO II

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A erosão compreende um conjunto de fenômenos naturais que envolvem materiais provenientes da decomposição e desagregação de rochas e solos. É um fenômeno geológico natural que ocorre nas camadas de solos e rochas mais superficiais da crosta terrestre e em solos expostos devido a obras civis que não tenham sido devidamente protegidos. A erosão representa um conjunto de ações, incluindo o desprendimento (desagregação), o arraste (transporte) e a deposição das partículas de solo causada por diversos agentes (Bertoni & Lombardi Neto, 1985; Galetti, 1985; Jacintho *et al.*, 2006).

A erosão vem sendo estudada em diversas áreas de conhecimento, como Ciências Agrárias (Ciências do solo), Ciências Exatas da Terra (Geologia, Geografia) e Engenharias (Hidráulica, Geotécnica, Costeira). Entre os diversos agentes erosivos encontrados na literatura, destaca-se a água como elemento principal. A erosão hídrica pode instalar-se em ambientes em que existe uma pré-disposição natural ou não à ação da chuva (erosão pluvial), fluxo superficial (erosão laminar), fluxo concentrado (erosão linear onde se encontram os sulcos, ravinas e voçorocas). Diversos são os fatores condicionantes da ocorrência de erosão. Entre eles destacam-se a cobertura vegetal, relevo, solo, substrato rochoso, clima e a ação antrópica. (Infanti Jr & Fornasari Filho, 1998). (Neste trabalho será abordada a erosão provocada pelo impacto de ondas.)

Segundo Dominguez (2005), em escala mundial, alguns autores estimam que cerca de 70% das linhas de costa estejam sofrendo o processo erosivo. Segundo o mesmo autor, alguns pesquisadores sugerem que, em vez de erosão, seja utilizado o termo “reco da linha de costa”, visto que este último traduz de maneira mais fiel o que realmente acontece.

Em obras de proteção de taludes, canais de navegação, proteção da costa, proteção contra correnteza, quebra-mares, diques e aterros é comum a erosão hídrica originada pelo impacto das ondas formadas, em geral, pela ação dos ventos. Nesta revisão bibliográfica foi dada maior ênfase ao ambiente costeiro.

## 2.1 ONDAS

Em geral, a superfície livre do mar, rios e grandes corpos d'água, como lagos ou reservatórios, apresentam-se normalmente ondulada devido às perturbações no plano d'água em repouso originadas pelo vento, sismos, deslizamentos, vulcões, forças gravitacionais (efeito das marés) e passagem de embarcações.

As ondas encontradas na natureza normalmente são complexas e têm difícil modelagem teórica e prática. Mudam constantemente de crista e são irregulares, devido a fenômenos como: empolamento (alteração da altura das ondas que decorre somente da redução da profundidade), arrebentação (instabilidade da onda ao encontrar pequenas profundidades, mudando seu comprimento, altura e velocidade), entre outros. Segundo U.S. Army Corps of Engineers (2002a) existem dois tipos de ondas:

- ▶ Regulares: com altura e período constantes, onde utiliza-se a Teoria da Onda Linear; e
- ▶ Irregulares: com altura e período variáveis, normalmente encontradas na natureza.

Na prática, os engenheiros costeiros utilizam a combinação desses dois tipos de ondas para obter informações para os projetos, sendo que as ondas irregulares continuam a ser uma área de certa incerteza. A Figura 2.1 apresenta as principais características de uma onda regular:

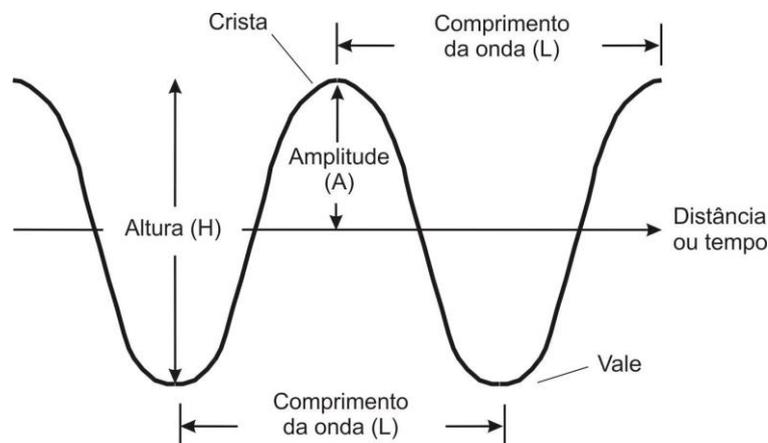


Figura 2.1 – Características gerais de uma onda regular.

Em relação às ondas formadas no oceano, as mesmas são classificadas de acordo com sua frequência e força geradora, entre outras características, como mostrado na Figura 2.2. Nesta figura pode-se observar que há um aumento da energia entre 1 e 30 s, onde estão localizadas as ondas denominadas “ondas de gravidade” (*gravity wave*). Esse tipo de onda normalmente é

a mais importante nos estudos de hidráulica marítima e de grandes lagos, segundo Alfredini & Arasaki (2009).

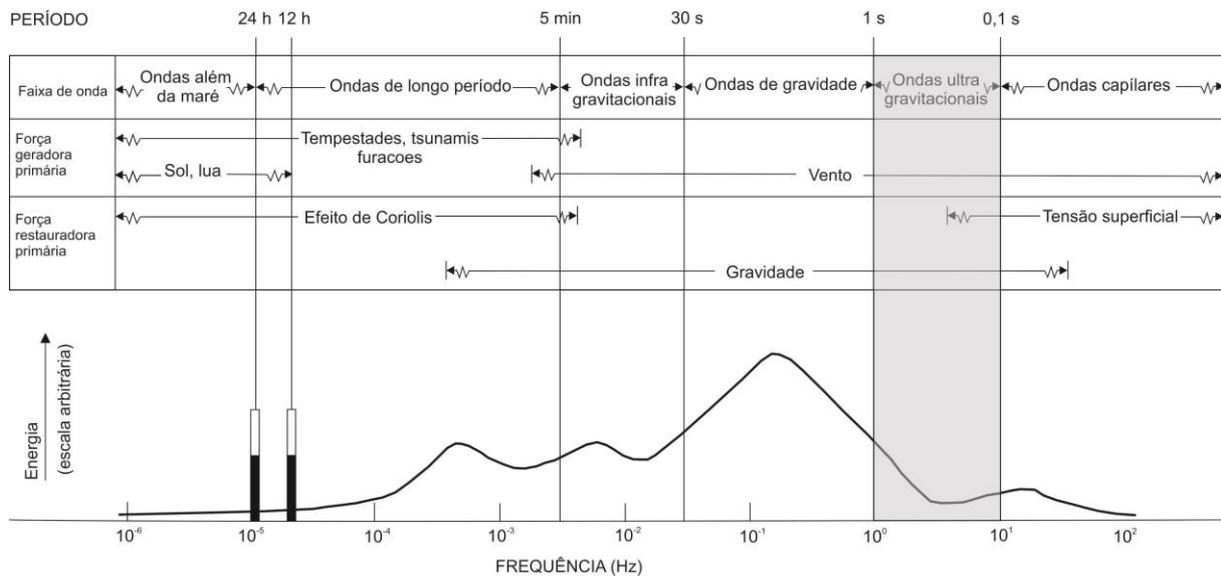


Figura 2.2 - Classificação do tipo de onda para diferentes frequências (Alfredini, 2000).

De acordo Airy (1845), citado por U.S. Army Corps of Engineers (2002a), as ondas consideradas regulares podem ser classificadas de acordo com a relação entre a profundidade da lâmina de água ( $d$ ) e o comprimento de onda ( $L$ ), onde:

- ▶  $d/L < 1/20$ : águas rasas (tsunamis e ondas marítimas próximas do litoral)
- ▶  $1/20 < d/L < 1/2$ : águas intermediárias
- ▶  $d/L > 1/2$ : águas profundas

Observa-se na Figura 2.3 que a velocidade horizontal de uma onda formada em águas rasas é mantida constante ao longo da coluna de água, da superfície ao fundo. Desta maneira, os sedimentos de fundo podem ser erodidos e transportados pelas correntes.

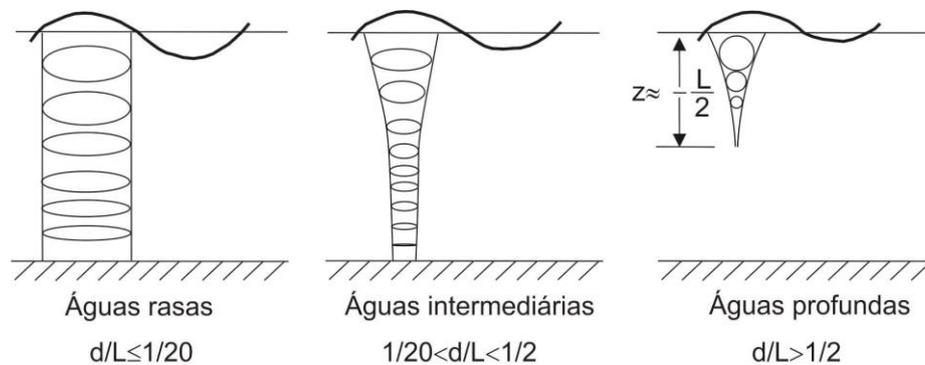


Figura 2.3 - Trajetórias das partículas de água em função da profundidade. Fonte: U.S. Army Corps of Engineers (2002a) com modificações.

Em relação às ondas formadas em lagos e reservatórios, Lima *et al.* (2011), ao monitorarem ondas geradas por ventos no reservatório da usina hidroelétrica de Ilha Solteira, obtiveram períodos de onda relativamente pequenos, da ordem de 2,5 s e alturas de 0,3 m. A Tabela 2.1 apresenta um quadro comparativo entre as características de ondas gerada em diversos ambientes.

Tabela 2.1 - Comparativo entre as características das ondas geradas em diversos ambientes.

Ondas geradas:	Profundidade da lâmina de água (d)	Frequência (f) Hz	Período (T) s	Comprimento de onda (L)	Velocidade da onda (v)	Amplitude (A)	Altura (H) m	Energia mecânica (E) J
Canal hidráulico <sup>(10)</sup>	0,80 m	1,13	0,88	2,00 m <sup>(12)</sup>	1,37 m/s	0,11 m	0,22	72 <sup>(11)</sup>
Reservatório de Ilha Solteira (SP)	-	0,33 a 5 <sup>(1)</sup>	0,2 a 3 <sup>(2)</sup>	-	-	-	0 a 1,4 <sup>(2)</sup>	-
Reservatório de Itaipu (PR)	22 a 170 <sup>(3)</sup> m	0,08 a 0,14 <sup>(1)</sup>	7 a 12 <sup>(4)</sup>	-	-	-	0,06 a 0,50 <sup>(4)</sup> 2 <sup>(3)</sup>	-
Oceano Pacífico	-	-	22 <sup>(5)</sup>	900 <sup>(5)</sup> m	-	-	34 <sup>(5)</sup>	-
Mar Mediterrâneo	-	-	14 <sup>(5)</sup>	300 <sup>(5)</sup> m	-	-	10 <sup>(5)</sup>	-
Tsunami em alto mar	10 km <sup>(9)</sup>	Em f(T), são muito baixos <sup>(8)</sup>	Podem atingir 1 h <sup>(7)</sup>	10 a 500 km <sup>(7)</sup>	770 km/h <sup>(6)</sup>	300 mm <sup>(9)</sup>	0,60 ≤ 6 <sup>(6)</sup>	88.200.000 <sup>(10)</sup>

Nota: (1): Calculado em função do período, (2): Vieira *et al.* (2013), (3): Marques & Guetter (2011), (4): Abrantes *et al.* (2013), (5): Alfredini & Arasaki (2009), (6): Aguerre (1998), (7) Silveira & Varriale (2005), (8): Informação básica na bibliografia em geral, (9): Wikipedia (2014): Tsunami, (10) Explicações adicionais no Capítulo 3 – Equipamentos e Materiais, (11) Elmore & Heald (1985), (12) obtido por meio de fotografia digital.

## 2.2 EROÇÃO COSTEIRA

### 2.2.1 CONCEITO

No Brasil, os estudos sobre erosão costeira são relativamente recentes, obtendo maior relevância a partir da década de 1990 (Souza *et al.*, 2005). Os problemas associados a esse tipo e erosão já eram tratados por geógrafos e geólogos como o principal objetivo do gerenciamento costeiro (Muehe, 2013). A linha da costa pode avançar mar adentro, recuar em direção ao continente ou permanecer em equilíbrio. Quando a linha de costa recua em direção ao continente (retirada de sedimentos maior que a sedimentação - balanço de sedimentos) este fenômeno é chamado de erosão costeira. Um perfil típico de praia e sua variabilidade são mostrados na Figura 2.4.

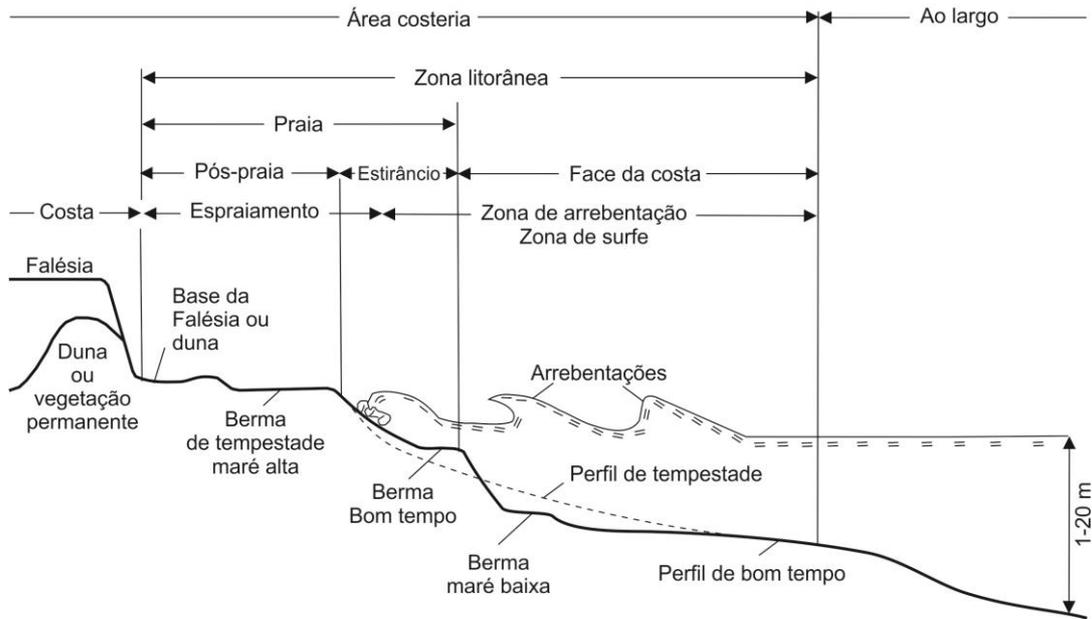


Figura 2.4 – Sistema praial. Fonte: modificado de Alfredini & Arasaki (2009) e Souza *et al.* (2005).

De acordo com Alfredini & Arasaki (2009), a areia da praia representa o último produto da erosão das rochas, produzida por rios, ou por geleiras atualmente desaparecidas, e trazido ao mar. Pode ter origem na destruição de bancos de coral pela abrasão produzida pelas ondas ou micro-organismos. A Figura 2.5 apresenta o ganho e perda de sedimentos na zona litorânea.

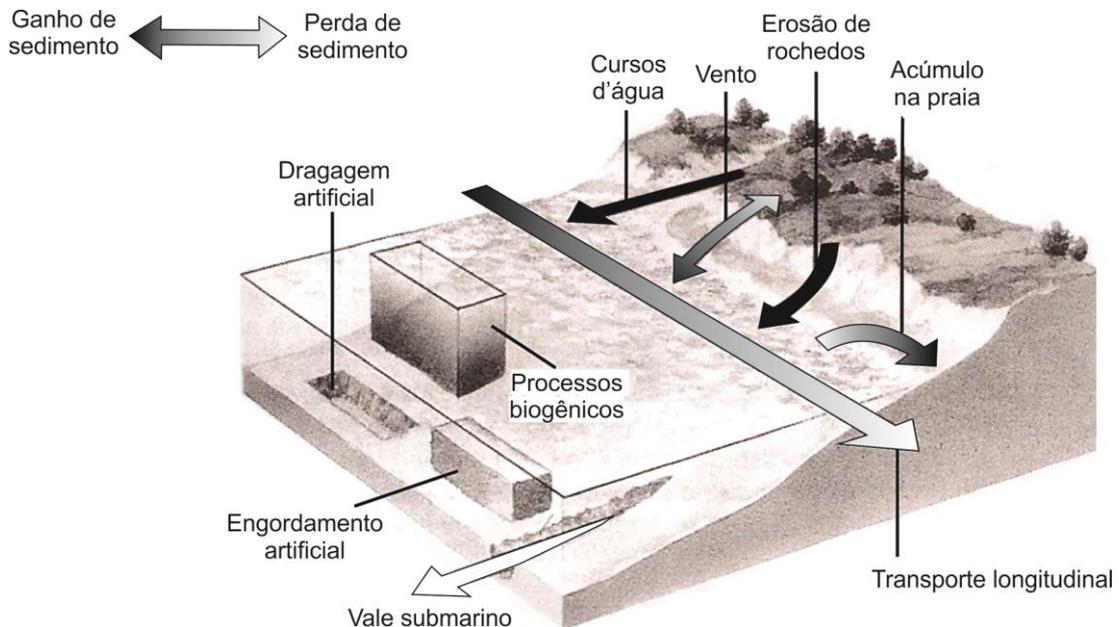


Figura 2.5 – Balanço sedimentar na zona litorânea. Fonte: Alfredini & Arasaki (2009).

Segundo os mesmos autores, os blocos e seixos geralmente permanecem próximos à origem, enquanto areias, siltes e argilas movimentam-se, em geral, por distâncias consideráveis. Como

resultado da ação de ondas e correntes, os siltes e argilas tendem a permanecer em suspensão próximo à costa, depositando-se eventualmente ao largo (Figura 2.4). As principais características do transporte de sedimentos em praia não se resumem apenas na movimentação de sedimentos pela ação turbulenta da arrebentação das ondas, mas também pelo arrastamento de fundo e suspensão de material fino (Alfredini & Arasaki, 2009).

Os sedimentos coesivos são aqueles em que as forças de atração, predominantemente eletroquímicas, entre grãos de sedimentos são mais fortes do que a força da gravidade. A força da ligação coesiva é uma função da mineralogia dos grãos e da química da água, particularmente a salinidade. Assim, uma lama grossa pode se comportar como areia fina em água doce, mas é coesa num ambiente oceânico. Da mesma forma, a areia fina pode apresentar coesão em água salgada. Desta maneira, de acordo com U.S. Army Corps of Engineers (2002b), é mais fácil definir sedimentos coesivos pelo comportamento do que pelo tamanho.

A erosão em uma praia de areia é um processo potencialmente reversível (devido a processos naturais), enquanto a erosão em uma costa coesa consolidada é irreversível. Nas margens consolidadas, o processo de erosão é irreversível porque, uma vez desgastado, o sedimento coeso não pode ser reconstituído na sua forma consolidada em um ambiente costeiro energético. Além disso, desde que o teor de areia e cascalho seja baixo (muitas vezes menos do que 20%) nesses depósitos, a erosão não é equilibrada por um volume igual de deposição no interior da zona litoral.

Os sedimentos coesivos, presentes na costa ou margens de corpos d'água, podem ser erodidos por, pelo menos, quatro mecanismos (U.S. Army Corps of Engineers, 2002b):

- ▶ Abrasão por partículas de areia movidas pelas ondas e correntes baixas;
- ▶ Turbulência da água, causando redemoinhos na zona de arrebentação;
- ▶ Influências químicas e biológicas; e
- ▶ Ciclos úmido/seco e congelamento/descongelamento, expostos à atmosfera.

### **2.2.2 CAUSAS**

A posição da linha de costa é afetada por um grande número de fatores naturais e antrópicos, como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Causas naturais e antrópicas da erosão costeira no Brasil. Fonte: Modificado de Souza (2009a).

CAUSAS NATURAIS	
1	Morfodinâmica praial.
2	Fonte sedimentar naturalmente ineficiente ou ausência de fontes de areias.
3	Fisiografia Costeira: irregularidades na linha de costa (exemplo: formação rochosa elevada que avança para o mar, apresentando estreitamento da sua largura entre a terra e a sua extremidade); praias que recebem maior impacto de ondas de maior energia.
4	Presença de amplas zonas de transporte ou trânsito de sedimentos ( <i>by-pass</i> ), contribuindo para a não permanência dos sedimentos em certos segmentos de praia.
5	Armadilhas de sedimentos e migração lateral (exemplo: desembocaduras fluviais ou canais de maré; obstáculos fora da praia como arenitos de praia e recifes).
6	Fenômenos climáticos - meteorológicos intensos: ciclones extratropicais e a atuação intensa do "El Niño".
7	Elevações do nível relativo do mar de curto período devido a efeitos combinados da atuação de ciclones extratropicais, marés astronômicas, entre outros.
8	Efeitos da elevação do nível relativo do mar durante o último século, em taxas de até 30 cm.
9	Balanco sedimentar negativo originado por processos naturais individuais ou combinados.
10	Fatores Tectônicos: subsidências e soerguimentos da planície costeira.
CAUSAS ANTRÓPICAS	
11	Urbanização da orla, com destruição de dunas e eventual ocupação da pós-praia.
12	Construção de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa: espigões, molhes de pedra, enrocamentos, píers, quebra-mares, muros, canais de drenagem artificiais, engordamento da praia.
13	Retirada de areia de praia por: mineração e/ou limpeza pública, resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas.
14	Mineração de areias fluviais e desassoreamento de desembocaduras; dragagens em canais de maré e na plataforma continental: diminuição/perda das fontes de sedimentos para as praias.
15	Utilização de terrenos naturais da planície costeira em áreas urbanas (manguezais, planícies fluviais e lagunares, pântanos e áreas inundadas) provocando impermeabilização dos terrenos e mudanças no padrão de drenagem costeira (perda de fontes de sedimentos).
16	Balanco sedimentar negativo de corrente de intervenções antrópicas.

Estudos realizados por Souza em 1997 e 2001 e Souza & Suguio em 2003 citados por Souza (2009a), apontam os indicadores de erosão costeira monitorados nas praias do Estado de São Paulo, como mostra a Tabela 2.3. As situações das praias brasileiras, nas regiões norte, nordeste, leste sudeste e sul, em relação às causas (Tabela 2.2) e aos indicadores (Tabela 2.3) de erosão costeira, são apresentadas na Tabela 2.4. Constata-se que em todas as regiões brasileiras são encontrados a grande maioria dos indicadores da erosão costeira. As causas naturais relacionadas à morfodinâmica praial e fatores tectônicos foram os menos observados. Causas antrópicas, como a urbanização da orla, com destruição de dunas e eventual ocupação da pós-praia, retirada de areia de praia por mineração e/ou limpeza pública e o balanço sedimentar negativo devido às intervenções antrópicas, foram observadas em todas as regiões analisadas.

Tabela 2.3 - Indicadores de erosão costeira monitorados nas praias do Estado de São Paulo.

Fonte: Souza em 1997 e 2001 e Souza & Suguio em 2003 citados por Souza (2009a).

I	Pós-praia muito estreita ou inexistente
II	Recuo geral da linha de costa nas últimas décadas, com franca diminuição da largura da praia, em toda a sua extensão ou mais acentuadamente em determinados locais dela (praias urbanizadas ou não).
III	Desenvolvimento de falésias com alturas de até dezenas de metros (praias urbanizadas ou não).
IV	Destruição de faixas frontais de vegetação de “restinga” ou de manguezal e/ou presença de raízes e troncos em posição de vida soterrados na praia, causados pela erosão acentuada ou o soterramento da vegetação devido ao recuo/migração da linha de costa sobre o continente.
V	Exumação e erosão de turfeiras, arenitos de praia, devido à remoção das areias praias por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não).
VI	Frequente exposição de “falésias artificiais”, apresentando pacotes de espessura até métrica de camadas sucessivas de aterro erodido e soterrado por camadas de areias praias/eólicas, no contato entre a praia e a área urbanizada.
VII	Destruição de estruturas artificiais.
VIII	Retomada de antigas erosões, formadas em épocas em que o nível do mar encontrava-se acima do atual (praias urbanizadas ou não).
IX	Presença de concentrações de minerais pesados em determinados trechos da praia, em associação com outros indicadores erosivos (praias urbanizadas ou não).

Tabela 2.4 - Síntese de algumas situações das praias brasileiras em relação às causas (Tabela 2.2) e aos indicadores (Tabela 2.3) de erosão costeira. Fonte: Modificado de Souza *et al.* (2005).

Região	Indicadores de erosão costeira									Causas naturais										Causas antrópicas					
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Norte	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	-	-	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x
Nordeste	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x
Leste	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x
Sudeste	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x
Sul	x	x	x	x	x	-	x	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x

Segundo Alfredini & Arasaki (2009), as ondas transferem energia da fonte que as gerou para alguma estrutura ou linha de costa (ou margem) e constituem o principal agente modelador da costa por meio do processo erosivo que originam.

Muehe (2013) comenta que ondas de tempestade tendem a apresentar elevada esbelteza, associada a um fluxo junto ao fundo que transporta sedimentos da praia para o mar aberto, ocorrendo o contrário nas ondas de tempo bom. A consequência é que, nas tempestades, a praia perde parte da areia, que é depositada na face da costa, tornando-se rasa, podendo ou não ocorrer a formação de bancos de areia, como mostra a Figura 2.4. Isso, por sua vez, faz com que as ondas quebrem a uma distância maior da face da praia, que favorece a dissipação da energia. Sob condições de tempo bom, a areia volta a ser incorporada à praia, que volta a ganhar largura. A capacidade de retornar à configuração original, é que torna as praias tão

eficazes como elemento de proteção. Um esquema do ataque das ondas é mostrado na Figura 2.6.

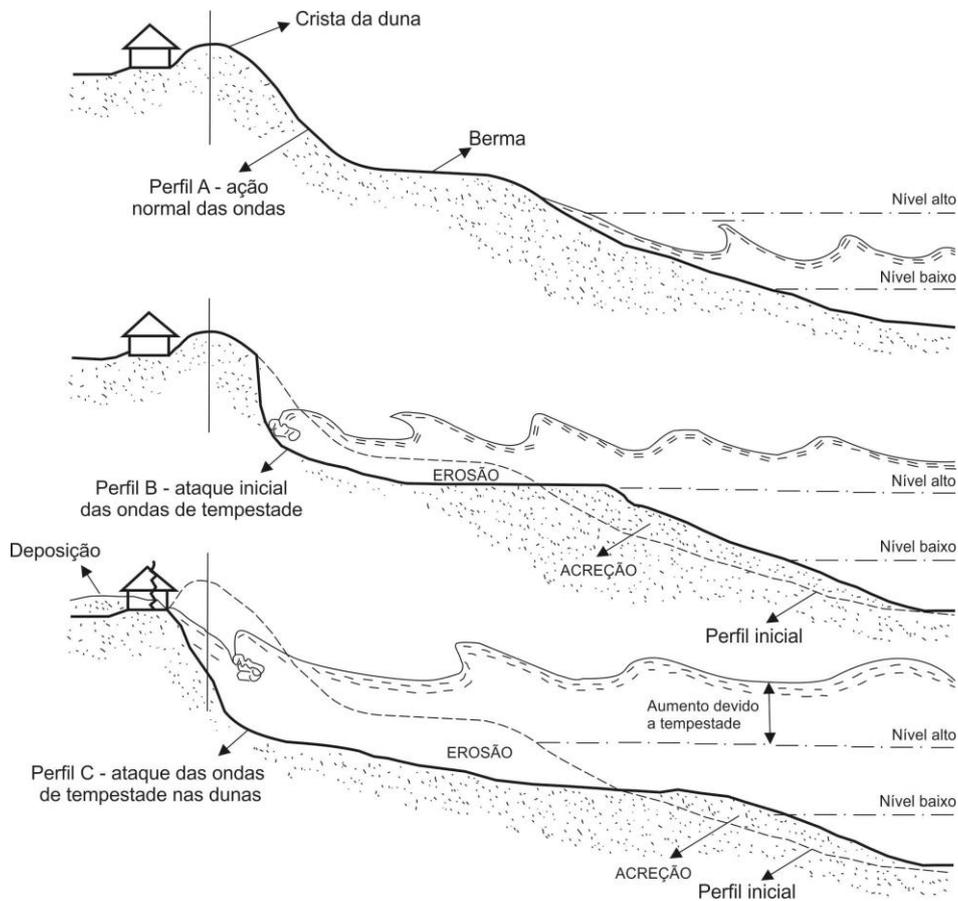


Figura 2.6 - Esquema do ataque de ondas de tempestades na praia ou duna. Fonte: U.S. Army Corps of Engineers (2002c) com modificações.

### 2.2.3 CONSEQUÊNCIAS

De acordo com Souza *et al.* (2005) e Souza (2009b), em geral, as consequências da erosão costeira são percebidas quando o problema ameaça as atividades humanas, causando prejuízos econômicos. Segundo estes autores, esse tipo de erosão pode trazer consequências não somente à praia, mas também a vários ambientes marinhos naturais e aos usos e atividades antrópicas na zona costeira, destacando-se:

- ▶ Desaparecimento da zona de pós-praia e ou da própria praia;
- ▶ Desequilíbrio de ambientes naturais;
- ▶ Aumento na frequência e magnitude de inundações costeiras causadas por ressacas;
- ▶ Perda de propriedades e bens públicos e privados ao longo da linha de costa;
- ▶ Destruição de estruturas artificiais paralelas ou transversais à linha de costa construídas pelo homem;

- ▶ Problemas com o sistema de esgotamento sanitário (obras soterradas);
- ▶ Diminuição da balneabilidade das águas pelo aumento da poluição e contaminação de água;
- ▶ Perda de recursos pesqueiros, do valor paisagístico, do valor imobiliário; e
- ▶ Comprometimento do potencial turístico da região costeira, entre outras.

## **2.2.4 POSSÍVEIS SOLUÇÕES**

### **2.2.4.1 GERENCIAMENTO COSTEIRO**

De acordo com a UFBA (2014), com base nos estudos realizados pelo Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia (CPGG), as principais dificuldades para a administração do problema da erosão costeira são as seguintes:

- ▶ Desconhecimento do problema por parte dos administradores costeiros, a não ser em regiões já seriamente afetadas pela erosão, que faz com que este fator seja ignorado na avaliação e licenciamento de projetos e nas propostas de zoneamento costeiro; e
- ▶ Implementação de uma política que enfrentará grandes dificuldades por parte de proprietários e incorporadores, uma vez que implica a desapropriação de parte ou toda a propriedade.

Dominguez (2005) relata que em relação à gestão do problema de erosão, este tem sido feito de maneira espontânea e desordenada, a partir de intervenções de proprietários, individualmente ou pelos municípios, normalmente após o problema já ter atingido proporções alarmantes. Em áreas ainda não ocupadas, ou em vias de ocupação, observa-se que não existe qualquer preocupação com o fenômeno de recuo da linha de costa quando do licenciamento dos empreendimentos. Para o autor a solução adequada seria o disciplinamento do uso do solo, com o estabelecimento de faixas de recuo estabelecidas para cada trecho da linha de costa, tomando-se como base as suas taxas de recuo históricas, a incursão máxima de marés meteorológicas (quando for o caso) e as previsões futuras de subida do nível relativo do mar. Em áreas densamente ocupadas, como as regiões metropolitanas, pouco pode ser feito em termos de zoneamento ou disciplinamento de uso do solo. Nestes casos, a estabilização da linha de costa terá de ser implementada por meio de intervenções de engenharia.

As políticas de planejamento e ordenamento territorial têm incorporado pouco os conhecimentos científicos disponíveis sobre o tema, resultando, muitas vezes, no desperdício de recursos públicos com obras de engenharia costeira que acabam não cumprindo seu papel,

mas acelerando a erosão e aumentando as situações de risco e a vulnerabilidade de pessoas e bens ao processo (Souza, 2009a). De acordo com a mesma autora, as diretrizes para atuação do poder público e as ações da Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional (GIZC) ainda são embrionárias no que tange à mitigação do problema, ou ao estabelecimento de normas claras sobre intervenções antrópicas na linha de costa.

De acordo com MMA (2006b), por meio do Projeto Orla: Fundamentos para Gestão Integrada, a operacionalização da gestão costeira no Brasil está apoiada nos instrumentos apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Instrumentos de apoio do Projeto Orla do Ministério do Meio Ambiente.

BASES LEGAIS
▶ <b>Art. 225 da Constituição Federal</b> – estabelece a zona costeira como patrimônio nacional e área de interesse especial.
▶ <b>Lei Nº 7.661/88</b> – institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC)
▶ <b>Lei Nº 8.617, de 04/01/93</b> – dispõe sobre o mar territorial, a zona contígua e a zona econômica exclusiva e a plataforma continental brasileira.
▶ <b>Resolução CIRM no 05/97</b> – detalha os aspectos operativos do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II
▶ <b>Decreto Nº 2.972, de 26/02/99</b> – instituiu o Projeto Gestão Integrada dos Ambientes Costeiros e Marinho no âmbito do MMA.
▶ <b>Decreto Nº 2.956, de 03/02/99</b> – instituiu o V Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM) – 1999-2003, aborda articulação com o Gerenciamento Costeiro (GERCO).
▶ <b>Plano Plurianual PPA 2000-2003</b> – Programa Zoneamento Ecológico Econômico, Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho.
▶ <b>Lei Estadual de Gerenciamento Costeiro</b> – alguns estados já aprovaram suas leis estaduais para regular especificamente o zoneamento costeiro estadual.
INSTRUMENTOS DE PLANEJAMENTO
▶ <b>Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC)</b> – desdobramento do PNGC, em nível estadual, apoia a implementação da Política Estadual de Gerenciamento Costeiro.
▶ <b>Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (PMGC)</b> – desdobramento do PNGC e do PEGC, apoia a implementação da Política Municipal de Gerenciamento Costeiro, guardando estreita relação com os instrumentos de planejamento territorial municipal (planos diretores).
▶ <b>Plano de Gestão da Zona Costeira (PGZC)</b> – instrumento para a formulação do conjunto de ações e programas, articulados e localizados, elaborados com a participação da sociedade, que visa orientar a execução do Gerenciamento Costeiro em diferentes níveis de governo (Federal, Estadual ou Municipal).
INSTRUMENTOS DE APOIO AO PLANEJAMENTO
▶ <b>Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC)</b> – instrumento de apoio ao processo de ordenamento territorial. Utiliza técnicas e mecanismos para oferecer subsídios à sustentabilidade ambiental do desenvolvimento da zona costeira.
▶ <b>Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro e Marinho (SIGERCOM)</b> – sistema que integra e disponibiliza informações do PNGC com dados retirados de várias fontes: banco de dados, sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto.
▶ <b>Sistema de Monitoramento</b> – estrutura operacional de coleta de dados e informações, de forma contínua, visando acompanhar os indicadores de qualidade sócio-ambiental.
▶ <b>Relatório de Qualidade Ambiental</b> – elaborado periodicamente pela Coordenação Nacional do Gerenciamento Costeiro, a partir de relatórios desenvolvidos pelas coordenações estaduais, permitindo as avaliações da eficiência e eficácia das medidas e ações de gestão desenvolvidas.

O Anexo A apresenta algumas recomendações sobre gerenciamento costeiro, na esfera federal, estabelecidas no evento Oceanos e Sociedade em 2013.

### 2.2.4.2 OBRAS DE ENGENHARIA

Segundo Sales *et al.* (2006) entende-se por “controle de erosões” toda e qualquer ação que vise prevenir, cessar ou recuperar um processo erosivo, potencial ou em curso, em uma área determinada. Qualquer intervenção do homem que vise interromper um fator que desencadeou, desencadearia ou alimenta um processo erosivo pode ser encarada como uma ação de controle. Dentro deste contexto, encontram-se as obras de engenharia onde, segundo MMA (2006a), apenas 4% do litoral do estado da Paraíba (140 km) e 8% (1054 km) do litoral do estado da Bahia estão estabilizados contra a erosão por obras de engenharia. Essas obras, muitas vezes, interferem no equilíbrio da costa, podendo isto ser desejável ou não (Alfredini & Arasaki, 2009). Segundo estes autores, estas obras podem ter algumas consequências como:

- ▶ Mudança na taxa e/ou características dos sedimentos supridos à costa;
- ▶ Ajustamento no nível do fluxo de energia das ondas em direção à costa; e
- ▶ Interferência no processo de transporte de sedimentos.

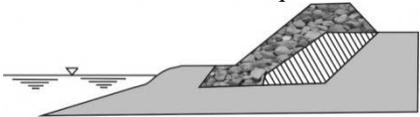
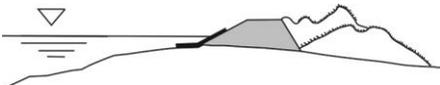
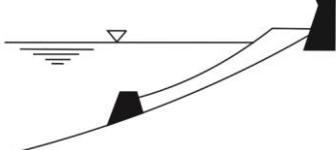
As obras podem ser classificadas de acordo com vários critérios ou condições (Alfredini & Arasaki, 2009, John 1987, Silva 2010, U.S. Army, 2002d):

- ▶ Natureza: naturais e artificiais;
- ▶ Localização com referência à linha de costa: transversais à costa e conectadas a ela, paralelas e desconectadas à costa, interface terra-mar (longitudinais aderentes), engordamento artificial de areia nas praias, fixação de dunas;
- ▶ Ambiente: litoral, fundo do mar, estruturas que ligam o litoral ao mar;
- ▶ Transporte litorâneo: de defesa normal e paralela à costa;
- ▶ Seção transversal: vertical e de paramento inclinado ou talude;
- ▶ Função: obras de blindagem, estabilização da praia, restauração da praia, adaptação; e
- ▶ Estruturais (obras de engenharia) ou não estruturais (gerenciamento costeiro).

A Tabela 2.6 apresenta as principais obras que possibilitam o controle da erosão costeira.

A Figura 2.7 apresenta algumas obras longitudinais aderentes comumente encontradas no litoral brasileiro. Destaca-se o engordamento artificial da praia de Copacabana/RJ na década de 70, que apresenta ainda um desempenho satisfatório. Em algumas dessas obras a inexistência de filtro (geotêxtil ou convencional) compromete as suas eficiências, como mostram as Figuras 2.7(d) a (h).

Tabela 2.6 – Obra, funções, características e materiais utilizados nas principais obras de proteção da costa. Alfredidi & Arasaki (2009), com modificações.

Obra	Algumas funções/Características	Materiais utilizados
<p>Paredões ou muros de choque</p>  <p>Fonte: Alfredidi &amp; Arasaki (2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Proteção contra ondas</li> <li>▶ Litoral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Concreto</li> <li>▶ Alvenaria de pedra</li> <li>▶ Gabião</li> <li>▶ Enrocamento</li> <li>▶ Estaca-prancha metálica, concreto ou madeira</li> </ul>
<p>Espigões</p>  <p>Fonte: <a href="http://www.praia.log.furg.br/erosao/DSC03534.JPG">http://www.praia.log.furg.br/erosao/DSC03534.JPG</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Proteção contra correntes</li> <li>▶ Uma extremidade no mar outra na terra</li> <li>▶ Interceptação do transporte de sedimentos</li> <li>▶ Alargamento da praia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Gabião</li> <li>▶ Enrocamento</li> <li>▶ Sacos preenchidos com Argamassa</li> <li>▶ Estaca-prancha metálica ou preenchidas de agregados ou concreto.</li> </ul>
<p>Molhes</p>  <p>Fonte: <a href="http://www.agendavisual.com/saiba mais/molhes.jpg">http://www.agendavisual.com/saiba mais/molhes.jpg</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Proteção contra ondas</li> <li>▶ Uma extremidade no mar outra na terra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Bloco de concreto com forma complexa.</li> <li>▶ Enrocamento</li> </ul>
<p>Diques</p>  <p>Fonte: Alfredidi &amp; Arasaki (2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Proteção contra ondas</li> <li>▶ Duas extremidades na terra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Areia com camada de terra e vegetação.</li> </ul>
<p>Quebra-mar</p>  <p>Fonte: <a href="http://paenvironmentdaily.blogspot.com.br/2010/07/august-2-pa-environment-digest-now.html">http://paenvironmentdaily.blogspot.com.br/2010/07/august-2-pa-environment-digest-now.html</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Proteção contra ondas</li> <li>▶ Duas extremidades no mar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Enrocamento</li> <li>▶ Blocos artificiais de concreto, caixões de concreto,</li> <li>▶ Estaca metálicas ou de madeira</li> <li>▶ Podem ser naturais: barreira de recifes frontais a praia</li> <li>▶ Núcleo de areia ou argila.</li> <li>▶ Geotêxtil (geobag)</li> </ul>
<p>Engordamento artificial da praia</p>  <p>Fonte: Alfredidi &amp; Arasaki (2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Proteção contra ondas</li> <li>▶ Acelera o enchimento de campos de espigões ou quebra-mares</li> <li>▶ Litoral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Areia de área de empréstimo.</li> </ul>

<p>Fixação das dunas de areia</p>  <p>Fonte: <a href="http://www.praia.log.furg.br/erosao/Cerca.JPG">http://www.praia.log.furg.br/erosao/Cerca.JPG</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Barreiras contra inundações</li> <li>▶ Pode ser fonte de areia para praias erodidas</li> <li>▶ Retém a areia levada pelo vento</li> <li>▶ Litoral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Cercas de madeira</li> <li>▶ Vegetação</li> <li>▶ Areia da praia</li> </ul>
---	---	--

Em geral, o revestimento superficial pode ser rígido, com o uso de placas de concreto, ou flexível, como por exemplo, soluções com gabiões, enrocamento e geossintéticos.





Figura 2.7 – Obras longitudinais aderentes à costa: a) engordamento artificial. Fonte: Notas de Aula TOLDO JR. citado por Oliveira (2012), b) muro de concreto em degraus, c) enrocamento com filtro geotêxtil, d) pneus, e) muro, f) sacos de areia, g) enrocamento, h) parede de troncos e sacos de areia.

### 2.3 GEOSSINTÉTICOS

Geossintéticos são definidos como produtos manufaturados de material polimérico, planares, que são utilizados com solos e rochas ou outros materiais selecionados pela Engenharia Geotécnica como parte integrante de um projeto, estrutura ou sistema (ASTM, 1995).

Dependendo do projeto e características do local, o controle de erosão pode envolver o uso de um ou mais geossintéticos. Uma descrição resumida dos principais geossintéticos utilizados, segundo IGS (2000) são:

- ▶ Geotêxtil: estrutura planar de fibras ou filamentos (sintéticas ou naturais), flexíveis e permeáveis. Podem ser do tipo tecido e não tecido.
- ▶ Geocélula: produto com estrutura tridimensional aberta, constituída de células interligadas, formados por tiras de geotêxteis, geogrelhas ou geomembranas.
- ▶ Geomantas: estrutura tridimensional permeável, conhecida também como biomanta quando biodegradável. Constituída por filamentos grossos dispostos aleatoriamente e soldadas nos pontos de contato.
- ▶ Geogrelhas: estrutura planar, com elementos de tração conectados, que podem ser ligados por extrusão, ligação ou entrelaçamento.
- ▶ Geocompostos: produto formado por mais de um tipo de geossintético.
- ▶ Geoformas, tubos geotêxteis, *geobags* e *geocontainers*: estrutura tridimensional permeável, em forma de saco, preenchida com solo, resíduo, entre outros materiais.

De acordo com Theisen (1992), os geossintéticos empregados no controle da erosão são classificados em dois grupos:

- Materiais temporários (TERMs – *temporary erosion and revegetation materials*): correspondem a produtos total ou parcialmente degradáveis que proporcionam o controle temporário de erosões e facilitam o desenvolvimento da vegetação; e
- Materiais permanentes (PERMs – *permanent erosion and revegetation materials*): associados à vegetação ou associados a materiais inertes como brita, concreto ou argamassa.

As primeiras aplicações de geossintéticos na engenharia ocorreram na década de 50 em obras hidráulicas e de proteção costeira, em países como EUA, Holanda e Alemanha (Saathoff *et al.*, 2007). No Brasil, os geossintéticos ainda são pouco utilizados para controle de erosão

costeira. Entretanto, essa situação deve se alterar nos próximos anos, a julgar pelo crescimento desse tipo de aplicação no contexto mundial (Santos Júnior *et al.*, 2010). Devido à sua utilização ser relativamente nova, a durabilidade, em longo prazo, de alguns materiais sintéticos, em ambiente costeiro, ainda tem que ser determinada (U.S Army, 2002e).

De acordo com Marques (2004), os geossintéticos, empregados para o controle de erosões, devem atender aos seguintes requisitos:

- Reter os finos provenientes dos solos subjacentes ou dos materiais erodíveis transportados e
- Resistir às velocidades de escoamentos e aos esforços tangenciais provocados pelo fluxo de águas superficiais.

Camadas de materiais granulares são usadas entre o solo a ser protegido e a camada de proteção externa. No entanto, estas camadas granulares podem ser substituídas por geotêxtil, de maneira individual ou não, tornando a execução mais fácil e reduzindo os custos, como mostra a Figura 2.8.

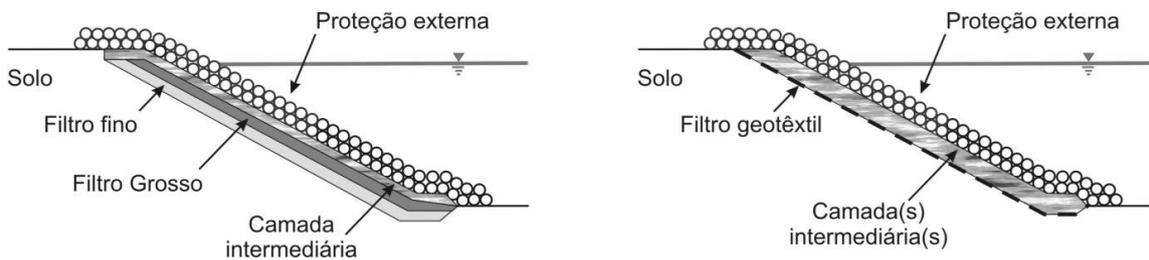


Figura 2.8 – Revestimentos de taludes empregando filtro granulares e filtro geotêxtil (modificado - Lawson, 1992).

Segundo John (1987), a primeira vez que o geotêxtil foi empregado para o controle de erosão foi em 1956, na Holanda, em um projeto contra inundações. Estima-se que, cerca de 10.000.000 m<sup>3</sup> de geotêxtil foram usados neste projeto, o que tornou extensivo o uso do geotêxtil em substituição aos filtros granulares nos anos seguintes. Segundo o mesmo autor, inicialmente, o uso de geotêxteis não era rentável e as aplicações eram limitadas a locais onde não havia fonte de material granular desejado.

Segundo Carroll *et al.* (1992) e U.S. Army (2002e), nos Estados Unidos, a utilização pioneira de geotêxtil ocorreu em 1958, sob blocos de concreto. O geotêxtil preveniu a erosão causada pela chuva, escoamento superficial e ação das ondas.

Segundo Lawson (1992) e por Barrett 1966, citado por U.S Army (2002e), os geotêxteis oferecem algumas vantagens em relação às camadas granulares como:

- Permite projetos flexíveis, levando em conta a granulometria do material que compõe a camada adjacente ao geotêxtil;
- Facilidade de instalação de geometrias de camadas granulares específicas, em muitos casos abaixo no nível d'água; e
- Em geral, apenas uma inspeção visual é necessária para garantir que a instalação do geotêxtil foi realizada corretamente para garantir um desempenho satisfatório.
- É uniforme devido à sua fabricação;
- Pode suportar tensões de tração;
- A sua utilização, em comparação ao filtro convencional, pode ter menor custo; e
- Geralmente é resistente ao ataque químico e biológico, mas pode se deteriorar quando exposto à radiação ultravioleta, o que pode ser amenizado com o cobrimento do filtro com outros materiais.

Algumas aplicações de geotêxtil como elemento integrante de obras contra erosão são mostradas na Figura 2.9.

