



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

MAYARA MATOS CAVALCANTI

**ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS COM PROTEÇÃO
SUPERFICIAL E DRENAGEM SUPERFICIAL E PROFUNDA**

RECIFE, 2017

MAYARA MATOS CAVALCANTI

**ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS COM PROTEÇÃO SUPERFICIAL E
DRENAGEM SUPERFICIAL E PROFUNDA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho

RECIFE, 2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

C376e Cavalcanti, Mayara Matos.
Estabilização de encostas com proteção superficial e drenagem superficial e profunda / Mayara Matos Cavalcanti . - 2017.
97 folhas, il.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Graduação em Engenharia Civil, 2017.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Estabilidade de talude. 3. Proteção superficial.
4. Drenagem. 5. Estabilização. I. Coutinho, Roberto Quental (Orientador).
II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-116

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS COM PROTEÇÃO SUPERFICIAL E
DRENAGEM SUPERFICIAL E PROFUNDA**

defendido por

Mayara Matos Cavalcanti

Considera a candidata APROVADA

Recife, 17 de Março de 2017

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho – UFPE
(orientador)

MSc. Daniela Josefa da Silva – UFPE
(examinadora externa)

MSc. Danisete Pereira de Souza Neto – UFPE
(examinadora externa)

Dedico este trabalho aos meus amados pais!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me fortalecido nos momentos de fraqueza.

A toda minha família e em especial aos meus pais, Márcia e Carlos por sempre me apoiarem.

Ao meu namorado, pela paciência e apoio incondicional.

Ao professor Dr. Roberto Quental Coutinho, pelo apoio e orientação.

A toda família GEGEP, pelo imenso aprendizado e em especial aos meus queridos amigos, Danisete Neto e Hugo Henrique.

Aos amigos da UFPE que estavam comigo em todos os bons e maus momentos.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

CAVALCANTI, M. M. (2016). Estabilização de encostas com proteção superficial e drenagem superficial e profunda. Trabalho de Conclusão do Curso, graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife / PE.

RESUMO

Os deslizamentos de encostas têm aumentado consideravelmente nas últimas décadas, principalmente nos centros urbanos dos países denominados emergentes. Esses deslizamentos são agravados em função da urbanização intensa e desordenada da população, da construção de habitações em encostas com inclinações acentuadas, modificação da geometria natural da encosta, lixo acumulado, falta de sistema de drenagem e esgotamento sanitário, esses fatores contribuem para um provável movimento de massa. Assim, a necessidade de conter o risco de deslizamento presente nas encostas, faz-se necessário a análise dos riscos associados a esses movimentos de massa e um estudo de estabilização de taludes. Sabendo da dificuldade financeira enfrentada pelo Brasil, a estabilização de encostas com proteção superficial e drenagem superficial e/ou profunda, torna-se uma viável solução para essa questão. Então, nessa monografia serão estudadas as principais técnicas de proteção superficial e drenagem profunda e superficial como proposta de estabilização de encostas, tornando-se uma alternativa em relação a outras técnicas de contenção estrutural. Como estudo de caso, foi escolhido duas situações, a primeira uma encosta localizada em Camaragibe/PE, estudo realizado no GEGEP, utilizando drenagem profunda como solução de contenção e o segundo caso, uma encosta localizada na cidade de Salvador/BA que utilizou proteção superficial aliada à drenagem superficial para estabilizar o talude. Enfatiza-se que o trabalho visa buscar soluções com menor custo/benefício no combate à movimentação de massa, o que condiz com a realidade atual do país.

Palavras-chaves: Estabilidade de talude. Proteção superficial. Drenagem. Estabilização.

CAVALCANTI, M. M. (2016). Stabilization of slopes with superficial protection and deep and superficial drainage. Final Course Work, graduation in Civil Engineering, Department of Civil Engineering and Environmental (DECIV), Center of Technology and Geosciences (CTG), Federal University of Pernambuco (UFPE). Recife / PE.