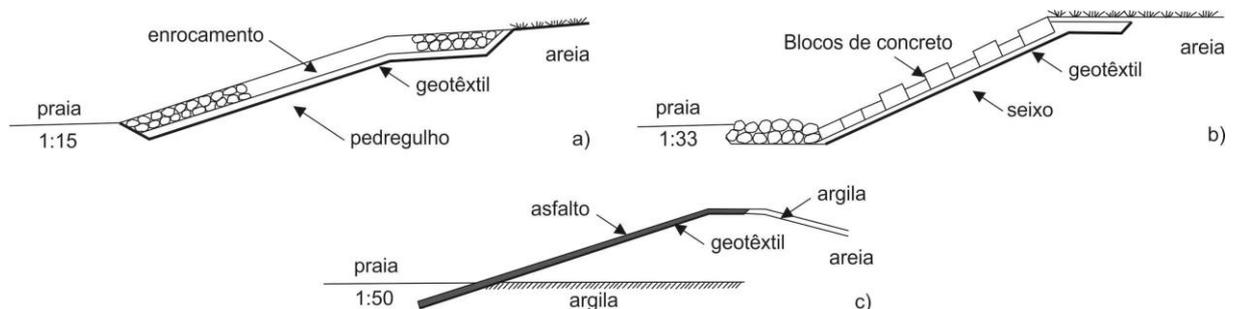


Figura 2.9 – Uso de geotêxtil como elemento integrante do sistema de proteção. a) abaixo do enrocamento, b) abaixo de blocos de concreto, c) abaixo de camada de asfalto. Fonte: U.S. Army (2002d).

De acordo com Faure *et al.* (2010) e Chen *et al.* (2008a), o fluxo através do filtro geotêxtil pode se apresentar sob três regimes hidráulicos distintos, de acordo com a região considerada, como mostra a Figura 2.10(a). As regiões são caracterizadas da seguinte forma:

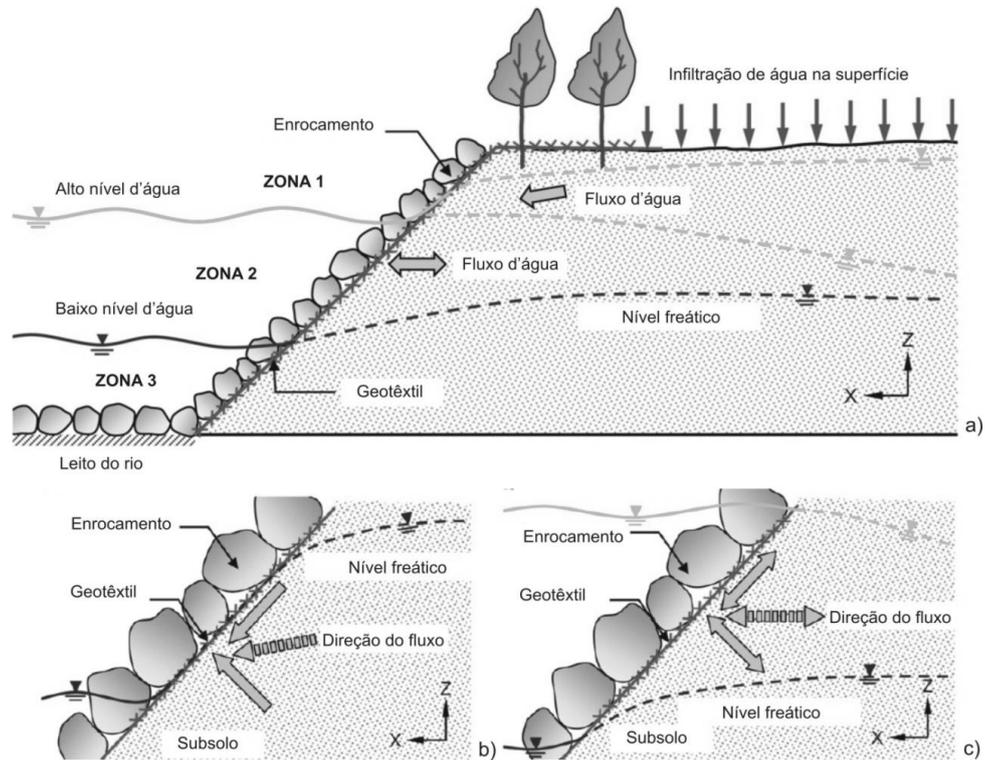


Figura 2.10 – Fluxo através do geotêxtil: a) seção transversal, b) detalhe da zona 1: fluxo unidirecional, c) detalhe da zona 2: fluxo cíclico (modificado - Faure *et al.*, 2010).

- Zona 1 (acima do nível d'água): fluxo unidirecional. O fluxo é dividido em dois componentes: perpendicular e tangencial à interface. De acordo com Faure *et al.* (2010), a grande maioria das pesquisas estão relacionadas a essa condição de fluxo (Figura 2.10b).

- Zona 2 (entre os níveis d'água baixo e alto): fluxo reverso e carregamento cíclico. A percolação através do sistema solo-geotêxtil é função do gradiente hidráulico que é causado pela flutuação do nível d'água ou pela ação das ondas. Os mecanismos de erosão são complexos e são provocados pelos fluxos cíclicos perpendicular e paralelo ao talude (Faure *et al.*, 2010) (Figura 2.10c).

- Zona 3 (abaixo do nível d'água): fluxo unidirecional. A percolação de água através do sistema é insignificante devido ao baixo gradiente hidráulico entre as faces do sistema de proteção. O comportamento erosivo não é evidente nessa zona. De qualquer forma, o principal problema erosivo nesta região é causado pelo fluxo tangencial, sendo este mecanismo diferente do fluxo unidirecional.

O impacto das ondas em taludes pode causar o aumento da poropressão próximo da face do talude tendo uma natureza cíclica, com reversão do sentido de fluxo (Chen *et al.* 2008a, Faure *et al.* 2010). Pode aumentar o valor do gradiente hidráulico nesta região. Esses fatores podem causar instabilidade no revestimento do talude se o filtro for inexistente entre o solo e o mesmo. Nessa aplicação, o filtro geotêxtil é submetido a condições severas de fluxo, o que pode comprometer a capacidade de retenção ou causar colmatação, se a formação do auto filtro for dificultada devido ao fluxo cíclico. Essa situação pode ser agravada devido à variação do nível d'água nas marés e nos períodos de seca nos rios.

Young *et al.* (2008) observaram o fenômeno de liquefação em taludes experimentais de areia e em análises numéricas que levaram em consideração os efeitos da onda solitária (tsunami). Segundo esses autores, o aumento da poropressão nos taludes é consequência da compressão da massa de solo causada pelo impacto da onda e pela infiltração da água. Oumeracy & Partensky (1990) estudaram a influência da altura da onda nos valores de poropressão geradas em um canal hidráulico, com a quebra da onda sob filtros granulares. O aumento da altura da onda causa o aumento da poropressão devido ao impacto da onda.

Em se tratando de filtros, deve-se atentar a critérios que resultem em desempenhos satisfatórios. Vários critérios de filtro geotêxtil, submetido a fluxo cíclico, foram desenvolvidos. (Heerten 1982, Lawson 1982, Ingold 1985, Chen & Chen 1986, Luettich *et al.* 1992, Holtz *et al.* 1997, Hameiri 2000, Mlynarek 2000, Aydilek 2006). Holtz *et al.* (1997) apresentam as principais considerações que devem ser observada quando o filtro geotêxtil é submetido à ação de fluxos cíclicos ou dinâmicos, obras costeiras ou ferrovias. São elas:

- **Permeabilidade e capacidade de fluxo:** em bordos de cursos d'água, reservatórios e regiões costeiras é comum o surgimento de altas pressões hidráulicas induzidas pelas correntezas e pelas ondas, o que pode provocar o deslocamento do geotêxtil do solo subjacente. A fim de evitar esse processo, usualmente coloca-se uma camada protetora de pedras ou blocos de rocha como sobrecarga para fixação do geotêxtil. Esta camada também serve de proteção para o sistema contra o impacto de ondas. Entretanto, ainda assim pode haver descolamento do geotêxtil do solo nos vazios entre elementos do riprap devido à ação de ondas.

- **Colmatação para fluxo cíclicos ou dinâmicos:** considerando que os sistemas de controle de erosão são frequentemente usados sob condições hidráulicas severas, deve-se considerar na fase de elaboração de projetos as situações mais críticas a que o geotêxtil estará submetido.

- **Sobrevivência:** as principais propriedades associadas às solicitações mecânicas nas fases de instalação e construção são: resistência à tração, resistência à penetração, perfuração ou rasgo e resistência à abrasão. Deve-se também levar em conta a influência de raios ultravioleta, fluência, etc. sobre as propriedades relevantes do geotêxtil.

- **Retenção para fluxo cíclicos ou dinâmicos:** nestas condições de fluxo, as partículas de solo podem migrar através do geotêxtil com maior facilidade do que em condições de fluxo permanente. Segundo Pilarczyk (2001), a estrutura interna do solo pode ser perturbada devido à ação das ondas. Neste caso, o solo deve ser compactado e deve-se também garantir uma satisfatória interação com o geotêxtil.

Os principais critérios de retenção para filtros geotêxteis são apresentados na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Principais critérios de retenção para fluxo cíclico.

Método		Critério
Lawson (1982)		$D_{15} \leq O_{90} \leq D_{50}$
Heerten (1982)	Carregamento Cíclico	$O_{90} < D_{50}$
	Material coesivo	$O_{90} < 10D_{50}$ $O_{90} \leq D_{90}$ $O_{90} \leq 0,1 \text{ mm}$
ASPG (1985)	$D_{40} > 0,06 \text{ mm}$	$O_{90} \leq 1,5D_{10}(Cu)^{1/2}$ $O_{90} \leq D_{60}$
Ingold (1985)		$O_{90}w < D_{50}$
DGEG (1986)	$D_{40} > 0,06 \text{ mm}$	$O_{90} < D_{90}$
	$D_{40} \leq 0,06 \text{ mm}$	$O_{90} \leq 1,5D_{10}(Cu)^{1/2}$ $O_{90} < D_{50}$ $O_{90} < 0,5 \text{ mm}$
CFGG (1986)	Areia fofa $Cu > 4$	$O_{90} < 0,6 D_{85}$
PIANC (1987)	$Cu > 5$	$0,05 \text{ mm} < O_{90} < D_{90}$
	$Cu < 5$	$0,05 \text{ mm} < O_{90} < 0,7D_{90}$
Holtz <i>et al.</i> (1997)		$O_{95} \leq 0,5 D_{85}$
CGS (1992)	<50% passante #200 (0,074 mm)	$O_{95} < D_{15}$
	>50% passante #200 (0,074 mm)	Mínimo um dos critérios: $O_{95} < 0,5D_{15}$ $O_{95} < 0,3 \text{ mm}$
Mlynarek (2000)	$D_{50} \geq 0,075 \text{ mm}$ e $Cu < 6$	$O_{90} < 0,8 D_{50}$ ou $0,15 \text{ mm} < O_{90} < D_{50}$

Onde:  $D_x$  = n% das partículas do solo possuem diâmetro D inferiores a ele,  $O_x$  = abertura de filtração,  $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  = coeficiente de uniformidade.

Chen *et al.* (2008b) realizaram ensaios com fluxo cíclico e concluíram que a poropressão e o tipo de solo desempenham papéis importantes no comportamento filtrante do sistema solo-geotêxtil. Análise de imagens mostraram que a colmatação do filtro, submetido a condições cíclicas, não é relevante sob fluxos unidirecionais. A longo prazo, as partículas de solo, próximas ao filtro geotêxtil, podem formar um sistema auto-filtrante.

Faure *et al.* (2010) realizaram ensaios empregando um canal hidráulico analisando o desempenho de filtros geotêxteis abaixo dos revestimentos e camadas de proteção. Os autores concluíram que utilizando um geotêxtil espesso com um baixo número de restrições seria o mais adequado para a proteção do solo sob fluxo cíclico. Destacam também, a importância de um bom contato entre o solo e o filtro geotêxtil nesse tipo de aplicação. Além disso, os autores afirmam que um critério de projeto adequado deve considerar outros critérios além da abertura de filtração, tais como a condutividade hidráulica, a energia da ação das ondas e a estabilidade do talude.

O processo erosivo, devido ao impacto de ondas, é considerado complexo, particularmente quando as ondas quebram sobre o talude (PIANC, 1987). As pesquisas realizadas nesta área que mais se aproximam das condições de campo, utilizam um canal hidráulico. Dentre elas destacam-se os trabalhos de Yasuhara & Recio (2007), Recio & Oumeraci (2007), Cantelmo *et al.* (2010) e Faure *et al.* (2010).

## **2.4 ESTUDOS EM LABORATÓRIO UTILIZANDO CANAIS E GEOSSINTÉTICOS**

São poucos os estudos em laboratório que utilizaram canais hidráulicos para simular o efeito do impacto de ondas em superfícies de revestimentos de taludes empregando geossintéticos (Yasuhara & Recio, 2007; Recio & Oumeraci, 2007; Faure *et al.*, 2010 e Faure & Lelay 2002). Nestes trabalhos foi desenvolvido um dispositivo gerador de ondas, por meio de um motor elétrico com diferentes frequências de rotação, que possibilita a formação de ondas com diferentes alturas, períodos e frequências. As inclinações dos taludes, localizados na extremidade oposta à do gerador de ondas, variaram de 45° a 60°. O geossintético mais utilizado foi a geofoma, onde o material de enchimento é encamisado por um saco de

geotêxtil tecido ou não tecido. Foram empregados enrocamentos e blocos de concreto em contato com geotêxtil não tecido. A Tabela 2.8 apresenta um resumo das principais características das pesquisas realizadas.

Tabela 2.8 – Estudo em laboratório que utilizaram canais com gerador de ondas.

Autores	Dimensões do canal	Mecanismo de ondas	Revestimento	Condições de contorno	Informações fornecidas	Conclusões
Yasuhara & Recio (2007)		 - $\alpha = 60^\circ$ (1:1,73) - altura de onda: 0,18 a 0,22 m - período: 2 a 4 s - modelo reduzido (1:8)	- areia envelopada frontalmente apenas (GWR) com geotêxtil tecido (0,40 x 0,48 x 0,45 m) (L x A x P) - FOS <sub>50</sub> = 0,5 mm - geocomposto (geotêxtil não tecido envelopando um geotêxtil tecido)	- variação do tipo de GWR - variação do tipo de fundação - variação da altura das ondas - variação do período - variação do reforço entre as camadas de areia ensacada	- deformação vertical e lateral	- a região crítica que compromete a estabilidade do revestimento está localizada imediatamente abaixo do nível d'água - deformações no revestimento ocorrem com a subida da onda
Recio & Oumeraci (2007)		 - $\alpha = 40^\circ$ (1V:1,1H) - altura de onda: 0,08 a 0,20 m - período: 1,5 a 4 s - altura de água: 0,52; 0,61 e 0,70 m - modelo reduzido (1:8)	- areia ensacada com geotêxtil (GSCs) (2 x 0,6 x 3 m) (L x A x P)	- variação da altura das ondas - variação do período - variação do nível d'água	- força devido a ação das ondas no GSCs - poropressão na área de contato entre os sacos - entendimento do processo de deformação e deslocamento do sistema de GSCs - movimento da areia no interior do saco	- estabilidade do talude apresentou-se comprometida durante a subida da onda no mesmo - o movimento da areia no interior do geotêxtil influencia na estabilidade do revestimento
Faure <i>et al.</i> (2010)		- $\alpha = 27^\circ$ (1V:2H), $22^\circ$ (1V:2,5H) - frequência: 0,5 Hz - altura da água: 0,90 m - solo: areia siltosa (não coesiva) - massa específica seca: 1,6 g/cm <sup>3</sup> - variação da amplitude (deslocamento da haste do motor): 14, 19, 24, 29 e 34 cm	- 2 geotêxtil não tecidos agulhados - 170 g/m <sup>2</sup> , t <sub>GT</sub> = 1, 7 mm, FOS=0,08 mm - 1100 g/m <sup>2</sup> , t <sub>GT</sub> = 7, 8 mm, FOS= 0,08 mm - blocos de concreto (0,31 x 0,15 x 0,31 m) (L x A x P) - piezômetro P1 (200 mm abaixo do NA e 50 mm abaixo do geotêxtil) - piezômetro P2 (160 mm abaixo do NA e imediatamente acima do geotêxtil) - riprap	- variação do geotêxtil - variação da amplitude - variação inclinação do talude	- turbidez da água - carga piezométrica - deslocamento horizontal - deslocamento vertical e - granulometria do solo entre o riprap e sob o riprap em diferentes profundidades	- complexo mecanismo de erosão no talude na área de contato com o geotêxtil - o contato entre o solo e o filtro geotêxtil foi relevante para retenção de solo - os critérios de retenção que utilizaram a abertura de filtração O <sub>90</sub> CFGG (1986), PLANC (1987), Holtz <i>et al.</i> (1998) e Mlynarek (2000) não garantiram um bom desempenho do sistema filtrante solo/geotêxtil diante das condições de fluxo cíclico
Faure & Lirigm (2002)		- altura da água: 1,00 m - $\alpha = 27^\circ$ (1:2) - solo: areia fina siltosa - massa específica massa: 1,6 g/cm <sup>3</sup> - frequência: 0,5 Hz - tempo de ensaio: 5 e 15 dias - variação da amplitude (deslocamento da haste do motor): 140, 190, 240, 290 e 340 mm	- 2 geotêxtil não tecidos agulhados - 170 g/m <sup>2</sup> , t <sub>GT</sub> = 1, 7 mm, FOS=0,08 mm - 1100 g/m <sup>2</sup> , t <sub>GT</sub> = 7, 8 mm, FOS= 0,08 mm - (0,31 x 1 x 3 m) (L x A x P)	- variação do geotêxtil - variação da amplitude	- turbidez da água - deslocamento vertical - granulometria do solo abaixo do geotêxtil (diferentes profundidades) e passante (depositado entre as rochas)	- ensaios com construção complexa - condições hidrodinâmicas geradas no talude foram semelhantes às condições reais - o equipamento mostrou ser adequado para os propósitos da pesquisa

Notas: L = largura, A = altura, P = profundidade, t<sub>GT</sub>= espessura, FOS= abertura de filtração, V= distância vertical, H=distância horizontal, N.A= nível de água.

## CAPÍTULO III

### 3 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

#### 3.1 EQUIPAMENTOS

##### 3.1.1 CANAL HIDRÁULICO COM GERADOR DE ONDAS

Para a execução do programa experimental de ensaios, houve a necessidade de construir um canal hidráulico com gerador de ondas no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB). A sua construção baseou-se em um canal já existente no Laboratório de Hidráulica do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília. A escolha do tipo de gerador de ondas utilizado teve como base os estudos realizados por Souza & Morishita (2003). A Figura 3.1 mostra o esquema do canal hidráulico, formado por três partes principais: canal hidráulico propriamente dito, sistema de abastecimento/esgotamento de água e o sistema gerador de ondas. A Figura 3.2 apresenta o canal previamente montado, sem a rampa metálica. Uma vista geral do equipamento, com ensaio sendo executado, que empregou areia + RCD-R sem filtro, no tempo  $t=3$  s, é mostrada na Figura 3.3.

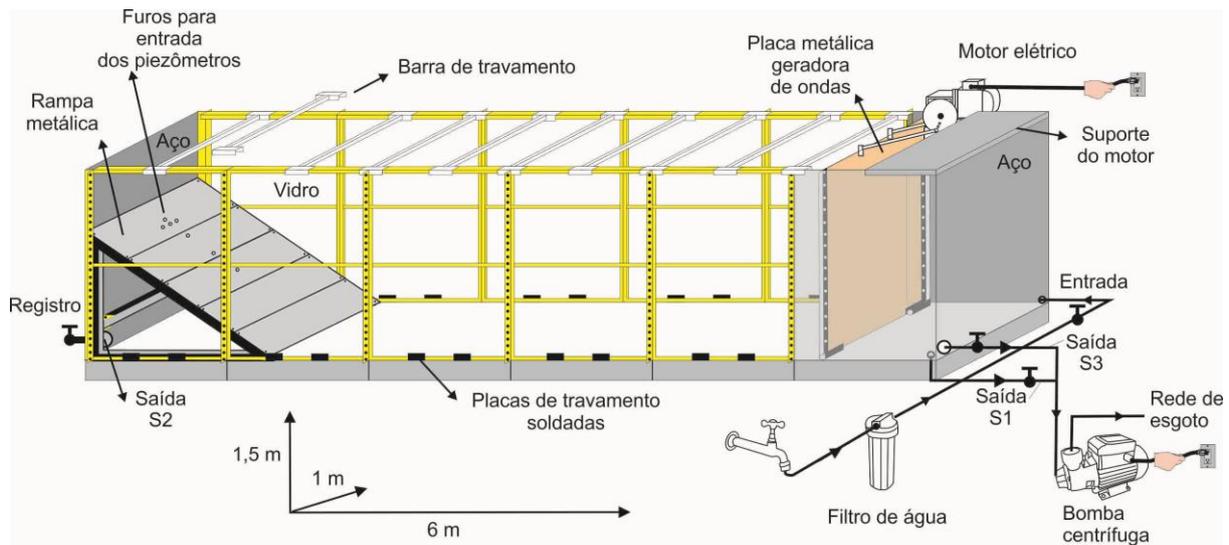


Figura 3.1 - Esquema do canal hidráulico, sem escala.

O canal hidráulico, propriamente dito, possui 6 m de extensão, 1,5 m de altura e 1 m de largura. É formado por chapas de aço nas extremidades e 10 painéis de vidro temperado de 1 m de comprimento, 1,5 de altura e 10 mm de espessura. A altura do canal foi estabelecida em função do somatório da altura da lâmina de água, altura da onda formada e uma sobre altura de segurança. A largura de 1 m foi estabelecida para que uma pessoa pudesse ter o mínimo de

mobilidade dentro do canal. O comprimento de 6 m foi o máximo comprimento obtido em função do espaço disponível no laboratório.



Figura 3.2 – Equipamento sem a rampa metálica.



Figura 3.3 – Equipamento, sem a rampa metálica, com o ensaio sendo executado.

Foi escolhido o vidro tipo temperado para ser utilizado nas laterais do canal, por possuir uma resistência à ruptura superior quando comparado à resistência do vidro comum, em geral de três a cinco vezes, devido ao processo de têmpera. A espessura do vidro foi obtida com base

na norma ABNT (1989) - Projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil, substituindo o valor da pressão de vento pela pressão da água, e com base em FNZAS (2011) “*Federation of New Zealand Aquatic Societies*”. No primeiro caso, foi encontrado uma espessura de 16 mm, e no segundo, 5,3 mm. Desta forma, foi adotada uma espessura de 10 mm para o vidro temperado.

A estrutura do canal pode ser facilmente desmontada, pois suas laterais não foram soldadas entre si. Possui um sistema de travamento localizado na parte inferior de cada painel lateral. Esse travamento é formado por pequenas placas soldadas ao longo dos lados do canal, na sua base, a fim de impedir o movimento lateral das faces. Outro sistema de travamento é composto por dez barras de travamento. Estão localizadas na parte superior do canal e são fixadas nas laterais do mesmo. A base do canal é formada por 6 bases quadradas com 80 mm de altura, que foram colocadas sobre uma manta geotêxtil com gramatura de  $600 \text{ g/m}^2$ , com 1 m de largura e 6 m de comprimento sobre o piso do laboratório, a fim de minimizar problemas de nivelamento. Sobre as peças quadradas da base, colocou-se uma chapa contínua de aço inoxidável com 1 mm de espessura, como mostrado nas Figuras 3.4. Outras informações referentes ao projeto do canal são apresentadas no Apêndice B.

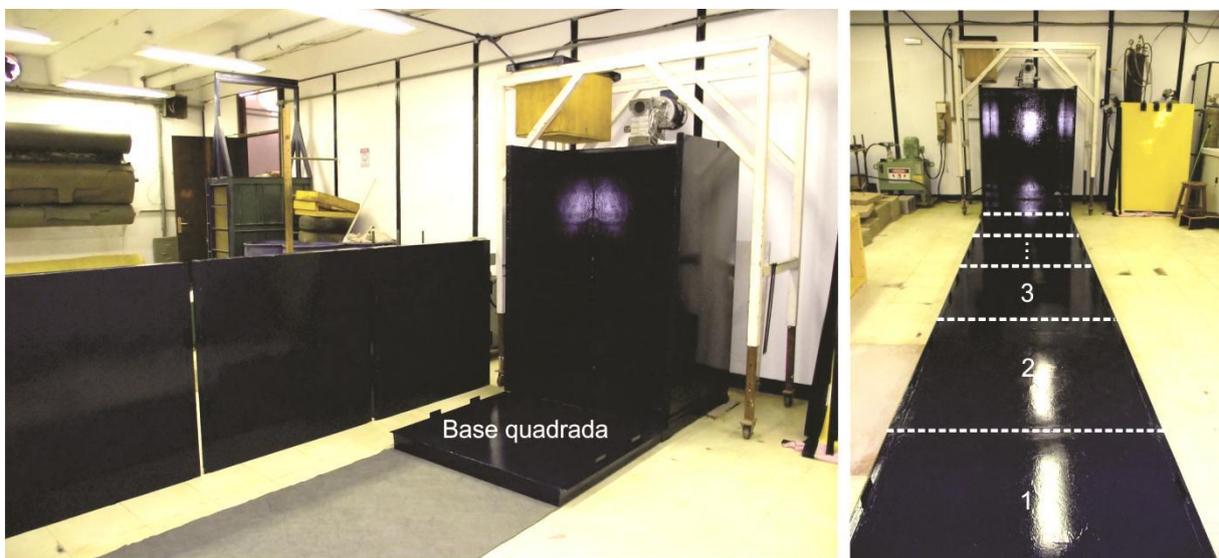


Figura 3.4 – Base do canal hidráulico.

A fim de reduzir a massa de material utilizado na formação do talude, foi projetada e construída uma rampa metálica com inclinação de  $35^\circ$ . Desta maneira, foi necessário em cada ensaio aproximadamente 220 kg de material seco, formando uma camada de 20 cm de

espessura, de acordo com a Figura 3.5. Esta rampa não foi utilizada nos primeiros dois ensaios do total de 9 ensaios realizados. Os resultados de ensaios iniciais com todo o talude (região triangular na Figura 3.5) mostraram que não era necessário um volume de solo tão grande para os objetivos da pesquisa. A rampa metálica é formada por duas placas retangulares, duas barras que as unem, cinco placas metálicas adicionais e uma chapa de sustentação do solo e do revestimento, soldada perpendicularmente à rampa, como apresentado na Figura 3.5. Houve a necessidade da colocação de canaletas de alumínio para vedação lateral, que foram fixadas com silicone, no vidro, de acordo com a Figura 3.5.

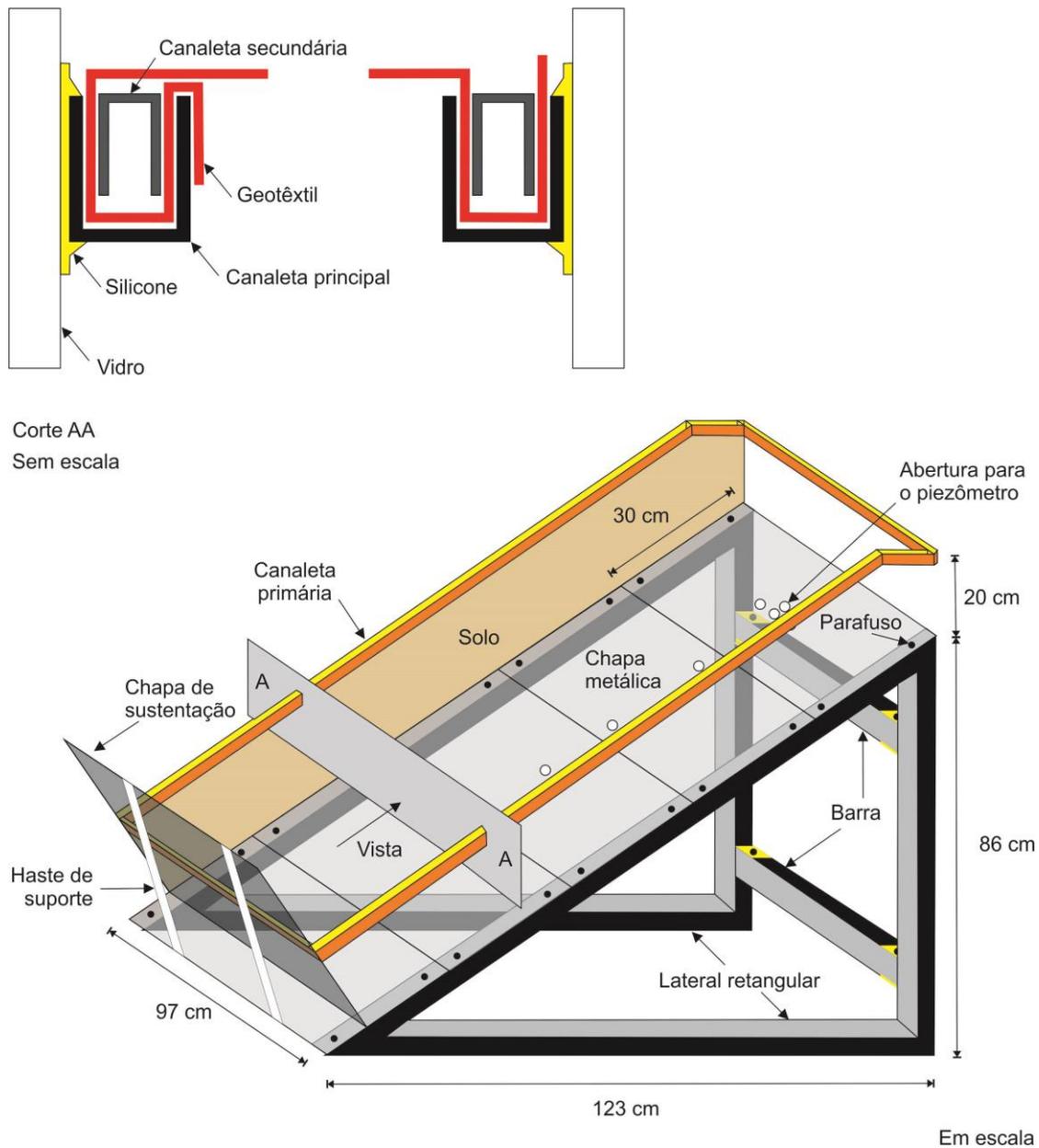


Figura 3.5 – Esquema da rampa metálica.

O sistema de abastecimento/esgotamento de água é formado por uma entrada de água da rede pública na parte inferior em uma das extremidades do canal. Para eliminar algum material oxidado proveniente da tubulação de água do prédio, foi utilizado um filtro de água na parte externa do canal. Em relação à saída de água, existem três saídas denominadas S1 (saída principal localizada no fundo do canal), e duas saídas alternativas, denominadas S2 e S3, localizadas nas extremidades do canal. Uma bomba centrífuga foi instalada na saída S1, saída julgada pertinente, para a retirada de 85% da água do interior do canal durante seu esvaziamento. O restante da água (15%) era retirado com a ajuda de um aspirador industrial, sendo também possível a coleta do material erodido depositado no fundo do canal.

O sistema gerador de ondas é formado por um motor elétrico, um redutor de frequência do motor, dois discos conectados no eixo duplo de saída do redutor e uma placa móvel que se movimenta por meio de duas hastes conectadas aos discos e que provoca ondas idênticas, conforme mostra a Figura 3.6. A Figura 3.7 apresenta o encaixe inferior da placa geradora de ondas na base do canal. As principais características das ondas são apresentadas na Tabela 3.1. Um resumo dos principais componentes do equipamento e suas características básicas é mostrado na Tabela 3.2.

### **3.1.2 INSTRUMENTAÇÃO E SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

Para a obtenção das poropressões no interior do solo do talude foram adquiridos seis transdutores de pressão elétricos da empresa Sensym Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda, modelo STP 102, como mostra a Figura 3.8. As principais características do instrumento são mostradas na Tabela 3.3. A partir dos transdutores, foram confeccionados piezômetros, com a incorporação de pedra porosa, que foram conectados a um aquisitor de dados *Spider 8*, da HBM, ligado a um sistema computacional que utiliza o software *Catman®*.

Utilizando areia, passante na peneira #4, 0,425 mm, e retida na peneira #60, 0,250 mm, foram confeccionadas as seis pedras porosas localizadas nas extremidades das mangueiras de nível conectadas aos transdutores de pressão.

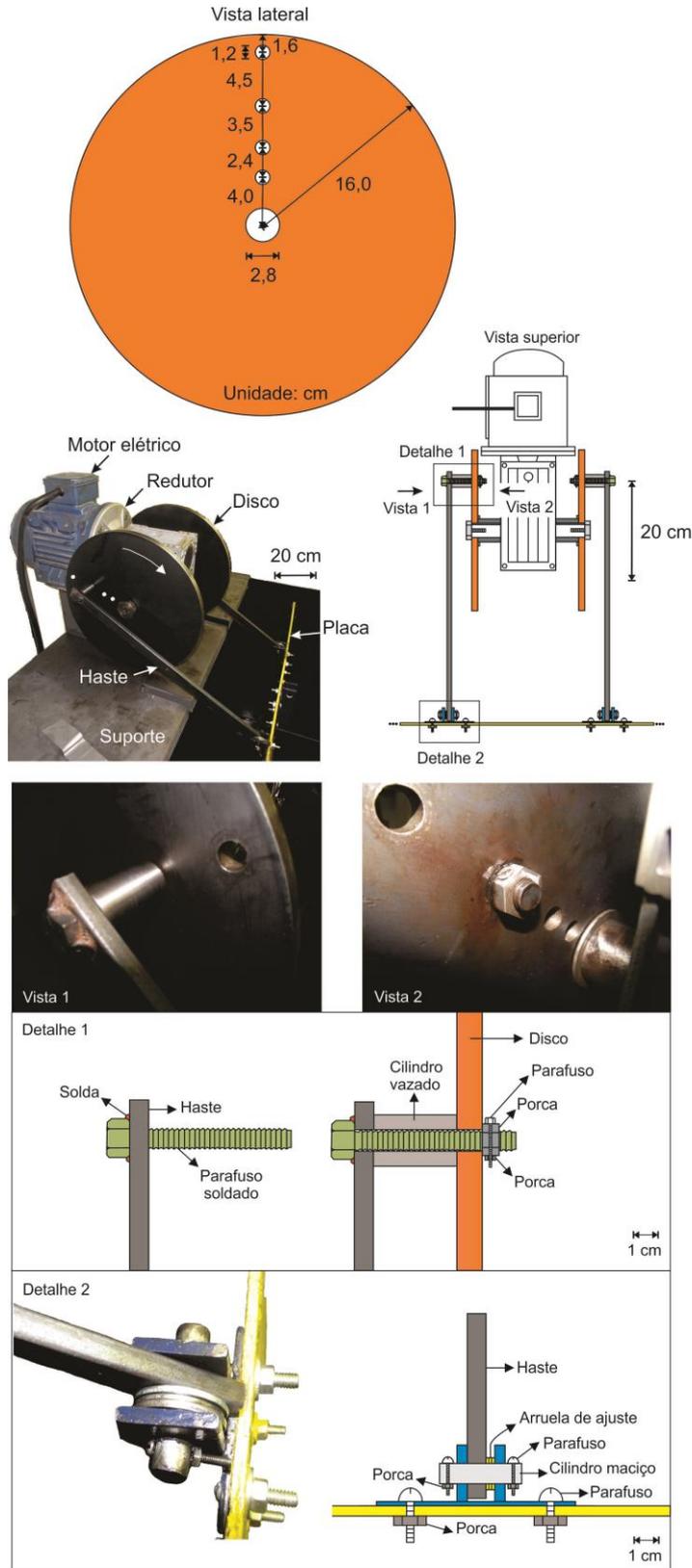


Figura 3.6 – Sistema gerador de ondas formado por um motoredutor, disco metálico, duas hastes metálicas e uma placa móvel.

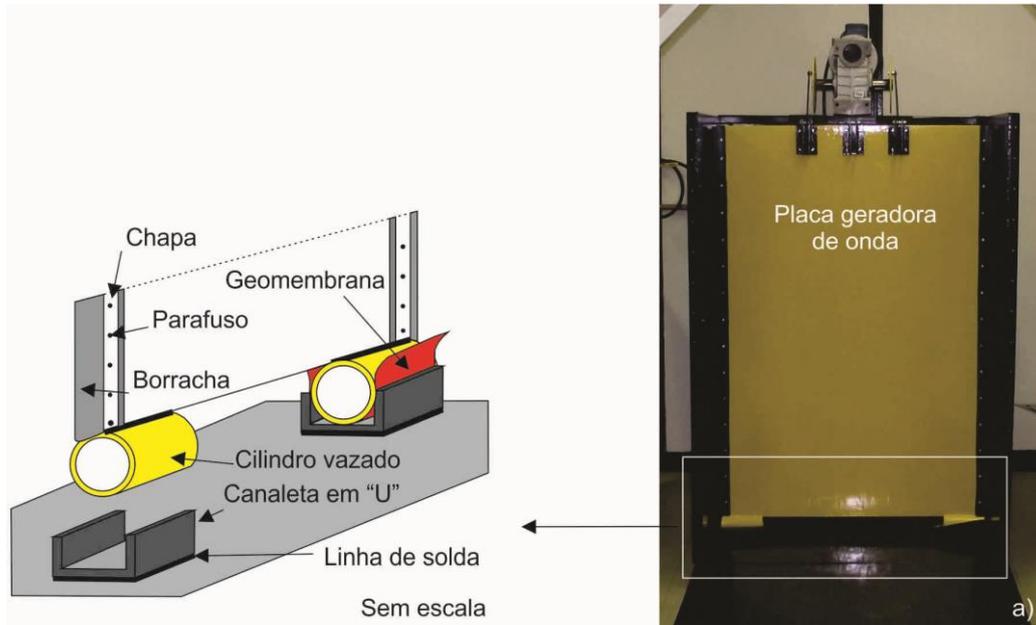


Figura 3.7 – Encaixe inferior da placa geradora de ondas.

Tabela 3.1 - Características da onda gerada.

Características da onda		Obtenção		
frequência (f)	1,13 Hz	igual à frequência de saída do redutor		
período (T)	0,88 s	$T = \frac{1}{f}$		Equação 3.1
comprimento de onda (L)	2,00 m	fotografia digital		
velocidade da onda (v)	1,37 m/s	$v = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi}$	$g =$ aceleração da gravidade $\pi =$ pi (3,1415)	Equação 3.2
amplitude (A)	0,11 m	fotografia digital		
altura (H)	0,22 m	$H = 2 \cdot A$		Equação 3.3
energia mecânica (E=EC + EP)	72 J (L=1,22 m) 120 J (L=2 m)	$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot A^2 \cdot L \cdot z$	$\rho =$ massa volumétrica da água (1000 Kg/m <sup>3</sup> ) $z =$ extensão da frente de onda (1 m, igual a largura do canal).	Equação 3.4
Airy (1845)	d/L=	$1/20 < d/L < 1/2$	d = profundidade da lâmina de água	Águas intermediárias

Tabela 3.2 – Resumo do equipamento.

Principais componentes		Características	Função	Quantidade
Canal hidráulico	comprimento total: 6 m		largura: 1 m	altura: 1,5 m
	Base quadrada	comprimento: 1 m largura: 1 m altura: 1,5 m espessura do perfil de aço: 5 mm	estrutural	6
	vidro temperado	comprimento: 1,5 m largura: 1 m espessura: 10 mm	estrutural	10

	chapa metálica de aço inoxidável na base do canal	comprimento: 5 m largura: 1 m espessura: 1 mm	Estrutural e regularização do fundo	1
	borracha	espessura: 3 mm	amortecimento da pressão de água no vidro	Várias
Sistema de abastecimento/esvaziamento de água:	 <p>selante adesivo</p>	monocomponente marca: Pesilox Fixtudo Construção	vedação	vários
	 <p>manta asfáltica (fita auto-adesiva aluminizada)</p>	comprimento: 10 m largura: 0,15 m espessura: 3 mm aplicação a frio e manual marca: Seladin	vedação	2 rolos
	canos, conexões, mangueiras e registros hidráulicas de PVC	–	hidráulica	vários
	 <p>filtro de água</p>	diâmetro: 12 cm altura: 31 cm vazão de saída: 180 l/h grau de filtração: 5 µm marca: Pentair Hidro Filter modelo: Hidro Filter POU 9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> ” BR Carbon	filtração	1
	 <p>bomba centrífuga</p>	potência: ½ CV marca: Eletroblas modelo: ICS-50B altura manométrica: 34 M.C.A vazão máxima: 2,1 m <sup>3</sup> /h	esvaziamento de 85% da água do canal	1
	 <p>aspirador profissional</p>	materiais secos e líquidos marca: Ridgid modelo WD1851 capacidade: 60,8 l potência: 4849 W	esvaziamento de 15% da água do canal	1
Sistema gerador de ondas:	 <p>motor elétrico</p>	potência: 1,5 CV frequência: 60 Hz nº pólos: 4 pólos voltagem: 220/380V grau de proteção: IP55 eixo duplo de saída marca: Voges	movimentação da placa geradora de ondas	1

	 <p>redução: 1/25 torque: 17,8 Nm frequência: 68 rpm marca: IBR Redutores</p>		1	
	placa metálica	comprimento: 1,4 m largura: 1 m espessura: 5 mm	geração de ondas	1
	haste	comprimento: 0,50 m largura: 25 mm espessura: 9mm	braço de alavanca entre os discos e a placa geradora de ondas	2
	disco	diâmetro: 32 m furo central: 28 mm espessura: 12 mm	é movimentado pela rotação do eixo do redutor	2



Figura 3.8 – Sistema para medição de poropressões.

Tabela 3.3- Especificações gerais dos transdutores de pressão fornecidas pelo fabricante.

Alimentação	12 a 36 Vcc
Exatidão	0,5% F.E.
Saída de sinal	0 a 10 Vcc
Conexão (rosca de saída)	3/4
Grau de proteção	IP-65
Tipo de membrana	Aisi 316L de 0 a 25 kPa
Sobre pressão	2 vezes F.E.

A calibração dos piezômetros foi realizada com auxílio do equipamento controlador de pressão e volume denominado *Standard Pressure/Volume Controller*, da *GDS Instruments*,

que é mostrado na Figura 3.9. O equipamento pode ser uma fonte de pressão constante (em intervalos de 1 kPa) que pode substituir a pressão tradicional de outras fontes do laboratório, tais como a coluna de mercúrio, ar comprimido e dispositivos de peso morto. O instrumento pode ser controlado por um computador ou por um teclado próprio.

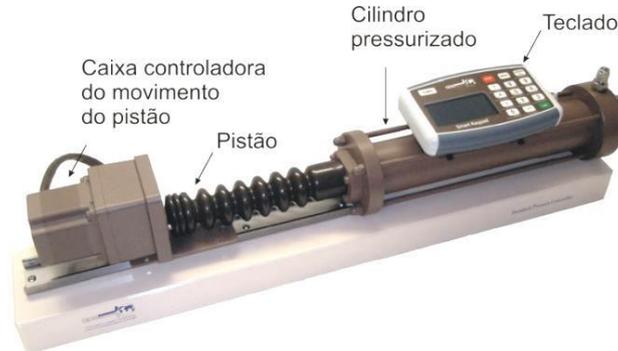
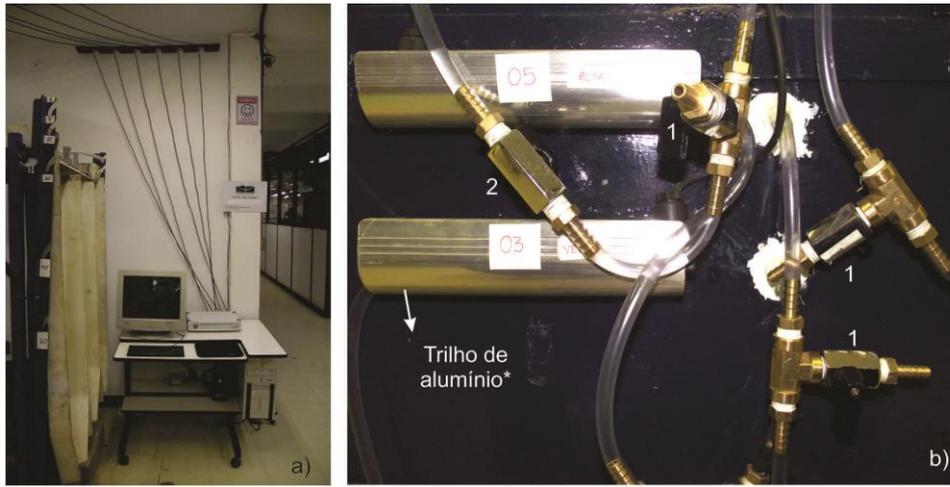


Figura 3.9 - Equipamento controlador de pressão utilizado para calibração dos piezômetros.

Os cabos elétricos dos piezômetros foram suspensos até a extremidade do canal por uma estrutura de madeira para evitar possíveis danos, de acordo com a Figura 3.10(a). Para fixar os piezômetros na extremidade do canal, foram utilizados trilhos de alumínio mostradas na Figura 3.10(b). Para facilitar a retirada de possíveis bolhas de ar, presentes no interior da mangueira de nível, foi necessária a instalação de algumas conexões, como mostra a Figura 3.10(c), e a realização de furos na extremidade do canal, de modo que os transdutores estivessem na mesma altura dos tubos com as pedras porosas. Os furos da extremidade do canal e as mangueiras de nível que passavam através dos mesmos foram vedados com o auxílio de um selante adesivo. Outras informações referentes à montagem dos piezômetros são apresentadas no Apêndice C.

No decorrer dos ensaios, de acordo com a necessidade, a localização dos piezômetros foi modificada de acordo com a Figura 3.11 e a Figura 3.12. Nos ensaios que empregaram areia + RCD-R sem filtro, areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup> e silte + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>, o piezômetro P4 foi instalado na cota da lâmina de água. Em consequência do processo de saturação/desaturação da pedra porosa, devido ao avanço e retrocesso da onda, as poropressões obtidas por este piezômetro não foram satisfatórias, havendo a necessidade de mudança de sua localização. Decidiu-se instalá-lo na cota do vale da onda (entre os piezômetros P3 e P5). No ensaio que foi utilizado o filtro convencional, as extremidades dos piezômetros P5 e P6 avançaram até a camada de areia grossa.



\*Utilizado normalmente na parte superior do box de banheiro.

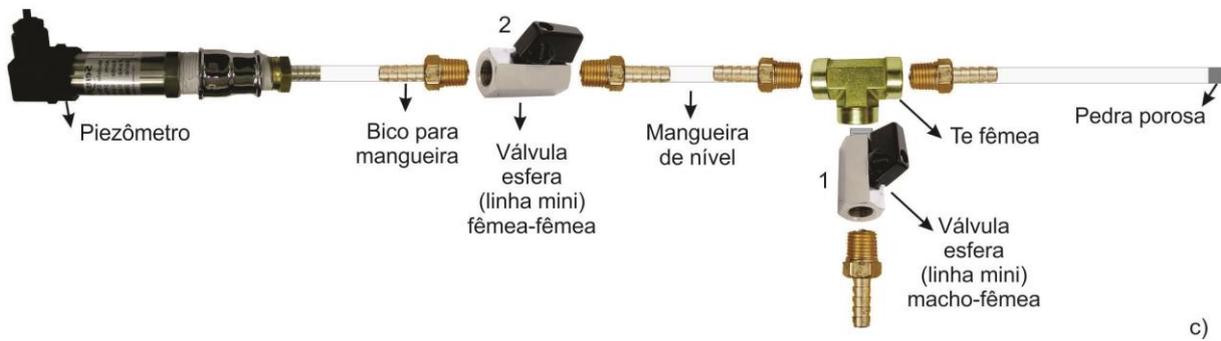
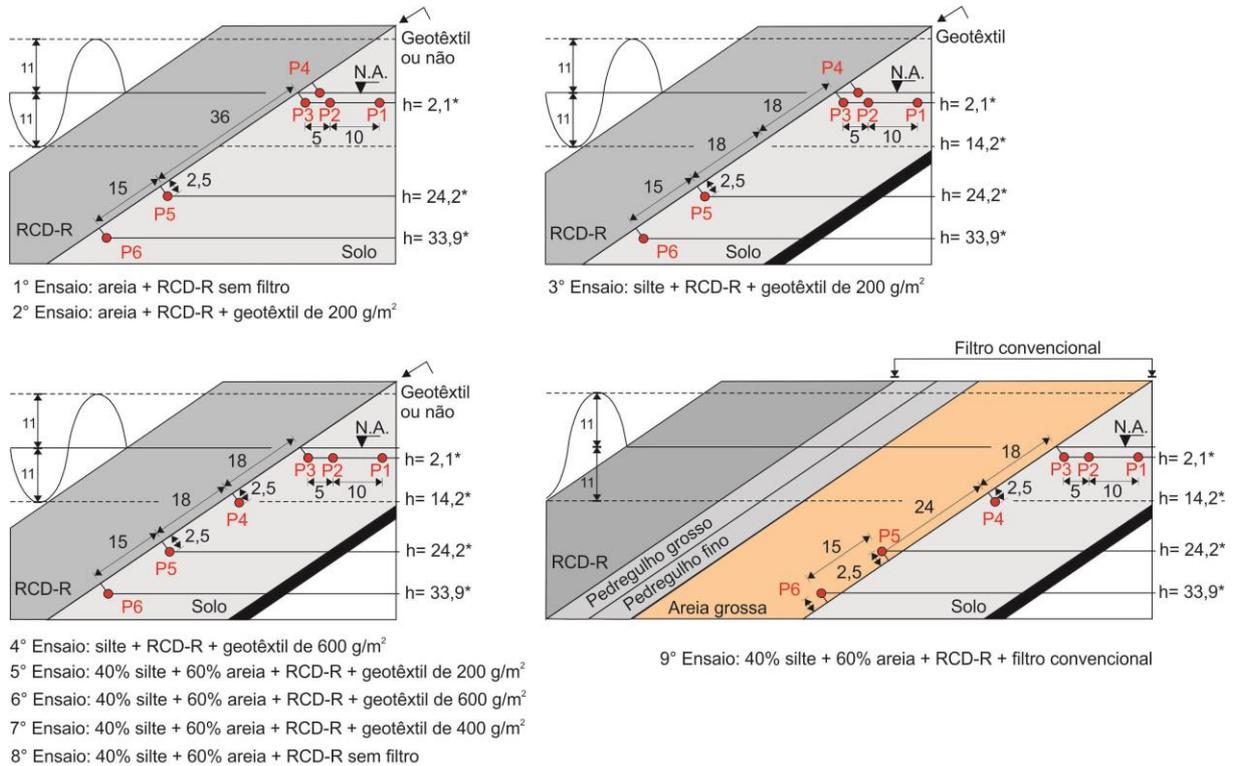


Figura 3.10 – Fixação dos piezômetros: a) fixação dos piezômetros, b) detalhe da fixação dos piezômetros no lado externo do canal, c) conexões utilizadas.

Devido à flexibilidade das mangueiras de nível, as extremidades dos piezômetros eram suspensas por um fio de nylon, para que pudessem se manter na cota desejada. Em seguida, os piezômetros eram saturados com água destilada, eliminando-se as bolhas de ar em seu interior, a fim de evitar possíveis interferências nos valores das poropressões. Após a saturação, o talude era alteado e os fios de nylon cortados. Ao final do enchimento de água no canal, os piezômetros eram novamente saturados, na tentativa de eliminar alguma possível bolha de ar remanescente no interior do piezômetro.



\* Altura aproximada da lâmina de água acima do piezômetro.  
 Unidade: cm

Figura 3.11 – Detalhe da posição dos piezômetros. Desenho em escala.

### 3.1.3 GRANULÔMETRO A LASER

O granulômetro a laser (Figura. 3.13), modelo *S3500 Particle Size Analyzer*, da *Microtrac*, foi utilizado em análises granulométricas de solos e está disponível no Laboratório de Geotecnia da UnB. Possui uma faixa de medição entre 2 mm (#10) e 0,021 mm (menor que #270). Este equipamento permite obter o tamanho de partículas de diferentes materiais e fluídos. O equipamento é formado por três partes fundamentais: um reservatório de fluído, um dispositivo de difração e um microcomputador, juntamente com um software denominado S3500, como mostra a Figura 3.13.

O reservatório de fluído tem o sistema de preenchimento automatizado, podendo circular o fluído, drená-lo, diluir a mistura de solo em fluído e provocar a desaglomeração das partículas por meio de ultrassom. O reservatório permite analisar amostras com densidades de até 15 g/cm<sup>3</sup>, com uma vazão máxima de aproximadamente 234 l/h, utilizada quando as partículas são maiores e mais densas.

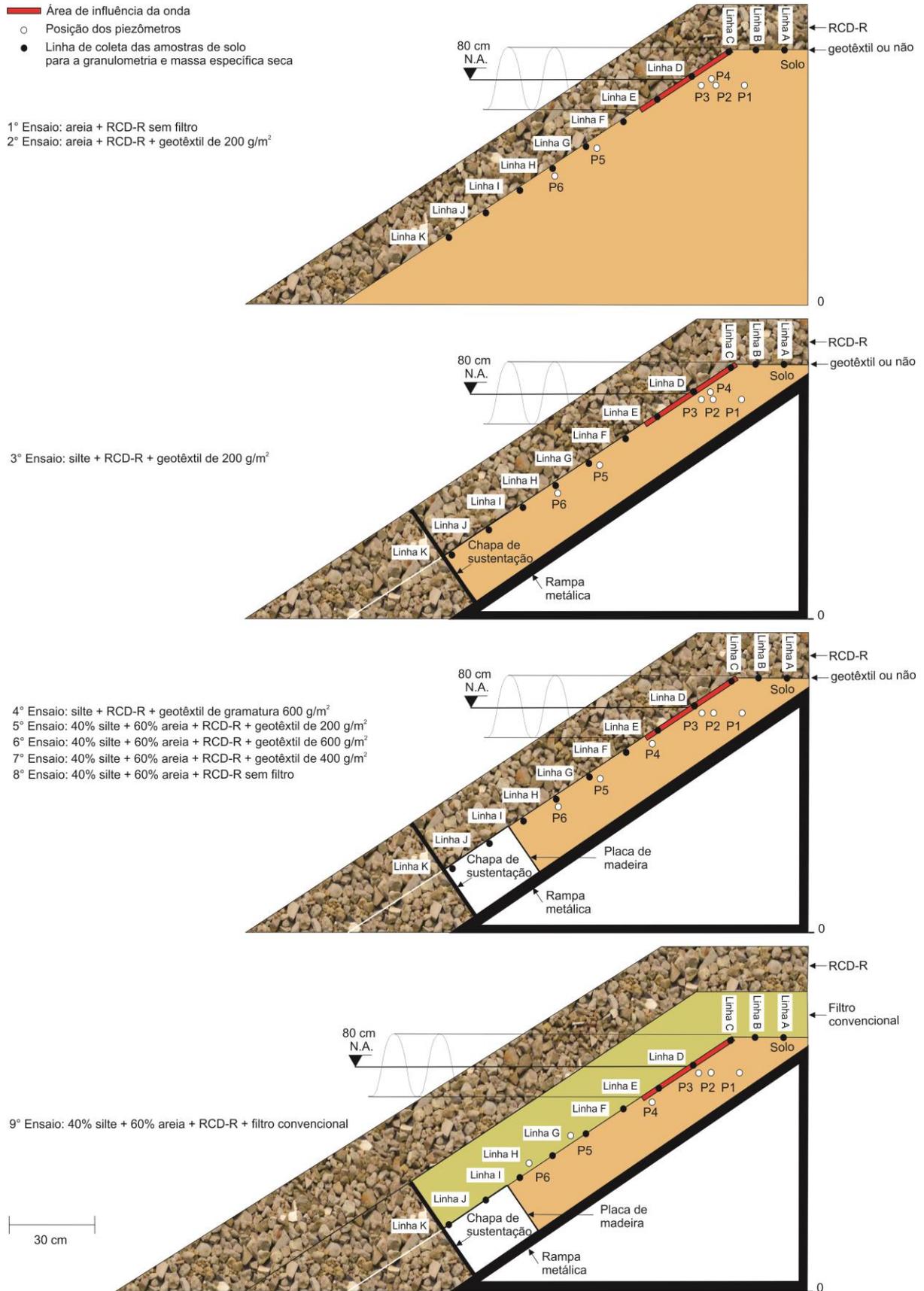


Figura 3.12 – Posição dos piezômetros de acordo com os ensaios realizados.

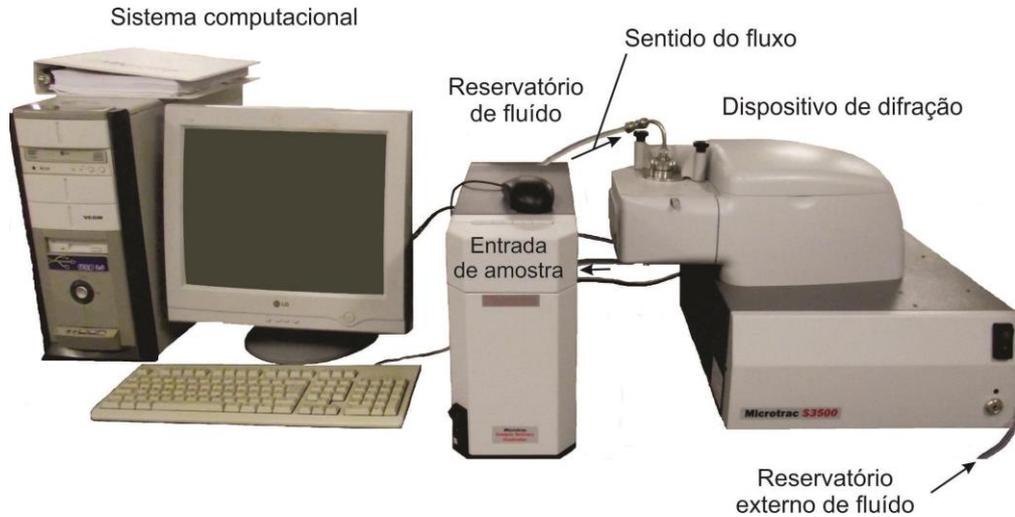


Figura 3.13 - Granulômetro a laser.

O dispositivo de difração é formado pelo sistema *Tri-laser* e permite medições de dispersão de luz por meio da combinação de três lasers e duas matrizes detectoras, conforme mostra a Figura 3.14. Com esse sistema é possível obter com mais precisão o tamanho dos grãos do material analisado.

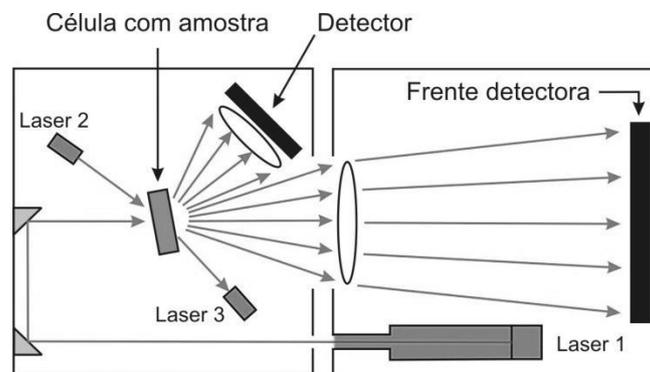


Figura 3.14 – Sistema de difração do granulômetro a laser.

Foi escolhido o granulômetro a laser, ao invés da metodologia convencional (ensaio de peneiramento ou sedimentação), para a obtenção de curvas granulométricas relevantes, pelas seguintes razões:

- Permite a utilização de pequenas quantidades de solo;
- Tempo de análise de 10 a 30 s;
- Permite analisar amostras por via seca ou via úmida; e
- Confiabilidade nos resultados.

### 3.1.4 TURBIDÍMETRO E MICROSCÓPIO DIGITAL

Por meio do turbidímetro se obtém a redução da transparência da água devido à presença de matéria em suspensão. Denominado pela fabricante Alfakit de “turbidímetro de bancada II” (Figura 3.15a), o equipamento funciona com o princípio chamado Nefelométrico. A medição da turbidez é obtida pela incidência de um feixe de luz na amostra que é recebida por um detector localizado a um ângulo de 90° em relação ao mesmo. O equipamento realiza leituras na faixa de 0 a 100 NTU (*Nephelometric Turbidity Units*) e possui uma resolução de 0,01 NTU. Como referência de valores de turbidez da água, é de conhecimento geral que a água potável deve possuir uma turbidez de até 5 NTU, sendo recomendável e desejável ser menor que 1 NTU.



Figura 3.15 – Outros equipamentos: a) turbidímetro, b) microscópio digital.

Foi utilizado um microscópio ótico denominado de *LCD Professional Digital Microscope Model # 44345*, da *Celestron*, para obter as imagens dos geotêxteis utilizados, assim como do solo retido nos mesmos. A Figura 3.15b apresenta o microscópio digital empregado.

## 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

### 3.2.1 GEOSSINTÉTICOS

Foram utilizados, como elemento de proteção/filtração da face do talude, três tipos de geotêxtil não tecido, com gramaturas de 200, 400 e 600 g/m<sup>2</sup>, como mostra a Figura 3.16. As principais características do geotêxteis são apresentadas na Tabela 3.4.

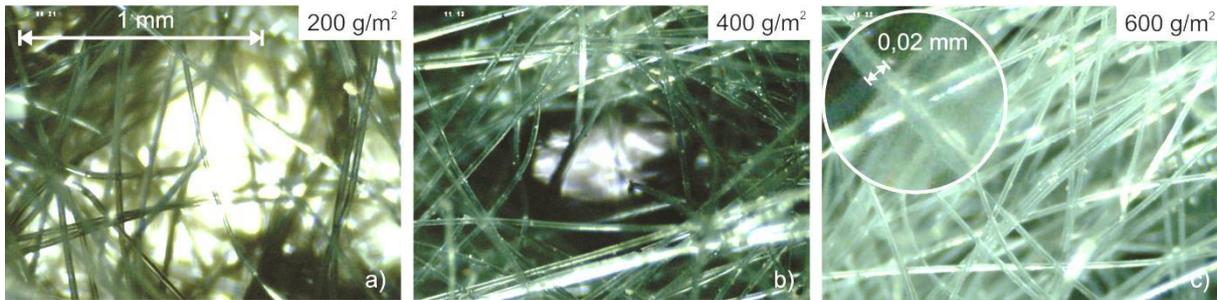


Figura 3.16 – Geotêxteis não tecidos utilizados com ampliação de 40x: a) gramatura de 200 g/m<sup>2</sup>, b) gramatura de 400 g/m<sup>2</sup>, c) gramatura de 600 g/m<sup>2</sup>.

Tabela 3.4 – Características dos geotêxteis utilizados segundo Palmeira *et al.* (2010).

Geossintéticos	M <sub>A</sub> (g/m <sup>2</sup> )	FOS <sup>I</sup> (mm)	t <sub>GT</sub> (mm)	K <sub>n</sub> (cm/s)	Ψ (s <sup>-1</sup> )
Geotêxtil não tecido 100% poliéster agulhado com filamentos contínuos	200	0,230	2,3	0,4	1,9
	400	0,160	3,7	0,4	1,1
	600	0,130	4,5	0,4	0,9

Notas: M<sub>A</sub> = massa por unidade de área, FOS = abertura de filtração (O<sub>95</sub>) por meio do peneiramento hidrodinâmico, t<sub>GT</sub> = espessura nominal para tensão de 2 kPa, K<sub>n</sub> = permeabilidade normal ao plano, Ψ = permissividade.

### 3.2.2 SOLOS

#### 3.2.2.1 TALUDE

Para a confecção do talude foram utilizados três tipos de solos, de acordo com a Figura 3.17:

- Areia grossa a média: normalmente encontrada no mercado da construção civil do Distrito Federal;
- Silte arenoso: retirado do campo experimental da Geotecnia; e
- Mistura de 40% do silte arenoso e 60% areia.

A mistura de solo (silte arenoso) e areia visou obter um material mais susceptível ao processo erosivo. A areia utilizada não era filtro do silte arenoso.

A curva granulométrica da areia foi obtida por meio do método convencional, sem defloculante (peneiramento e sedimentação), e as curvas do silte e da mistura 40% silte e 60% areia foram obtidas por meio do granulômetro a laser. As curvas granulométricas obtidas são

apresentadas na Figura 3.18. Nessa figura é apresentada também a curva granulométrica da areia utilizada na confecção das pedras porosas dos piezômetros.

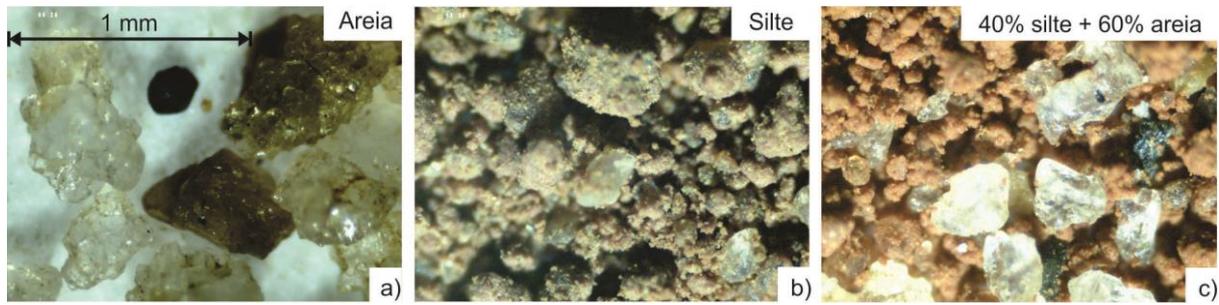


Figura 3.17 – Solos utilizados com ampliação de 40x: a) areia, b) silte arenoso, c) 40% silte + 60 % areia.

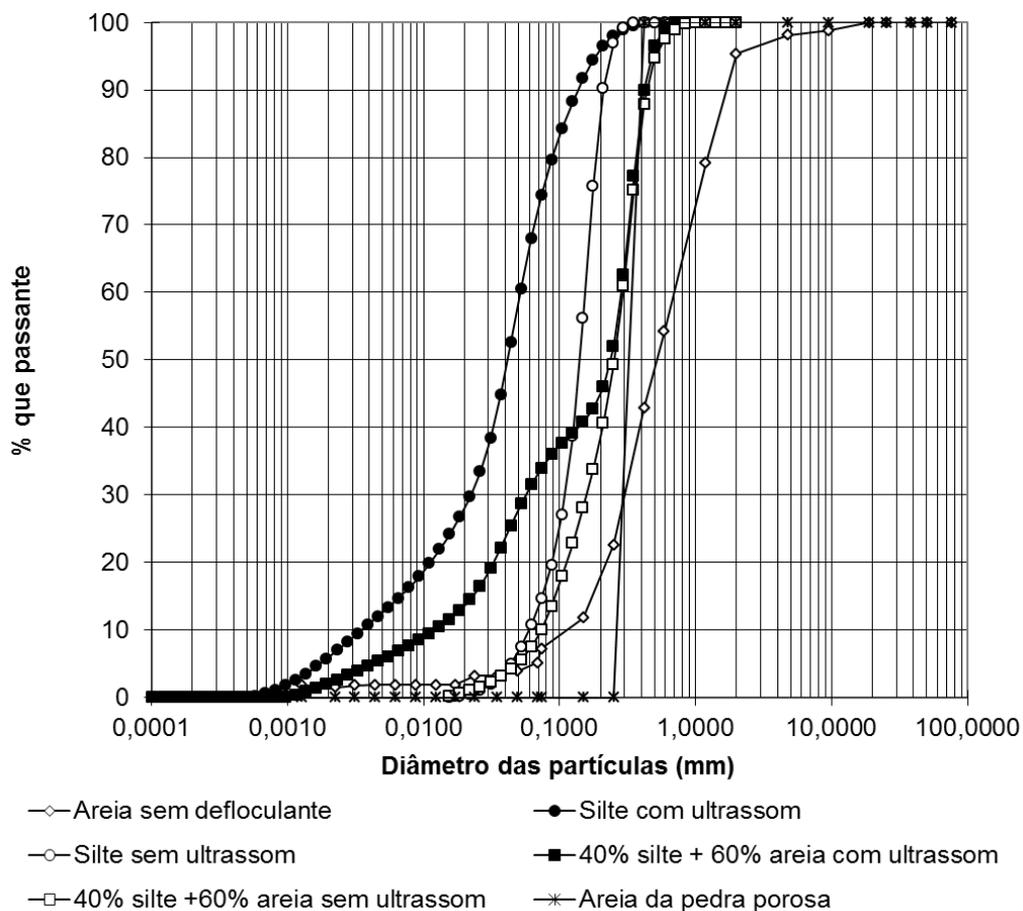


Figura 3.18 – Curvas granulométricas da areia, silte, mistura de 40% silte + 60% areia e areia da pedra porosa.

Os grãos de areia foram passados na peneira #1/2 (12,5 mm), a fim de impedir o bloqueamento de material, no interior do tubo utilizado para a deposição do solo na construção do talude. As principais características dos materiais utilizados são apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Principais características dos materiais utilizados para a confecção do talude e do filtro convencional.

Material	Passante	A	S	AF	AM	AG	PF	PM	PG	D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>85</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>95</sub>	C <sub>U</sub>	C <sub>C</sub>	e <sub>max</sub>	e <sub>min</sub>	e <sub>nat</sub>	ρ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	GC	K (cm/s)
		%									(mm)								Inicial						
Areia <sup>1</sup>	#1/2 (12,5 mm)	1,72	2,83	12,68	37,39	40,73	2,96	1,69	0,00	0,120	0,303	0,520	0,700	1,440	1,700	2,00	5,83	1,09	0,86	0,54	0,68	1,56	2,63	0,56	1,6.10 <sup>-2</sup> *
Silte <sup>2</sup>	#40 (0,425 mm)	5,75	54,83	33,89	5,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,004	0,022	0,041	0,052	0,108	0,135	0,18	14,05	2,52	1,37	0,94	1,29	1,00	2,30	-	1,5.10 <sup>-3**</sup>
Silte <sup>11</sup>		0,00	7,51	68,24	24,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,060	0,110	0,136	0,150	0,200	0,210	0,24	2,50	1,34							
40% silte + 60% areia (mistura) <sup>2</sup>		1,96	26,69	14,12	56,39	0,84	0,00	0,00	0,00	0,012	0,056	0,240	0,290	0,390	0,420	0,48	24,17	0,90	1,09	0,75	1,08	1,20	2,51	0,03	3,3.10 <sup>-3**</sup>
40% silte + 60% areia (mistura) <sup>11</sup>		0,00	5,57	28,28	63,66	2,49	0,00	0,00	0,00	0,074	0,160	0,250	0,290	0,400	0,450	0,52	3,92	1,19							
Filtro	Areia	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00	0,7	0,86	1,10	1,25	1,70	1,75	1,86	1,79	0,85	-	-	0,94	1,35	1,76 <sup>4</sup>	-	0,49 <sup>3</sup>
	Pedregulho fino	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00	0,00	5,0	5,10	5,50	5,80	6,00	6,10	6,15	1,16	0,90	-	-	0,39	1,26		-	25 <sup>3</sup>
	Pedregulho grosso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	83,00	20,0	20,5	21,50	23,00	24,00	24,50	25,00	1,15	0,91	-	-	0,29	1,36		-	400 <sup>3</sup>

Notas: A = argila (< 0,002 mm), S = silte (0,002 – 0,06 mm), AF = areia fina (0,06 – 0,2 mm), AM = areia média (0,2 – 0,6 mm), AG = areia grossa (0,6 – 2 mm), PF = pedregulho fino (2 – 6 mm), PM = pedregulho médio (6 – 20 mm), PG = pedregulho grosso, D<sub>n</sub> = n % das partículas do solo possuem diâmetro D inferiores a ele,  $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  = coeficiente de uniformidade,  $C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$  coeficiente de curvatura, e<sub>max</sub> e e<sub>min</sub> foram obtidos de acordo com norma ABNT (1990) e ABNT (1991), ambas em condição seca, e<sub>nat</sub> = índice de vazios natural, ρ<sub>d</sub> = massa específica seca, ρ<sub>s</sub> = massa específica real dos grãos; grau de compactação  $GC = \frac{e_{max} - e_{nat}}{e_{max} - e_{min}}$ ; <sup>1</sup> = granulometria convencional sem defloculante, <sup>11</sup> = granulômetro a laser, sem ultrassom, <sup>2</sup> = granulômetro a laser, com ultrassom, <sup>3</sup> = permeabilidade estimada: K=C.D<sub>10</sub><sup>2</sup>, onde C=100, <sup>4</sup> = Góngora & Palmeira (2012), \* = permeabilidade de acordo com a ABNT (1995), \*\* = permeabilidade de acordo com a ABNT (2000), - = não obtido.

### 3.2.2.2 FILTRO CONVENCIONAL

Além dos filtros geotêxteis, foi também ensaiado um filtro granular convencional para comparações entre resultados de diferentes sistemas. Foram utilizados três materiais distintos para a formação do filtro convencional: areia grossa, pedregulho fino e pedregulho grosso. As curvas granulométricas destes materiais são apresentadas na Figura 3.19. O filtro convencional foi empregado no ensaio com a mistura (40% silte + 60% areia). As principais características dos materiais do filtro convencional são apresentadas na Tabela 3.5. Os critérios de filtro de Terzaghi citado por Lambe & Whitman (1969) foram utilizados para estabelecer as granulometrias dos materiais, como mostrado na Tabela 3.6.

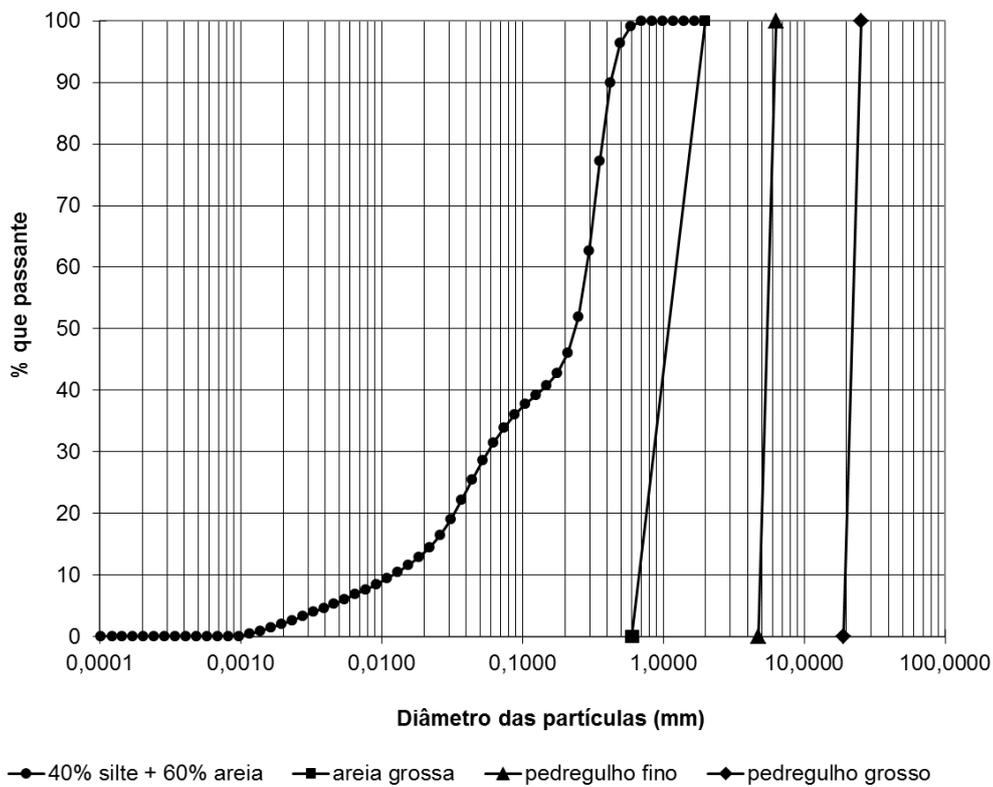


Figura 3.19 – Curvas granulométricas da mistura de 40% silte + 60% areia e de seu filtro convencional.

Tabela 3.6 – Dados referentes aos critérios de filtro de Terzaghi citado por Lambe & Whitman (1969).

Material	D <sub>15 f</sub> (mm)	D <sub>15 s</sub> (mm)	D <sub>85 s</sub> (mm)	D <sub>50 f</sub> (mm)	D <sub>50 s</sub> (mm)	Terzaghi		
						$\frac{D_{15} \text{ FILTRO}}{D_{85} \text{ SOLO}} < 5$	$< 4 \frac{D_{15} \text{ FILTRO}}{D_{15} \text{ SOLO}} < 20$	$\frac{D_{50} \text{ FILTRO}}{D_{50} \text{ SOLO}} < 25$
Areia grossa	0,7	0,02	0,4	1,1	0,24	ok	ok	ok
Pedregulho fino	5	0,7	1,7	5,5	1,1	ok	ok	ok
Pedregulho grosso	20	5	6,1	22	5,5	ok	ok	ok

### 3.2.2.3 RIPRAP

Resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) foi utilizado como riprap na face do talude. O material é composto de concreto e argamassa em sua grande maioria e foi proveniente de reformas realizadas no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília (Figura 3.20). O diâmetro máximo dos grãos do riprap foi igual a 95 mm (10% da largura do canal hidráulico). Inicialmente, a granulometria do RCD-R foi obtida manualmente, batendo-se com uma marreta sobre os resíduos maiores, com posterior peneiramento grosso. As partículas selecionadas passaram na peneira com malha 95 mm e ficaram retidas na peneira #1” (25 mm).



Figura 3.20 – Resíduo da Construção e demolição Reciclado (RCD-R).

### 3.3 PROGRAMA DE ENSAIOS

Foram realizados nove ensaios, empregando ou não filtro geotêxtil ou filtro granular. Cabe lembrar que os ensaios de n°1 e n°2 (areia + RCD-R sem filtro e areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>), não utilizaram a rampa metálica para sustentação do talude. A Tabela 3.7 apresenta as principais características dos ensaios realizados, destacando que os ensaios que não empregaram nenhum tipo de filtro, demandaram tempos de ensaio menores, quando comparados aos demais, devido ao intenso processo erosivo nos taludes.

Tabela 3.7 – Características dos ensaios realizados.

N° ensaio	Areia	Silte	40% silte + 60% areia	Filtro geotêxtil			Filtro convencional	RCD-R	Tempo total de geração de ondas (h)
				200 g/m <sup>2</sup>	400 g/m <sup>2</sup>	600 g/m <sup>2</sup>			
1*	X	-	-	-	-	-	-	X	8
2*	X	-	-	X	-	-	-	X	55
3	-	X	-	X	-	-	-	X	141
4	-	X	-	-	-	X	-	X	170
5	-	-	X	X	-	-	-	X	170
6	-	-	X	-	-	X	-	X	170
7	-	-	X	-	X	-	-	X	172
8	-	-	X	-	-	-	-	X	50
9	-	-	X	-	-	-	X	X	71

Nota: \*: ensaio realizado sem a rampa metálica.

A Tabela 3.8 apresenta o momento em que foram obtidos os resultados antes, durante e ao término dos ensaios. O tempo aproximado demandado em cada etapa do ensaio é apresentado na Tabela 3.9.

Tabela 3.8 – Momento da obtenção dos resultados.

	Monitoramento		
	Antes do ensaio	Durante o ensaio	Término do ensaio
Calibração dos piezômetros elétricos	X	-	-
Movimentação do RCD-R	-	-	X
Deslocamento do talude	-	-	X
Avanço do processo erosivo	-	-	X
Massa de solo erodida	-	-	X
Impregnação do geotêxtil não tecido	-	-	X
Turbidez da água	-	X	
Massa específica do solo	-	-	X
Poropressão	-	X	X
Granulometria do solo erodido	-	-	X
Granulometria do solo impregnado no geotêxtil	-	-	X
Granulometria do solo da face do talude	-	-	X

Tabela 3.9 – Tempo aproximado da realização do ensaio.

Tempo aproximado para executar cada atividade	Tempo (h)
Colocação do solo seco e peneirado	3
Fixação do geotêxtil não tecido	1
Montagem do filtro convencional	4
Colocação do RCD-R	5
Enchimento de água no canal	6
Repouso para saturação do talude	14
Ensaio	168 (máximo)
Sedimentação do solo no fundo do canal	72
Esvaziamento da água no canal com a bomba hidráulica	3
Esvaziamento da água no canal com o aspirador e coleta do material erodido	10
Retirada e lavagem do RCD-R	16
Retirada e análise do grau de impregnação do geotêxtil não tecido	48
Análise do processo erosivo na face do talude	1
Amostragem do solo para a obtenção do peso específico aparente seco e granulometria	4
Retirada do solo úmido	4
Secagem do solo e destorroamento	80
Granulometria no granulômetro a laser com e sem ultrassom	80
Turbidez	56
TOTAL:	575 horas (24 dias)

## CAPÍTULO IV

### 4 METODOLOGIA

#### 4.1 CONSTRUÇÃO DO TALUDE

A construção do talude ocorreu de duas maneiras distintas. Nos ensaios que não empregaram a rampa metálica (areia + RCD-R sem filtro e areia + RCD-R + filtro geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>) o método utilizado foi o da pluviação. Este método consistiu na queda da areia, de uma altura mínima em relação à cama de solo depositada. Neste caso, para armazenar a areia, foi utilizado um reservatório, localizado acima do canal, como mostra a Figura 4.1(a).

A fim de reduzir a altura de queda da areia, foi utilizado um conduíte com 3 m de comprimento, de acordo com a Figura 4.1(c). Conforme a altura do talude aumentava, parte do conduíte era desconectado com o auxílio de um niple de PVC, como mostra a Figura 4.1(c). A construção era interrompida e o talude nivelado a cada altura de instalação de um piezômetro, como mostram as Figuras 4.1(b) e 4.1 (d). Os taludes de areia foram formados com 1200 kg de solo seco e destorroado, inclinação máxima de 35° e uma massa específica seca de 1,56 g/cm<sup>3</sup>.

Nos demais ensaios, onde se utilizou a rampa metálica reduzindo-se a massa de solo seco do talude, o solo era colocado sobre a rampa por meio de uma pá metálica, com uma altura mínima de queda do solo, como mostra a Figura 4.2, para se obter um maciço fofo. Os taludes formados tiveram a mesma inclinação da rampa metálica de 33°, como mostra a Tabela 4.1. Nestes ensaios, foi necessário, em média, 230 kg de solo seco e destorroado. A massa específica seca do talude de silte foi de 1,00 g/cm<sup>3</sup> e o da mistura de 40% silte +60% areia foi de 1,20 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.2 INSTALAÇÃO DOS FILTROS

##### 4.1.2.1 FILTRO GEOTÊXTIL

Antes da instalação do filtro geotêxtil entre o riprap e o solo foi colocada uma faixa de geotêxtil não tecido, com gramatura de 600 g/m<sup>2</sup> e 0,20 m de altura, entre o riprap e a face de vidro para protegê-la contra possíveis danos causados pelo impacto do RCD-R. Esta faixa de geotêxtil também tinha como objetivo evitar a passagem de partículas de solo ao longo da interface vidro-riprap. Uma camada de vaselina sólida era colocada entre o vidro e a faixa de geotêxtil, para uma melhor fixação, como mostra a Figura 4.3(a) e (b). No ensaio que

empregou o filtro convencional, não foi utilizada esta faixa para que a lateral do filtro pudesse ser observada durante a execução do ensaio.

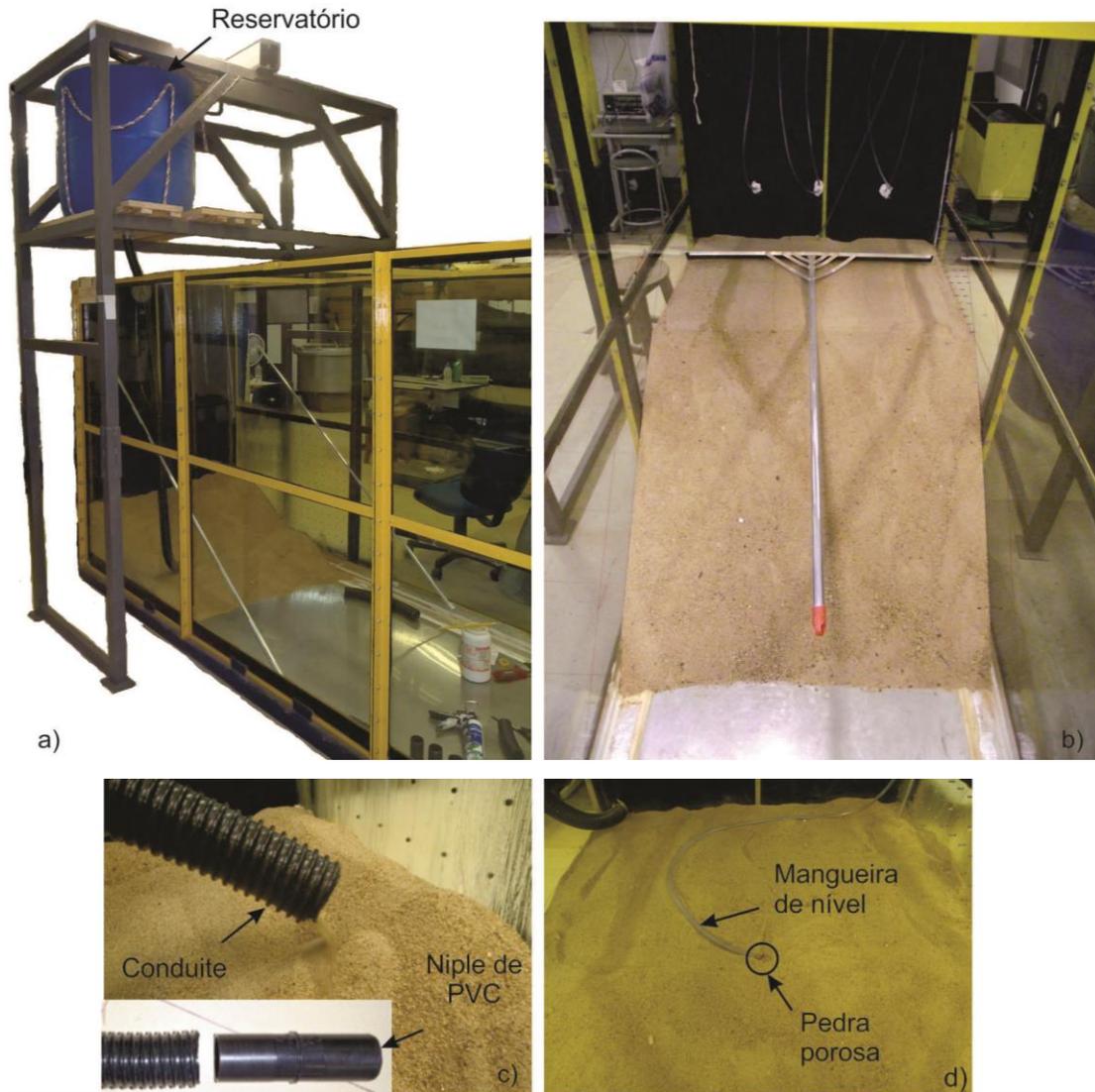


Figura 4.1 – Construção do talude por pluviação. a) reservatório superior, b) nivelamento do talude. c) detalhe do conduíte e niple de PVC, d) posicionamento do piezômetro.

A fixação do filtro geotêxtil sobre o talude ocorreu de duas maneiras distintas. Nos ensaios que empregaram areia ou silte (ambos com RCD-R e geotêxtil de  $200 \text{ g/m}^2$ ), o geotêxtil era colocado sobre o talude e, na área de contato com a faixa de geotêxtil, também foi utilizada uma camada de vaselina para impedir a passagem de solo, como mostra a Figura 4.3(b). Nos demais ensaios, o geotêxtil foi fixado com a ajuda das canaletas laterais em “U” fixadas no vidro, como apresentado na Figura 4.4.



Figura 4.2 – Construção do talude sobre a rampa metálica, utilizando uma pá metálica.

Tabela 4.1 – Principais características dos ensaios.

Nº	Ensaio (Terminologia)	Massa específica seca (g/cm <sup>3</sup> )	Inclinação do talude (°)	Rampa metálica	Massa de solo seco (kg)	Construção do talude	Fixação do geotêxtil	Faixa de geotêxtil *	
1	Areia + RCD-R sem filtro	1,56	35	não utilizada	1200	pluviação	NA	utilizada	
2	Areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>				1200		vaselina		
3	Silte + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	1,00	33	utilizada	222	pá metálica	canaleta		
4	Silte + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>				185				
5	40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	1,20			223				
6	40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>				225				
7	40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 400 g/m <sup>2</sup>				227				
8	40% silte + 60% areia + RCD-R sem filtro				232	NA			
9	40% silte + 60% areia + RCD-R + filtro tradicional					228		NA	não utilizada**

Nota: NA: não se aplica, \*: faixa de geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>, colocada entre o vidro e o riprap, \*\*: não foi utilizada a faixa de geotêxtil para que a lateral do filtro convencional pudesse ser observado durante o ensaio.

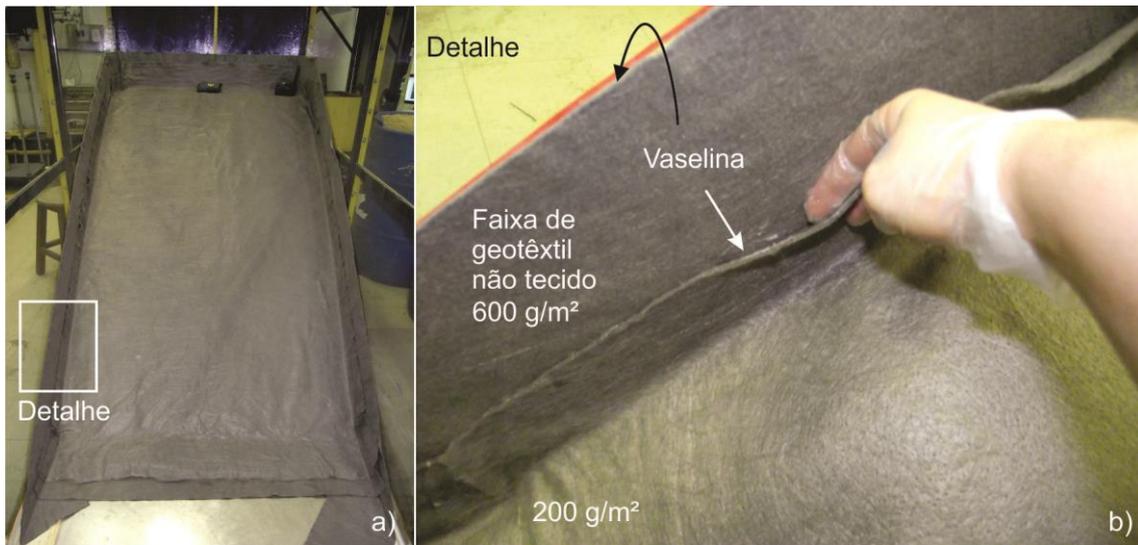


Figura 4.3 – Colocação do revestimento sobre o talude de areia: a) vista geral, b) área com vaselina sólida.

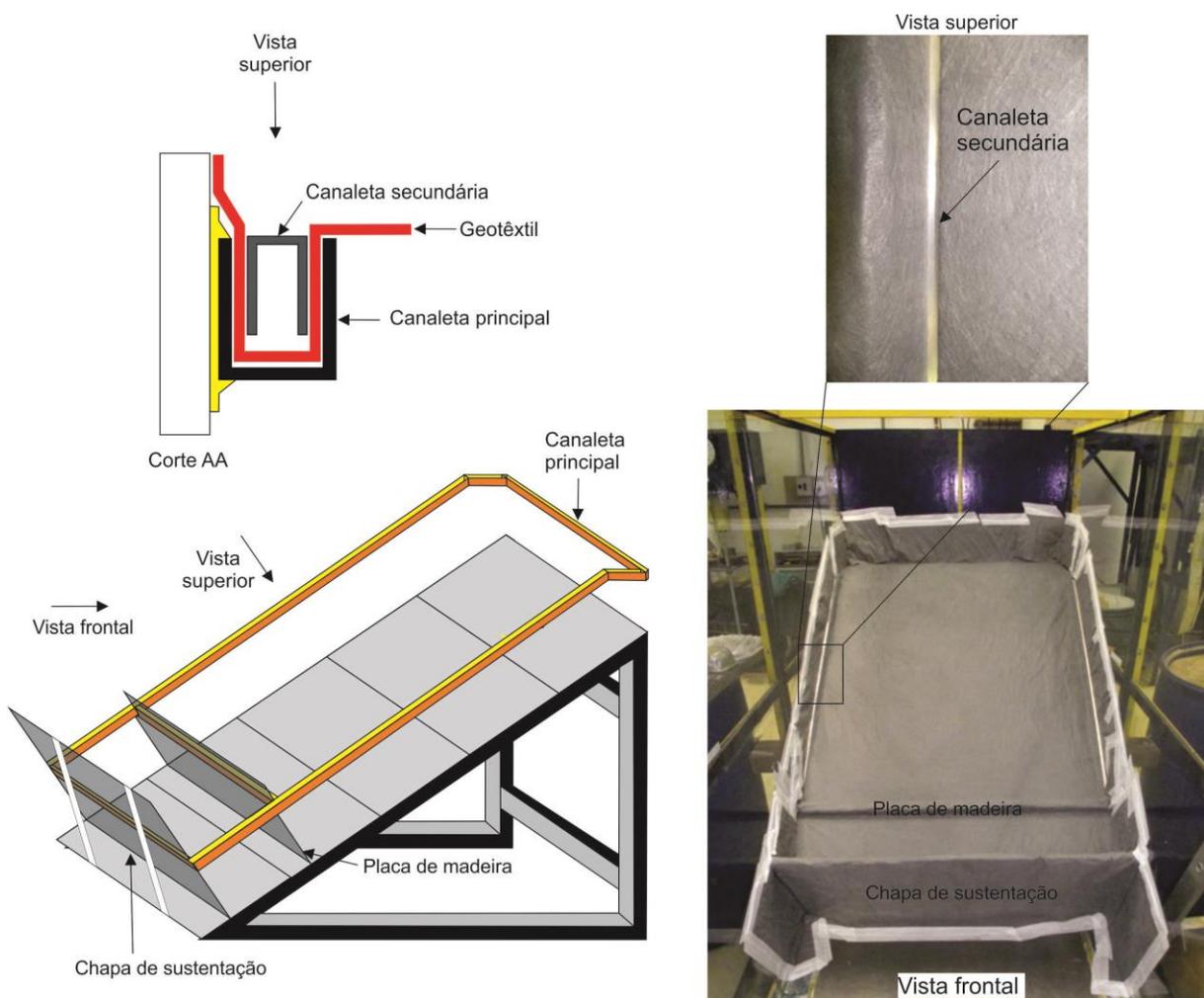


Figura 4.4 – Fixação do geotêxtil por meio da canaleta.

#### 4.1.2.2 FILTRO CONVENCIONAL

Após a especificação dos materiais que seriam utilizados no filtro convencional, antes da sua execução sobre o talude, foi construído um filtro teste, como apresentado na Figura 4.5(a), para verificação do desempenho do filtro. Neste caso, a percolação da água ocorreu por gravidade (Figura 4.5a). A Figura 4.5(b) mostra uma vista lateral do filtro convencional já no canal, para comparação. Observou-se um bom desempenho do filtro granular, validando a especificação dos materiais empregados na sua confecção. Os materiais que formaram o filtro (areia grossa, pedregulho fino e pedregulho grosso) no canal foram instalados como mostrado na Figura 4.6.

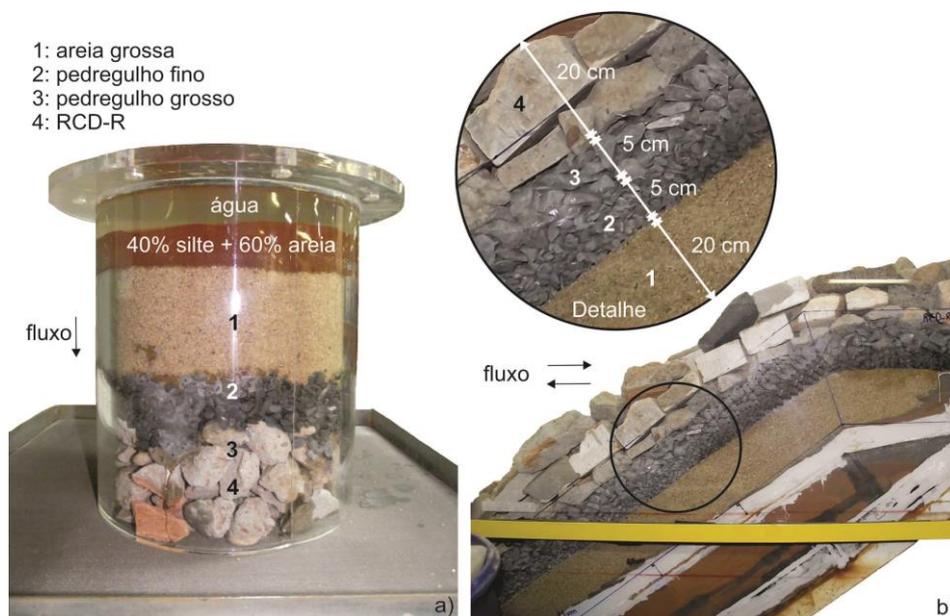


Figura 4.5 – Filtro convencional: a) filtro teste e b) filtro sobre o talude.