ABSTRACT

Landslides have increased considerably in the last few decades, especially in the urban centers of the so-called emerging markets. These landslides are aggravated due to the intense and disorderly urbanization, construction of dwellings on steep slopes, modification of the natural slope geometry, accumulated litter, and lack of drainage and sanitary sewage systems, these factors contribute to a higher probability of mass movement. In order to contain the landslides, it is necessary to analyze the risks related to the mass movements and the slope stability. Considering the financial difficulties faced by Brazil, the stabilization of slopes by surface protection and deep and/or surface drainage becomes a viable solution to this problem. So, in this thesis it will be studied the main techniques of surface protection and deep and surface drainage as a proposal for slope stabilization, making it an alternative to other techniques of slope containment. As a case study two scenarios were chosen, the first being a hillside located in Camaragibe/PE, study realized at GEGEP, using deep drainage as a slope containment solution, and the second, a hillside located in the city of Salvador/BA that used surface protection combined with surface drainage to stabilize the slope. This study seek for solutions with higher benefit-cost ratios in avoiding mass movement, which are consistent with the current reality of the country.

Keywords: Slope stability. Surface protection. Drainage. Stabilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Processo de Queda de blocos no maciço rochoso.....	16
Figura 2.2 - Processo de Tombamento de blocos no maciço rochoso.....	17
Figura 2.3 - Processo de deslizamento translacional.....	18
Figura 2.4 - Processo de deslizamento rotacional.....	19
Figura 2.5 - Processo de deslizamento em cunha.....	19
Figura 2.6 – Processo de expansão lateral.....	20
Figura 2.7 – Exemplo de processo de rastejo.....	21
Figura 2.8 – Exemplo de processo de corrida.....	21
Figura 2.9 – Demonstração da aplicação de hidrossemeadura em taludes de corte.....	35
Figura 2.10 - Método construtivo se solo envelopado.....	37
Figura 2.11 – Revitalização da margem o rio utilizando solo envelopado e madeira como estacas vivas, Santa Luiza – MG, Rio das Velhas.....	37
Figura 2.12 – Espécies vegetais mostrando arquitetura de raízes.....	39
Figura 2.13 - Efeito da vegetação no fator de segurança de taludes.....	42
Figura 2.14 – Aplicação de gel impermeabilizante em encosta em Recife/PE.....	44
Figura 2.15 - Encosta após aplicação de gel impermeabilizante em Recife/PE.....	45
Figura 2.16 – À esquerda, talude revestido com geomanta. À direita, o mesmo maciço com a vegetação já desenvolvida.....	47
Figura 2.17 – Aplicação de geomantas de PVC no Recife.....	48
Figura 2.18 – Geomanta de PVC aplicada no bairro do Ibura em Recife/PE.....	48
Figura 2.19 – Biomantas de fibras vegetais. Grande parte é fornecida na forma de bobinas ..	50
Figura 2.20 – Geocélulas aplicadas na encosta.....	52
Figura 2.21 - Canaletas verdes revestidas com tela sintemax.....	55
Figura 2.22 - Indicação dos diversos dispositivos de um sistema de drenagem superficial.....	55
Figura 2.23 - Detalhes de uma canaleta de drenagem superficial.....	56
Figura 2.24 – Escada hidráulica.....	56
Figura 2.25 – Esquema geral de uma drenagem superficial em um talude rodoviário.....	57
Figura 2.26 – Ponteira filtrante.....	59
Figura 2.27 – Trincheira drenante.....	60
Figura 2.28 - Seção transversal mostrando o fluxo em direção a superfície do talude, antes e depois da colocação da trincheira drenante.....	61
Figura 2.29 – Dreno sub-horizontal profundo.....	62