#### 4.1.2.3 COLOCAÇÃO RIPRAP

Em todos os ensaios foi utilizado o RCD-R como camada de riprap que era colocado, manualmente, em três camadas distintas de acordo com a Figura 4.7. Cada camada era formada por resíduos, cujo tamanho médio dos grãos era de 2, 6 e 9,5 cm, denominadas, respectivamente, 1ª, 2ª e 3ª camada, como mostram as Figuras 4.6(d), (e) e (f). Ao término de cada ensaio, o RCD-R era lavado, e o solo fino aderido a ele, era coletado para posterior obtenção de sua massa.

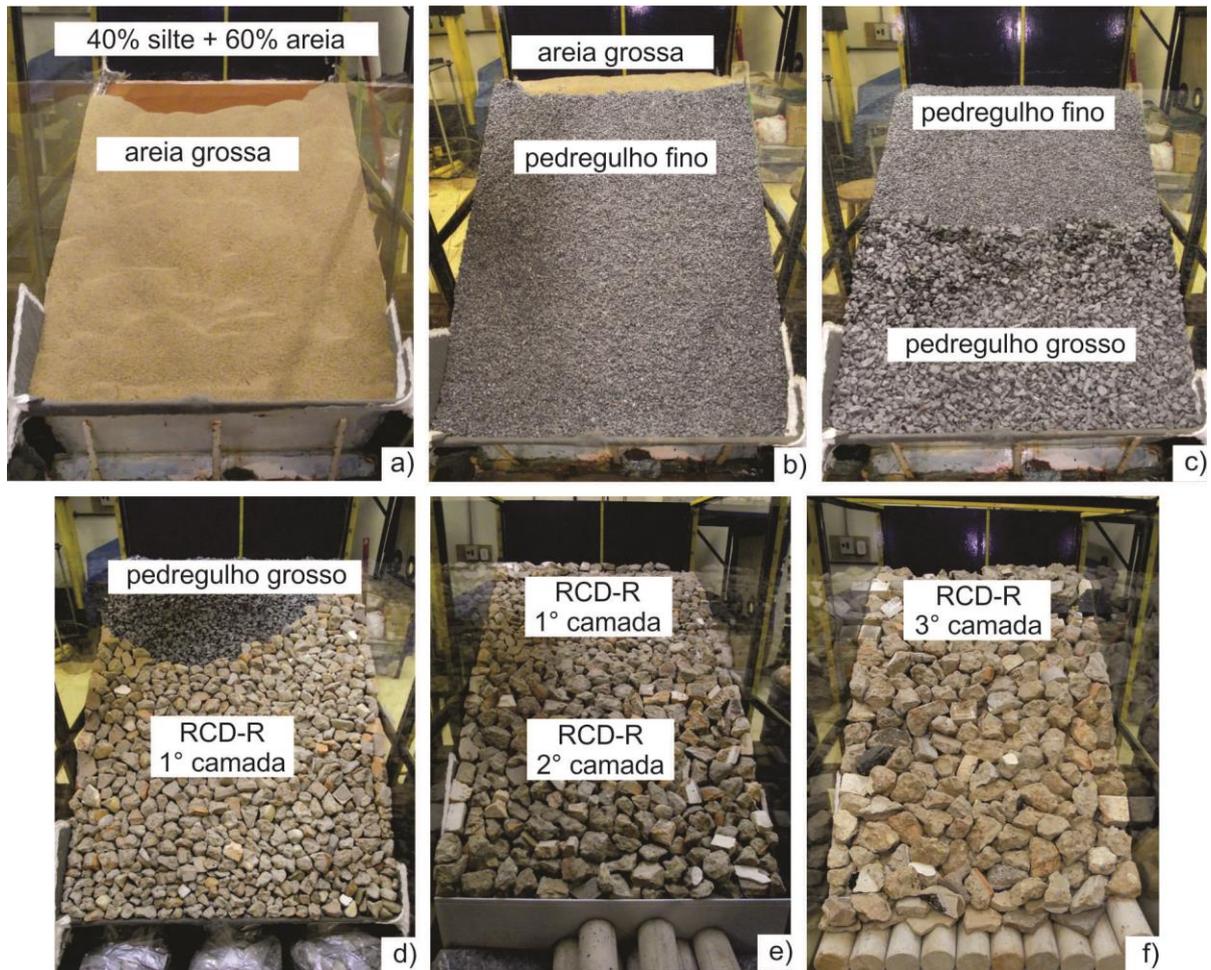


Figura 4.6 – Formação do filtro convencional sobre o talude: a) talude e areia grossa, b) areia grossa e pedregulho fino, c) pedregulho fino e pedregulho grosso, d) pedregulho grosso e RCD-R



Figura 4.7 - Colocação da 1ª camada de RCD-R no ensaio que utilizou 40% silte + 60% areia + RCD-R sem filtro.

Apenas para uma avaliação qualitativa do deslocamento do riprap devido ao impacto das ondas, foram numerados dezoito agregados de RCD-R no ensaio que se empregou talude de areia e filtro geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>. O posicionamento dos agregados é observado na Figura 4.8.



Figura 4.8 – Localização dos agregados RCD-R numerados.

#### 4.2 ENCHIMENTO DO CANAL E GERAÇÃO DE ONDAS.

Antes do enchimento, o fundo e as laterais do canal eram limpos para retirar o solo fino proveniente da construção do talude. O sistema de abastecimento de água filtrada da rede era ligado e o enchimento do canal levava, aproximadamente, 6 h. A altura da lâmina de água final foi de 800 mm.

Após o enchimento, deixava-se a água em repouso por 24 h para a saturação do talude. Os piezômetros eram novamente saturados, ligava-se o sistema de aquisição de dados e, após isso, ligava-se o sistema gerador de ondas. O motor elétrico era desligado a cada 24 h apenas nos ensaios com filtro, para completar o nível de água devido a evaporação.

O motor elétrico era desligado e o ensaio finalizado quando:

- Processo erosivo encontrava-se muito avançado. Neste caso, a onda gerada impactava-se não mais no talude, mas sim, na extremidade do canal; ou
- As leituras das poropressões se mantinham constantes.

Com a ação das ondas, também foram obtidas as poropressões na rampa metálica, sem a presença do talude, revestimento e riprap, para se obter a atenuação da poropressão com a presença dos mesmos.

### **4.3 ESVAZIAMENTO DO CANAL E COLETA DO SOLO PASSANTE PELO FILTRO**

Inicialmente, com auxílio da bomba centrífuga, eram retirados aproximadamente 700 mm da lâmina de água do canal. Os últimos 100 mm eram retirados com o aspirador industrial. O material retirado era colocado em baldes e esperava-se o solo depositar no fundo do recipiente. Depois de 24 h, o solo depositado (erodido) era levado para estufa e obtida a sua massa. Parte do solo passante pelo filtro fixava-se no RCD-R, sendo necessário a sua lavagem ao término de cada ensaio, coletando-o e levando-o para a estufa para posterior obtenção de sua massa.

### **4.4 REMOÇÃO DO REVESTIMENTO E OBSERVAÇÃO DO AVANÇO DO PROCESSO EROSIVO**

A remoção do RCD-R era manual, tomando-se o cuidado para que o material abaixo dele (geotêxtil, filtro convencional ou talude) sofresse o mínimo de interferência. Após a lavagem do RCD-R, o mesmo era acumulado na extremidade do canal oposta ao talude.

O filtro geotêxtil era removido com cuidado, para que o solo impregnado não fosse desprendido do mesmo. As amostras retiradas do filtro geotêxtil para avaliação do seu nível de impregnação eram circulares, com diâmetros e localização como mostrados na Figura 4.9. A Figura 4.10 apresenta as áreas numeradas de 1 a 12 para melhor localização das amostras. A granulometria do solo impregnado foi obtida em cada amostra do geotêxtil retirada.

### 4.5 OBTENÇÃO DO GRAU DE IMPREGNAÇÃO DO GEOTÊXTIL

O grau de impregnação ( $\lambda$ ) da amostra de geotêxtil é definido como a razão entre a massa de material impregnado no geotêxtil e a massa de filamentos que compõe o geotêxtil, ambas por unidade de área em planta, como mostra a Equação 4.1.

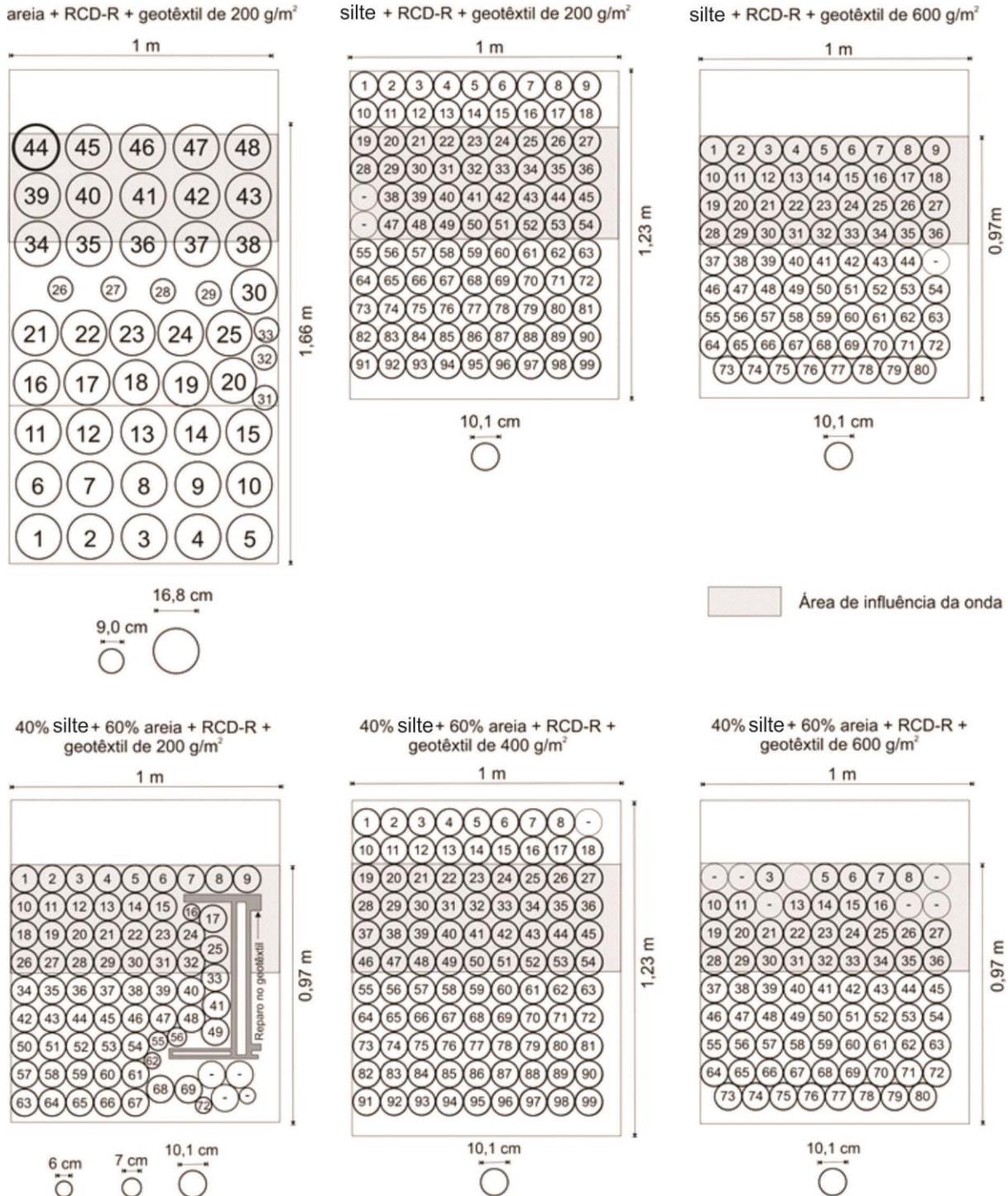


Figura 4.9 – Esquema das amostras de geotêxtil em cada ensaio em escala.

$$\lambda = \frac{m_m}{m_f} \quad (4.1)$$

Onde:  $\lambda$  = grau de impregnação;

$m_m$  = massa de material impregnado por unidade de área; e

$m_f$  = massa de filamentos da amostra de geotêxtil por unidade de área.

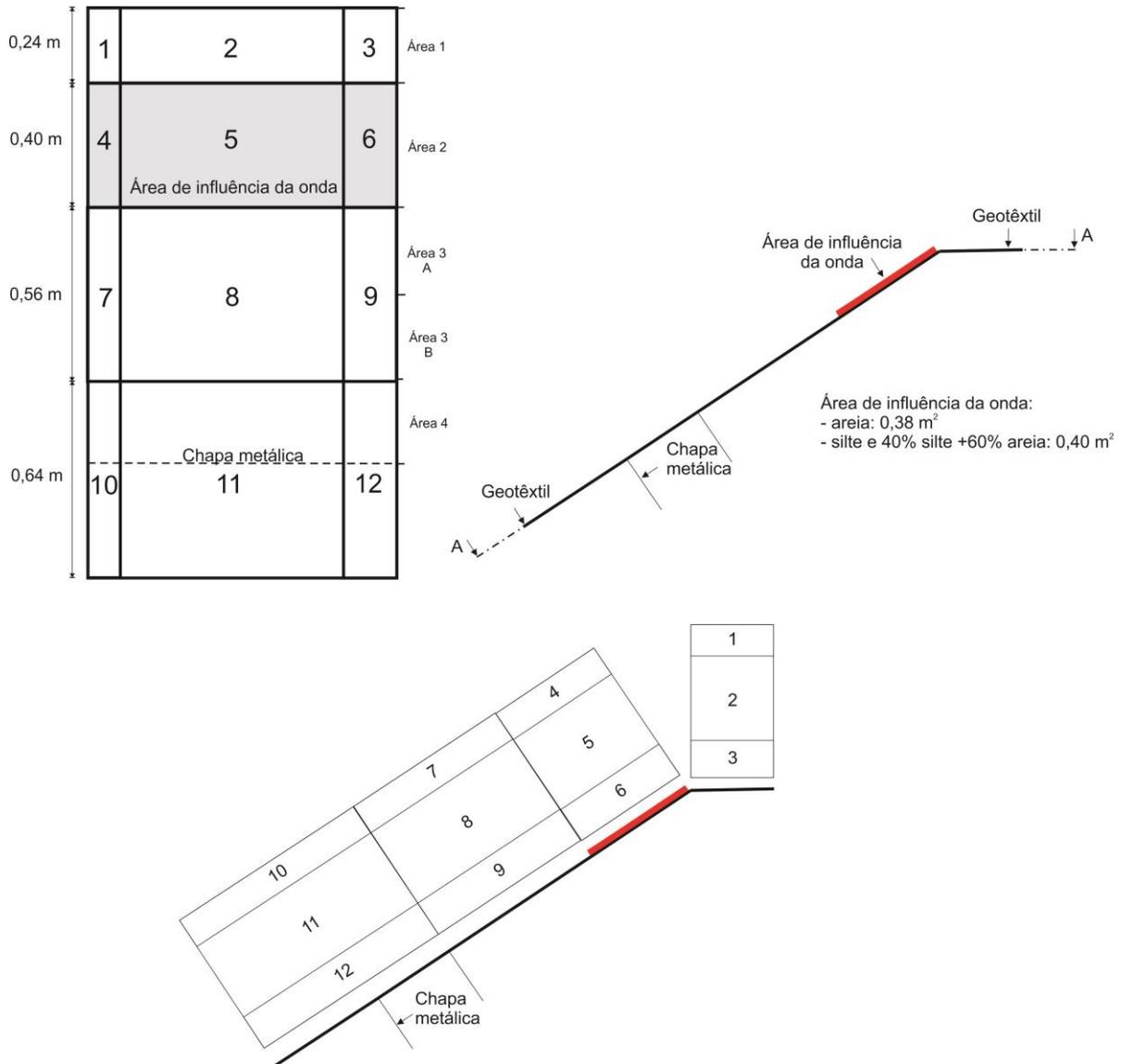


Figura 4.10 – Esquema das áreas de impregnação no geotêxtil não tecido.

A *massa de material impregnado* era obtida ao término de cada ensaio, após a amostra ser lavada e o solo levado para a estufa por 24 h, como apresenta a Figura 4.11. A *massa seca do geotêxtil* era também obtida após 24 h em estufa.



Figura 4.11 – Retirada do solo impregnado do geotêxtil.

#### **4.6 RETIRADA DE AMOSTRAS DE SOLO NA SUPERFÍCIE DO TALUDE**

Para verificar alterações na granulometria do solo na superfície devido à erosão, foram coletadas amostras na face do talude para análises granulométricas, assim como para a obtenção da massa específica seca, de acordo com o esquema apresentado na Figura 4.12. Para isso foram estabelecidas quatro áreas distintas. A Tabela 4.2 apresenta um resumo das áreas de coleta em cada ensaio. As amostras coletadas para a obtenção das massas específicas secas eram obtidas por meio de um anel de cisalhamento de 6 cm de lado, como mostra a Figura 4.13.

O solo do talude era retirado, do interior do canal, por meio de baldes para posterior processo de secagem. Cabe destacar que os finos passantes, durante o ensaio, eram novamente misturados a massa de solo inicial para ser reaproveitada em um novo ensaio.

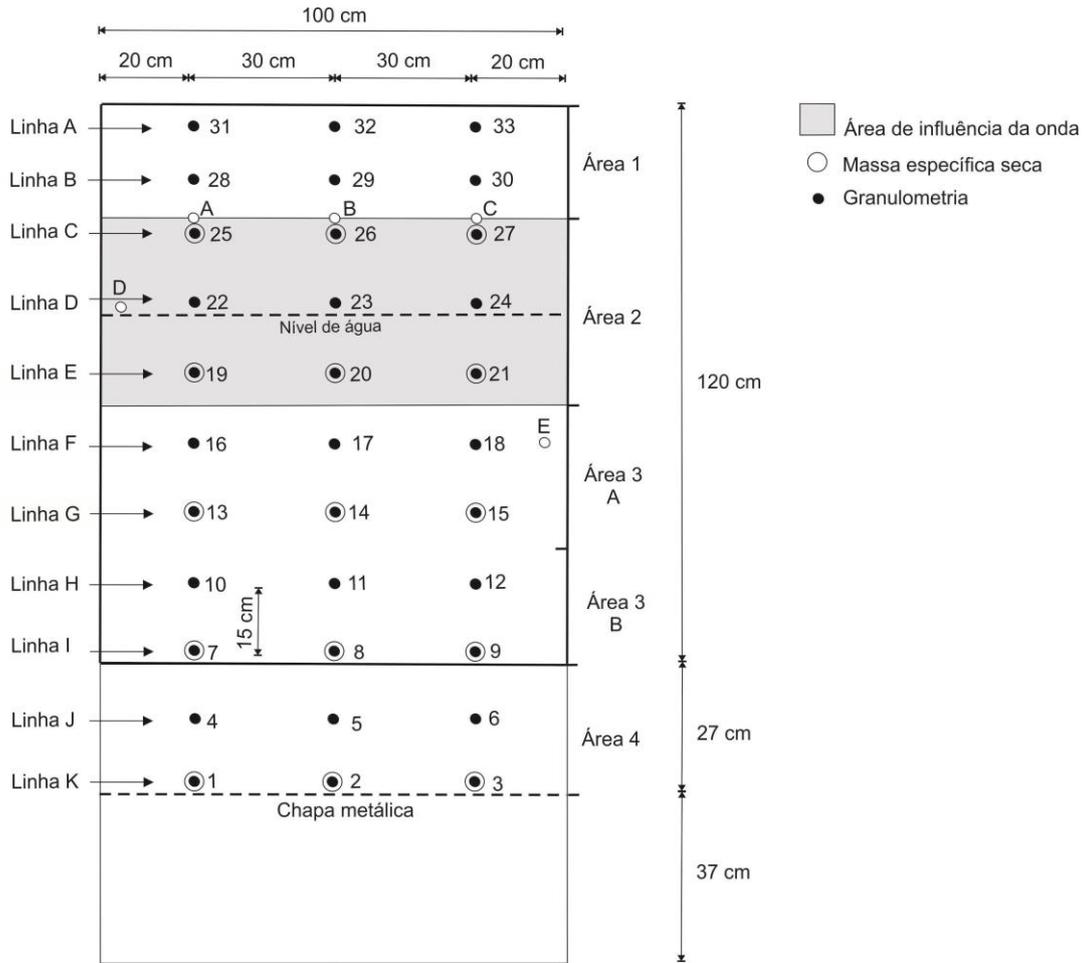


Figura 4.12 – Localização dos pontos de coleta das amostras de solo para a obtenção da massa específica seca e da granulometria.

Tabela 4.2 – Áreas de coleta das amostras da face do talude para a obtenção da granulometria (ver também a Figura 4.12).

	Áreas da granulometria	Área 1	Área 2	Área 3		Área 4
				A	B	
1º	Areia + RCD-R sem filtro	-	-	-	-	-
2º	Areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
3º	Silte + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	-	X	X	X	-
4º	Silte + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>	X	X	X	-	-
5º	40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	-	X	X	X	-
6º	40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>	X	X	X	X	-
7º	40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 400 g/m <sup>2</sup>	X	X	X	X	-
8º	40% silte + 60% areia + RCD-R sem filtro	-	-	-	-	-
9º	40% silte + 60% areia + RCD-R + filtro tradicional	X	X	X	X	-

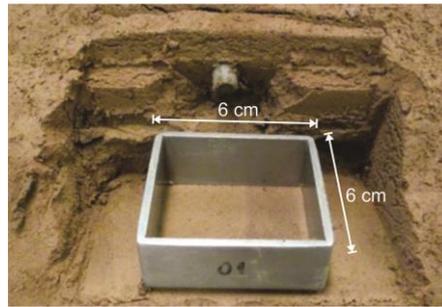


Figura 4.13 – Retirada da amostra de solo para a obtenção da massa específica seca no ensaio que empregou silte + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>.

#### 4.7 OBTENÇÃO DA TURBIDEZ DA ÁGUA NO CANAL

A turbidez da água no canal pode ser utilizada qualitativamente como uma indicação no nível de erosão do talude. A turbidez da água durante o ensaio foi obtida nos seguintes ensaios:

- 4º ensaio: Silte + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>
- 5º ensaio: 40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>
- 6º ensaio: 40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>
- 7º ensaio: 40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 400 g/m<sup>2</sup>
- 8º ensaio: 40% silte + 60% areia + RCD-R sem filtro
- 9º ensaio: 40% silte + 60% areia + RCD-R + filtro tradicional

As amostras eram coletadas em três profundidades distintas, como mostra a Figura 4.14, de acordo com os seguintes intervalos de tempo:

- Primeiras 3 h: de 15 em 15 min;
- 6 h seguintes: de 60 em 60 min; e
- Restante do ensaio: de 24 em 24 h.

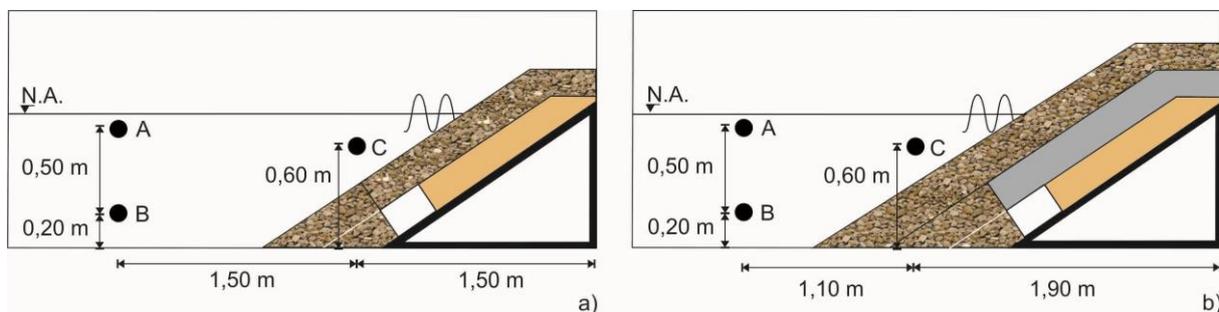


Figura 4.14 – Localização dos pontos de coleta de água para turbidez: a) ensaios em filtro convencional, b) ensaio com filtro convencional.

Foi necessária a montagem de um equipamento capaz de coletar as amostras de água o mais próximo possível do ponto desejado. Para isso, uma luva plástica vedava a entrada de um recipiente de 200 ml localizado na extremidade de um rodo, com a ajuda de uma borracha. Esta borracha era desconectada da luva, quando puxada por um fio, na profundidade de medida desejada. A Figura 4.15 mostra este procedimento. Em seguida, a amostra de 200 ml era agitada, a fim de homogeneizar a mistura. Um volume de 80 ml era armazenado em um recipiente de plástico com tampa, evitando assim a evaporação da água. No momento da utilização do turbidímetro, a amostra era novamente agitada e coletada com a ajuda de uma seringa para ser analisada. A amostra era novamente agitada manualmente por 30 s para que o solo erodido ficasse todo em suspensão no recipiente. Houve a preocupação de preencher todo o recipiente, pois a existência de ar, pode influenciar o valor da turbidez. A Figura 4.16 mostra o processo de obtenção da turbidez.



Figura 4.15 – Equipamento utilizado para a coleta de água.



Figura 4.16 - Obtenção da turbidez.

#### 4.8 MONITORAMENTO DO DESLOCAMENTO DO TALUDE DE AREIA

O monitoramento do deslocamento do talude foi realizado apenas nos ensaios que empregaram areia + RCD-R sem filtro e areia + RCD-R + filtro geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>. Foi possível monitorar o deslocamento por meio da comparação entre a posição do marco circular fixo (localizado na parte externa do vidro) e a posição do marco cilíndrico (localizado na parte interna no canal). O marco cilíndrico era posicionado, com o auxílio de graxa de silicone, a cada 5 cm e abrangia toda a área lateral do talude, como mostrado na Figura 4.17.

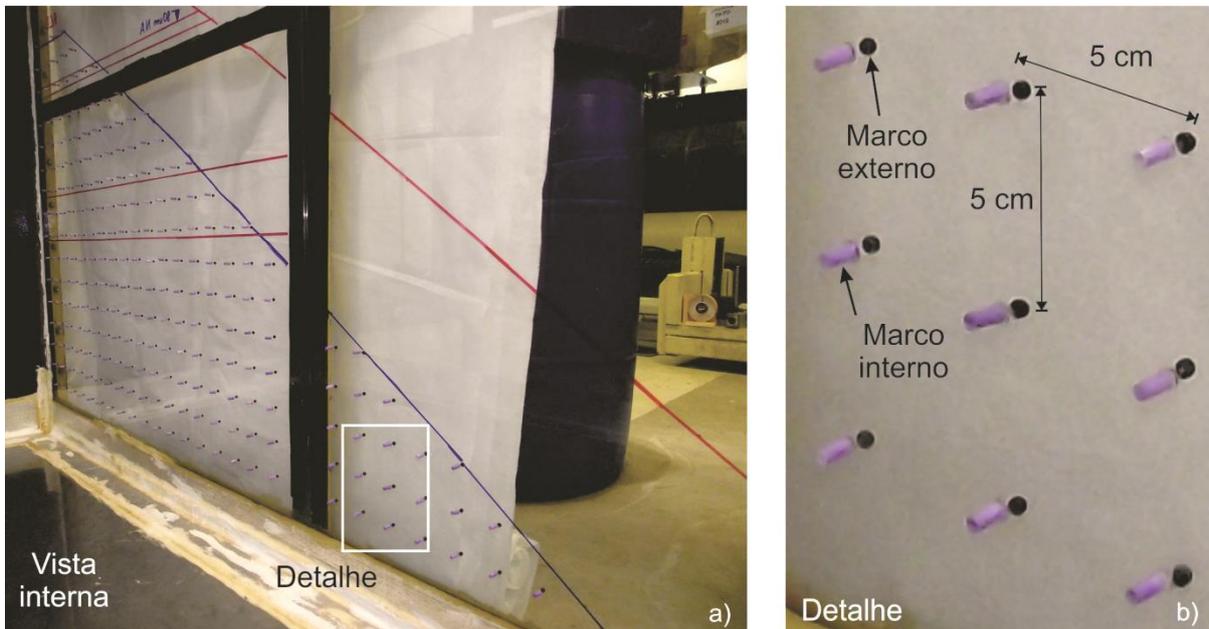


Figura 4.17 – Marcos internos e externos: a) vista interna da lateral do canal, b) detalhe dos marcos internos e externos.

As posições dos marcos internos no talude foram monitoradas após as seguintes etapas:

- Alçamento do talude;
- Colocação do RCD-R;
- Enchimento do canal; e
- Término do ensaio.

Os deslocamentos foram registrados por meio de fotografias digitais, obtidas de um ponto fixo. Com o auxílio de um programa gráfico, os deslocamentos eram obtidos, conforme mostra a Figura 4.18.



Figura 4.18 – Deslocamento dos marcos internos.

## CAPÍTULO V

### 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos em cada ensaio são apresentados na Tabela 5.1. A movimentação do RCD-R e o deslocamento do talude foram obtidos apenas nos ensaios com o talude construído com areia. A turbidez da água foi obtida em todos os ensaios com o talude construído com 40% silte e 60% areia e com silte e geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>. Os demais resultados foram obtidos em todos os ensaios, quando possível.

Tabela 5.1 – Resultados obtidos nos ensaios realizados.

Resultados	Ensaio								
	Areia sem filtro	Areia + 200 g/m <sup>2</sup>	Silte + 200 g/m <sup>2</sup>	Silte + 600 g/m <sup>2</sup>	40% silte + 60% areia + 200 g/m <sup>2</sup>	40% silte + 60% areia + 600 g/m <sup>2</sup>	40% silte + 60% areia + 400 g/m <sup>2</sup>	40% silte + 60% areia sem filtro	40% silte + 60% areia + filtro convencional
Calibração dos piezômetros elétricos									
Movimentação do RCD-R	X	X	-	-	-	-	-	-	-
Deslocamento do talude	X	X	-	-	-	-	-	-	-
Avanço do processo erosivo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Massa de solo erodida	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Impregnação do geotêxtil não tecido	-	X	X	X	X	X	X	-	-
Turbidez da água	-	-	-	X	X	X	X	X	X
Poropressão	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Massa específica do solo	-	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria do solo erodido	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria do solo impregnado no geotêxtil	-	X	X	X	X	X	X	-	-
Granulometria do solo da face do talude	-	X	X	X	X	X	X	-	X

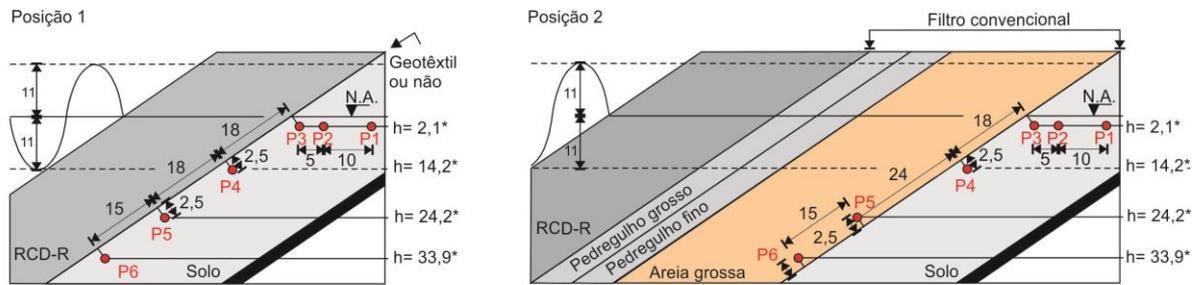
Nota: X: obtido (a), -: não obtido

Informações sobre a calibração dos piezômetros são apresentadas no Apêndice D.

#### 5.1 POROPRESSÕES NO TALUDE

A Figura 5.1 mostra as poropressões medidas nos ensaios que empregaram 40% silte + 60% areia com filtros geotêxteis de 200 g/m<sup>2</sup> e 600 g/m<sup>2</sup>, filtro convencional e sem filtro. Resultados similares foram obtidos nos ensaios com os outros sistemas. Em geral, houve um leve aumento das poropressões durante os ensaios, sendo este aumento mais significativo nos piezômetros P1, P2 e P3, que localizam-se na região de impacto da onda. O piezômetro P6, localizado a uma distância maior da região de influência da onda, quando comparado aos outros piezômetros, mostrou-se pouco influenciado. No ensaio sem filtro (Figura 5.1c) o piezômetro P2 apresentou valores negativos, o que pode ser justificado devido a uma

saturação inefficiente. As poropressões obtidas no ensaio com o filtro convencional apresentaram um comportamento semelhante aos dos filtros geotêxteis. Os valores de poropressão encontrados, indicam uma satisfatória capacidade de drenagem e filtração do geotêxtil, como mostram as Figuras 5.1(a) e 5.1(b). Variações de poropressão com o tempo para os outros ensaios realizados podem ser encontradas no Apêndice E.



\* Altura aproximada da lâmina de água acima do piezômetro.  
Unidade: cm

Poropressão na rampa com ondas (sem talude e revestimento) kPa  
P1=0,27 P2=0,44 P3=0,30 P4=0,30 P5=2,5 P6=3,4

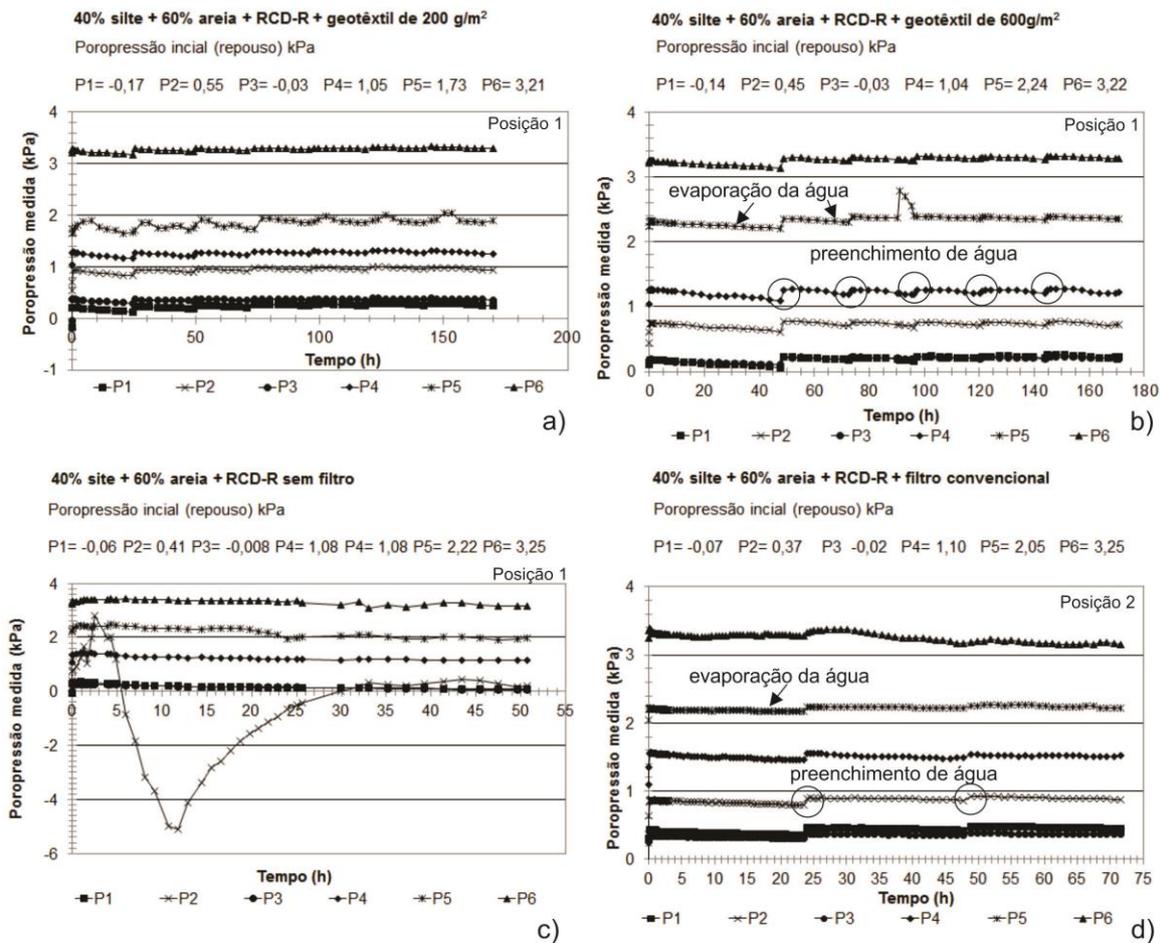


Figura 5.1 – Poropressão *versus* tempo para o talude formado por 40% silte + 60% areia: a) geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>, b) geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>, c) sem filtro, d) filtro convencional.

As Figuras 5.2(a), (b) e (c) mostram a variação da poropressão máxima ( $u_{max}$ ) ao longo da direção horizontal a 21 mm abaixo do nível da água. As poropressões foram obtidas pelos piezômetros P1, P2 e P3. Estes piezômetros foram instalados a uma distância horizontal, até a interface solo/geotêxtil de 43,5; 93,5 e 193,5 mm, respectivamente. Os resultados mostram que a máxima poropressão foi obtida pelo piezômetro P2, independente do solo ou filtro geotêxtil utilizado, incluindo o filtro granular convencional. Em todos os casos foi observado o aumento da poropressão em relação pressão estática da água ( $\gamma_w \cdot z$ , onde  $\gamma_w$  é o peso específico da água e  $z$  é a profundidade do piezômetro em relação ao nível de água estático), com exceção do ensaio realizado com areia + RCD-R sem filtro.

Devido ao intenso processo erosivo no talude de areia sem filtro, a média dos valores de poropressão foi obtida nos primeiros 30 s de cada ensaio. No entanto, é provável que o processo erosivo possa ter influenciado a leitura da poropressão nos piezômetros, como mostra a Figura 5.1(a), obtendo-se um baixo valor da poropressão máxima no piezômetro P3. Isso ocorre devido à perda de saturação, próximo à superfície do talude e à alta permeabilidade da areia durante o avanço e recuo da onda ao longo da camada de proteção. Quanto maior a abertura de filtração do filtro geotêxtil, maior o valor de  $u_{max}$ . Isso pode ser observado nos ensaios realizados com o silte e a mistura de 40% silte e 60% areia, como mostram as Figuras 5.2(b) e (c). Em relação à essa mistura, o valor de  $u_{max}$ , foi obtida com o geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>, seguido pelo filtro granular e pelos geotêxteis de 400 e 600 g/m<sup>2</sup> (Figura 5.2c). Isso pode ser consequência da menor dissipação de energia das ondas após impactos em filtros com menor espessura.

As Figuras 5.3(a) a (c) mostram as variações de poropressões máximas ao longo do comprimento dos taludes. A variação da pressão estática da água ( $\gamma_w \cdot z$ ) ao longo do comprimento do talude também é apresentada para comparação. Pode-se observar que as poropressões foram semelhantes aos valores de pressão estática para as maiores profundidades. Maiores valores de poropressões foram obtidos perto do nível de água, particularmente no ensaio que utilizou filtro convencional (Figura 5.3c). Esses resultados mostram um desempenho satisfatório dos filtros geotêxteis comparativamente ao filtro granular, no que se refere à capacidade de drenagem.

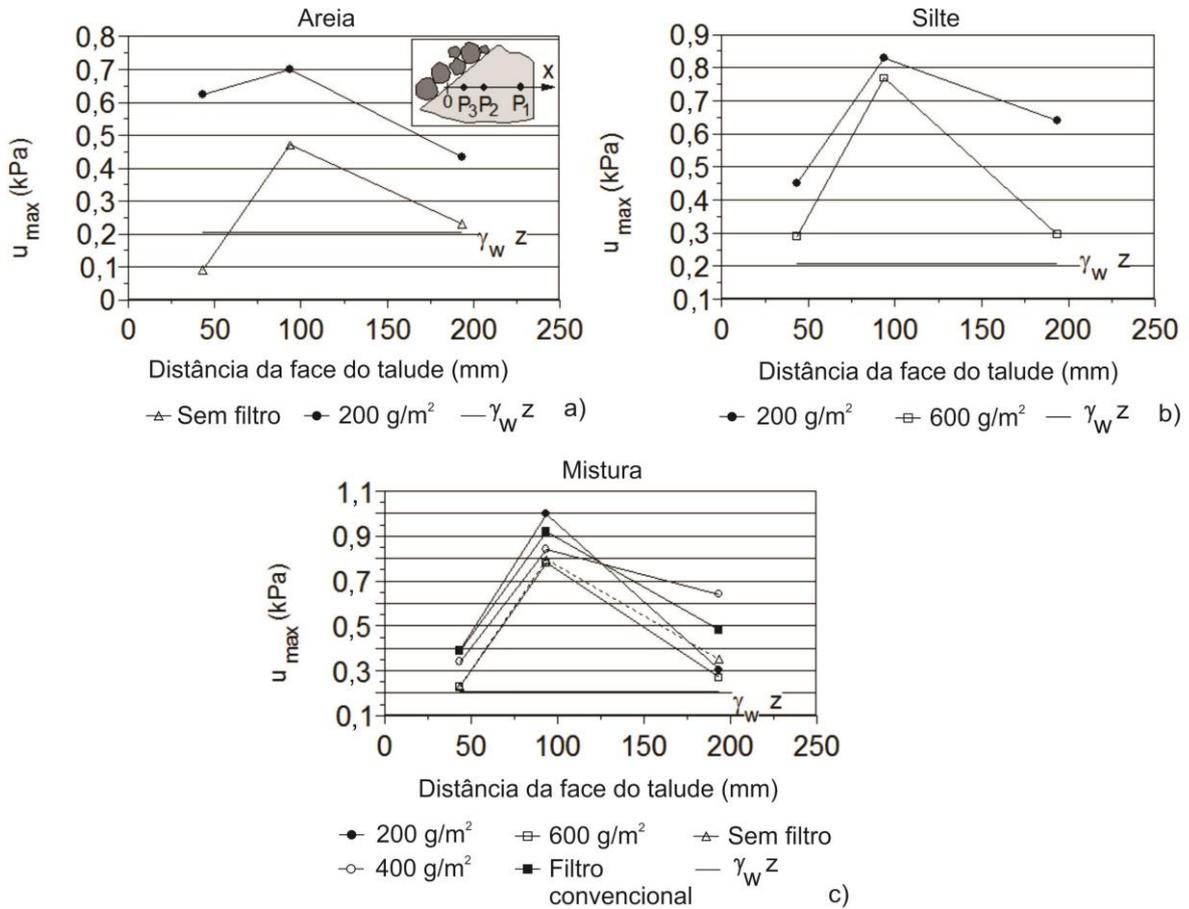


Figura 5.2 – Poropressão máxima no talude: a) areia, b) silte, c) 40% silte + 60% areia.

A Figura 5.4 apresenta a poropressão máxima ( $u_{max}$ ) obtida no piezômetro P2 normalizada pelo produto entre a altura da onda ( $H$ ) e peso específico da água ( $\gamma_w$ ). Nos taludes sem filtro, o menor valor de  $u_{max}/\gamma_w \cdot H$  foi obtido no talude de areia. Isso pode ser uma consequência do alto coeficiente de permeabilidade desse solo, capaz de uma maior dissipação das poropressões em um menor intervalo de tempo. Como mencionado, as leituras de poropressão consideradas nos ensaios sem filtro foram obtidas nos primeiros 30 s de ensaio, devido ao intenso avanço erosivo no talude. Para os diferentes tipos de solos e filtros, a razão entre  $u_{max}/\gamma_w \cdot H$  variou entre 0,34 e 0,46. Para o geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup> e mistura de 40% silte e 60% areia foi obtido o valor máximo de  $u_{max}/\gamma_w \cdot H$ . Os resultados obtidos nos ensaios com filtros geotêxteis foram similares aos obtidos no ensaio com o filtro convencional.

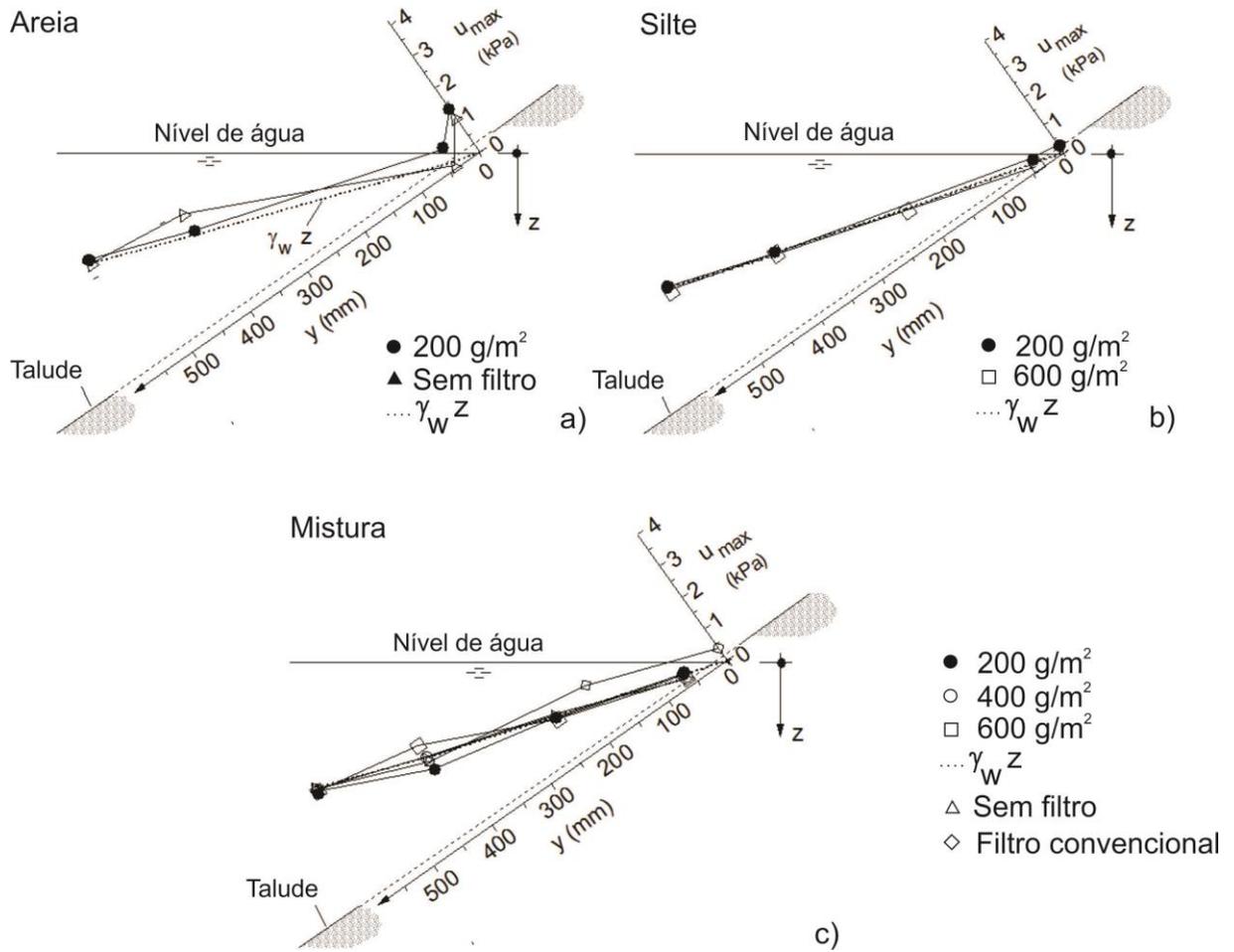


Figure 5.3 – Poropressão máxima ao longo da superfície do talude: a) areia, b) silte, c) 40% silte + 60% areia.