Figura 2.30 – Influência dos DHPs no fluxo de água no interior do maciço	62
Figura 3.1 – Vista geral do movimento de massa com indicação dos patamares formados	65
Figura 3.2 – Vista do desnível vertical do topo do movimento de massa	65
Figura 3.3 – Mapa topográfico da área de estudo após a ruptura e locação das investigações	67
Figura 3.4 - Perfil (seção 1) com indicadores dos níveis piezométricos e níveis d'água máximos e mínimos e provável direção do fluxo subterrâneo.	68
Figura 3.5 – Análise de estabilidade – estágio de reativação considerando nível d'água subterrâneo mínimo.	70
Figura 3.6 – Análise de estabilidade – estágio de reativação considerando nível d'água subterrâneo máximo.	70
Figura 3.7 – Planta de locação dos drenos horizontais profundos – (DHPs)	72
Figura 3.8 – Perfil longitudinal da intervenção com o DHP e os níveis de água/ piezométrico existentes no talude.....	73
Figura 3.9 – Análise de estabilidade global.....	73
Figura 3.10 - Esquema de divisão do talude, na parte superior com ângulo de 90° foi utilizado solo grampeado em concreto e na parte inferior com uma inclinação de 65°, utilização de biomantas com recobrimento por vegetação.	75
Figura 3.11 - Uso de Biomanta em Inclinações com 65°	76
Figura 3.12 - Sistema de drenagem composto por escadas hidráulicas, bermas e canaletas....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa.....	15
Tabela 2.2 – Causas dos movimentos de massa	23
Tabela 2.3 – Fatores deflagradores do movimento de massa	24
Tabela 2.4 – Obras sem estrutura de contenção	27
Tabela 2.5 – Comparativo das principais técnicas empregadas na proteção de taludes.....	33
Tabela 2.6 – Custos das principais técnicas de revegetação de taludes empregadas no Brasil.	38
Tabela 2.7 – Comparativo de custo de proteções superficiais artificiais comumente utilizadas na RMR.....	52
Tabela 3.1 - Estimativa de custo – Solução com dreno sub-horizontal (DHP).....	74
Tabela 3.2- Comparativo de custos entre algumas soluções de estabilização.....	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1.	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO.....	12
1.2.	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	13
1.1.1	Geral.....	13
1.1.2	Específicos.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	MOVIMENTOS DE MASSA	14
2.1.1	Classificação dos movimentos de massa.....	14
2.1.2	Causas e condicionantes nos movimentos de massa.....	22
2.2	AÇÕES NÃO ESTRUTURAIS PARA REDUÇÃO DE RISCOS	24
2.3	PROTEÇÃO SUPERFICIAL	26
2.3.1	Erosão em taludes e encostas naturais	27
2.3.2	Proteção superficial com a utilização de materiais naturais.....	29
2.3.2.1	Seleção vegetal.....	31
2.3.2.1.1	<i>Gramíneas</i>	31
2.3.2.1.2	<i>Leguminosas.....</i>	32
2.3.2.2	Principais técnicas de revegetação em taludes.....	33
2.3.2.3	Custos das técnicas de revegetação de taludes.....	38
2.3.2.4	Efeito das Raízes sobre o Comportamento Mecânico de Solos	39
2.3.2.5	A Evapotranspiração no solo.....	41
2.3.2.6	Efeito da vegetação no fator de segurança de taludes.....	42
2.3.3	Proteção superficial com a utilização de materiais artificiais.....	43
2.3.3.1	Custos das técnicas de proteção com material artificial utilizados na RMR	52
2.4	DRENAGEM.....	53
2.4.1	Drenagem superficial	54
2.4.1.1	Canaletas	54

2.4.1.2	Escada Hidráulica.....	56
2.4.2	Drenagem profunda	57
2.4.2.1	Ponteiras filtrantes.....	58
2.4.2.2	Poços profundos	59
2.4.2.3	Drenos verticais de alívio.....	60
2.4.2.4	Trincheiras drenantes	60
2.4.2.5	Drenos sub-horizontais profundos	61
2.4.2.6	Tuneis e galerias de drenagem	63
3	ESTUDO DE CASOS.....	64
3.1	CASO 1 – ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE COM DRENAGEM PROFUNDA (RUA GILBERTO VIEGAS/ RUA CASSIMIRO DE ABREU – CAMARAGIBE/PE).....	64
3.1.1	Caracterização geológico - geotécnica	65
3.1.1.1	Investigações de Campo.....	66
3.1.1.2	Campanha de Instrumentação	67
3.1.2	Análises de estabilidade	69
3.1.3	Análise da solução	71
3.1.4	Estimativa de custo da solução analisada	74
3.2	CASO 2 – ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE ATRAVÉS DO USO DE BIOMANTA ASSOCIADA À TÉCNICA DE HIDROSSEMEADURA NO COMPLEXO VIÁRIO DO IMBUÍ, SALVADOR/BA.	74
3.2.1	Análise da solução	75
3.3	COMENTÁRIOS FINAIS	78
4	GANHO DE RESISTÊNCIA DE UM TALUDE ATRÁVES DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL E DRENAGEM SUPERFICIAL E/OU PROFUNDA	79
5	CONCLUSÕES	81
	REFERÊNCIAS.....	82
	ANEXO	86

1 INTRODUÇÃO

A ocupação das encostas da Região Metropolitana do Recife-RMR é um processo que se desenvolve desde o período colonial. Em Recife essa ocupação se deu em geral pelas populações de baixa renda. Segundo Coutinho (2005), de um modo geral, a maioria da população de baixa renda ao ocupar as encostas, o fazem de forma desordenada, desconhecendo critérios técnicos de construção. As populações carentes ao projetar loteamentos na maioria das vezes em relevos íngremes, associado à realização de cortes, aterros e construção de fossas nas bordas dos taludes, propiciam a ocorrência de movimentos de massa nestas áreas.

As causas e os efeitos dos movimentos de massa em uma área são complexos e diversos. É inegável, entretanto, que o uso inadequado e a ocupação desordenada do solo são fatores determinantes na instalação e desenvolvimentos desses fenômenos.

A chuva, sem dúvida, é o agente deflagrador em muitos casos de processos de instabilização de encostas. Quase todos os episódios de movimentação de massa registrados estão associados a precipitações críticas. Sua ação pode ocorrer através do aumento do grau de saturação do solo e, conseqüentemente, da diminuição da resistência destes, principalmente a parcela de resistência da coesão (COUTINHO, 2002).

As soluções para esses fatores desestabilizadores podem ser feitas de diversas maneiras, com ações estruturais e não estruturais. Sendo a proteção superficial uma ação de grande importância, se realizada de forma correta, juntamente com uma drenagem adequada, pode vir a estabilizar uma encosta sem necessidade de obras de contenção. A ausência da drenagem também pode ser responsável por reduzir a vida útil de uma obra de contenção estrutural, ou levar o sistema de contenção a uma ruptura brusca.

1.1. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, várias cidades brasileiras sofreram inúmeras perdas humanas e materiais devido a movimentos de massa em encostas, que atualmente se configuram como um dos principais fatores de risco causadores de desastres naturais. Com base nisso, o presente estudo foi realizado com a intenção de contribuir com a população que reside em área de risco, apresentando soluções de estabilização a fim de evitar a ocorrência de novos deslizamentos de terra e consequentes danos à população.

1.2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

1.1.1 Geral

O presente trabalho de conclusão de Curso tem como objetivo geral a realização de um levantamento de informações sobre diferentes métodos de proteção superficial e drenagens superficial e profunda em encostas, analisando sua aplicabilidade como solução alternativa a obras de contenção estrutural.

1.1.2 Específicos

Como objetivos específicos destacam-se:

Compreensão de diferentes tipos de mecanismos de estabilização, através de proteção superficial e drenagens superficial e profunda;

Apresentar o ganho de resistência de um talude através de proteção superficial e drenagem superficial e/ou profunda;

Apresentar exemplos práticos de obras de engenharia com a utilização de proteção superficial e drenagem superficial e/ou drenagem profunda como composição da solução para estabilização de um talude.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, se apresenta uma revisão bibliográfica sobre movimento de massa, abordando os mais frequentes movimentos nos taludes e suas causas e condicionantes, com ênfase na proteção superficial e drenagem superficial e profunda aplicada para a estabilização do mesmo.

2.1 MOVIMENTOS DE MASSA

Movimento de Massa é um termo geológico-geotécnico utilizado para explicar o processo de desprendimento de fragmentos de rocha e/ou solo das encostas. Ele pode ser causado por agentes exógenos ou endógenos. Entre os principais fatores naturais que contribuem para a geração de movimentos de massas nas encostas destacam-se a geometria e geomorfologia (morfologia do talude, zonas de convergência e divergência de fluxo de água, ocorrência de depósitos de tálus e colúvios), a duração e intensidade das precipitações pluviométricas, a geologia do material (fraturamentos, presença de minerais argilosos expansivos preenchendo as fraturas das rochas, etc.), geomecânicas (alterações do peso específico do solo devido à saturação, perda de coesão, etc.), cobertura vegetal, ocupação do solo, sismos ou outras situações incomuns tais como rompimento de barragens (NUNES, 2008).