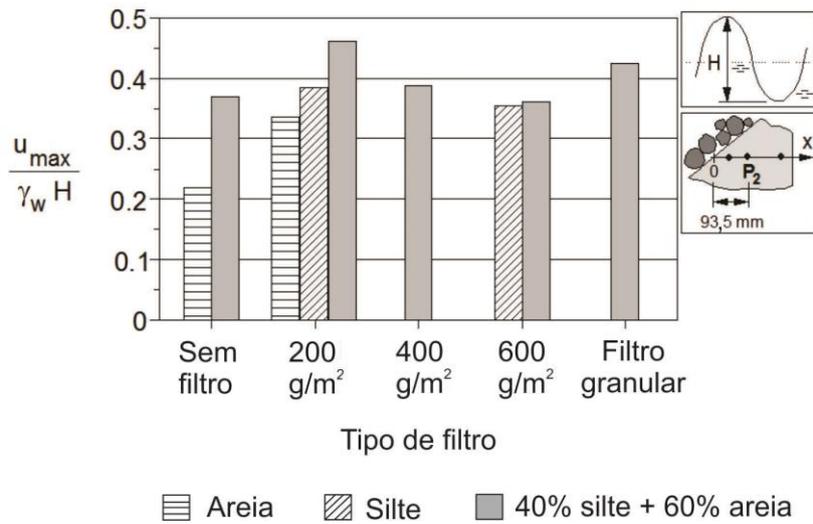


Figure 5.4 – Poropressão máxima normalizada para diferentes sistemas.

Os resultados mostrados nas Figuras 5.2 a 5.4 permitem estimar os gradientes hidráulicos próximo à superfície do talude, particularmente na região de maior influência do impacto das ondas. O regime de fluxo nesta região é complexo para determinar com precisão esses gradientes, mas pode-se fazer uma estimativa a partir dos resultados disponíveis. Admitindo-se que a direção do fluxo no solo na região de impacto da onda é horizontal (na verdade, é levemente inclinado com a horizontal), o gradiente hidráulico ( $i$ ) pode ser quantificado pela razão entre a carga hidráulica no ponto considerado e a distância horizontal entre o ponto e a superfície do talude. Nestes cálculos, a pressão de água na mesma cota na face do talude foi assumida como sendo zero, devido à reduzida profundidade dos piezômetros P1, P2 e P3 em relação ao nível de água (Figura 5.5) e o recuo da onda após impacto.

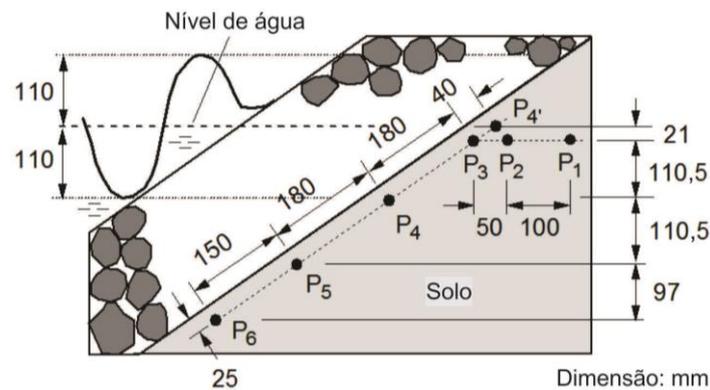


Figura 5.5 – Localização dos piezômetros.

Os gradientes hidráulicos ( $i$ ) na posição do piezômetro P3 (mais próximo à face do talude) são apresentados na Figura 5.6. O valor de  $i$  variou entre 0,51 e 1,47 dependendo do filtro e do solo considerado. De fato, o deslocamento real da água é maior que a distância horizontal utilizada nos cálculos e, desta maneira, o gradiente hidráulico real será inferior aos valores apresentados na Figura 5.6. Os maiores gradientes hidráulicos foram obtidos no ensaio com geotêxtil de  $200 \text{ g/m}^2$  e areia. Como o geotêxtil de  $200 \text{ g/m}^2$  possui uma menor espessura, quando comparado aos demais geotêxteis, possui também uma maior abertura de filtração, facilitando a passagem de água e a transferência de energia do impacto das ondas para o solo. Além disso, a energia que atinge o piezômetro P3 é maior e mais rápido ocorre a drenagem da água na face do talude de areia. Para a mistura de 40% silte e 60% areia, o valor de  $i$  diminuiu com o aumento da espessura do geotêxtil. À medida que esse aumenta, a passagem de água torna-se mais difícil e a capacidade do geotêxtil de absorver uma parte maior da energia do impacto das ondas aumenta. Observa-se que o valor de  $i$ , para o filtro

granular (areia do filtro bastante permeável em contato com o solo de base), foi semelhante ao obtido com o geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>.

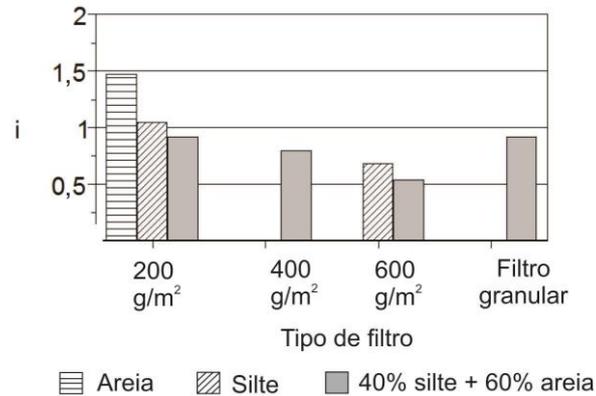


Figura 5.6 – Gradiente hidráulico para diferentes sistemas.

## 5.2 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DO FILTRO SOB AÇÃO DAS ONDAS

No final de cada ensaio, as partículas de solo erodidas (passantes pelo filtro) e acumuladas no fundo do canal, foram coletadas para a obtenção de sua granulometria. As principais características granulométricas dos solos erodidos são apresentadas na Tabela 5.2. As partículas impregnadas no filtro geotêxtil e o solo subjacente ao filtro também foram analisadas. A Figura 5.7(a) apresenta o diâmetro máximo da partícula passante ( $D_{85p}$ ), passante através do filtro, normalizada pela abertura de filtração do filtro geotêxtil (FOS). Observa-se um leve aumento do diâmetro da partícula em relação à abertura de filtração nos ensaios realizados com 40% silte e 60% areia e com os geotêxteis de 400 e 600 g/m<sup>2</sup>. Nesses casos, os furos provocados pelo processo de agulhagem na fabricação do geotêxtil podem ter influenciado a capacidade de retenção do filtro, como apresenta a Figura 5.7(b) (pontos brancos são furos deixados por agulhas). Segundo Palmeira *et al.* (1996) a influência do furo da agulha pode ser reduzida ou anulada, sob condições de campo, devido ao lançamento e à compactação do solo sobre o geotêxtil, bem como devido à impregnação do geotêxtil, que poderá reduzir o diâmetro dos furos ou, até mesmo bloqueá-lo totalmente.

O fluxo cíclico da água, e conseqüentemente o deslocamento do filtro geotêxtil, podem favorecer a passagem de partículas maiores que a abertura de filtração do geotêxtil. Em relação ao filtro granular, o diâmetro do canal por onde a partícula de solo pode passar foi assumido como igual ao  $D_{15}$  da areia grossa em contato com o solo do talude (40% silte e 60% areia), como é tradicionalmente assumido em filtros granulares. Nesse caso, a razão entre o diâmetro máximo da partícula do solo erodido e diâmetro da abertura na areia grossa

foi igual a 0,36. Outras informações referentes às partículas erodidas são apresentadas no Apêndice F.

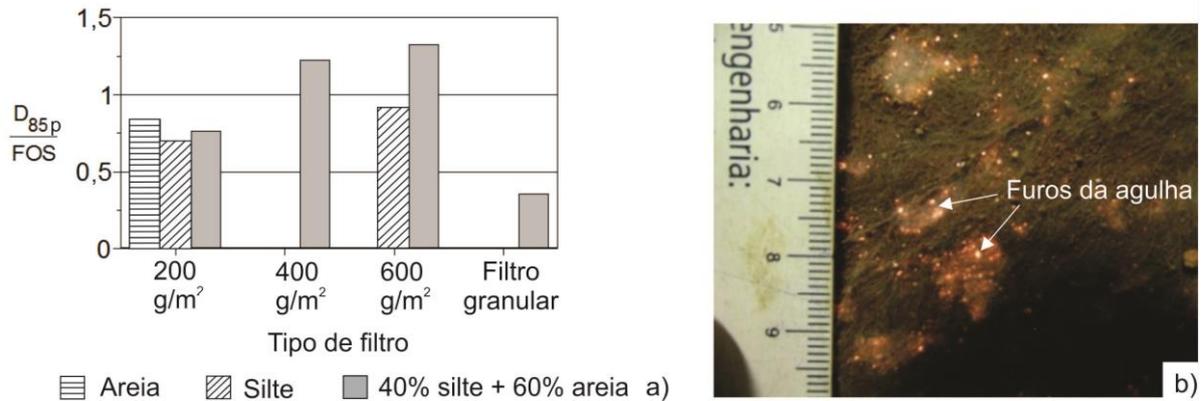


Figura 5.7 – Diâmetros de partículas passantes pelo geotêxtil normalizados pela abertura de filtração: a) normalização do diâmetro máximo da partícula do solo erodido pela abertura de filtração do geotêxtil, b) furos deixados pela agulha no processo de fabricação do filtro geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup> após o ensaio com silte.

As partículas de solo impregnadas no filtro geotêxtil também foram analisadas. A razão entre o diâmetro máximo das partículas impregnadas ( $D_{85i}$ ) e a abertura de filtração do geotêxtil (FOS) é apresentada na Figura 5.8(a) para os diferentes sistemas ensaiados. Foram encontrados valores superiores a 1,3 para os sistemas formados pela areia e geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup> e para o solo 40% silte + 60% areia e geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>. Isso é consequência da passagem de partículas de solo por aberturas superficiais maiores no geotêxtil até que sua passagem pelo canal de fluxo do geotêxtil é bloqueada por uma constrição menor. Para os outros sistemas, a razão entre o diâmetro máximo das partículas impregnadas ( $D_{85i}$ ) e a abertura de filtração do geotêxtil (FOS) foi menor que 1. Valores similares de  $D_{85i}/FOS$ , também foram obtidos por Palmeira *et al.* (2005) em ensaios de filtração sob confinamento e fluxo estacionário. Nos ensaios desta tese o nível de impregnação das partículas de solo no filtro geotêxtil certamente foi influenciado pelo movimento do geotêxtil nos vazios do riprap, devido aos impactos das ondas. O tipo de movimento (ascensão e descida do geotêxtil, se descolando do solo base) influencia a impregnação do geotêxtil e a passagem de partículas de solo maiores através do filtro geotêxtil.

Tabela 5.2 – Principais características granulométricas dos solos erodidos.

Ensaio	Argila (%) <0,002 mm	Silte (%) (0,002 – 0,06 mm)	Areia fina (%) (0,06 – 0,2 mm)	Areia média (%) (0,2 – 0,6 mm)	Areia grossa (%) (0,6 – 2 mm)	Pedregulho fino (%) (2 – 6 mm)	Pedregulho médio (%) (6 – 20 mm)	D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>60</sub>	D <sub>85</sub>	D <sub>95</sub>	C <sub>U</sub>	C <sub>C</sub>
Areia (talude)*	1,72	2,83	12,68	37,39	40,73	2,96	1,69	0,12	0,303	0,520	0,700	1,44	2,0	5,83	1,09
Areia + RCD-R sem filtro	Iguais de *														
Areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	0	44,96	37,77	16,2	1,07	0	0	0,016	0,035	0,059	0,075	0,20	0,34	4,69	1,02
Silte (talude)	5,75	54,83	33,89	0,53	0	0	0	0,004	0,022	0,04	0,052	0,11	0,18	14,05	2,52
Silte + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	0	41,89	45,61	12,5	0	0	0	0,014	0,038	0,063	0,082	0,16	0,24	5,86	1,26
Silte + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>	2,75	59,47	26,56	11,22	0	0	0	0,006	0,018	0,035	0,048	0,15	0,24	8,00	1,13
40% silte + 60% areia (talude)**	1,96	26,69	14,12	56,39	0,84	0	0	0,012	0,056	0,24	0,29	0,39	0,48	24,16	0,90
40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	0	45,91	39,08	13,89	1,12	0	0	0,019	0,038	0,056	0,073	0,17	0,30	3,84	1,04
40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 400 g/m <sup>2</sup>	0	50,26	31,96	17,44	0,34	0	0	0,010	0,026	0,050	0,070	0,17	0,28	7,00	0,97
40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>	0	52,06	33,46	14,13	0,35	0	0	0,012	0,028	0,051	0,073	0,20	0,30	6,08	0,89
40% silte + 60% areia + RCD-R sem filtro	Iguais de **														
40% silte + 60% areia + RCD-R + filtro tradicional	0	19,86	46,29	33,85	0	0	0	0,023	0,078	0,125	0,155	0,25	0,33	6,74	1,71

Notas: D<sub>n</sub> = n % das partículas do solo possuem diâmetro D inferiores a D<sub>n</sub>,  $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  = coeficiente de uniformidade,  $C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$  = coeficiente de curvatura.

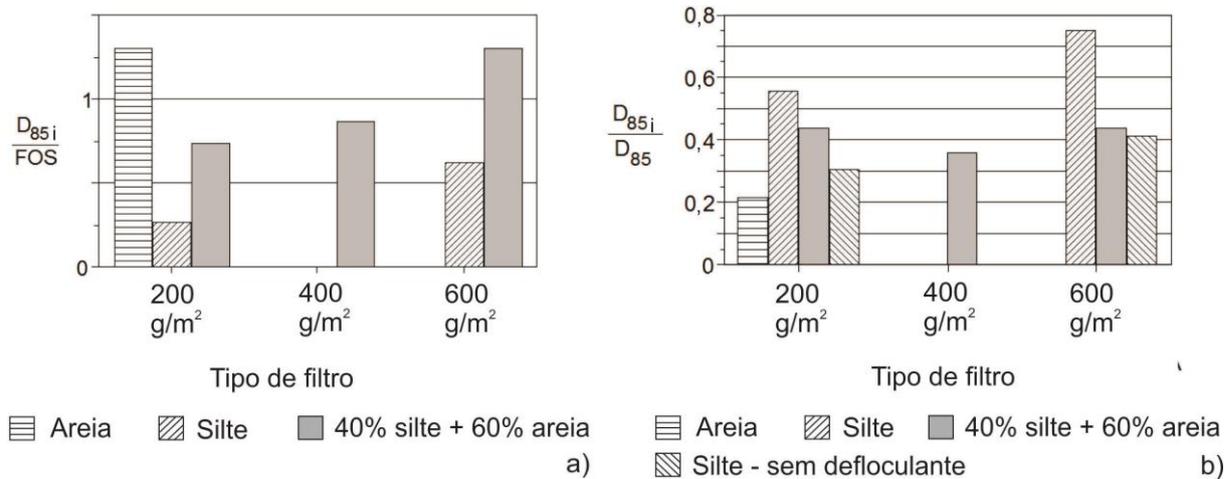


Figura 5.8 – Diâmetros máximos das partículas impregnadas no geotêxtil normalizados pelo FOS: a) diâmetro das partículas impregnadas no geotêxtil normalizadas pela abertura de filtração do geotêxtil, b) diâmetro das partículas impregnadas no geotêxtil normalizados pelo diâmetro máximo das partículas do solo do talude.

A Figura 5.8(b) apresenta a razão entre o diâmetro máximo ( $D_{85i}$ ) das partículas impregnadas no geotêxtil e o diâmetro máximo das partículas do solo do talude ( $D_{85}$ ). Os resultados para o silte sem o uso de defloculante também são apresentado na Figura 5.8(b). Para este solo, a presença de defloculante influenciou significativamente o valor de  $D_{85}$ , como mostrado na Figura 3.18. Pode-se observar que os maiores diâmetros das partículas do solo impregnado são inferiores as maiores partículas do solo da base, com  $D_{85i}$  variando entre 0,21 e 0,75 vezes  $D_{85}$ , dependendo do geotêxtil e solo considerados. Informações adicionais sobre as partículas de solo impregnadas nos geotêxteis são apresentadas no Apêndice G. Partículas impregnadas no filtro geotêxtil aumentam a sua capacidade de retenção, sendo esta uma das razões pelas quais filtros que não atendam os critérios de retenção possam apresentar desempenhos satisfatórios, no que diz respeito à capacidade de retenção (Palmeira & Fannin, 2002), dependendo do nível de impregnação. Valores semelhantes de  $D_{85i}/D_{85}$  foram obtidos por Palmeira *et al.* (2005) e Palmeira *et al.* (2010) em testes de filtração unidirecionais em condições de fluxo estacionário.

Uma maior impregnação do geotêxtil, devido ao seu movimento nos vazios do riprap e ao impacto das ondas também pode ser observada nas Figuras 5.9 e 5.10. Nestas figuras, o grau de impregnação é definido como a razão entre a massa de partículas e a massa de fibras do

geotêxtil para uma mesma unidade de área plana do geotêxtil e é influenciado pelos poros vazios presentes no filtro geotêxtil. Os valores de grau de impregnação dependem da região considerada. Entretanto, o grau de impregnação foi inferior a 0,5 na maioria dos casos. A Figura 5.9 mostra também que o geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup> (maior abertura de filtração) ficou cerca de duas vezes mais impregnado na área de impacto das ondas quando comparado ao geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup> (menor abertura de filtração). Outras informações sobre o grau de impregnação das amostras de geotêxtil são apresentadas no Apêndice H.

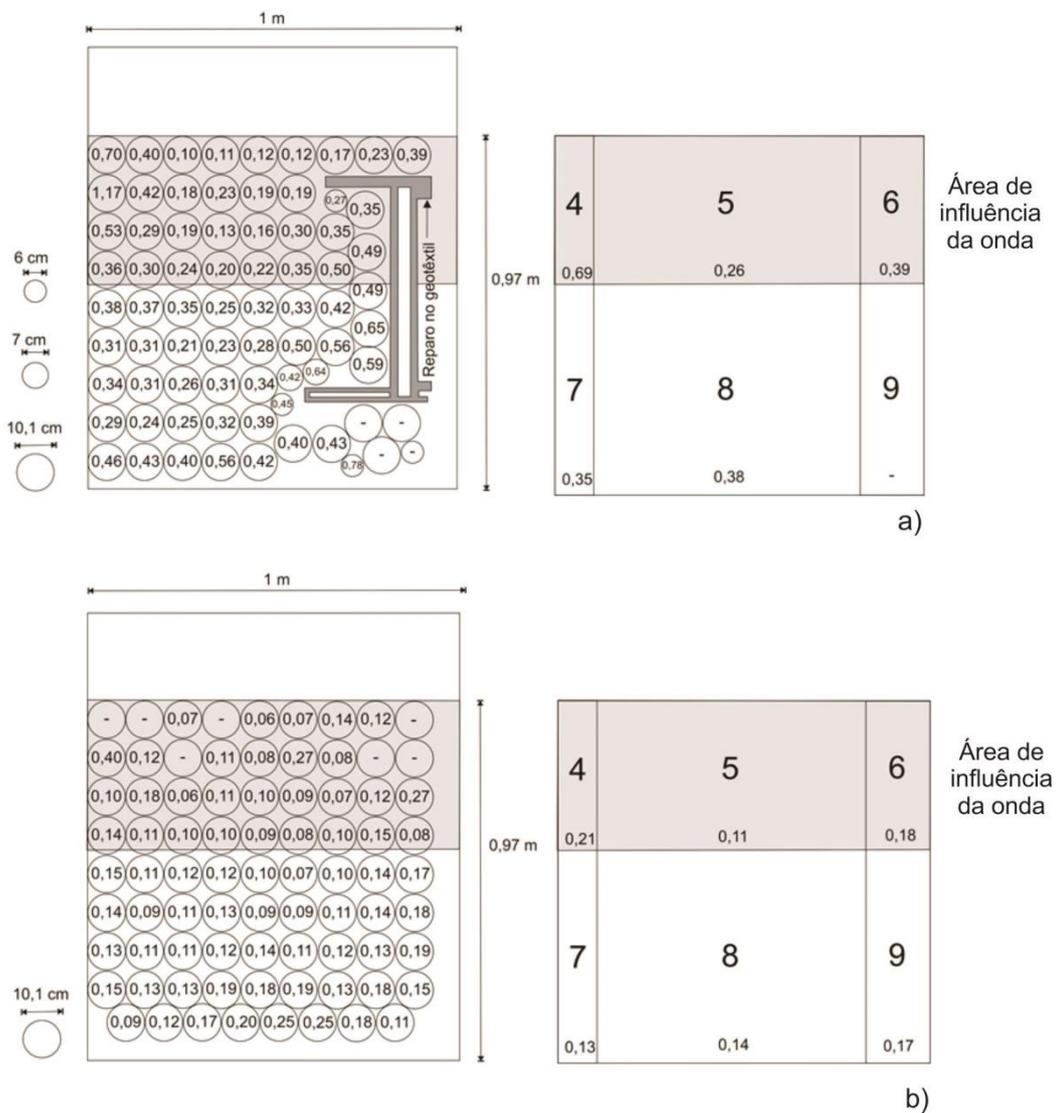


Figura 5.9 – Grau de impregnação em cada amostra de geotêxtil e valores médios em ensaios com solo com 40% silte + 60% areia: a) geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>, b) geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>.

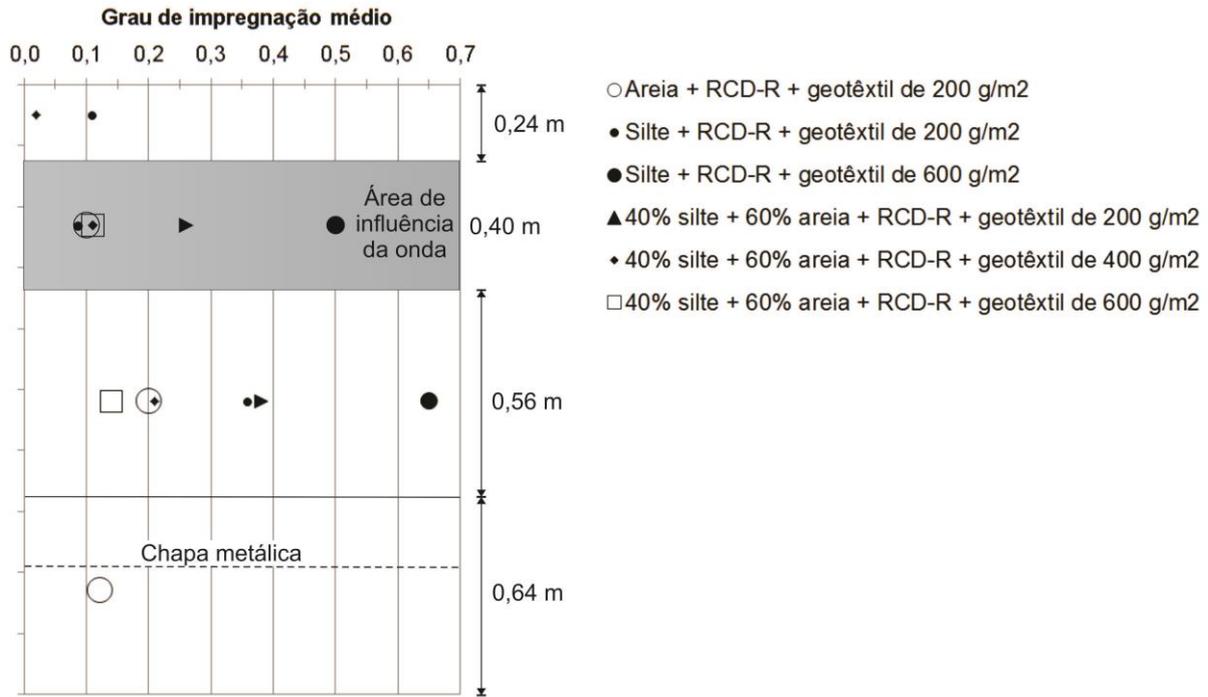


Figura 5.10 – Grau de impregnação médio das amostras de geotêxteis.

A Figura 5.11 apresenta uma amostra de geotêxtil localizada na área de influência da onda no ensaio que utilizou silte e geotêxtil de  $600 \text{ g/m}^2$ . Nas áreas onde o RCD-R estava em contato com o filtro geotêxtil não se observou o depósito de solo erodido na superfície do mesmo, como mostra a Figura 5.11 e 5.12(b) e (d). As Figuras 5.12 (c) e (e) apresentam a área II com deposição do solo erodido.

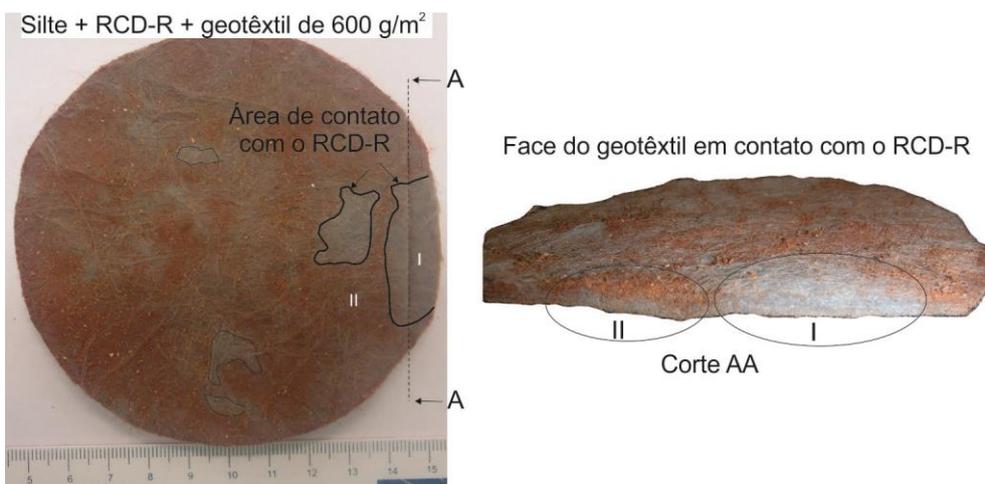


Figura 5.11 – Área de deposição do solo erodido sobre o geotêxtil no ensaio com silte e geotêxtil de  $600 \text{ g/m}^2$ .

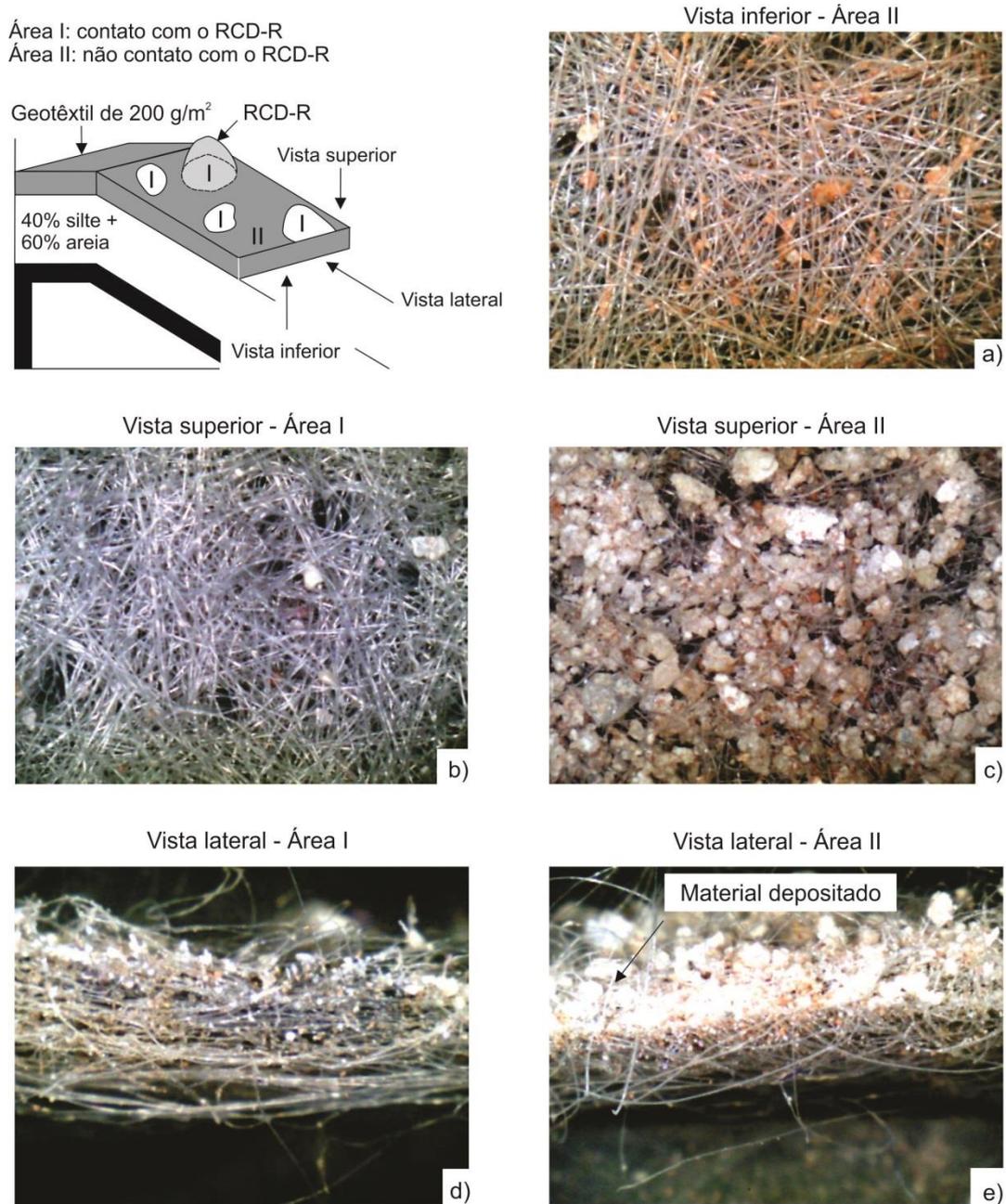


Figura 5.12 – Vista superior, inferior e lateral das amostras de geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup> no ensaio com 40% silte e 60% areia: a) vista inferior área II, b) vista superior área I, c) vista superior área II, d) vista lateral área I, e) vista lateral área II.

A erosão das partículas de solo através do filtro geotêxtil causa mudanças na distribuição do tamanho dos grãos na interface com o geotêxtil. A Figura 5.13 apresenta a razão entre o diâmetro máximo da partícula no final ( $D_{85\text{final}}$ ) e início do ensaio ( $D_{85\text{inicial}}$ ) para os ensaios com o silte e com 40% silte + 60% areia. Para o silte, pode-se observar que há um aumento no diâmetro máximo da partícula de solo na interface com o geotêxtil devido ao carreamento

das partículas pequenas. No entanto, para a mistura de 40% silte + 60% areia, pode-se dizer que a relação entre diâmetros manteve-se praticamente constante. Para o filtro granular, nota-se um decréscimo de  $D_{85\text{final}}/D_{85\text{inicial}}$ . É interessante destacar que embora a camada de areia grossa seja muito mais espessa, a abertura equivalente dessa camada ( $D_{15} = 0,7$  mm) é consideravelmente maior do que o tamanho da abertura de filtração dos geotêxteis analisados (0,130 a 0,230 mm). Outras informações referentes à distribuição granulométrica do solo da face dos taludes, no final dos ensaios, são apresentadas no Apêndice I.

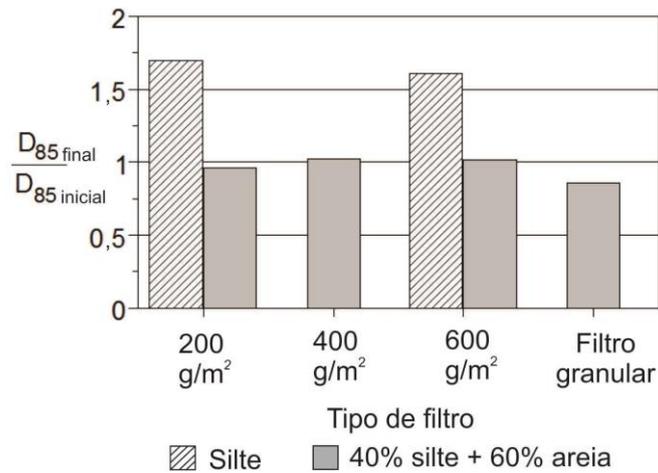
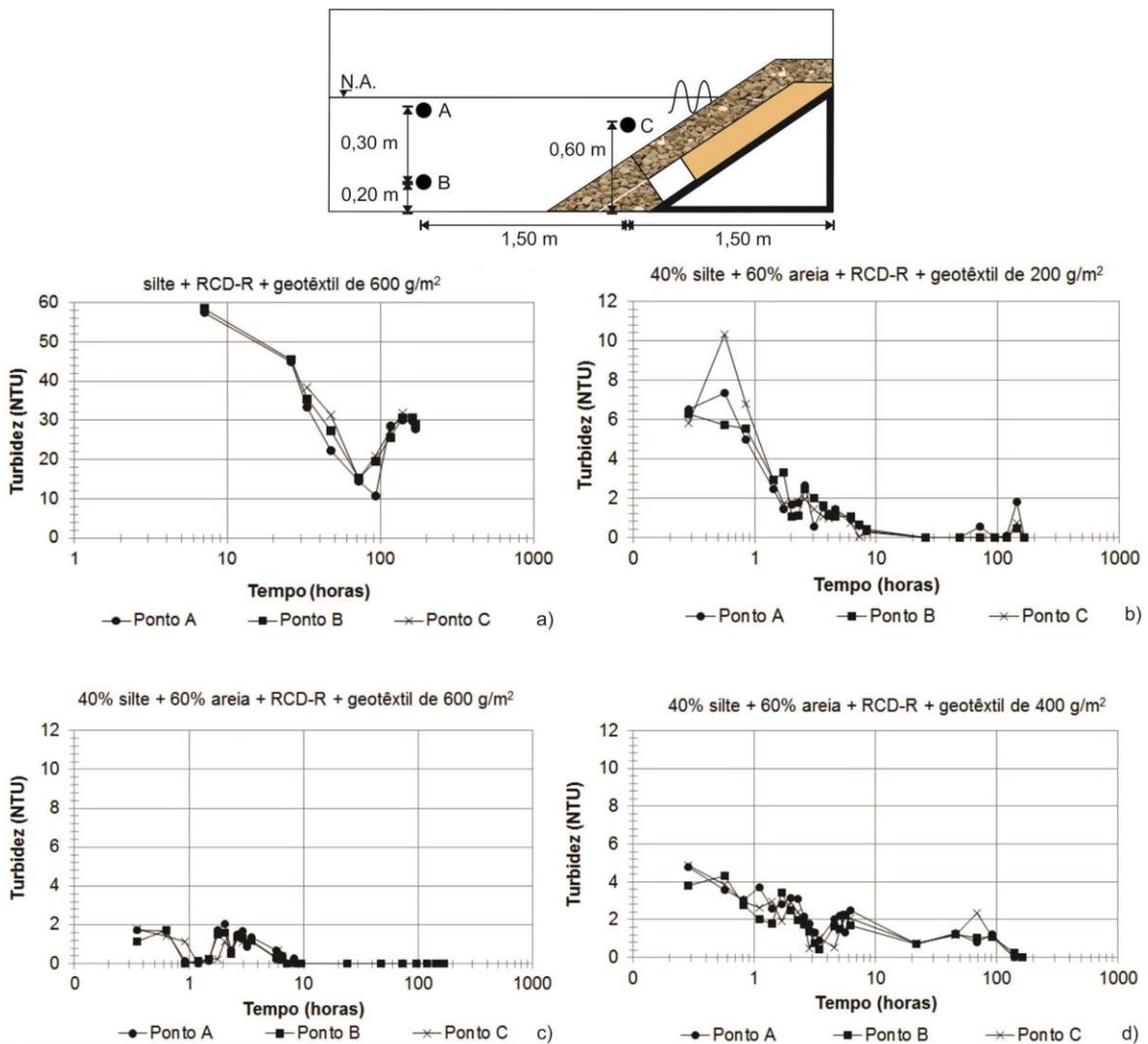


Figure 5.13 – Razão entre o diâmetro máximo das partículas do solo do talude depois e antes do ensaio.

Amostras de água foram coletadas em diferentes pontos, de acordo com a Figura 5.14, para a obtenção da variação da turbidez da água no canal durante o ensaio. O valor da turbidez também fornece algumas informações sobre a quantidade de partículas do solo erodidas através do filtro em um intervalo de tempo onde a erosão foi mais intensa. Resultados típicos são apresentados nas Figuras 5.14(a) a 5.14(f) para os ensaios com o solo base consistindo de silte ou 40% silte e 60% areia. A Figura 5.14(e) apresenta a variação da turbidez no talude que não utilizou filtro. A máxima turbidez encontrada foi próxima de 550 NTU, após 3,5 h de ensaio, permanecendo alta até o término do mesmo. Nos ensaios com filtro geotêxtil a turbidez variou entre 2 e 10,3 NTU, dependendo do tipo de geotêxtil considerado (Figura 5.14a, 5.14b, 5.14c e 5.14.d), sendo os valores encontrados bem menores que os obtidos no ensaio sem filtro. Faure & Lirigm (2002), utilizando canal hidráulico, encontraram valores de turbidez da água em ensaios empregando geotêxtil não tecido de 170 g/m<sup>2</sup> da ordem de 30 NTU nos primeiros minutos de ensaio e, após 25 horas, este valor tendeu a ser inferior a 5 NTU, semelhantemente ao observado na presente pesquisa.

Na maioria dos casos, o valor da turbidez decresce significativamente após 2 h de ensaio, atingindo valores de turbidez de água potável (turbidez < 1 NTU para consumo com ou sem filtração, de acordo com EPA, 2014). A redução da turbidez pode ser justificada devido a deposição do solo erodido no fundo do canal. Entre 4 a 10 h depois do início do ensaio, os valores de turbidez encontrados dependeram do geotêxtil considerado.

O talude com o filtro granular apresentou um padrão semelhante de variação temporal e valores máximos de turbidez semelhantes aos observados para os filtros geotêxteis (Figura 5.14f), atingindo valores de turbidez de água potável mais lentamente.



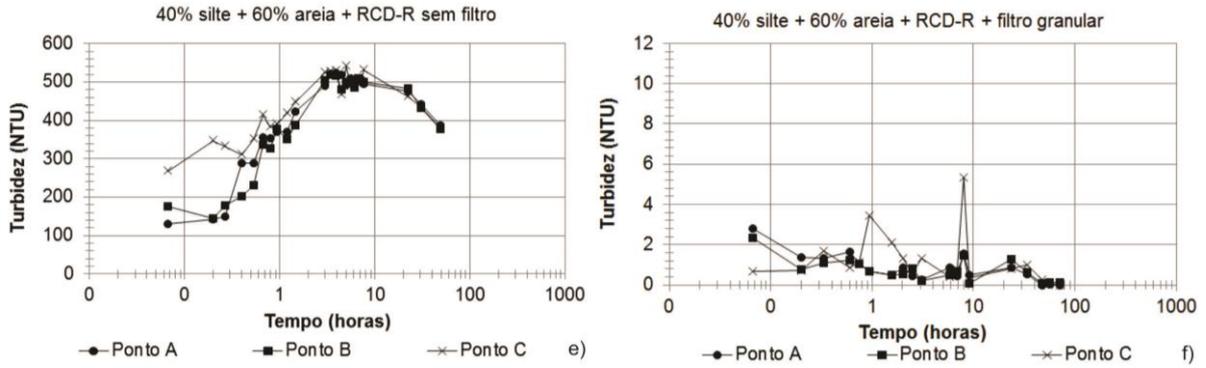


Figura 5.14 – Turbidez *versus* tempo para o solo com 40% silte e 60% areia.

A Figura 5.15 apresenta o valor de turbidez máxima no ponto de coleta A (Figura. 5.15), para diferentes filtros, em ensaios com o solo com 40% silte e 60% areia. Observa-se que a redução da espessura do geotêxtil, e conseqüente aumento da abertura de filtração, provocou valores de turbidez maiores, como esperado. A turbidez máxima obtida com o filtro granular apresentou-se entre os valores observados para os geotêxteis de 400 e 600 g/m<sup>2</sup>. Amostras da água coletadas nos ensaios com solo 40% silte + 60% areia sem filtro e com filtro granular são apresentadas na Figura 5.16, evidenciando a influência da presença do elemento filtrante na turbidez da água.

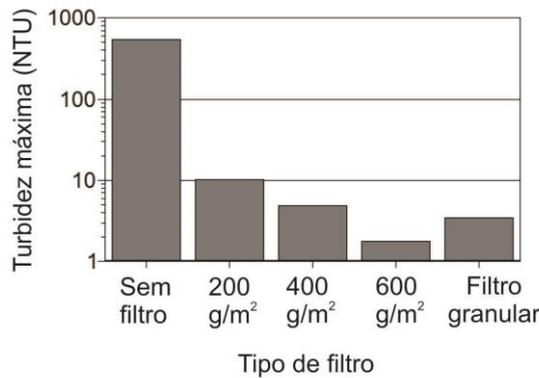


Figura 5.15 – Turbidez máxima *versus* tipo de filtro para ensaios com o solo com 40% silte + 60% areia.

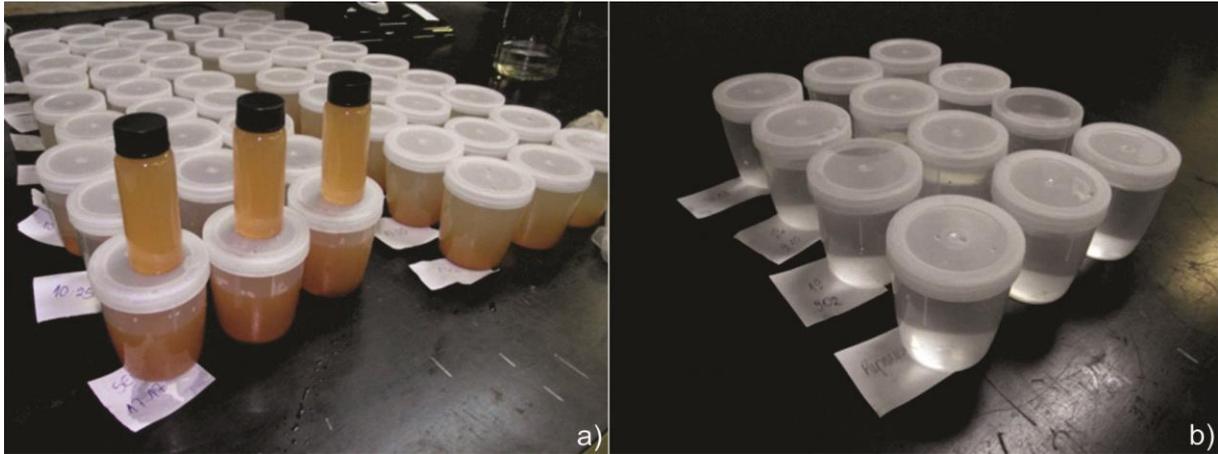


Figura 5.16 – Amostras da água em ensaios com solo com 40% silte + 60% areia: a) sem filtro, b) com filtro granular.

Em relação à variação da massa específica seca média do solo na superfície do talude, a Figura 5.17 mostra, em geral, um aumento do valor final em relação ao inicial. Isto pode ser justificado pela acomodação do solo do talude durante a sua execução, considerando o peso do RCD-R, enchimento do canal e os impactos das ondas. Outras informações relativas às massas específicas dos solos dos taludes são apresentadas no Apêndice J.

### 5.3 QUANTIDADE DE SOLO ERODIDO NOS DIFERENTES SISTEMAS

O solo acumulado no fundo do canal foi coletado para a obtenção de sua massa. A Figura 5.18 e a Tabela 5.3 apresentam a massa total de solo erodido nos ensaios. As menores massas erodidas foram obtidas nos ensaios com areia + geotêxtil de  $200 \text{ g/m}^2$  e com 40% silte + 60% areia + filtro granular. A reduzida massa erodida, no primeiro caso, pode ser justificada pelo tamanho das partículas do solo base. Nos ensaios com geotêxtil, a massa erodida variou entre 310 g (para o sistema 40% silte + 60% areia e geotêxtil de  $600 \text{ g/m}^2$ ) e 460 g (sistema silte + geotêxtil de  $200 \text{ g/m}^2$ ). O valor para o primeiro sistema é consistente com o fato do geotêxtil de  $600 \text{ g/m}^2$  possuir uma maior espessura e menor abertura de filtração (FOS), bem como para o segundo sistema, que tem uma maior abertura de filtração. Para o solo formado por 40% silte e 60% areia, pode-se notar que a redução da FOS do geotêxtil implica numa redução da massa de partículas erodidas.

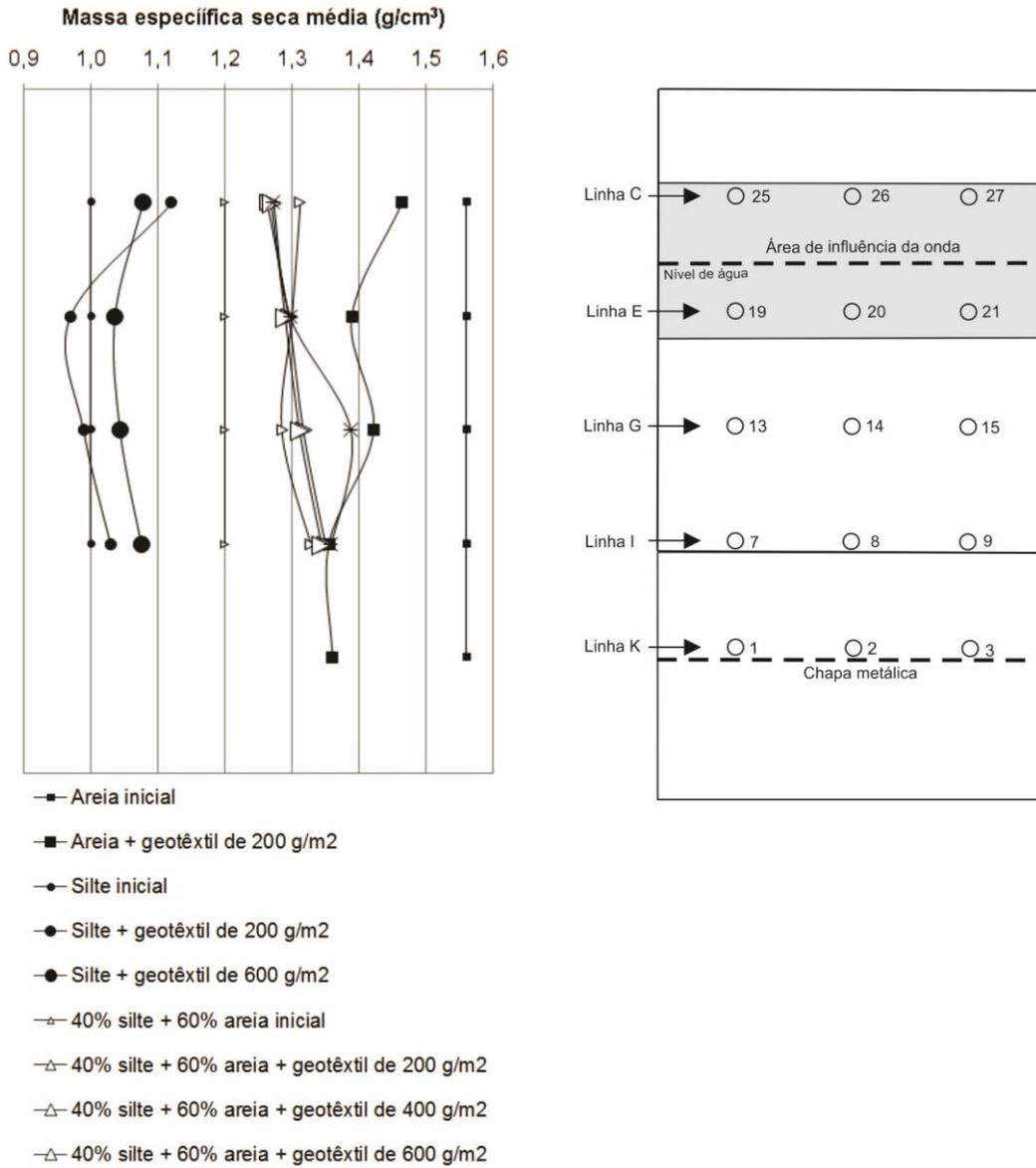


Figura 5.17 – Massa específica do solo inicial e final.