2.1.1 Classificação dos movimentos de massa

As classificações dos movimentos de massa são baseadas na combinação dos seguintes critérios (COUTINHO; SILVA, 2006):

- Cinemática do movimento: relacionada à velocidade, direção e sequência dos deslocamentos em relação ao terreno estável;
- Tipo de material: solo, rocha, solos e rochas, detritos, depósitos, etc., estrutura, textura e percentagem de água;
- Geometria: tamanho e forma das massas mobilizadas.

A Tabela 2.1 apresenta a versão abreviada de uma das classificações mais utilizadas no mundo, que foi proposta por Cruden e Varnes (1996 apud COUTINHO; SILVA, 2006), referindo-se a uma revisão da classificação proposta por Varnes (1978). Esta classificação é baseada no tipo de movimento e de material transportado. Em função da geometria, os deslizamentos são classificados em planar, rotacional e translacional.

Na classificação de Cruden e Varnes (1996), os materiais são caracterizados como (COUTINHO, 2010):

- Rocha: Massa dura ou firme que se apresenta intacta antes de iniciar o movimento;
- Solo: Agregado de partículas sólidas (minerais e rochas), que foram transportadas ou sofreram processos de intemperismo. Representam materiais que possuem 80% ou mais de partículas < 2mm;
- Detritos: Contém significativa proporção de material “grosso”, com 20 a 80% de partículas > 2mm.

Tabela 2.1 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL		
		Rocha	Solos de Engenharia	
			Predomínio de grossos	Predomínio de finos
Queda		Queda de blocos	Queda de detritos	Queda de solo
Tombamento		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de solo
Deslizamento	Rotacional	Deslizamento de rocha	Deslizamento de detritos	Deslizamento de solo
	Translacional			
Espalhamento lateral		Expansões laterais de rocha	Expansões laterais de detritos	Expansões laterais de solo
Fluxo		Movimento lento/ Corrida de rocha	Movimento lento/ Corrida de detritos	Movimento lento/ Corrida de solo

Fonte: (Cruden e Varnes, 1996, a partir de Coutinho e Silva, 2006).

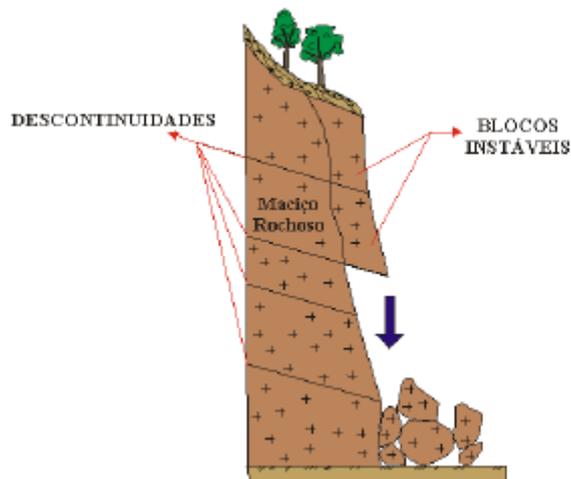
➤ **Quedas:**

Esse movimento é caracterizado pelo destacamento de blocos instáveis em encostas muito íngremes que envolvem, em geral, uma massa de qualquer tamanho (desde blocos isolados a grandes massas rochosas, de solo e detritos), caindo em movimento de queda livre ou em plano inclinado (Figura 2.1). O movimento ocorre em velocidade rápida ou extremamente rápida, podendo atingir grandes distâncias.

Hutchinson (1988, a partir de FERNANDES, 2000) separa as quedas em primárias ou secundárias; primárias quando ocorre o destacamento de solos, detritos e rochas do material de origem; secundárias quando ocorrem quedas de matacões e massas já destacadas e depositadas nas encostas.

Os processos de queda possuem um forte condicionante litológico e estrutural, e sua deflagração pode estar intimamente associada a processos erosivos, como na queda de detritos em taludes de rochas sedimentares, ou rolamento de matacões em rochas graníticas (AUGUSTO FILHO, 1994).