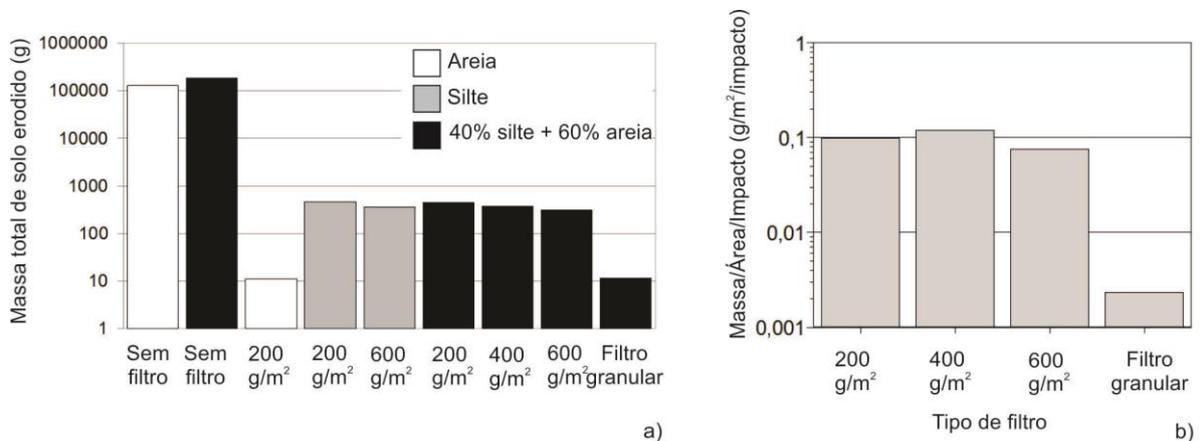


Figure 5.18 – Massa total de solo erodido: a) massa total erodida, b) massa total erodida para turbidez  $\cong$  1 NTU.

Tabela 5.3 – Massa de solo seco empregado na formação do talude e massa erodida.

Nº ensaio	Materiais utilizados	Massa de solo seco do talude (kg)	Massa de solo erodido (kg)
1*	Areia + RCD-R sem filtro	1200	130 (11%)
2*	Areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	1200	0,011 (0,001%)
3	Silte + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	222	0,464 (0,20%)
4	Silte + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>	185	0,366 (0,19%)
5	40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>	223	0,453 (0,20%)
6	40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>	225	0,311 (0,13%)
7	40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 400 g/m <sup>2</sup>	227	0,375 (0,16%)
8	40% silte + 60% areia + RCD-R sem filtro	232	186 (80%)
9	40% silte + 60% areia + RCD-R + filtro granular	228	0,011 (0,005%)

Nota: \*: Ensaio realizado sem a rampa metálica.

Nos ensaios que não empregaram filtro, observa-se que a massa erodida total foi alta, de 130 e 186 kg, nos ensaios com areia e com 40% silte + 60% areia, respectivamente. Nesses ensaios, o tempo total de ensaio (8 h e 50 h) foi menor que os dos demais ensaios (média de 150 h), devido ao severo processo erosivo nos taludes. Cabe destacar a significativa diferença entre as massas erodidas nos sistemas formados com ou sem a presença do filtro nos taludes.

Imagens laterais do vidro do canal mostraram uma maior quantidade de solo em suspensão nos estágios iniciais dos testes. Assim, a variação da turbidez da água com o tempo pode ser usada para estimar a intensidade do processo erosivo ao longo do tempo. Levando em conta essas considerações, a Figura 5.18(b) mostra os valores da massa total de solo erodida por unidade de área de impacto da onda e por número de impactos até que valores de turbidez no ponto A (mais próximo a face do talude, Figura 5.14) se tornaram inferiores a 1 NTU nos ensaios com solo com 40% silte + 60% areia. A área de impacto das ondas foi definida como a altura da onda (H) dividido pelo seno do ângulo de inclinação do talude com a horizontal e multiplicado pela largura do canal.

Os resultados mostram que não houve grandes diferenças entre os resultados dos ensaios com geotêxteis de 200 g/m<sup>2</sup> (0,098 g/m<sup>2</sup>/impacto) e 400 g/m<sup>2</sup> (0,120 g/m<sup>2</sup>/impacto). O resultado do ensaio com o geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup> (0,076 g/m<sup>2</sup>/impacto) foi levemente inferior aos dos demais filtros geotêxteis. O resultado (0,0024 g/m<sup>2</sup>/impacto) para o filtro granular foi de 32 a 41 vezes menor que os resultados obtidos nos ensaios com os filtros de geotêxtil, dependendo do geotêxtil considerado. Segundo Lafleur *et al.* (1989), valores de massa de

solo passante por unidade de área superiores a  $2500 \text{ g/m}^2$  indicam condição severa de *piping* através do filtro. Os valores obtidos para os geotêxteis de 200, 400 e  $600 \text{ g/m}^2$  foram aproximadamente iguais a 1132, 938 e  $778 \text{ g/m}^2$ , respectivamente, o que mostra que os filtros geotêxteis apresentaram desempenhos satisfatórios.

A maioria das partículas erodidas localizava-se na região de impacto das ondas, como apresenta a Figura 5.19. Ao final dos ensaios observou-se uma trinca junto à crista do talude. Tal trinca deve ter sido provocada durante a retirada do riprap e do geotêxtil, o que ocasionou a redução do confinamento do solo base, ainda próximo de condições saturadas, com consequentes deslocamentos do talude. A Figura 5.20 apresenta imagens dos taludes ao término dos ensaios com areia sem filtro, com 40% silte + 60% areia sem filtro e com areia e geotêxtil de  $200 \text{ g/m}^2$ .

Com a retirada da camada de areia grossa do filtro convencional observou-se que as partículas do solo com 40% silte + 60% areia não impregnaram de forma relevante a camada de areia grossa, como mostra a Figura 5.21.

#### **5.4 MOVIMENTAÇÃO DO RCD-R**

Os resultados obtidos no ensaio com areia e RCD-R sem filtro mostraram a influência direta da energia da onda e sua transferência para o revestimento por meio do impacto na superfície, ocasionando a movimentação dos grãos de areia e consequentemente de RCD-R. A movimentação do revestimento iniciou-se nos primeiros segundos de ensaio, no instante em que o processo erosivo é iniciado. Cabe destacar que os blocos não foram deslocados pelos impactos das ondas durante o ensaio. Neste momento, a camada de RCD-R, de 20 cm de espessura, teve seu nível superior rebaixado devido à erosão da areia, como apresenta a Figura 5.22(a). No início do ensaio a camada de RCD-R estava posicionada conforme a Figura 5.22(b). Após 8:00 h de geração de ondas no canal, término do ensaio, a posição final da camada é mostrada nas Figuras 5.22(b) e (c) e na Figura 5.23. Nesse caso, foi visível a movimentação da camada de revestimento devido ao mecanismo de erosão decorrente da ausência de filtro.

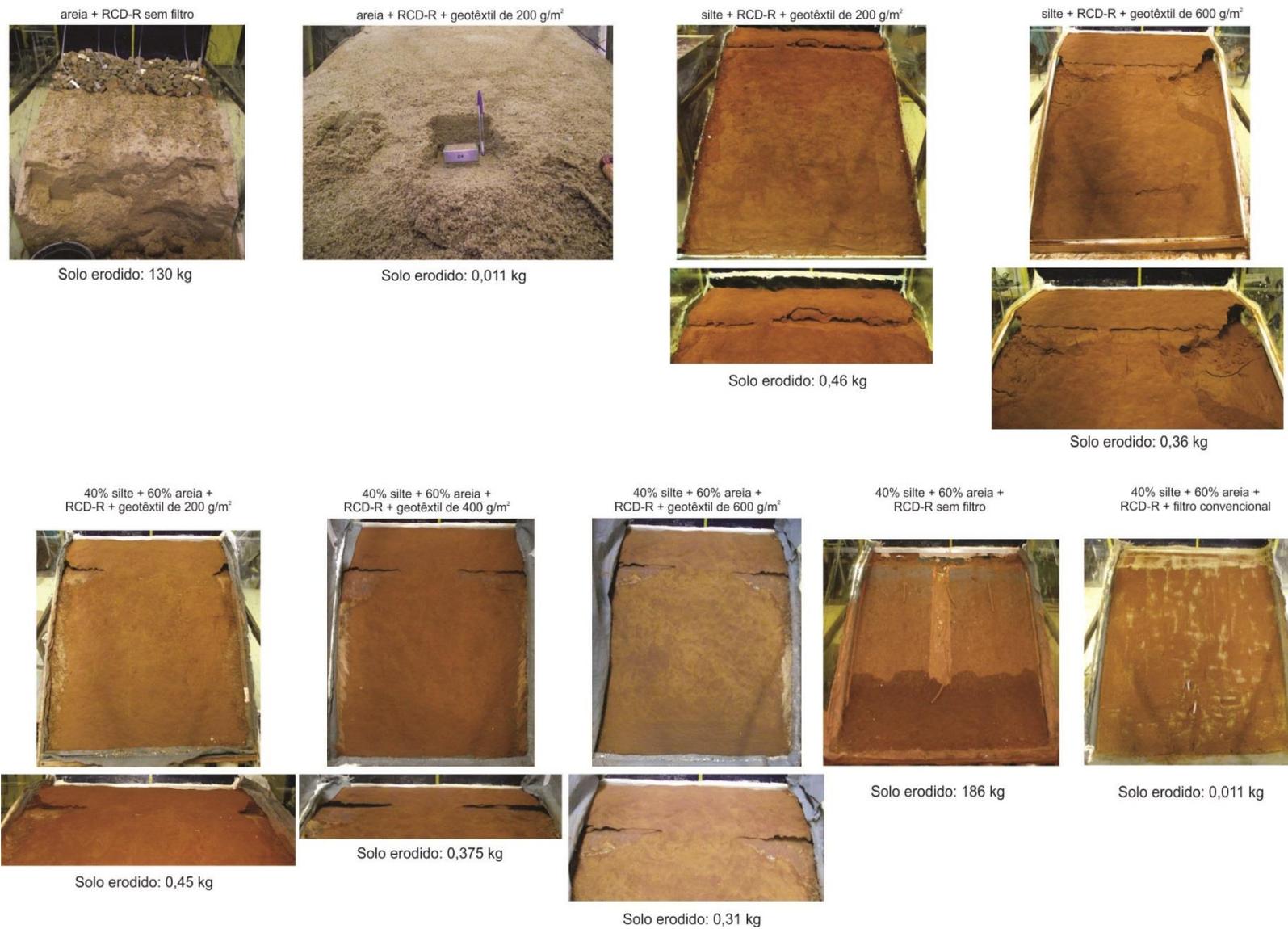


Figura 5.19 – Imagens dos taludes ao término dos ensaios.



Figura 5.20 – Vista do talude ao término do ensaio: a) areia + RCD-R sem filtro, b) 40% silte + 60% areia sem filtro, c) areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>.



Figura 5.21 – Retirada da areia grossa do filtro convencional.

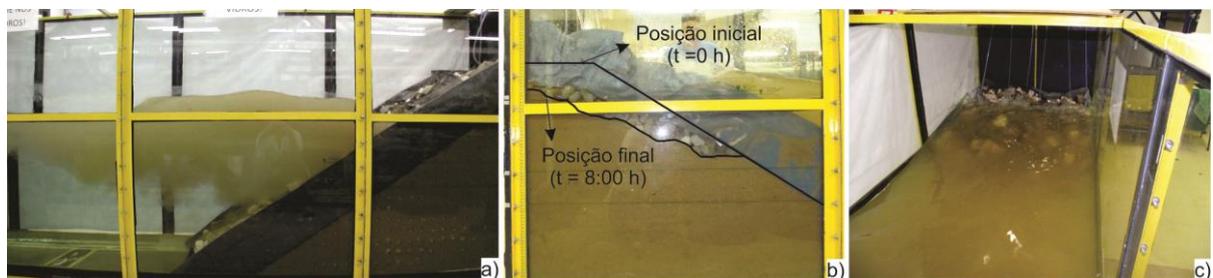


Figura 5.22 – Onda gerada no ensaio com areia sem filtro: a) onda gerada após 10 s, b) posição inicial e final do RCD-R, c) vista do talude totalmente submerso.



Figura 5.23 – Areia erodida depositada sobre o RCD-R no ensaio com areia sem filtro.

No ensaio com areia, RCD-R e geotêxtil de  $200 \text{ g/m}^2$ , por meio da comparação de fotografias antes e depois do ensaio, obteve-se uma estimativa do deslocamento de grãos específicos do RCD-R, como apresentam as Figuras 5.24(a), (b) e (c). Pode-se observar o deslocamento de alguns grãos superficiais de RCD-R, mas no geral a massa ficou estável sob o impacto das ondas.

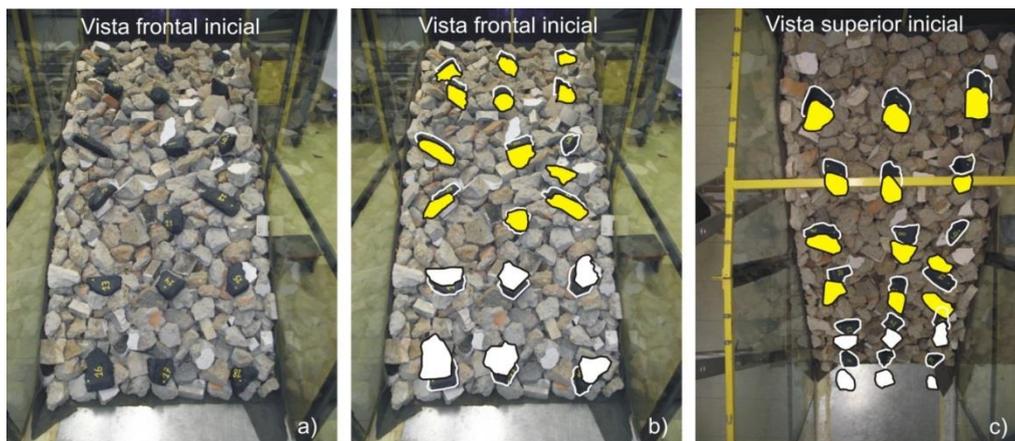


Figura 5.24 – Marcos de RCD-R na face do talude no ensaio que empregou areia, RCD-R e geotêxtil de  $200 \text{ g/m}^2$ : a) vista frontal, b) vista frontal mostrando a posição inicial e final, c) vista superior mostrando a posição inicial e final.

### 5.5 DESLOCAMENTO DOS MARCOS INTERNOS E O PROCESSO EROSIVO

Os deslocamentos dos marcadores internos foram obtidos por meio de comparações entre fotografias digitais da face lateral de vidro. O acompanhamento de deslocamentos na massa de solo só foi realizado nos ensaios com solo base de areia. As Figuras 5.25 e 5.26 apresentam trajetórias de marcadores na areia durante a colocação do RCD-R, enchimento do canal e ao final do ensaio. Os resultados mostram que os deslocamentos médios obtidos até o enchimento do canal foram semelhantes em ambos os casos. As Figuras 5.25 e 5.26 mostram que os maiores

deslocamentos dos marcos internos ocorreram na região frontal do talude, como era de se esperar, e os menores deslocamentos, na região inferior do talude, próximo ao seu pé, como apresenta o detalhe da Figura 5.25. Os resultados mostraram que a utilização do geotêxtil não tecido como filtro entre o talude de areia e a camada de RCD-R reduziu os deslocamentos da massa de areia.

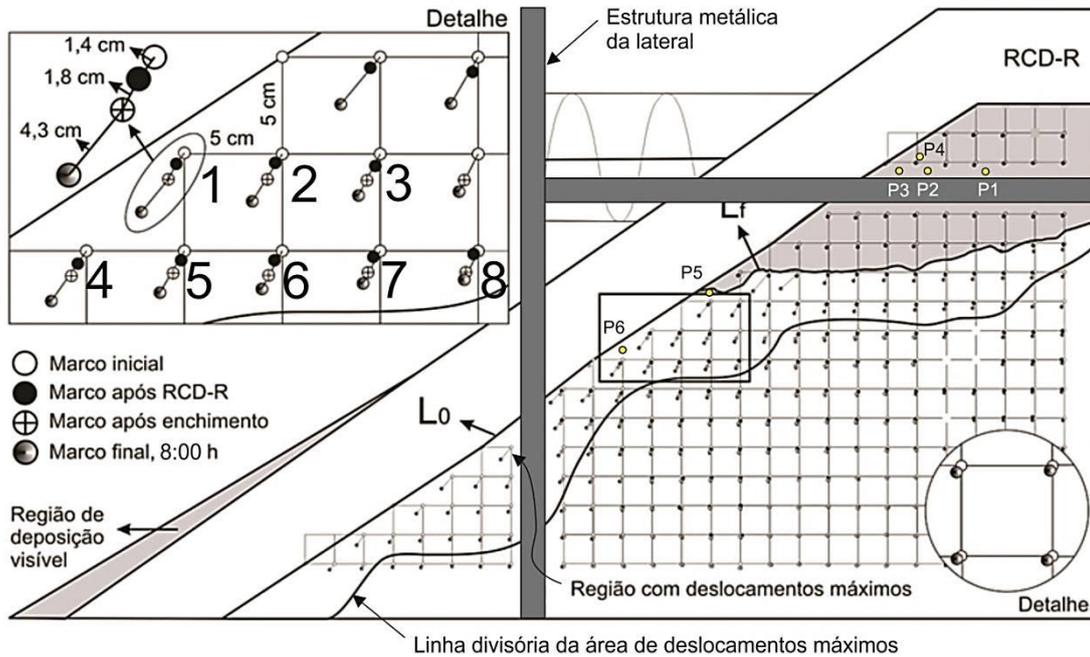


Figura 5.25 – Movimento dos marcos internos, destacando a região erodida e a região de deposição no ensaio que empregou RCD-R sem filtro geotêxtil.

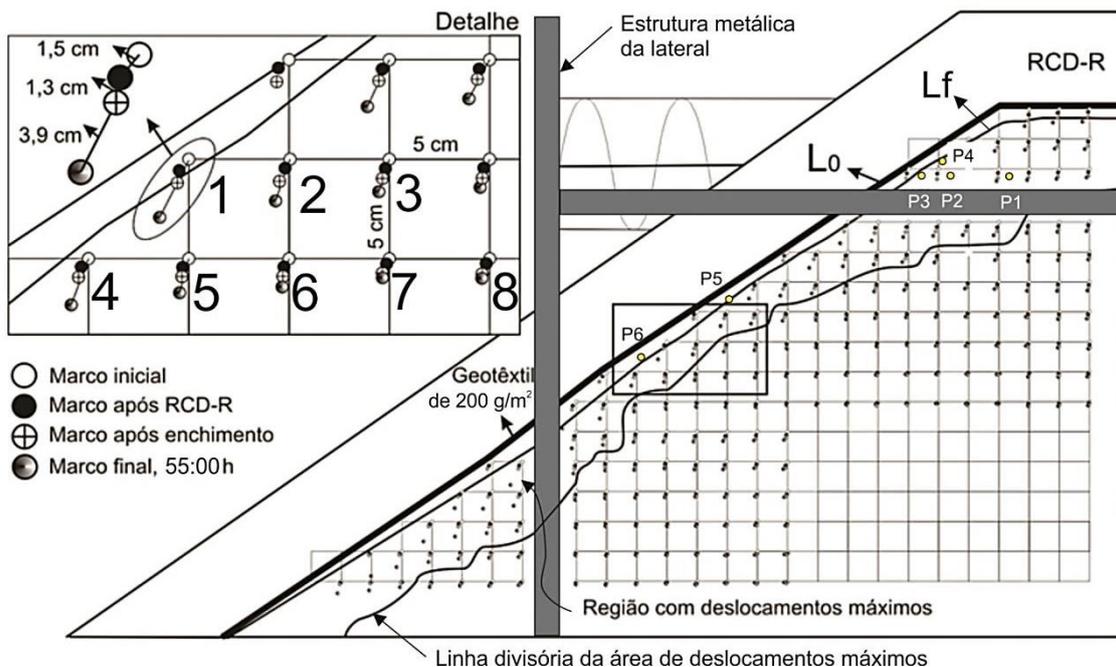


Figura 5.26 – Movimento dos marcos internos, destacando a região de compactação do talude ao término do ensaio que empregou RCD-R e geotêxtil não tecido como revestimento.

No ensaio que empregou areia sem filtro instalou-se um severo processo erosivo que se iniciou nos primeiros segundos de ensaio, como apresenta a Figuras 5.27(a) e b) e 5.28. No ensaio com filtro, a erosão das partículas de solo ocorreu em dois momentos distintos: quando a onda gerada avançava sobre a face do talude e quando retrocedia. Desta maneira, as partículas de solo eram deslocadas segundo um movimento contínuo de “ida e vinda”, como mostra a Figura 5.27(b).

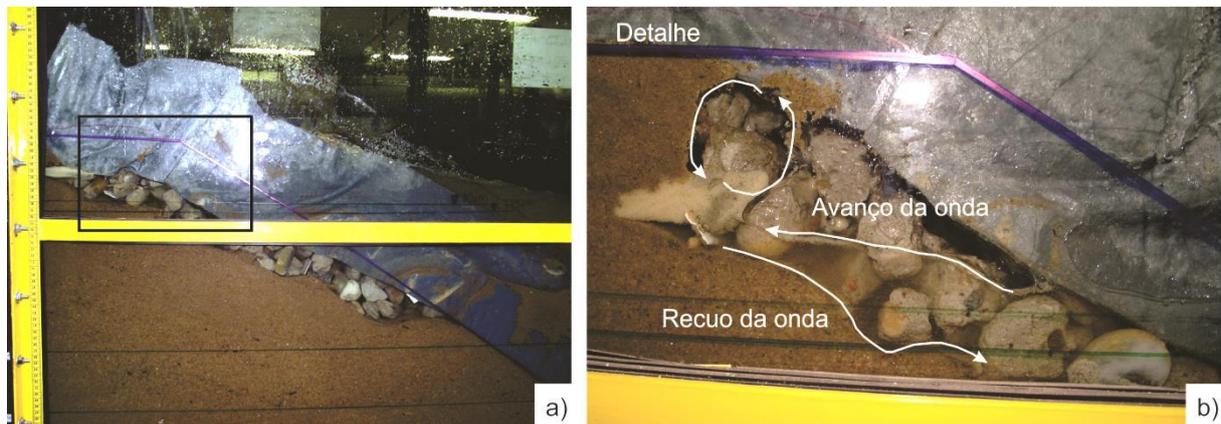


Figura 5.27 – Processo erosivo instalado nos primeiros 45 min no ensaio com areia e RCD-R sem filtro: a) vista lateral, b) movimento das partículas devido ao avanço e recuo da onda.

A Figura 5.28 apresenta o monitoramento do avanço do processo erosivo no ensaio com solo base de areia e sem filtro. Pode-se observar que a erosão foi intensa nos primeiros 5 min de ensaio, atingindo os piezômetros P3 e P4 que, neste momento, ficaram em contato direto com a camada de RCD-R. Após 30 min, a erosão alcançou os piezômetros P1 e P2. Após este período, a erosão ocorreu de maneira mais lenta do que no início do ensaio. No término do ensaio, as partículas de solo atravessaram a camada de RCD-R em extensão significativa do talude, com recalques substanciais da camada de RCD-R.

## 5.6 AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE RETENÇÃO DO FILTRO GEOTÊXTIL

A Tabela 5.4 apresenta a avaliação dos critérios de retenção dos geotêxteis em condições de fluxo cíclico, encontrados na literatura, considerando a distribuição dos grãos com ou sem o uso de um agente dispersor (defloculante ou ultrassom) para areia, silte e 40% silte + 60% areia. O geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup> atendeu a todos os critérios de retenção em relação a areia, sem o uso de agente dispersor, com exceção do critério de CFGG (1986) e CGS (1992).

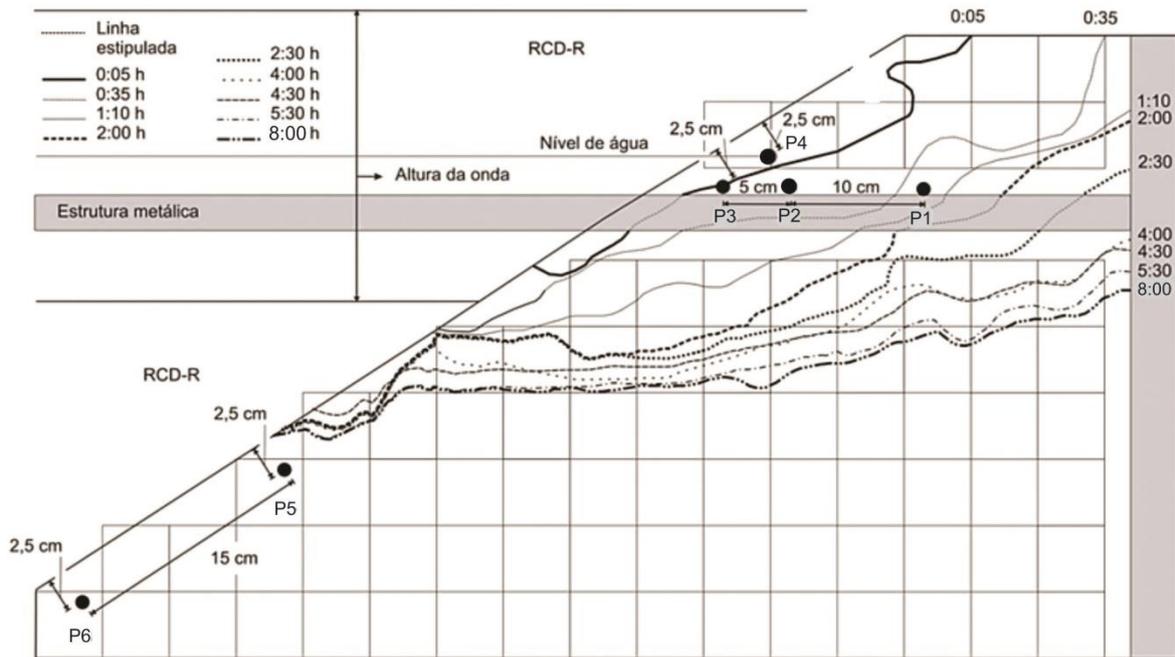


Figura 5.28 – Avanço do processo erosivo no ensaio com areia, RCD-R sem filtro.

Tabela 5.4 – Critérios de retenção para os geotêxteis utilizados.

Critério	Solo	Geotêxtil (gramatura, g/m <sup>2</sup> )	Resultado com defloculante ou ultrassom	Resultado sem defloculante ou ultrassom
Heerteen (1982)	Areia	200	-	OK
	Silte	200	Não atendido	Não atendido
		600	Não atendido	Não atendido
	40% silte + 60% areia	200	OK	OK
		400	OK	OK
Lawson (1982)	Areia	200	-	OK
	Silte	200	Não atendido	Não atendido
		600	Não atendido	OK <sup>(1)</sup>
	40% silte + 60% areia	200	Não atendido	OK
		400	OK	OK
ASPG (1985)	Areia	200	-	OK
	Silte	200	Não aplicável	Não atendido
		600		OK <sup>(1)</sup>
	40% silte + 60% areia	200	Não atendido	Não atendido <sup>(1)</sup>
		400	Não atendido	OK
Ingold (1985)	Areia	200	-	OK
	Silte	200	Não atendido	Não atendido
		600	Não atendido	OK
	40% silte + 60% areia	200	Não atendido	OK
		400	OK	OK
DGEG (1986)	Areia	200	-	OK
	Silte	200	Não atendido	Não atendido
		600	Não atendido	OK

		200	OK	OK
	40% silte + 60% areia	400	OK	OK
		600	OK	OK
CFGG (1986)	Areia	200	-	Não atendido
	Silte	200	Não aplicável	
		600		
	40% silte + 60% areia	200		
		400		
600				
PIANC (1987)	Areia	200	-	OK
	Silte	200	Não atendido	Não atendido
		600	OK <sup>(1)</sup>	OK
	40% silte + 60% areia	200	OK	OK
		400	OK	OK
600		OK	OK	
CGS (1992)	Areia	200	-	Não atendido
	Silte	200	Não atendido	Não atendido
		600	Não atendido	Não atendido
	40% silte + 60% areia	200	Não atendido	Não atendido
		400	Não atendido	Não atendido
600		Não atendido	Não atendido	
Holtz <i>et al.</i> (1997)	Areia	200	-	OK
	Silte	200	Não atendido	Não atendido
		600	Não atendido	Não atendido
	40% silte + 60% areia	200	Não atendido	Não atendido
		400	OK	OK
600		OK	OK	
Mlynarek (2000)	Areia	200	-	OK
	Silte	200	Não aplicável	Não atendido
		600		Não atendido
	40% silte + 60% areia	200		OK
		400		OK
600		OK		

Nota: <sup>1</sup>: critério atendido em situação limítrofe, OK: critério atendido, - = não obtido.

Em relação ao silte, com ou sem ultrassom, o geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup> não atendeu a nenhum dos critérios listados na Tabela 5.4. No entanto, para o geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>, o critério de PIANC (1987) foi atendido em situação limítrofe. Os outros critérios não foram atendidos com e sem a utilização do ultrassom nos ensaios de granulometria.

Com relação ao solo formado por 40% silte e 60% areia, com ultrassom, o geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup> não atendeu aos critérios propostos por ASPG (1985), Lawson (1982), Ingold (1985), CGS (1992) e Holtz *et al.* (1997). Para os resultados de ensaios sem ultrassom, os critérios propostos por ASPG (1985) e CGS (1992) não foram atendidos. Para o solo 40% silte e 60% areia, sem ultrassom, os geotêxteis de 400 e 600 g/m<sup>2</sup> atenderam a todos os outros critérios, com exceção do critério de CGS (1992). Nenhum dos filtros geotêxteis atendeu ao critério do CGS (1982).

A utilização de um agente dispersor na obtenção da curva granulométrica pode fazer com que um critério de filtro possa ou não ser atendido. Isso foi observado para os sistemas com silte e com 40% silte + 60% areia nos critérios de Lawson (1982), ASPG (1985), Ingold (1985) e DGGE (1986). Estes resultados realçam a importância da escolha da distribuição granulométrica mais adequada para ser utilizada nos critérios de filtro.

O desempenho dos sistemas analisados e os resultados apresentados na Tabela 5.4 mostram que os critérios de retenção disponíveis são muito conservadores para o tipo de aplicação investigada.

A Figura 5.29 apresenta a relação entre o diâmetro ( $D_{85p}$ ) das partículas do solo passantes através do filtro e o diâmetro máximo das partículas do solo do talude ( $D_{85}$ ). Os resultados para o silte, sem o uso de ultrassom são também apresentados. Se  $D_{85p}$  é considerado como uma medida do tamanho da abertura de filtração geotêxtil (FOS) sob condições operacionais, os resultados na Figura 5.29 mostram que a condição  $FOS < 0,5 D_{85}$  (Holtz *et al*, 1997) é satisfeita. Observa-se que no ensaio com silte (solo fino) essa condição não foi satisfeita.

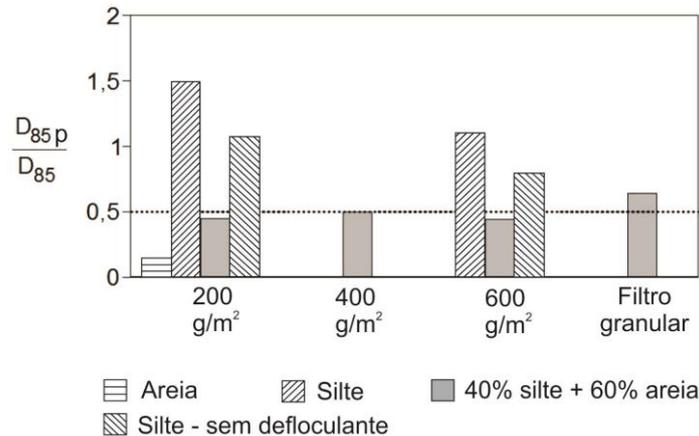


Figure 5.29 – Diâmetros máximos das partículas passantes normalizadas pelo diâmetro máximo das partículas do solo do talude.

## CAPÍTULO VI

### 6 CONCLUSÕES

Esta tese investigou a utilização de filtros geotêxtil e granular em taludes sujeitos à ação de ondas. Para isso, um canal hidráulico de grandes dimensões com gerador de ondas foi construído no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília. As principais conclusões do estudo são sumariadas a seguir.

O canal e a metodologia empregada apresentaram desempenhos satisfatórios para os propósitos da pesquisa. Os resultados obtidos permitiram avaliar a solução de proteção de talude, sujeito a impactos de ondas, com utilização de filtro geotêxtil, comparar os desempenhos de diferentes tipos de geotêxteis não tecidos, comparar o desempenho de filtro granular convencional com os de filtros geotêxteis, quantificar fatores intervenientes no comportamento de filtros geotêxteis e avaliar a acurácia de critérios de filtro sob condições cíclicas de fluxo.

Os valores de poropressões obtidos mostraram que os filtros geotêxteis apresentaram uma satisfatória capacidade de drenagem, mesmo quando sobrejacente a um solo mais susceptível ao processo erosivo, como no caso da mistura de 40% silte e 60% areia. Houve um leve aumento das poropressões durante os ensaios, sendo esse aumento mais significativo nos piezômetros P1, P2 e P3, que se localizam na região de impacto da ondas. Os resultados de poropressão obtidos nos ensaios com filtro geotêxtil foram similares aos obtidos com o filtro granular convencional.

O geotêxtil de menor espessura ( $200 \text{ g/m}^2$ ) apresentou o maior grau de impregnação na região de influencia do impacto da onda. Mesmo assim, os valores podem ser considerados baixos, considerando as condições severas de fluxo. Nas áreas de contato entre o filtro geotêxtil e os grãos de riprap, a impregnação foi insignificante. Nessas áreas, as partículas ficaram aderidas ao geotêxtil somente na camada superficial inferior do filtro geotêxtil devido ao contato direto com o solo base.

O diâmetro da partícula passante pelo geotêxtil pode ser influenciada pelos furos das agulhas gerados no processo de fabricação do geotêxtil e pela sua movimentação sob a ação das ondas. O impacto das ondas provoca movimento ascendente e descendente do filtro geotêxtil

nos vazios do material de riprap. Tal movimentação submete o geotêxtil à tração, além de possibilitar a passagem de partículas maiores do que as que seriam capazes de atravessar o geotêxtil na condição de fluxo unidirecional estacionário. Em que pese tais aspectos, os filtros geotêxteis foram capazes de reter as partículas dos solos base ensaiados. Filtros geotêxteis de maior espessura e menor abertura de filtração permitiram a passagem de uma menor quantidade de solo.

A variação da turbidez da água no canal com o tempo pode fornecer informações sobre a intensidade do mecanismo de erosão e, particularmente, permitir identificar o intervalo de tempo em que a erosão é mais intensa. Em geral, a turbidez da água no canal decresceu significativamente após 2 h de ensaio, alcançando valores de turbidez encontrados para água potável. A turbidez máxima obtida ocorreu nos primeiros minutos de ensaios. Não foram observadas diferenças significativas entre os valores de turbidez obtidos com diferentes tipos de filtros.

Em relação à massa específica seca média do solo base, em geral observou-se um aumento nesse valor ao final do ensaio. Isso pode ser justificado pela sobrecarga do riprap e acomodação do solo devido aos impactos das ondas.

O processo erosivo instalado no talude de areia sem filtro foi extremamente severo, erodindo cerca de 10% em massa da areia. Neste caso, a ausência de um material de filtro foi fundamental para o processo erosivo ter iniciado nos primeiros segundos de ensaio. Nos ensaios com filtro a percentagem, em massa, de solo erodido foi inferior a 1%.

A massa de solo erodido por unidade de área de impacto das ondas foi inferior ao limite proposto por Lafleur *et al.* (1994), tanto para filtros geotêxteis quanto para o filtro granular. Mesmo no ensaio com o solo base com 40% silte + 60% areia (solo mais susceptível ao processo erosivo) não se observou uma condição severa de *piping* através do filtro.

A obtenção da distribuição granulométrica do silte com e sem o uso de um agente dispersor (ultrassom) influenciou significativamente o valor de  $D_{85}$ , o que pode alterar o atendimento ou não dos critérios de filtro. Adicionando-se a esse fator, existe a necessidade de determinação de aberturas de filtração de geotêxteis sob condições mais realistas. Os resultados obtidos realçam a importância da escolha do tipo da distribuição granulométrica

mais adequada para ser utilizado nos critérios de filtro. O desempenho dos sistemas analisados e os resultados obtidos mostram que os critérios de retenção disponíveis na literatura são muito conservadores para o tipo de aplicação investigada.

### **SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

- Ensaiar sistemas com outros geotêxteis, inclusive geotêxteis do tipo tecido.
- Realizar ensaios com alturas maiores de ondas.
- Utilizar corante ou partículas de solo coloridas para observar o movimento das partículas e da onda.
- Utilizar o canal para a simulação de rebaixamento rápido de reservatórios e avaliar suas consequências sobre o comportamento filtro-drenante de geotêxteis.
- Utilizar o canal para a realização de ensaios de proteção de terrenos horizontais, ou sub-horizontais, contra a erosão laminar.
- Fazer ensaios com outros tipos de solos, particularmente solos internamente instáveis.
- Verificar a influência da inclinação do talude no comportamento do filtro.
- Avaliar sistemas com outros tipos de revestimento do talude.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABNT (1989). Projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil. Associação Brasileira de Normas técnicas, NBR 7199, Rio de Janeiro. 18p.
- ABNT (1990). Solo - Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos. Associação Brasileira de Normas técnicas, MB 3324, Rio de Janeiro. 6p.
- ABNT (1991). Solo – Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos. Associação Brasileira de Normas técnicas, MB 3388, Rio de Janeiro. 14p.
- ABNT (1995). Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante - Método de ensaio Associação Brasileira de Normas técnicas, NBR 13292, Rio de Janeiro. 8p.
- ABNT (2000). Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável Associação Brasileira de Normas técnicas, NBR 14545, Rio de Janeiro. 12p.
- Abrantes, P., Sosa, J.M.R., Zaicovski, M.B. & Sales, B.G. (2013). Aplicação da metodologia OPSH para cálculo do nível equivalente do reservatório de Itaipu: da consistência das vazões médias diárias ao subsídio à operação em tempo real em situação de Seichas. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, RS, 1-8.
- ABTP (2013). A nova lei dos portos. Associação Brasileira dos Terminais Portuários.
- Agenda visual. Disponível em: <[www.agendavisual.com](http://www.agendavisual.com)>. Acessado em 01 de maio de 2014.
- Aguerre, G. (1998). A mais radical das ondas. Super Interessante. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/cotidiano/mais-radical-ondas-437355.shtml>>. Acessado em 01 de maio de 2014.
- Airy, G.B. (1845). Tides and Waves, Encyc. Metrop., (192): 241-396.
- Alfredini, P. & Arasaki, E. (2009). Obras e Gestões de Portos e Costas. A técnica Aliada ao Enfoque Logístico e Ambiental. Edgard Blucher LTDA, São Paulo, SP, 776 p.
- Alfredini, P. (2000). Navegação interior e portos marítimos. Notas de aula. São Paulo: EPUSP. 153p.
- ASPG (1985). The Manual of the Geotextiles – Resistance to the Opening Size  $O_d$ . Association Suisse des Professionnels de Géotextiles (Swiss Association of Professionals on Geotextiles), Zurich, Switzerland (in French).
- ASTM (1995). Standards on geosynthetics. Sponsored by ASTM Committee D-35 on Geosynthetics, Fourth Edition, 178p.
- Aydilek, A.H. (2006). A semi-analytical methodology for development of woven geotextile filter selection criteria. Geosynthetics International 13(2), 59-72.

- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (1985). *Conservação do Solo*. Livroceres, Piracicaba, SP, 372 p.
- Cantelmo, C., Allsop, W. & Dunn S. (2010). Wave pressures in and under rubble mound breakwaters. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Scour and Erosion*, ASCE, San Francisco, CA, USA, 13 p.
- Carroll, R.G., Rodencal, Jr. R. & Collin, J.G. (1992). Geosynthetics in erosion control. *Geotextile and Geomembranes*, 11: 523–534.
- CFGG (1986). AFNOR G38017, Association Française de Normalisation (French Committee on Geotextiles), La Plaine Saint-Denis, France (in French).
- CGS (1992). *Canadian Foundation Engineering Manual*. Canadian Geotechnical Society, 3<sup>rd</sup> Edition, Richmond, BC, Canada.
- Chen, R.H. & Chen C.N. (1986). Permeability characteristics of prefabricated vertical drains. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Geotextiles*, Vienna, Austria, vol. 3, pp. 785-790.
- Chen, R.H., Ho, C.C. & Hsu, C.Y. (2008a). The effect of fine soil content on the filtration characteristics of geotextile under cyclic flows. *Geosynthetics International*, 15(2): 95-106.
- Chen, R.H., Ho C.C & Chung, W.B. (2008b). The filtration mechanism and micro-observation of soil-geotextile systems under cyclic flows. *Journal of GeoEngineering* 3(3), 101-112.
- DGEG (1986). *Use and examination of civil engineering and hydraulic engineering*. Germany Committee of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Series of publications of the DVWK 76, Hamburg, German.
- Dominguez, J.M.L. (2005). Fenômenos oceanográficos e climatológicos. *Coleção Explorando o Ensino Geografia*, 8 volume, C.F.S. Serafim & P.T. Chaves, MEC, Brasília, DF, pp. 218-221. Disponível em: <[MEC portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/EnsMed/expensgeo\\_7e8.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/EnsMed/expensgeo_7e8.pdf)>
- Elmore, W.C. & Heald. M.A. (1985). *Physics of waves*. Dover, New York.
- EPA (2014). United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<http://water.epa.gov/drink/contaminants/>>. Acessado em: 01 de fevereiro de 2014.
- Faure, Y.H. & Lirigm, M.L (2002). Behaviour of geotextile filter for bank protection: full scale laboratory experimentation. 7th Geosynthetics, Gourc & Girard (eds), Lisse, 609-612.
- Faure, Y.H., Ho, C.C., Chen, R.H., Lay, M.L. & Blaza, J. (2010). A wave flume experiment for studying erosion mechanism of revetments using geotextiles. *Geotextile and Geomembranes*, 28: 360–373.

- FNZAS (2011). Federation of New Zealand Aquatic Societies. Disponível em: <[www.fnzas.org.nz](http://www.fnzas.org.nz)>. Acessado em: 01 de fevereiro de 2011.
- Folha (2010). Florianópolis (SC) monta barreira de sacos de areia para deter avanço do mar. Folha online, 21 mai. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u739028.shtml/>>. Acesso em: 20 julho de 2010.
- Galeti, P.A. (1985). Práticas de Controle à Erosão. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola Campinas, 278 p.
- Globo (2010). Avanço do mar “engole” parte de ilha paulista; mas faz outra ponta crescer. Bom Dia Brasil, 20 jul. 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2010/07/avanco-do-mar-engole-parte-de-ilha-paulista-mas-faz-outra-ponta-crescer.html>>. Acesso em: 20 julho de 2010.
- Góngora, I. A.G & Palmeira, E.M. (2012). Influence of fill and geogrid characteristics on the performance of unpaved roads on weak subgrades. *Geosynthetics International*, 19(4): 191–199.
- Hameiri, A. (2000). Soil-geotextile filtration behaviour under dynamic conditions of cyclic flow and vibration. PhD. Thesis, University of British Columbia, BC, Canada.
- Heerten, G. (1982). Dimensioning the filtration properties of geotextiles considering long-term conditions. *Proceedings of the 2nd International Conference on Geotextiles*, Las Vegas, USA, 1, 115–120.
- Holtz, R.D., Christopher, B.R. & Berg, R.R. (1997). *Geosynthetic Engineering*. BiTech Publishers Ltd., Canada, 451 p.
- ICOLD (2008). *As Barragens e a Água do Mundo*. Comissão Internacional de Grandes Barragens. CIGB (eds.), 74 p.
- IGS (2000). *Recommended Descriptions of Geosynthetics Functions, Geosynthetics Terminology, Mathematical and Graphical Symbols*. South Carolina, U.S.A. 17 p.
- Infanti Junior, N. & Fornasari Filho, N. (1998). Processos de dinâmica superficial. *Geologia de Engenharia*, A.M.S. Oliveira & S.N.A. Brito (eds.), ABGE, São Paulo, pp. 131–152.
- Ingold, T.S. (1985). A theoretical and laboratory investigation of alternating flow filtration criteria for woven structures. *Geotextiles and Geomembranes*, 2(1): 31-45.
- Jacinto, E.C., Camapum de Carvalho, J. Cardoso, F.B.F., Santos, R.M.M., Guimarães, R.C. & Lima, M.C.G. (2006). Solos Tropicais e o Processo Erosivo. *Processos Erosivos no Centro-oeste Brasileiro*. J. Camapum de Carvalho, M.M. Sales, N.M. Souza & M.T.S. Melo (orgs.), FINATEC, Universidade de Brasília, Brasília, DF, pp. 93–156.
- John, N.W. (1987). *Geotextiles*. Blackie and Son, Glasgow, New York, USA, 347 p.
- Lambe, T.W. & Whitman, R.V. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, New York, USA, 553 p.

- Lawson, C.R. (1982). Geotextile requirement for erosion control structures. International Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques, AIT, Bangkok, Thailand, pp. 177-192.
- Lawson, C.R. (1992). Geotextile Revetment Filters. *Geotextiles and Geomembranes*, 11: 431–448.
- Lima, G.B., Oliveira, E.B. & Trovati, L.R. (2011). Monitoramento telemétrico de ondas geradas por ventos em lagos de barragens para segurança hidroviária e transposição de barragens. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, 5233-5238.
- Luetlich, S.M., Giroud, J.P. & Bacchus, R.C. (1992). Geotextile filter design guide. *Geotextiles and Geomembranes*, 11(4-6), 355-370.
- Marques, A.C.M. (2004). Aplicação em controle de erosão superficial. Manual Brasileiro de Geossintéticos. J.C. Vertamatti (coord.), Edgard Blücher, São Paulo, pp. 321–334.
- Marques, M. & Guetter, A.K. (2011). Estimativa com modelo paramétrico dos campos de ondas geradas por ventos severos no reservatório de Itaipu, Alagoas. 19º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Maceió.
- Mlynarek, J. (2000). Geodrains and geofilters Retrospective and future trends. Proceedings of the 3rd International Conference on Geofilters, Warsaw, Poland, 1, 27-47.
- MMA (2006a). Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro. Ministério do Meio Ambiente, DF, 576 p.
- MMA (2006b). Projeto Orla. Fundamentos para Gestão Integrada. Ministério do Meio Ambiente, DF, 74 p.
- Muehe, D. (2013). Erosão costeira, mudança do clima e vulnerabilidade. Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas, A.J.T. Guerra & M.C.O Jorge (orgs.), Oficina de Textos, São Paulo, SP, pp. 160-189.
- Oliveira, J.F. (2012). Identificação de Área de Sedimentos Compatíveis na Plataforma Continental Interna para Recuperação de Praias entre as Cidades de Niterói e Macaé-RJ. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 45 p.
- Oumeracy, H. & Partenscky, H.W. (1990). Wave-induced pore pressure in rubble mound breakwaters. XXII Conference of Coastal Engineering, Delft, The Netherlands, 1334-1347.
- PA Environment Digest Daily Blog. Disponível em: < <http://paenvironmentdaily.blogspot.com.br/2010/07/august-2-pa-environment-digest-now.html>>. Acessado em 01 de maio de 2014.
- Palmeira, E.M., Fannin, R.J. & Vaid, Y.P. (1996). A study on the behaviour of soil geotextile systems in filtration tests. *Canadian Geotechnical Journal*, 33: 899-912.

- Palmeira E.M., Beirigo, E.A. & Gardoni, M.G. (2010). Tailings-nonwoven geotextile filter compatibility in mining applications. *Geotextiles and Geomembranes*, 28: 136-148.
- Palmeira, E.M. & Fannin, R.J. (2002). Soil-geotextile compatibility in filtration-keynote lecture. VII International Conference on Geosynthetics, Nice. Proceedings. Lisse: Balkema, 3: 853-872.
- Palmeira, E.M., Gardoni, M.G. & Luz, D.W.B. (2005). Soil-geotextile filter interaction under high stress levels in the gradient ratio test. *Geosynthetics International* 12, (4), pp. 162-175.
- PIANC (1987). Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways. Supplement to Bulletin 57, Permanent International Association of Navigation Congresses.
- Pilarczyk, K.W. (2001). Design of Revetments. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Disponível em: <<http://publicaties.minienm.nl/>>.
- Praia log. Disponível em: [www.praia.log.furg.br](http://www.praia.log.furg.br). Acessado em 01 de maio de 2014.
- Recio, J. & Oumeraci, H. (2007). Effect of deformations on the hydraulic stability of coastal structures made of geotextile sand containers. *Geotextile and Geomembranes*, 25: 278–292.
- Saathoff, F., Oumeraci, H. & Restall, S. (2007). Australian and German experiences on the use of geotextile containers. *Geotextile and Geomembranes*, 25: 251–263.
- Sales, M.M., Camapum de Carvalho & Palmeira, E.M. (2006). Controle de erosões. *Processos Erosivos no Centro-oeste Brasileiro*. J. Camapum de Carvalho, M.M. Sales, N.M. Souza, M.T.S. Melo (orgs.), FINATEC, Universidade de Brasília, Brasília, DF, pp. 427–464.
- Santos Júnior, O. F., Scudelari, A.C., Costa, C.M.L. & Costa, Y.D.J. (2010). Erosão costeira em áreas de falésias: mecanismos e medidas mitigadoras. XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS, Gramado, Brasil, 311-325.
- Silva, A.N.R. (2010). Porto e vias navegáveis. Notas de Aula. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica de São Carlos.
- Silveira, F.L & Varriale, M.C. (2005). Propagação das ondas marítimas e dos tsunamis. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/>>. Acesso em 01 de março de 2014.
- Souza, C.A.G.F. & Morishita, H.M. (2003). Projeto, implantação e análise de um gerador de ondas, Havana. 18º Pan-American Congress of Naval Engineering, Maritime Transport and Port Engineering COPINAVAL, 18, Cuba.
- Souza, C.R de G. (2009a). A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*. 9(1): 17-37.

- Souza, C.R de G. (2009b) – A Erosão nas Praias do Estado de São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco. *In*: V.L.R. Bononi & N.A. Santos Júnior (orgs.). “Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Científico Acumulado”. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN 978-85-7523-025-1).
- Souza, C.R de G., Souza Filho, P.W.M., Esteves, S.L., Vital, H., Dillenburg, S.R., Patchineelam, S.M. & Addad, J.E. (2005). Praias arenosas e erosão costeira. *Quaternário do Brasil*, C.R. de G. Souza, K. Suguio, A.M. Santos & P.E. Oliveira (eds.), Holos Editora, Ribeirão Preto, SP, pp.130-152.
- Theisen, M.S. (1992). The role of geosynthetics in erosion and sediment control: an overview. *Geosynthetics in erosion control. Geotextile and Geomembranes*, 11: 535–550.
- Tribuna do Norte (2010). O mar invade a terra firme no RN. *Tribuna do Norte*, 3 jul. disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/o-mar-invade-a-terra-firme-no-rn/153186>>. Acesso em: 20 jul. 2010.
- U.S. Army Corps of Engineers (2002). *Coastal Engineering Manual - Part II*. 608 p. Disponível em: <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/>
- U.S. Army Corps of Engineers (2002b). *Coastal Engineering Manual - Part III*. 608 p. Disponível em: <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/>
- U.S. Army Corps of Engineers (2002c). *Coastal Engineering Manual - Part IV*. 608 p. Disponível em: <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/>
- U.S. Army Corps of Engineers (2002d). *Coastal Engineering Manual - Part I*. 608 p. Disponível em: <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/>
- U.S. Army Corps of Engineers (2002e). *Coastal Engineering Manual - Part VI*. 608 p. Disponível em: <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/>
- UFBA (2014). Universidade Federal da Bahia. Grupo de Estudos de Erosão Costeira. *Erosão Costeira*. Disponível em: <http://www.cpgg.ufba.br/lec/BEeros.htm>. Acesso em: set. 2010.
- Vieira, A.S., Maciel, G.F. & Fortes, J.C. (2013). O modelo SWAN como ferramenta útil na previsão de onda em recinto fechado – Estudo de caso no lago da barragem de Ilha Solteira – SP, Rio Grande do Sul, 20º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Bento Gonçalves.
- Wikipedia (2014). Tsunami. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Tsunami>. Acessado em 01 de maio de 2014.
- Yasuhara, K. & Recio, J.M. (2007). Geosynthetic-wrap around revetments for shore protection. *Geotextile and Geomembranes*, 25: 221–232.
- Young, Y.L., Xiao, H., White, J.A. & Borja, R.I. (2008). Can tsunami drawdown lead to liquefaction failure of coastal sandy slopes? *The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering – 14WCEE*, October 12-17, Beijing, China, 11p.

## **ANEXO**

## A – AÇÕES FUTURAS SOBRE GERENCIAMENTO COSTEIRO



O evento Oceanos e Sociedade 2013 foi realizado nos dias 27 e 28 de junho de 2013, no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, sob a organização da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), Gerência Costeira do Ministério do Meio Ambiente e IOUSP.

O evento contou com mais de 200 participantes e teve como objetivo avaliar o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) nos 25 anos de sua instituição, considerando os seguintes temas: marco legal e arranjos institucionais; instrumentos de gestão e processo de implementação e avaliação; o papel do Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-Gerco) na articulação das políticas setoriais na Zona Costeira e o planejamento da ocupação do espaço costeiro e marinho.

### RECOMENDAÇÕES

Considerando o entendimento de que o PNGC e seus instrumentos não foram plenamente implementados e que, portanto não é possível fazer uma avaliação;

Considerando os diversos interesses existentes na região costeira e marinha brasileira e o aumento da pressão sobre ela decorrente do crescimento do país;

Considerando a necessidade de uma visão integradora destes diferentes interesses sob a ótica do uso racional do território brasileiro e de seus recursos;

Considerando a necessidade de se reforçar o pacto federativo para a gestão da zona costeira brasileira e

Considerando a necessidade de compartilhar a responsabilidade pela gestão da zona costeira entre os poderes executivo, legislativo, judiciário e Ministério Público.

#### Recomenda-se:

1. Implementar e avaliar continuamente os instrumentos do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), pelos órgãos competentes, com fiscalização, divulgação e comunicação com a sociedade, buscando:

a. Fortalecer o Gerenciamento Costeiro (GERCO) no Ministério do Meio Ambiente (MMA):

- Aumentando os recursos humanos dedicados;
- Aumentando os recursos orçamentários dedicados;
- Aumentando a capacidade de ação e articulação interna;
- Redesenhando o arranjo institucional interno com abordagens para o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), GERCO e Oceanos vinculados a uma mesma estrutura administrativa e com maior autonomia;
- Destaque e priorização do GERCO na revisão do PPA.

b. Revisar o Plano de Ação Federal (PAF) para a Zona Costeira;

c. Definir prioridades para os instrumentos do PNGC, além de metas e indicadores de processo e resultado;

d. Fortalecer a integração das instituições relacionadas ao GERCO em nível federal, estadual e municipal, considerando a iniciativa privada, as instituições de ensino e pesquisa e a sociedade civil;

e. Inserir a aplicação do Planejamento Espacial Marinho nas ações do Projeto ORLA e do PNGC.

2. Fortalecer o Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-Gerco):

- a. Com a participação de representantes das instituições-membro com maior autonomia e capacidade de internalizar a agenda do GI-Gerco;
- b. Aumentando a representação da sociedade civil no GI-Gerco;
- c. Fortalecendo os processos de participação cidadã.

3. Criar a Frente Parlamentar para Oceanos e Costas no âmbito do Legislativo;

4. Criar o Fórum de Secretários Estaduais de Meio Ambiente para o Gerenciamento Costeiro e Oceânico, considerando os 17 estados costeiros brasileiros;

5. Discutir a proposta de Lei do Mar, com vistas à gestão territorial integrada das áreas costeiras e oceânicas, considerando a CIRM e seus colegiados como seus fóruns de articulação no poder executivo;

6. Elaborar e implementar o Plano de Uso Compartilhado do Espaço Costeiro e Oceânico Brasileiro;

7. Fortalecer a integração entre a gestão de Bacias Hidrográficas e a Gestão da Zona Costeira e Oceânica e a atuação da Câmara Técnica de Integração da Gestão das Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e Zona Costeira (CTCOST);

8. Priorizar a criação de Unidades de Conservação marinhas para atender as metas de Aichi;

9. Regulamentar a Lei Complementar 140 com os papéis e competências dos entes federados;

10. Priorizar a criação e adequação de instrumentos legais para a gestão costeira e oceânica (ex. Conama 428/2010 que não contempla a mitigação de impactos sobre as Unidades de Conservação marinhas considerando o meio fluido altamente conectivo);

11. Solicitar ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação divulgação e discussão do papel do Instituto Nacional de Pesquisas Oceânicas e Hidroviárias (INPOH) na gestão costeira e oceânica e sua relação com os fóruns (CIRM e seus colegiados) e instituições relacionados;

12. Criar e apoiar ações de formação, difusão e discussão de conceitos e instrumentos de gerenciamento costeiro e oceânico e fortalecer a atuação do Comitê Executivo para a Consolidação e Ampliação dos Grupos de Pesquisa e Pós-Graduação em Ciências do Mar (PPG-Mar).

São Paulo, 28 de junho de 2013



Figura A.1 – Ações futuras à respeito do gerenciamento costeiro brasileiro.

## **APÊNDICES**

## B – DETALHES DA MONTAGEM DO CANAL HIDRÁULICO

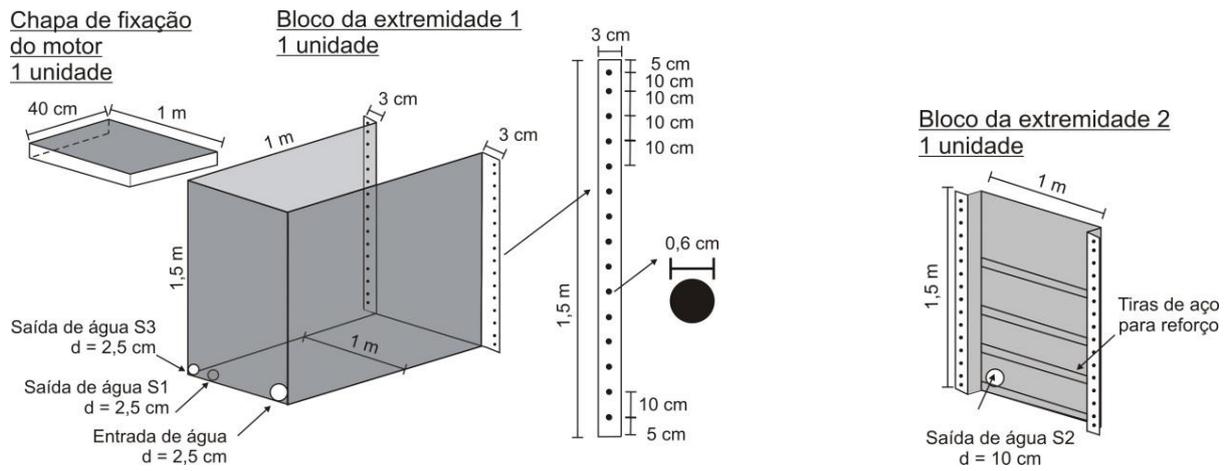


Figura B.1 – Extremidades do canal hidráulico.

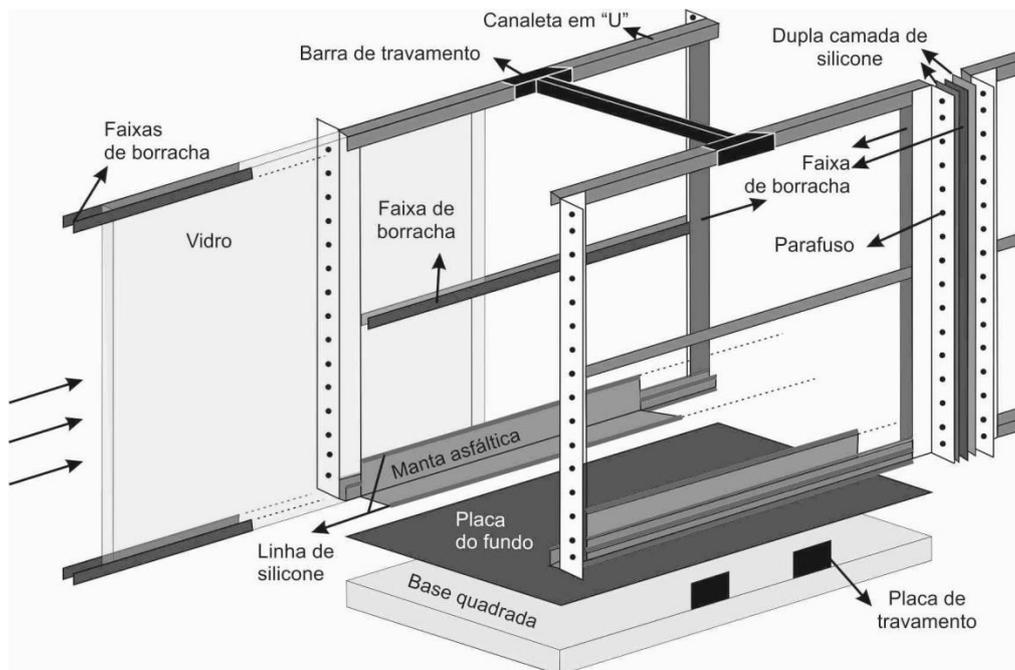


Figura B.2 – Detalhes da lateral do canal. Sistema de vedação. Sem escala.

## C – DETALHES SOBRE A MONTAGEM DO PIEZÔMETRO

Foram utilizadas uma sequência de conexões na extremidade denominada E1 no piezômetro de acordo com a Figura 4.2(a): uma luva redutora  $\frac{3}{4}$  para  $\frac{1}{2}$ , um bico para mangueira  $\frac{1}{2}$  para  $\frac{1}{4}$  e uma mangueira de nível de  $\frac{1}{4}$ , com comprimentos diferentes de acordo com cada piezômetro. Na extremidade denominada E2, foi utilizado um cabo espiralado emborrachado com três fios internos ( $3 \times 0,14 \text{ mm}^2$ ), denominados de F1, F2 e F3, de acordo com as Figuras C.1(a) e C.1(c). Para a conexão do cabo com o sistema de aquisição de dados (*Spider 8*) foi necessário soldar os três fios do mesmo em um conector 15 DB macho, como mostrado na Figura C.1(c). Foi utilizado um fio de estanho e um ferro de solda para fazer a ligação do fio F1 ao pino de nº7, fio F2 aos pinos de nº4 e nº14 e o fio F3 ao pino de nº2. O esquema da ligação dos fios com os respectivos pinos foi fornecido pelo fabricante do aquisitor de dados e pelo fornecedor dos piezômetros como mostra a Figura C.1(b).

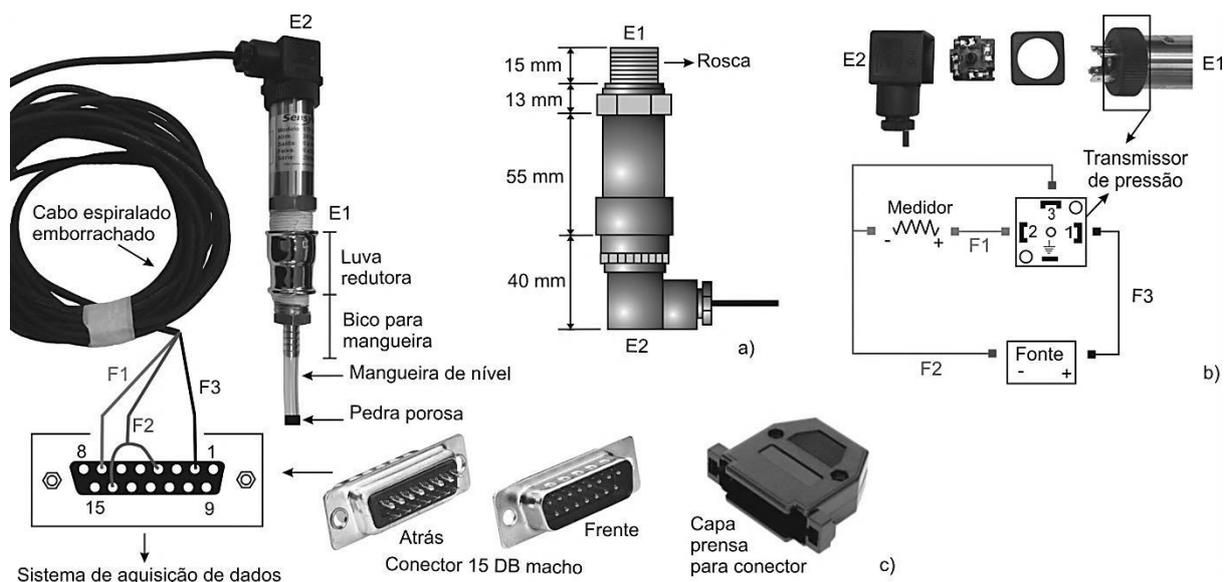
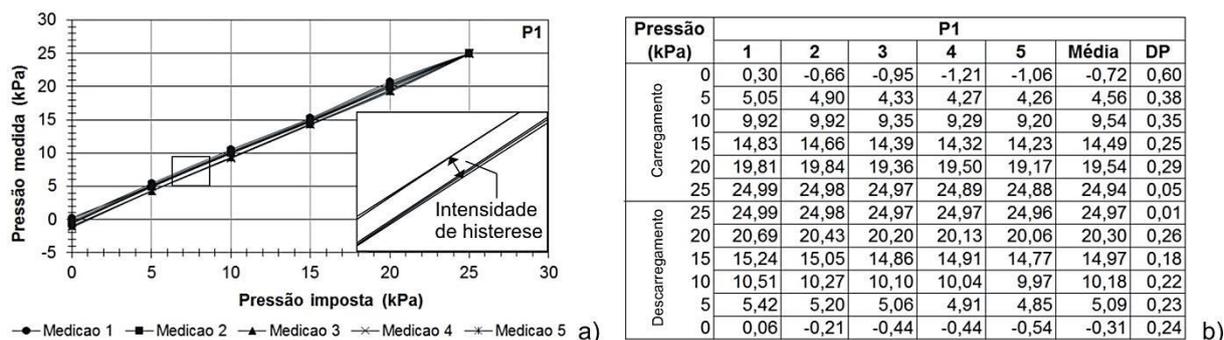


Figura C.1 – Detalhes do piezômetro e sua instalação: a) transdutor de pressão, b) esquema elétrico da ligação do cabo elétrico com o piezômetro. Fonte: modificado do manual de instruções fornecidas pela fabricante, c) esquema elétrico da ligação do cabo com o aquisitor de dados.

## D – CALIBRAÇÃO DOS PIEZÔMETROS ELÉTRICOS

Na calibração, foram realizados carregamento e descarregamento nas tensões de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 kPa, nos piezômetros, repetindo-se cinco vezes, a fim de se verificar a histerese dos valores da propressão obtidos pelo aquisitor de dados, assim como o desvio padrão, de acordo com as Figuras D.1(a) e (b). Em geral, pode-se observar uma redução no desvio padrão dos resultados com o aumento das pressões, como mostra a Figura D.1(c). Os valores de intensidade de histerese também podem ser considerados baixos, como era de se esperar.



Piezômetro	Carregamento						Descarregamento					
	0 kPa	5 kPa	10 kPa	15 kPa	20 kPa	25 kPa	25 kPa	20 kPa	15 kPa	10 kPa	5 kPa	0 kPa
P1	0,60	0,38	0,35	0,25	0,29	0,05	0,01	0,26	0,18	0,22	0,23	0,24
P2	0,36	0,27	0,11	0,16	0,15	0,15	0,22	0,29	0,37	0,14	0,12	0,16
P3	0,68	0,21	0,42	0,27	0,20	0,09	0,02	0,32	0,36	0,19	0,18	0,23
P4	0,40	0,22	0,07	0,13	0,10	0,01	0,01	0,15	0,24	0,07	0,07	0,11
P5	0,44	0,31	0,12	0,18	0,60	0,04	0,04	0,19	0,22	0,12	0,13	0,14
P6	0,11	0,38	0,27	0,29	0,27	0,24	0,02	0,53	0,11	0,14	0,29	0,30

Figura D.1 – Informações referentes à calibração dos piezômetros: a) pressão medida e pressão imposta no piezômetro P1 nos cinco carregamentos e descarregamentos, b) média e desvio padrão das pressões obtidas no piezômetro P1, c) desvio padrão nos piezômetros P1, P2, P3, P4, P5 e P6.

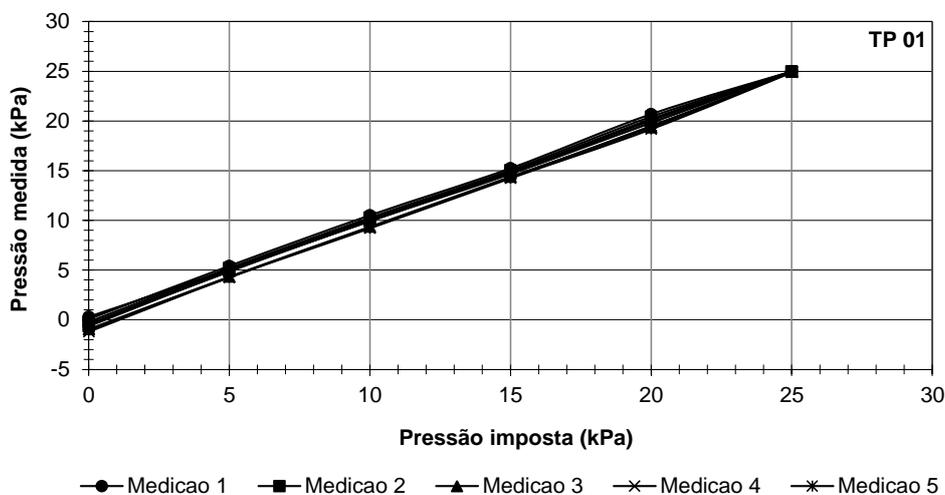


Figura D.2 – Histerese do transdutor de pressão 01.

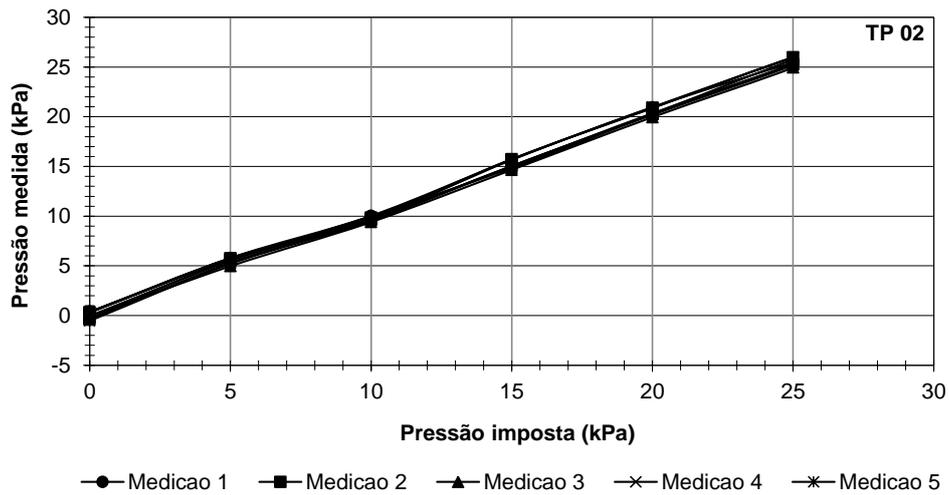


Figura D.3 – Histerese do transdutor de pressão 02.

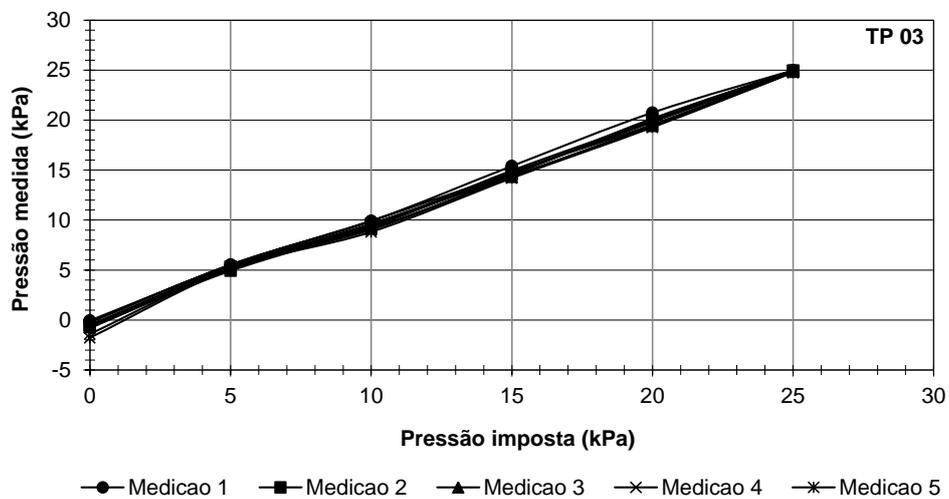


Figura D.4 – Histerese do transdutor de pressão 03.

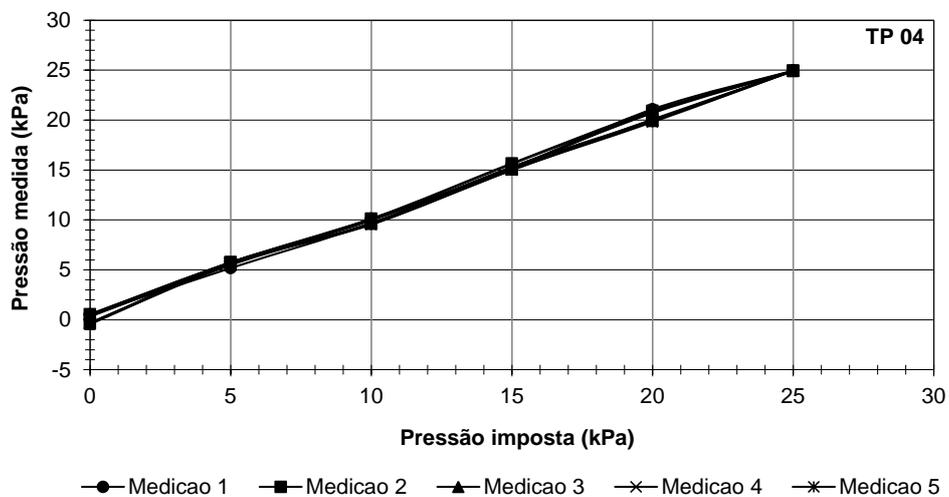


Figura D.5 – Histerese do transdutor de pressão 04.

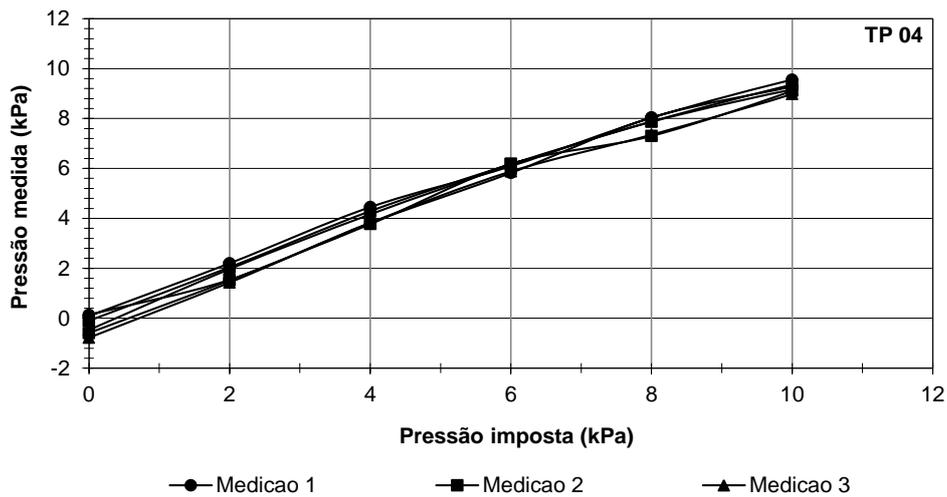


Figura D.6 – Histerese do transdutor de pressão 04.

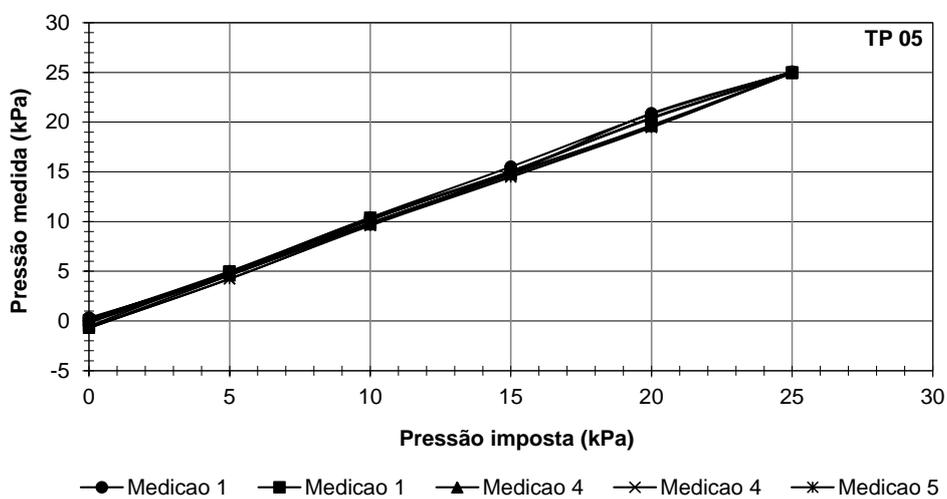


Figura D.7 – Histerese do transdutor de pressão 05.

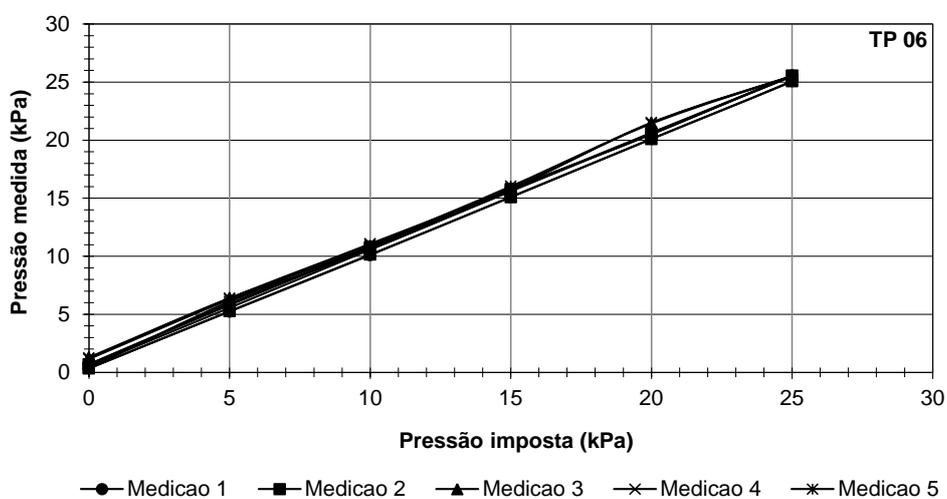


Figura D.8 – Histerese do transdutor de pressão 06.

## E – POROPRESSÃO *VERSUS* TEMPO

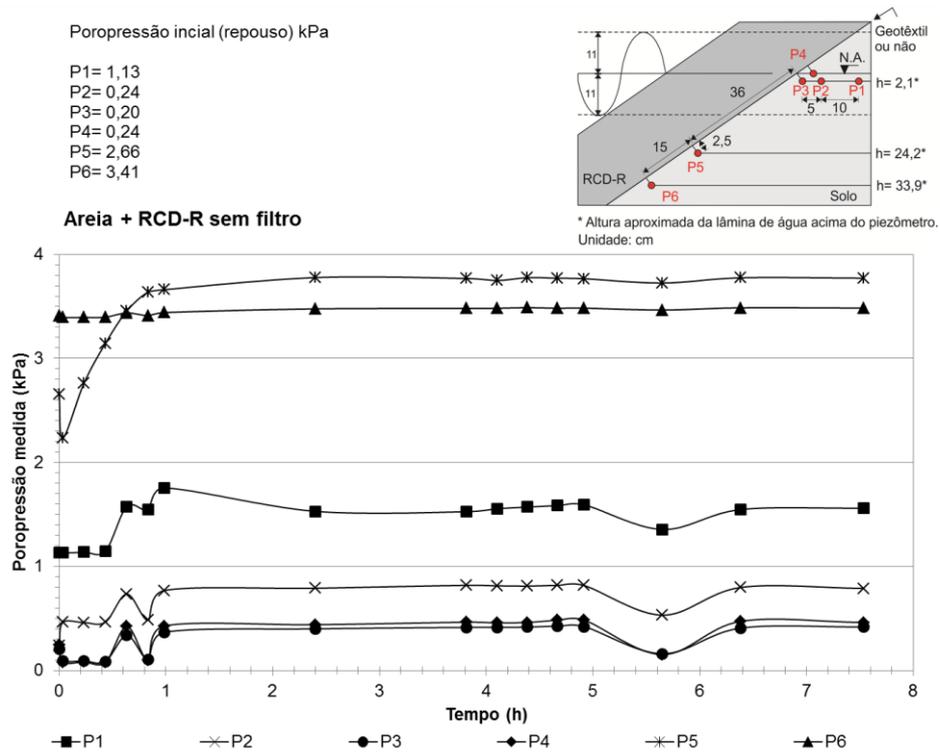


Figura E.1 – Poropressão *versus* tempo para areia + RCD-R sem filtro.

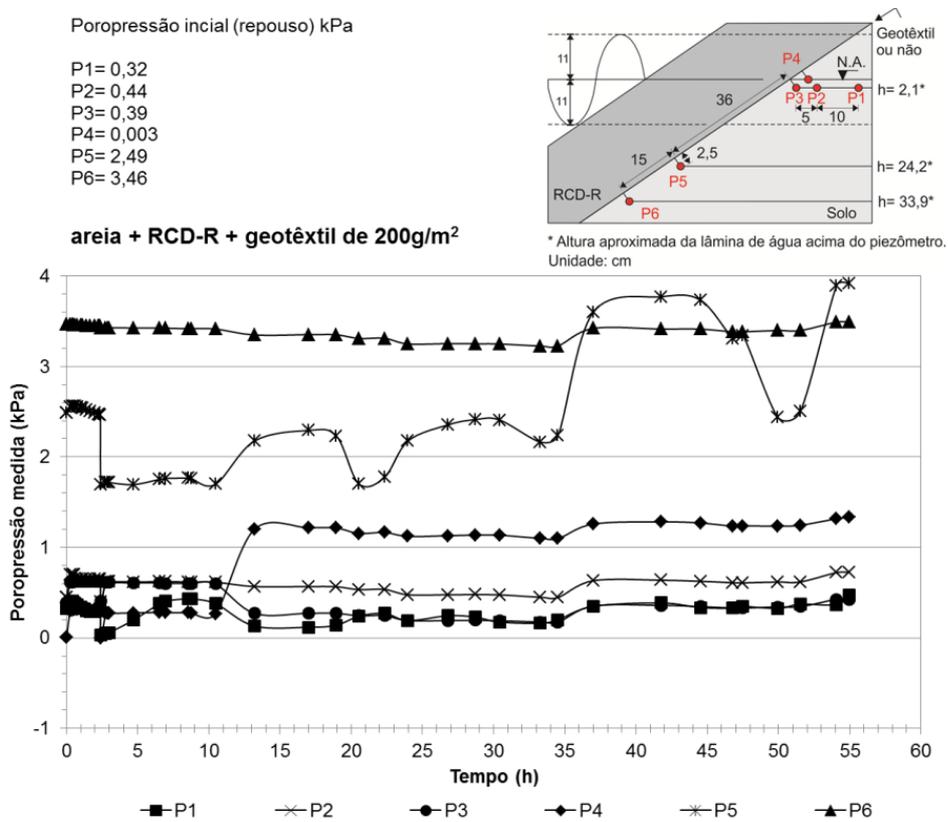


Figura E.2 – Poropressão *versus* tempo para areia, RCD-R e geotêxtil de 200g/m<sup>2</sup>.

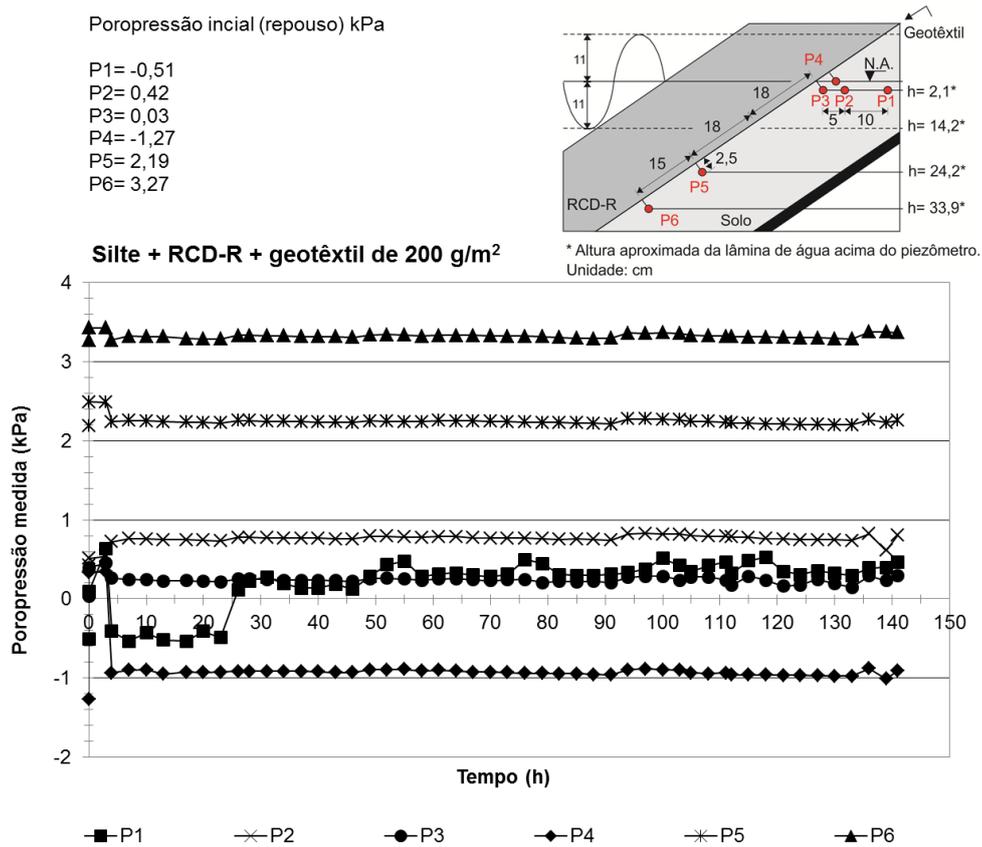


Figura E.3 – Poropressão *versus* tempo para silte, RCD-R e geotêxtil de 200g/m<sup>2</sup>.

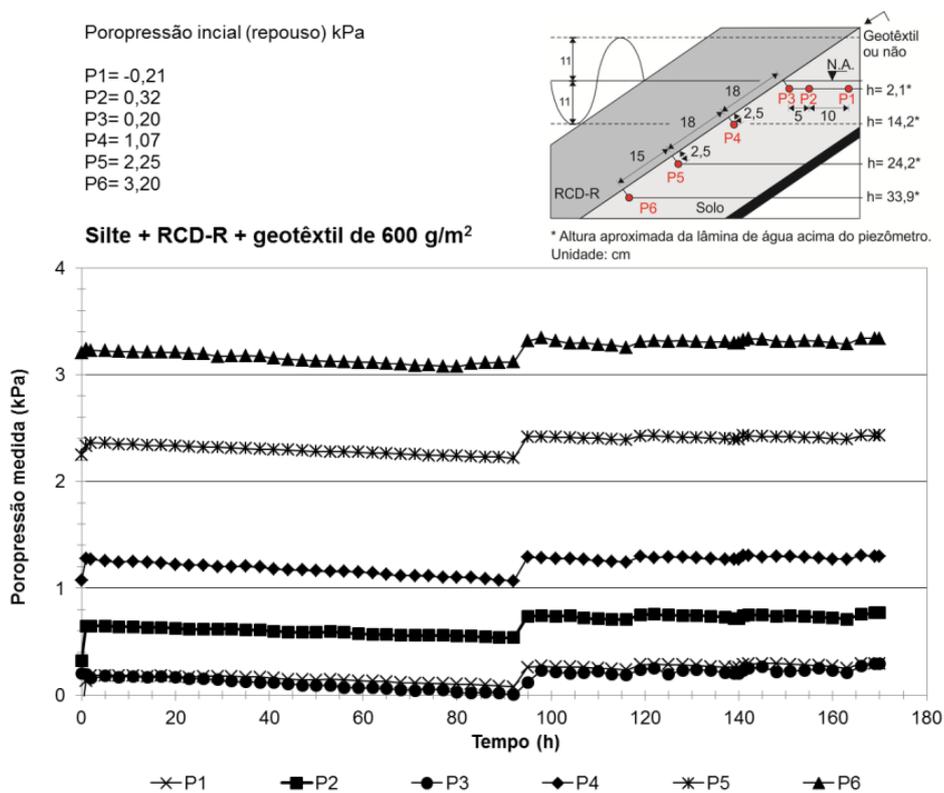


Figura E.4 – Poropressão *versus* tempo para silte, RCD-R e geotêxtil de 600g/m<sup>2</sup>.

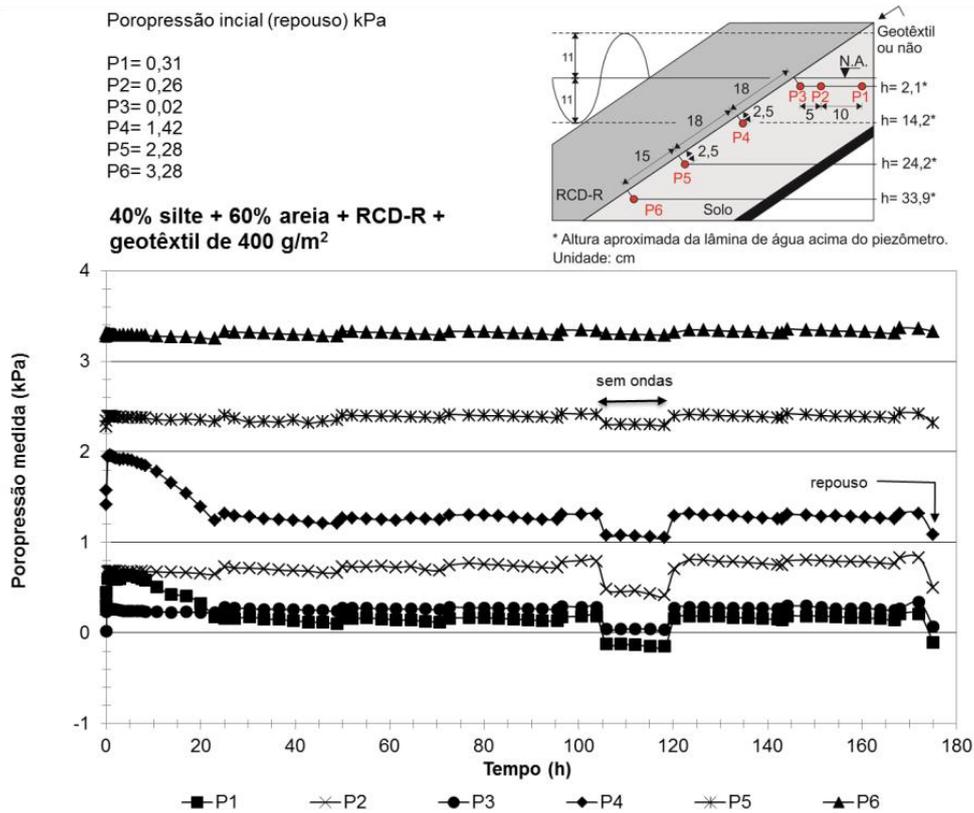
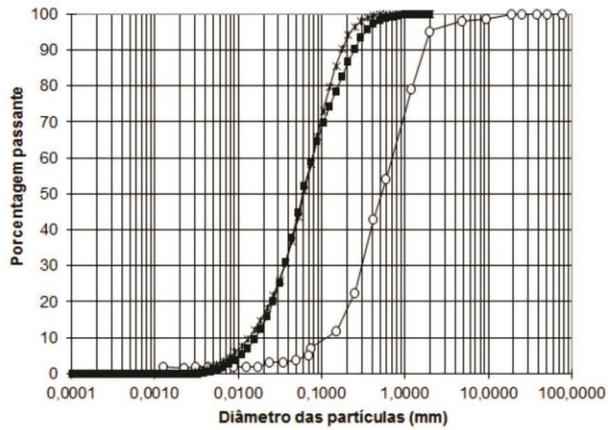


Figura E.5 – Poropressão *versus* tempo para 40% silte + 60% areia, RCD-R e geotêxtil de 400g/m<sup>2</sup>.

# F – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO ERODIDO COM E SEM ULTRASSOM

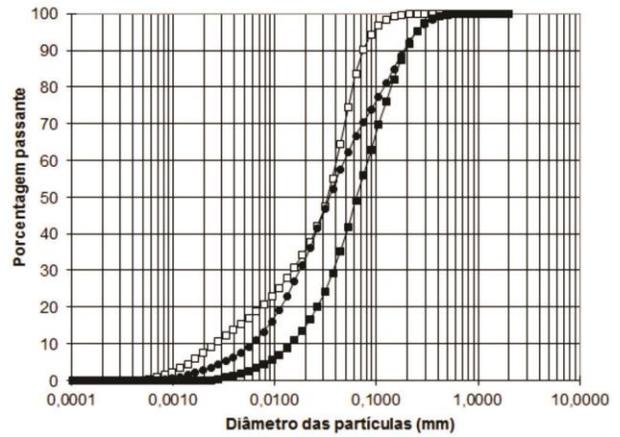
Tabela F.1 – Distribuição granulométrica do solo erodido com e sem ultrassom.

(mm)	1º ensaio: areia sem filtro		2º ensaio: areia + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>		3º ensaio: silte + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>		4º ensaio: silte + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>		5º ensaio: 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 200 g/m <sup>2</sup>		6º ensaio: 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>		7º ensaio: 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 400 g/m <sup>2</sup>		7º ensaio: 40% silte + 60% areia + filtro convencional	
	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem
2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,674	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,408	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,184	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,9955	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,8371	100,00	100,00	99,78	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,77	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,7039	100,00	100,00	99,39	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,36	99,77	100,00	100,00	99,89	100,00	100,00	100,00
0,5919	100,00	100,00	98,93	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,88	99,50	99,66	99,89	99,65	100,00	100,00	100,00
0,4978	100,00	100,00	98,28	99,89	99,68	99,89	99,74	100,00	98,22	98,98	99,04	99,52	99,10	99,75	99,50	100,00
0,4186	99,65	100,00	97,42	99,52	99,28	99,71	99,26	100,00	97,38	98,33	98,14	98,94	98,34	99,34	98,69	100,00
0,352	99,10	99,61	95,95	98,87	98,59	99,08	98,50	100,00	95,99	97,31	96,59	97,64	97,11	98,27	96,67	99,55
0,296	98,18	98,97	93,62	97,66	97,35	97,58	97,24	100,00	93,89	95,79	94,13	95,22	95,23	95,97	92,21	98,47
0,2489	96,62	97,89	90,45	95,51	95,21	94,11	95,23	99,76	91,19	93,72	90,73	91,26	92,63	91,70	84,73	95,81
0,2093	94,10	96,11	86,72	92,15	91,92	87,22	92,36	99,33	88,17	91,10	86,64	85,87	89,36	85,46	75,54	90,27
0,176	90,42	93,33	82,73	87,60	87,50	76,81	88,78	98,77	84,99	87,87	82,22	79,69	85,52	78,23	66,15	81,94
0,148	85,56	89,35	78,61	82,12	82,15	65,55	84,87	98,04	81,60	83,89	77,69	73,68	81,20	71,40	57,41	73,12
0,1244	79,69	84,11	74,32	75,98	76,13	55,72	80,98	97,06	77,77	79,02	73,17	68,24	76,55	65,50	49,18	65,22
0,1046	73,08	77,73	69,74	69,31	69,66	47,88	77,30	95,70	73,28	73,23	68,70	63,32	71,76	60,37	41,47	58,48
0,08799	65,93	70,38	64,66	62,09	62,95	41,31	73,79	93,75	67,95	66,58	64,32	58,63	66,97	55,58	34,46	52,26
0,07399	58,41	62,26	58,85	54,26	55,97	35,29	70,26	90,86	61,64	59,06	59,93	53,86	62,17	50,74	28,46	46,04
0,06222	50,88	53,80	52,21	46,05	48,90	29,49	66,48	86,59	54,25	50,65	55,33	48,77	57,24	45,60	23,62	39,71
0,05232	43,44	45,35	44,96	37,81	41,89	24,01	62,22	80,57	45,91	41,68	50,26	43,29	52,06	40,16	19,86	33,58
0,044	36,71	37,59	37,83	30,29	35,25	19,18	57,39	72,85	37,34	32,68	44,60	37,58	46,63	34,62	16,95	28,05
0,037	30,93	30,80	31,09	23,94	29,35	15,20	52,10	64,04	29,20	24,68	38,71	32,01	41,22	29,28	14,62	23,29
0,03111	26,04	24,93	25,22	18,77	24,33	12,02	46,82	55,29	22,39	18,34	32,70	26,73	35,70	24,33	12,65	19,26
0,02616	21,84	19,80	20,23	14,54	20,12	9,46	41,42	46,93	17,06	13,58	27,17	21,96	30,41	19,85	10,90	15,82
0,022	18,15	15,31	16,01	11,04	16,58	7,36	36,26	39,39	12,92	10,01	22,26	17,71	25,46	15,85	9,33	12,85
0,0185	14,89	11,46	12,45	8,17	13,57	5,63	31,42	32,65	9,64	7,27	17,92	13,98	20,96	12,37	7,91	10,29
0,01555	12,05	8,32	9,52	5,89	11,01	4,22	26,94	26,68	7,00	5,13	14,11	10,77	16,99	9,43	6,64	8,11
0,01308	9,63	5,89	7,16	4,14	8,86	3,09	22,86	21,48	4,93	3,50	10,85	8,11	13,60	7,04	5,53	6,30
0,011	7,62	4,07	5,32	2,84	7,08	2,19	19,23	17,08	3,37	2,30	8,18	5,97	10,77	5,15	4,57	4,82
0,00925	5,96	2,73	3,89	1,88	5,61	1,48	16,07	13,46	2,24	1,44	6,06	4,30	8,44	3,69	3,74	3,63
0,00778	4,60	1,75	2,78	1,16	4,40	0,92	13,36	10,54	1,42	0,81	4,40	3,01	6,52	2,56	3,02	2,67
0,00654	3,48	1,03	1,92	0,62	3,40	0,47	11,07	8,22	0,81	0,35	3,11	2,02	4,95	1,69	2,39	1,89
0,0055	2,57	0,50	1,25	0,21	2,57	0,11	9,17	6,40	0,35	0,00	2,12	1,26	3,69	1,02	1,83	1,26
0,00462	1,83	0,11	0,73	0,00	1,89	0,00	7,60	4,99	0,00	0,00	1,36	0,68	2,69	0,51	1,33	0,75
0,00389	1,23	0,00	0,32	0,00	1,33	0,00	6,31	3,89	0,00	0,00	0,79	0,24	1,90	0,12	0,89	0,34
0,00327	0,74	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	5,22	3,01	0,00	0,00	0,35	0,00	1,27	0,00	0,60	0,00
0,00275	0,34	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	4,29	2,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	0,34	0,00
0,002312	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	3,47	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,11	0,00
0,001944	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,001635	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,001375	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,54	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,001156	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,000972	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,000817	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,000687	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



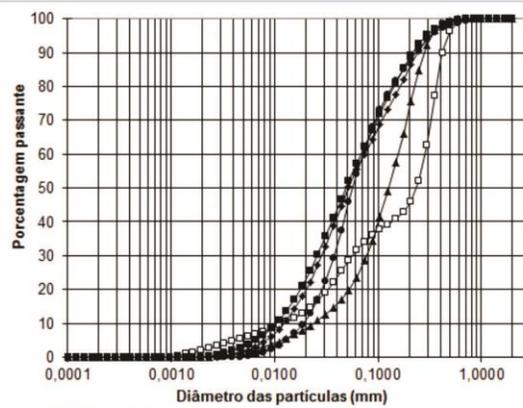
- Areia (sem defloculante)
- \* Areia + RCD-R sem filtro
- Areia + RCD-R + geotextil de 200 g/m<sup>2</sup>

a)



- Silte
- Silte + RCD-R + geotextil de 200 g/m<sup>2</sup>
- Silte + RCD-R + geotextil de 600 g/m<sup>2</sup>

b)



- 40% silte + 60% areia
- 40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>
- 40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 400 g/m<sup>2</sup>
- ▲ 40% silte + 60% areia + RCD-R + geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>
- ▲ 40% silte + 60% areia + RCD-R + filtro convencional

c)

Figura F.1 – Curvas granulométricas dos solos erodidos com ultrassom: a) areia, b) silte, c) 40% silte + 60% areia.





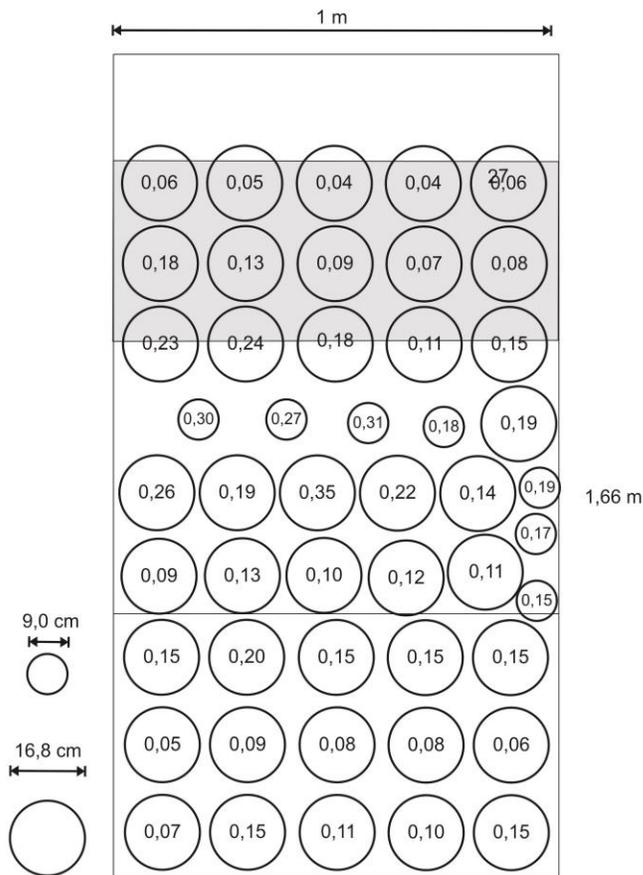
Tabela G.5 – 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 600 g/m<sup>2</sup>, na área inferior de influência da onda.

6º ensaio: 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 600 g/m <sup>2</sup>															
Área inferior a área de influencia da onda															Média
0,160	0,18	0,20	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,13	0,17
0,320	0,300	0,250	0,240	0,240	0,240	0,240	0,250	0,240	0,290	0,230	0,230	0,230	0,230	0,240	0,200
37	38	39	40	41b	42	43	44	45	47	48	49	50	51	52	54
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
99,75	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
99,34	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
98,84	99,76	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,78	99,89	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
98,09	99,15	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,85	99,30	99,34	100,00	99,89	100,00	100,00	99,89
97,15	98,27	99,86	100,00	99,89	100,00	100,00	100,00	99,64	98,70	98,56	100,00	99,73	100,00	100,00	99,66
95,74	96,89	99,24	99,54	99,33	99,57	99,51	98,99	97,81	97,27	99,60	99,12	99,58	99,57	99,58	99,16
93,82	94,86	97,70	98,47	98,16	98,63	98,48	97,80	96,52	95,22	98,69	97,93	98,71	98,63	98,69	98,37
91,44	92,09	94,05	95,80	95,63	96,40	96,17	95,55	94,74	92,29	96,44	95,61	96,78	96,41	96,63	97,12
88,75	88,56	87,14	90,16	90,98	91,70	91,61	91,54	92,40	88,59	91,56	91,57	92,86	91,70	92,31	95,23
85,90	84,31	77,83	81,57	84,62	84,14	84,76	85,62	89,52	84,44	83,68	85,88	86,57	84,10	85,28	92,60
83,02	79,52	68,64	72,45	78,13	75,37	77,32	78,82	86,17	80,23	74,72	79,73	79,21	75,40	77,08	89,23
80,18	74,49	60,88	64,45	72,52	67,04	70,65	72,24	82,49	76,22	66,41	73,85	72,09	67,40	69,40	85,22
77,34	69,49	54,38	57,93	67,95	60,07	65,24	66,41	78,58	72,49	59,42	68,77	66,07	60,97	63,14	80,72
74,33	64,60	48,45	52,29	63,98	54,25	60,68	61,27	74,41	68,93	53,31	64,27	60,95	55,72	58,01	75,79
70,86	59,70	42,66	47,03	60,16	49,11	56,43	56,43	69,76	65,29	47,55	59,97	56,27	51,07	53,46	70,39
66,57	54,60	37,01	41,97	56,22	44,31	52,06	51,53	64,34	61,29	41,89	55,55	51,66	46,59	49,09	64,44
61,16	49,16	31,76	37,18	52,04	39,67	47,34	46,36	58,02	56,73	36,37	50,84	46,93	42,09	44,69	57,94
54,65	43,46	27,13	32,78	47,61	35,12	42,25	40,90	51,03	51,56	31,16	45,84	42,08	37,57	40,19	51,16
47,52	37,82	23,07	28,76	42,98	30,66	36,94	35,34	44,06	45,97	26,35	40,68	37,20	33,12	35,64	44,43
40,45	32,18	19,39	25,02	38,19	26,31	31,64	29,91	37,32	40,39	21,90	35,52	32,40	28,83	31,10	37,92
33,73	26,86	15,93	21,43	33,27	22,10	26,53	24,81	31,22	34,74	17,75	30,48	27,75	24,74	26,63	31,87
27,67	21,96	12,64	17,95	28,30	18,14	21,78	20,18	25,77	29,32	13,92	25,67	23,32	20,87	22,33	26,29
22,31	17,56	9,62	14,66	23,44	14,54	17,52	16,11	20,91	24,30	10,54	21,21	19,21	17,27	18,32	21,21
17,66	13,75	7,03	11,68	18,91	11,42	13,86	12,67	16,65	19,82	7,73	17,23	15,55	14,03	14,75	16,72
13,74	10,57	4,97	9,13	14,93	8,84	10,83	9,86	13,02	15,96	5,54	13,81	12,42	11,23	11,69	12,92
10,54	8,00	3,41	7,02	11,60	6,76	8,37	7,61	10,04	12,71	3,89	10,95	9,82	8,87	9,16	9,83
7,98	5,96	2,27	5,31	8,91	5,10	6,40	5,81	7,65	10,00	2,66	8,58	7,69	6,91	7,09	7,39
5,96	4,35	1,43	3,93	6,77	3,78	4,81	4,36	5,75	7,74	1,74	6,62	5,94	5,29	5,40	5,49
4,37	3,09	0,81	2,83	5,07	2,73	3,53	3,19	4,25	5,87	1,04	5,01	4,50	3,96	4,02	4,01
3,14	2,11	0,35	1,96	3,74	1,90	2,51	2,26	3,08	4,36	0,51	3,70	3,33	2,88	2,91	2,87
2,20	1,36	0,00	1,28	2,70	1,25	1,71	1,52	2,17	3,17	0,11	2,67	2,40	2,02	2,03	1,99
1,48	0,79	0,00	0,75	1,89	0,74	1,09	0,94	1,47	2,24	0,00	1,86	1,66	1,34	1,34	1,31
0,92	0,35	0,00	0,33	1,25	0,33	0,60	0,48	0,92	1,51	0,00	1,23	1,07	0,80	0,79	0,78
0,47	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,21	0,11	0,47	0,94	0,00	0,73	0,60	0,36	0,35	0,35
0,10	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,11	0,48	0,00	0,33	0,22	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela G.6 – 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 400 g/m<sup>2</sup>, na área de influência da onda.

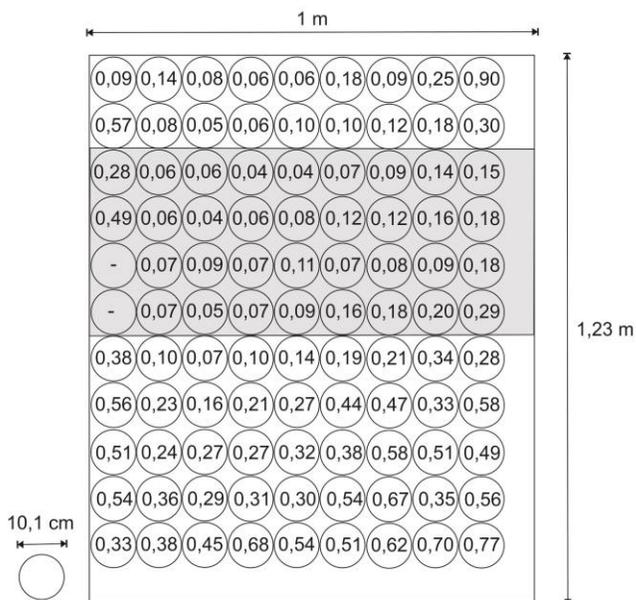
7º ensaio : 40% silte + 60% areia + geotêxtil de 400 g/m <sup>2</sup>																																					
D85 mm	Área de influência da onda																													Média							
	0,140	0,070	0,130	0,150	0,130	0,150	0,130	0,090	0,110	0,090	0,100	0,130	0,160	0,140	0,180	0,180	0,140	0,090	0,100	0,110	0,140	0,170	0,150	0,140	0,150	0,150	0,130	0,130	0,140		0,150	0,180	0,150	0,170	0,140	0,140	
D95 mm	0,280	0,140	0,210	0,240	0,190	0,230	0,230	0,180	0,210	0,150	0,180	0,200	0,240	0,240	0,240	0,220	0,140	0,170	0,200	0,200	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,210	0,250	0,230	0,180	0,240	0,280	0,250	0,240		
d (mm)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
2	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
1,674	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,408	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,184	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,9955	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,8371	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,7039	99,78	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
0,5919	99,41	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,89	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
0,4978	98,84	100,00	99,77	99,89	100,00	99,89	99,49	99,87	99,89	100,00	99,89	100,00	99,85	99,61	100,00	100,00	99,76	100,00	100,00	99,76	99,66	99,66	100,00	99,76	99,46	99,65	99,62	99,50	99,89	99,16	99,90	100,00	99,88	99,01	99,07	99,46	
0,4186	98,13	99,89	99,51	99,52	100,00	99,46	99,03	99,71	99,53	100,00	99,46	99,03	99,71	99,53	100,00	99,46	99,03	99,71	99,53	100,00	99,46	99,03	99,71	99,53	100,00	99,46	99,03	99,66	98,56	99,66	100,00	99,46	98,32	98,48	98,94		
0,352	97,12	99,63	98,95	98,91	99,78	98,76	98,36	99,36	98,99	99,87	99,30	99,28	98,66	98,48	99,56	99,55	98,76	99,88	99,78	98,79	98,65	98,53	99,40	98,52	98,18	98,60	98,36	98,30	99,16	97,66	99,13	99,59	98,81	97,21	97,59	98,16	
0,296	95,76	99,15	98,07	97,82	99,42	97,58	97,35	98,74	98,17	99,56	98,66	98,51	97,48	97,42	98,64	98,58	97,82	99,51	99,31	97,94	97,81	97,38	98,44	97,25	97,07	97,47	97,11	97,17	98,35	96,35	98,18	98,69	97,76	95,47	96,26	96,99	
0,2489	94,01	98,50	96,70	95,90	98,62	95,66	95,86	97,87	96,92	98,96	97,75	97,28	95,57	95,83	96,55	96,34	96,36	99,01	98,55	96,73	96,65	95,58	96,46	95,24	95,49	95,59	95,20	95,55	97,04	94,58	96,40	96,55	96,10	92,90	94,37	95,31	
0,2093	91,82	97,64	94,72	92,85	97,09	92,85	93,74	96,67	95,13	98,06	96,49	95,39	92,69	93,60	92,27	91,70	94,18	98,32	97,34	95,09	95,08	93,00	92,74	92,33	93,29	92,72	92,51	93,40	95,03	92,31	93,27	91,96	93,61	89,39	91,83	92,99	
0,176	89,16	96,52	92,11	88,66	94,23	89,17	90,96	95,08	92,80	96,73	94,80	92,68	88,80	90,70	85,41	84,47	91,17	97,33	95,50	92,98	93,02	89,63	87,03	88,54	90,38	88,86	89,06	90,72	92,26	89,51	88,59	84,46	90,14	85,02	88,63	89,97	
0,148	86,01	95,11	88,94	83,70	89,51	84,87	87,65	93,04	90,02	94,80	92,61	89,13	84,15	87,17	77,46	76,55	87,41	95,85	92,90	90,39	90,42	85,57	80,19	84,08	86,77	84,26	84,98	87,53	88,81	86,14	82,93	75,76	85,73	80,10	84,86	86,32	
0,1244	82,45	93,38	85,34	78,50	83,34	80,15	84,10	90,55	86,94	92,10	89,85	84,91	79,20	83,15	70,00	69,72	83,20	93,66	89,50	87,33	87,29	81,02	73,42	79,30	82,65	79,34	80,53	83,90	84,85	82,25	77,10	67,87	80,68	75,07	80,75	82,23	
0,1046	78,59	91,32	81,44	73,46	76,89	75,38	80,56	87,65	83,68	88,43	86,47	80,31	74,32	78,81	63,95	64,58	78,87	90,50	85,23	83,84	83,74	76,25	67,36	74,53	78,27	74,48	75,96	79,90	80,50	77,95	71,69	61,63	75,45	70,27	76,55	77,94	
0,08799	74,44	88,89	77,29	68,67	70,93	70,77	77,10	84,39	80,28	83,62	82,38	75,54	69,63	74,27	59,01	60,58	74,55	86,15	79,88	79,89	79,81	71,48	62,07	69,92	73,78	69,82	71,35	75,50	75,74	73,33	66,70	56,62	70,40	65,75	72,35	73,54	
0,07399	69,87	86,02	72,76	64,01	65,51	66,29	73,60	80,78	76,65	77,61	77,41	70,62	65,00	69,48	54,64	57,08	70,09	80,46	73,16	75,33	75,45	66,71	57,22	65,37	69,12	65,25	66,58	70,47	70,40	68,34	61,86	52,18	65,57	61,32	68,04	68,95	
0,06222	64,62	82,54	67,64	59,22	60,29	61,77	69,83	76,76	72,68	70,65	71,45	65,40	60,18	64,28	50,38	53,57	65,21	73,42	64,99	69,93	70,49	61,76	52,45	60,65	64,13	60,52	61,39	64,50	64,28	62,83	56,85	47,83	60,78	56,69	63,37	63,96	
0,05232	58,50	78,24	61,75	54,08	54,93	57,01	65,56	72,29	68,31	63,54	64,61	59,72	54,93	58,55	45,97	49,74	59,63	65,41	56,13	63,54	64,81	56,42	47,51	55,54	58,62	55,38	55,59	57,45	57,35	56,70	51,47	43,32	55,79	51,59	58,10	58,37	
0,044	51,61	72,94	55,12	48,48	49,27	51,88	60,63	67,39	63,56	56,62	57,55	53,56	49,16	52,28	41,35	45,45	53,30	57,32	47,44	56,33	58,46	50,60	42,31	49,95	52,55	49,73	49,25	49,76	50,08	50,03	45,73	38,62	50,46	45,90	52,12	52,15	
0,037	44,52	66,62	48,11	42,48	43,32	46,38	55,00	62,14	58,47	50,44	50,49	47,07	42,99	45,60	36,57	40,73	46,48	49,54	40,05	49,04	51,70	44,38	36,95	43,98	46,03	43,67	42,88	42,05	42,74	43,29	39,94	33,80	44,80	39,70	45,56	45,49	
0,03111	37,39	59,44	41,15	36,47	37,27	40,59	48,79	56,60	53,05	44,88	43,95	40,71	36,88	38,97	31,76	35,75	39,76	42,48	34,09	41,85	45,02	38,21	31,61	38,02	39,47	37,60	36,55	34,80	35,92	36,53	34,16	28,99	39,11	33,42	38,89	38,93	
0,02616	30,78	51,71	34,41	30,39	31,22	34,75	42,24	50,77	47,23	39,55	37,91	34,42	30,79	32,31	27,04	30,71	33,19	36,03	29,14	35,27	38,38	32,04	26,48	31,95	32,86	31,49	30,69	28,28	29,77	30,16	28,67	24,30	33,25	27,09	32,17	32,49	
0,022	24,83	44,01	28,22	24,70	25,48	28,90	35,81	44,64	40,99	34,10	32,18	28,53	25,14	26,07	22,54	25,80	27,17	30,00	24,72	29,36	32,12	26,25	21,70	26,25	26,66	25,70	25,37	22,43	24,26	24,32	23,58	19,85	27,61	21,27	25,93	26,55	
0,0185	19,63	36,40	22,71	19,64	20,30	23,37	29,52	38,49	34,68	28,46	26,66	23,18	20,11	20,49	18,39	21,21	21,82	24,35	20,56	24,08	26,40	21,03	17,39	21,07	21,13	20,45	20,60	17,24	19,34	19,12	18,99	15,79	22,39	16,23	20,40	21,25	
0,01555	15,26	29,48	17,98	15,36	15,87	18,48	23,87	32,27	28,43	22,96	21,47	18,49	15,80	15,77	14,72	17,10	17,21	19,25	16,66	19,42	21,35	16,54	13,66	16,58	16,45	15,91	16,41	12,84	1								

## H – GRAU DE IMPREGNAÇÃO DAS AMOSTRAS DE GEOTÊXTEIS



2° ensaio: areia + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>

4	5	6
0,16	0,10	0,09
7	8	9
0,18	0,20	0,17
10	11	12
0,09	0,12	0,12



3° Ensaio: silte + RCD-R + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>

1	2	3
0,33	0,11	0,60
4	5	6
0,39	0,09	0,20
7	8	9
0,47	0,36	0,54

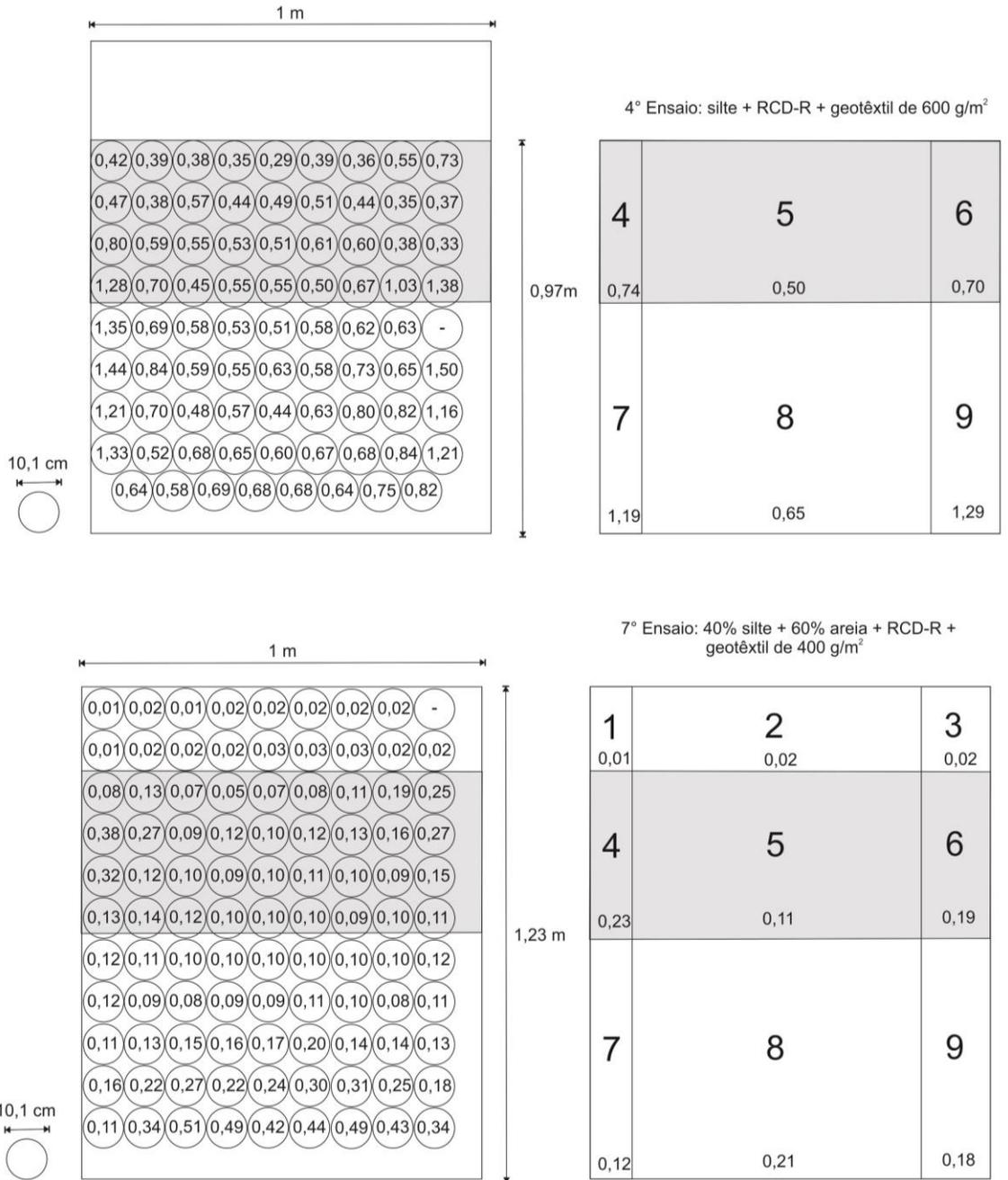


Figura H.1 – Grau de impregnação das amostras de geotêxteis.

# I – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO DA FACE DO TALUDE DEPOIS DO ENSAIO

## Tabela I.1 – Granulometria da face com silte + geotêxtil de 200 g/m<sup>2</sup>.

D <sub>n</sub> ,mm		3º ensaio: silte + 200 gm <sup>2</sup>																										
		0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	0,750	0,900	1,050	1,200	1,500	1,800	2,000	2,500	3,000	3,750	4,750	6,000	7,500	9,000	10,600	Site	
d (mm)	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,674	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,408	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,184	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,9955	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,8371	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,7039	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,5919	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,4978	100	100	99,88	100	100	100	99,88	100	100	100	100	100	100	100	99,89	99,88	100	100	99,77	99,33	99,43	100	99,11	99,10	100	100	100	100
0,4186	100	100	99,63	99,66	100	99,63	99,65	100	99,63	100	99,64	99,5	99,63	100	99,38	98,82	98,91	99,77	98,59	99,64	100	100	100	100	100	100	100	100
0,352	99,87	99,89	99,13	99,15	100	99,13	99,14	99,78	99,07	99,64	99,85	99,11	98,93	99,03	100	98,79	98,04	98,02	99,26	97,59	99,08	100	100	100	100	100	100	100
0,296	99,30	99,75	98,38	98,35	100	98,39	98,34	99,49	98,18	99,14	99,54	99,27	98,03	98,02	100	97,9	96,88	96,44	98,4	96,01	98,16	100	100	100	100	100	100	100
0,2489	98,00	99,55	97,27	97,1	99,88	97,29	97,1	98,97	96,78	98,4	98,53	96,93	96,65	96,31	99,87	96,58	95,28	93,75	96,97	93,58	96,67	100	100	100	100	100	100	100
0,2093	95,05	99,11	95,68	95,22	99,61	95,73	95,26	98,26	94,73	97,33	96,43	94,92	94,73	93,64	99,72	94,79	93,23	89,75	94,7	90,09	94,41	99,88	100	100	100	100	100	100
0,176	89,43	98,3	93,53	92,58	99,24	93,62	92,73	97,29	91,96	95,82	92,61	92,22	92,32	89,94	99,32	92,6	91,1	85,09	91,41	85,72	91,29	99,71	100	100	100	100	100	100
0,148	81,32	97,1	90,77	89,11	98,62	90,96	89,47	96	88,53	93,79	88,94	89,52	85,37	98,79	90,12	88,82	80,55	87,01	81,02	87,35	98,19	100	100	100	100	100	100	100
0,1244	72,47	95,36	87,42	84,91	97,78	87,82	85,5	94,27	84,53	91,18	79,58	85,25	86,34	90,2	98,02	87,39	85,49	78,56	81,55	78,39	82,67	98,34	100	100	100	100	100	100
0,1046	64,40	92,97	83,5	79,73	96,66	84,29	80,83	91,04	80,04	87,9	72,26	81,24	82,65	74,64	96,83	84,31	84,03	72,9	75,12	71,82	77,29	96,9	100	100	100	100	100	100
0,08799	57,51	89,78	78,96	73,92	95,13	80,33	75,46	88,77	75,05	83,76	65,31	76,85	78,18	68,73	94,82	80,67	81,21	69,14	67,81	67,05	71,16	94,41	100	100	100	100	100	100
0,07399	51,38	85,55	73,63	67,45	92,97	75,72	69,37	84,42	69,46	78,47	58,68	71,85	72,56	62,37	91,91	76,16	77,64	64,8	59,71	61,7	64,14	90,18	100	100	100	100	100	100
0,06222	45,57	79,96	67,33	60,47	89,85	70,13	62,66	78,61	63,17	71,81	52,03	65,99	65,62	55,58	87,49	70,45	72,86	59,43	55,25	55,42	56,25	83,52	100	100	100	100	100	100
0,05232	39,93	72,85	60,12	53,51	85,42	63,34	55,84	71,41	56,47	63,96	45,38	59,23	57,88	48,8	81,63	63,5	66,62	52,88	42,72	48,21	48,15	74,41	100	100	100	100	100	100
0,044	34,53	64,57	52,7	46,79	79,63	55,8	49,09	63,72	49,69	56,01	39,17	52,24	50,11	42,24	74,65	56,1	59,58	45,8	35,15	41,03	40,38	64,34	100	100	100	100	100	100
0,037	29,55	56,35	45,51	40,9	73,19	48,2	43,03	56,18	43,47	48,65	33,81	45,5	43,36	36,64	67,45	48,84	52,49	39,01	29,06	34,5	33,89	54,93	100	100	100	100	100	100
0,03111	25,06	48,85	39,32	35,93	66,62	41,57	37,81	49,68	38,2	42,17	29,39	39,81	38,02	32,16	60,83	42,84	46,49	33,48	24,4	29,46	28,85	47,52	100	100	100	100	100	100
0,02616	21,06	42,66	34,22	31,74	60,79	36,32	33,3	44,28	33,61	38,1	25,74	35,24	33,85	29,59	55	38,28	41,83	29,33	20,8	25,79	24,97	42	100	100	100	100	100	100
0,022	17,51	37,6	29,98	28,06	55,79	32,21	29,3	39,69	30,04	34,4	22,82	31,48	30,43	25,65	50,61	34,81	38,19	28,19	17,9	23,04	21,88	37,74	100	100	100	100	100	100
0,0185	14,39	33,28	26,32	24,78	51,38	28,83	25,67	35,58	26,65	31,22	19,88	28,2	27,44	23,11	47,08	32,17	33,66	15,47	20,83	19,3	34,17	100	100	100	100	100	100	100
0,01555	11,68	29,4	23,09	21,77	47,3	25,86	22,37	31,76	23,53	28,35	17,43	25,19	24,72	20,85	44	29,56	32,49	17,47	13,4	18,94	17,09	30,94	100	100	100	100	100	100
0,01308	9,39	25,83	20,22	19,03	43,36	23,13	19,42	28,21	20,68	25,72	15,26	22,4	22,24	18,82	41,11	27,33	30,03	19,49	11,64	17,25	15,2	27,97	100	100	100	100	100	100
0,011	7,48	22,58	17,69	16,57	39,5	20,62	16,83	24,97	18,12	23,32	13,36	19,84	20,01	17,01	38,31	25,28	27,76	17,68	10,15	15,74	13,58	25,27	100	100	100	100	100	100
0,00925	5,90	19,67	15,47	14,36	35,72	18,33	14,58	22,05	15,85	21,15	11,69	17,54	18,01	15,39	35,63	23,4	25,68	16,02	8,89	14,38	12,18	22,86	100	100	100	100	100	100
0,00778	4,59	17,1	13,51	12,37	32,03	16,26	12,6	19,43	13,84	19,18	10,21	15,48	16,21	13,92	33,11	21,68	23,77	14,5	7,79	13,15	10,94	20,72	100	100	100	100	100	100
0,00654	3,52	14,83	11,76	10,56	28,46	14,38	10,85	17,07	12,05	17,36	8,89	13,63	14,56	12,57	30,75	20,08	22,78	13,1	6,81	12,01	9,81	18,78	100	100	100	100	100	100
0,0055	2,64	12,83	10,19	8,93	25,06	12,69	9,3	14,93	10,45	15,66	7,69	11,97	13,03	11,31	25,52	18,56	20,3	11,8	5,93	10,94	8,76	17	100	100	100	100	100	100
0,00462	1,93	11,06	8,78	7,48	21,88	11,13	7,93	13	9,02	14,06	6,61	10,47	11,11	10,79	28,35	17,1	18,69	10,58	5,13	9,92	7,77	15,33	100	100	100	100	100	100
0,00389	1,35	9,49	7,51	6,2	18,96	9,72	6,71	11,26	7,74	12,54	5,63	9,11	10,26	9,01	24,25	15,65	17,11	9,42	4,4	8,93	6,82	13,73	100	100	100	100	100	100
0,00327	0,87	8,07	6,36	5,08	16,28	8,42	5,62	9,67	6,58	11,07	4,73	7,86	8,98	7,94	22,1	14,18	15,53	8,31	3,72	7,94	5,89	12,17	100	100	100	100	100	100
0,00275	0,46	6,78	5,31	4,09	13,83	7,21	4,64	8,2	5,52	9,64	3,9	6,7	7,75	6,9	19,87	12,66	13,91	7,24	3,08	6,95	4,97	10,61	100	100	100	100	100	100
0,002312	0,11	5,6	4,35	3,22	11,62	6,08	3,75	6,85	4,55	8,24	3,14	5,63	6,57	5,89	17,54	11,07	12,23	6,2	2,47	5,95	4,06	9,04	100	100	100	100	100	100
0,001944	0,00	4,53	3,48	2,46	9,65	5,04	2,95	5,62	3,67	6,89	2,44	4,64	5,44	4,91	15,12	9,42	10,5	5,2	1,9	4,95	3,18	7,48	100	100	100	100	100	100
0,001635	0,00	3,57	2,7	1,8	7,92	4,1	2,23	4,51	2,88	5,6	1,81	3,74	4,38	3,98	12,64	7,75	8,74	4,26	1,37	3,98	2,36	5,97	100	100	100	100	100	100
0,001375	0,00	2,72	2,01	1,23	6,4	3,25	1,6	3,53	2,18	4,41	1,25	2,93	3,4	3,12	10,18	6,13	7	3,39	0,89	3,07	1,63	4,57	100	100	100	100	100	100
0,001156	0,00	1,98	1,41	0,75	5,08	2,49	1,06	2,67	1,57	3,34	0,76	2,22	2,53	2,34	7,86	4,64	5,36	2,6	0,47									



Tabela I.5 – Granulometria da face com 40% silte + 60% areia e geotêxtil de 400 g/m<sup>2</sup>.

		7º ensaio: 40% silte + 60% areia + 400 g/m <sup>2</sup>																												
D <sub>85</sub> , mm	0,420	0,430	0,430	0,390	0,460	0,440	0,380	0,380	0,420	0,380	0,380	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	
D <sub>60</sub> , mm	0,520	0,520	0,520	0,520	0,550	0,560	0,470	0,470	0,500	0,470	0,470	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	
d (mm)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	C	D	40% silte + 60% areia						
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,674	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,408	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,184	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,9955	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,8371	100	100	100	100	99,52	100	99,72	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,7039	99	99,73	99,75	98,59	99,86	98,78	99,69	100	99,89	100	99,76	100	99,73	98,28	99,6	99,51	98,81	99,54	99,55	99,74	99,89	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,5919	98	98,46	98,39	96,89	98,19	96,49	98,59	99,04	98,73	99,26	98,74	99,2	98,54	97,06	98,55	98,23	97,33	97,52	98,23	98,6	99,01	99,39	99,76	99,16	99,16	99,16	99,16	99,16	99,16	99,16
0,4978	93	94,2	93,85	93,25	91,78	90,67	95,74	95,62	94,58	98,81	98,65	96,28	95,16	94,34	95,59	94,83	94,21	89,86	94,42	95,18	95,93	95,95	95,96	96,44	96,44	96,44	96,44	96,44	96,44	96,44
0,4186	85	83,58	83,02	87,94	75,8	81,32	89,83	85,96	83,45	91,41	88,94	87,59	87,66	89,2	89,45	87,97	89,21	71,8	85,99	86,88	87,15	82,01	99,29	90	90	90	90	90	90	90
0,352	70,83	65,29	65,21	79,95	52,27	68,41	78,87	65,2	63,04	80,39	75,94	68,45	74,33	78,21	78,61	76,95	79	46,96	71,35	71,03	69,23	50,54	98,69	77,24	77,24	77,24	77,24	77,24	77,24	77,24
0,296	56,90	47,27	49,25	70,34	35,85	55,96	62,14	46,27	44,92	66,45	61,23	49	60,77	63,6	65,8	65,67	66,17	29,97	56,05	53,88	48,82	25,99	97,71	62,67	62,67	62,67	62,67	62,67	62,67	62,67
0,2489	47,42	35,71	40,25	61,25	29,08	47,79	58,58	37,21	35,57	55,28	50,91	38,16	51,73	51,64	54,9	56,99	56,68	22,86	45,05	41,7	33,69	17,19	96,06	51,94	51,94	51,94	51,94	51,94	51,94	51,94
0,2093	42,61	29,53	35,99	54,75	26,66	43,66	53,51	33,67	31,58	49,08	45,58	33,4	46,76	44,7	47,59	51,35	51,74	20,25	38,55	34,7	24,91	14,74	93,69	45,98	45,98	45,98	45,98	45,98	45,98	45,98
0,176	40,27	26,12	33,8	50,64	25,62	41,63	50,45	32,01	29,66	46,04	42,8	31,07	43,88	41,02	42,98	47,66	49,17	19,1	34,6	30,5	20,04	13,91	90,46	42,77	42,77	42,77	42,77	42,77	42,77	42,77
0,148	38,92	23,89	32,36	47,94	24,97	40,42	48,29	30,88	28,42	44,37	40,97	29,57	41,85	38,87	39,82	44,96	47,48	18,39	31,74	27,43	17,39	13,49	86,29	40,77	40,77	40,77	40,77	40,77	40,77	40,77
0,1244	37,89	22,08	31,11	45,86	24,36	39,42	46,43	29,8	27,32	43,16	39,32	28,29	40,04	37,31	37,25	42,64	45,99	17,76	29,2	24,66	14,9	13,26	81,32	39,21	39,21	39,21	39,21	39,21	39,21	39,21
0,1046	36,84	20,35	29,75	43,89	23,62	38,33	44,51	28,55	26,12	41,98	37,46	26,95	38,12	35,85	34,79	40,33	44,33	17,04	26,6	21,83	13,07	13,03	75,82	37,69	37,69	37,69	37,69	37,69	37,69	37,69
0,08799	35,56	18,56	28,12	41,7	22,64	36,92	42,27	27,04	24,69	40,54	35,21	25,42	36,91	34,18	32,18	37,78	42,22	16,17	23,86	18,91	11,36	12,64	69,86	35,98	35,98	35,98	35,98	35,98	35,98	35,98
0,07399	33,86	16,72	26,15	39,06	21,39	35,03	39,52	25,28	23,01	38,6	32,62	23,67	33,37	32,08	29,37	34,85	39,49	15,15	21,13	16,09	9,72	12,15	63,21	33,94	33,94	33,94	33,94	33,94	33,94	33,94
0,06222	31,67	14,91	23,9	35,91	19,95	32,63	36,18	23,33	21,14	36,03	29,88	21,75	30,57	29,15	26,45	31,53	36,15	14,04	18,61	13,54	8,17	11,54	55,62	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
0,05232	29,07	13,18	21,51	32,4	18,41	29,82	32,36	21,28	19,17	32,89	27,19	19,77	27,63	26,58	23,59	27,94	32,43	12,91	16,4	11,34	6,74	10,82	47,57	28,65	28,65	28,65	28,65	28,65	28,65	28,65
0,044	26,28	11,54	19,13	28,84	16,85	26,83	28,38	19,21	17,21	29,44	24,65	17,83	24,74	23,59	20,92	24,33	28,67	11,8	14,47	9,48	5,45	10,02	39,65	26,46	26,46	26,46	26,46	26,46	26,46	26,46
0,037	23,56	10,01	16,9	25,55	15,32	23,92	24,64	17,22	15,37	26,03	22,3	16,03	22,08	20,8	18,5	20,97	25,19	10,74	12,76	7,91	4,3	9,18	33,03	22,16	22,16	22,16	22,16	22,16	22,16	22,16
0,03111	21,10	8,59	14,91	22,72	13,86	21,3	21,42	15,41	13,73	22,94	20,13	14,41	19,74	18,38	16,34	18,03	22,19	9,76	11,21	6,58	3,3	8,34	27,98	19,09	19,09	19,09	19,09	19,09	19,09	19,09
0,02616	18,95	7,28	13,17	20,34	12,48	19,03	18,75	13,81	12,29	20,26	18,13	12,96	17,17	16,34	14,4	15,53	19,74	8,85	9,79	5,45	2,45	7,53	24,17	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52
0,022	17,08	6,09	11,65	18,31	11,17	17,07	16,53	12,39	11,03	17,96	16,26	11,64	15,92	14,61	12,64	13,41	17,67	8,01	8,49	4,47	1,73	6,26	21,15	14,49	14,49	14,49	14,49	14,49	14,49	14,49
0,0185	15,40	5,02	10,3	16,52	9,93	15,33	14,61	11,11	9,9	15,94	14,49	10,42	14,29	13,09	11,03	11,59	15,86	7,22	7,3	3,61	1,13	6,03	18,59	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89	12,89
0,01555	13,85	4,08	9,08	14,88	8,76	13,75	12,9	9,93	8,85	14,11	12,83	9,28	12,78	11,71	9,57	10,01	14,22	6,46	6,23	2,86	0,64	5,35	16,34	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58
0,01308	12,41	3,26	7,97	13,35	7,68	12,29	11,35	8,83	7,87	12,44	11,29	8,21	11,37	10,44	8,26	8,63	12,7	5,74	5,29	2,21	0,23	4,71	14,33	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44
0,011	11,06	2,55	6,96	11,32	6,69	10,94	9,94	7,8	6,95	10,92	9,88	7,21	10,07	9,26	7,1	7,43	11,29	5,05	4,46	1,64	0	4,11	12,54	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42
0,00925	9,81	1,94	6,04	10,59	5,78	9,7	8,68	6,84	6,09	9,55	8,61	6,28	8,88	8,17	6,07	6,39	10	4,39	3,73	1,15	0	3,54	10,95	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49
0,00778	8,65	1,42	5,2	9,37	4,95	8,56	7,55	5,95	5,29	8,32	7,46	5,42	7,79	7,17	5,15	5,47	8,81	3,76	3,07	0,72	0	3	9,53	7,63	7,63	7,63	7,63	7,63	7,63	7,63
0,00654	7,58	0,96	4,44	8,24	4,19	7,52	6,53	5,12	4,54	7,21	6,42	4,53	6,79	6,25	4,33	4,65	7,72	3,17	2,48	0,34	0	2,5	8,24	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82
0,0055	6,60	0,56	3,74	7,2	3,5	6,57	5,61	4,36	3,85	6,22	5,48	3,91	5,88	5,41	3,6	3,92	6,72	2,62	1,96	0,11	0	2,03	7,08	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06
0,00462	5,70	0,21	3,11	6,25	2,88	5,7	4,78	3,66	3,22	5,33	4,63	3,25	5,05	4,64	2,95	3,27	5,8	2,11	1,49	0	0	1,59	6,03	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33
0,00389	4,88	0	2,54	5,38	2,32	4,91	4,03	3,03	2,64	4,53	3,87	2,65	4,29	3,94	2,37	2,68	4,96	1,64	1,07	0	0	1,18	5,08	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63
0,00327	4,12	0	2,02	4,58	1,81	4,18	3,35	2,45	2,1	3,8	3,19	2,1	3,59	3,29	1,85	2,15	4,19	1,21	0,69	0	0	0,8	4,22	3,94	3,94	3,94	3,94	3,94	3,94	3,94
0,00275	3,42	0	1,54	3,84	1,35	3,51	2,73	1,92	1,61	3,13	2,56																			

## J – MASSA ESPECÍFICA SECA

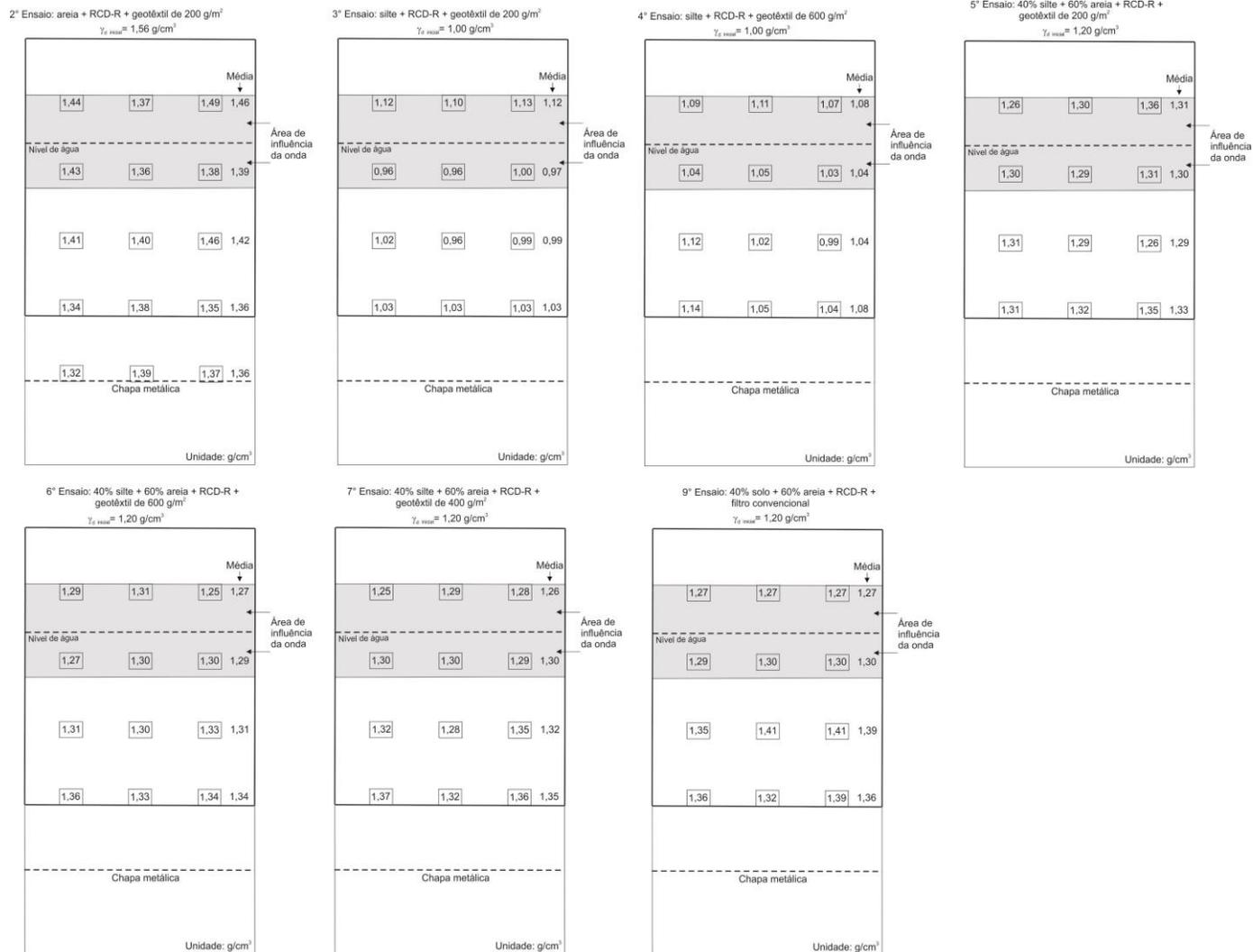


Figura J.1 – Esquema da face frontal do talude de solo mostrando apresentando a massa específica seca encontrada em cada ponto.