Figura 2.1 - Processo de Queda de blocos no maciço rochoso



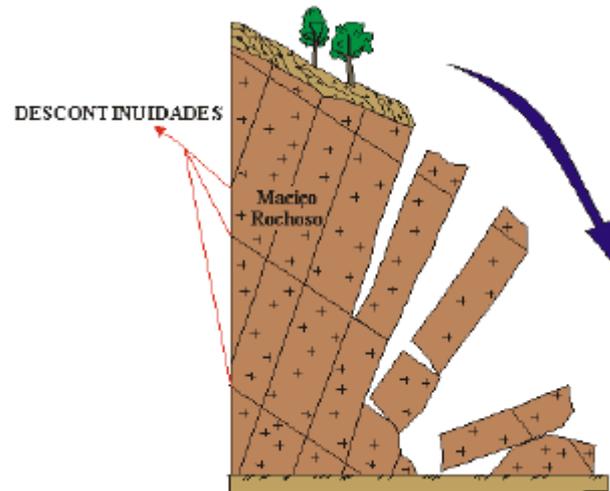
Fonte: Reis (2001).

➤ **Tombamentos:**

Varnes (1978) descreve o tombamento como a queda de uma massa de solo ou rocha em bloco rígido num movimento de rotação. A massa movimentada gira em torno de um único ponto sob a influência das forças gravitacionais. Este tipo de ruptura apresenta-se, na maioria dos casos, em maciços rochosos com descontinuidades verticais e subverticais, o que

proporciona condições favoráveis ao movimento, principalmente, quando combinada com a presença da água nestas áreas (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Processo de Tombamento de blocos no maciço rochoso



Fonte: Reis (2001).

➤ **Deslizamentos:**

Deslizamento, também conhecido como escorregamento, é o movimento de massa de grande frequência no Brasil e uma vasta área com potencialidade para ocorrência do movimento. Guidicini & Nieble (1984) descrevem deslizamentos como movimentos rápidos, apresentando superfície de ruptura bem definida, de duração relativamente curta, de massas geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude.

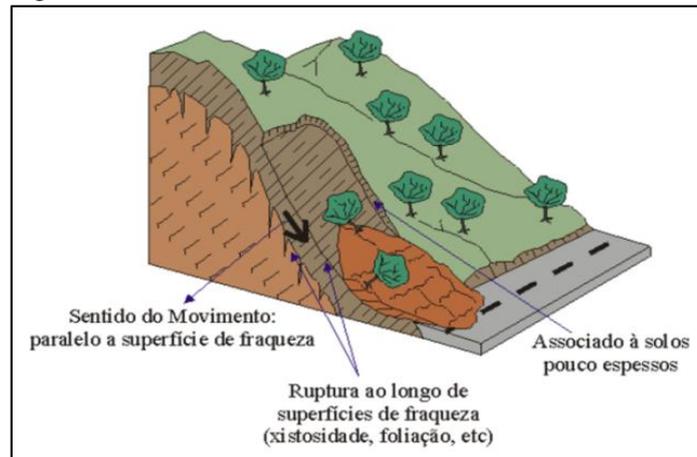
Augusto Filho (1992, a partir de FERNANDES, 2000) explica que o mecanismo de ruptura envolvido nestes processos ocorre por aumento das tensões atuantes ou queda da resistência, em períodos relativamente curtos, ou combinações destes mecanismos, que levam os terrenos, que constituem os taludes e encostas naturais, a rupturas por cisalhamento.

De acordo com Carvalho et al. (2007), os deslizamentos podem ser subdivididos em translacionais, rotacionais e em cunha.

Nos deslizamentos translacionais a massa movimentada apresenta superfícies de ruptura planas e o material mobilizado movimenta-se paralelamente a inclinação da encosta. A massa movimentada se rompe por cisalhamento e desliza sobre uma superfície plana, por este motivo o movimento é chamado também de deslizamento planar. A ruptura normalmente se dá por planos de

fraqueza desfavorável a estabilidade pré-existentes, como falhas, juntas, planos com variadas resistências ao cisalhamento entre camadas, pelo contato entre a camada superficial e o substrato rochoso, foliações e xistosidades (Figura 2.3). O movimento pode atingir centenas ou milhares de metros. Guidicini & Nieble (1984) subdividem os escorregamentos translacionais em escorregamentos de rocha, de solo ou de solo e rocha, a depender do material movimentado.

Figura 2.3 - Processo de deslizamento translacional

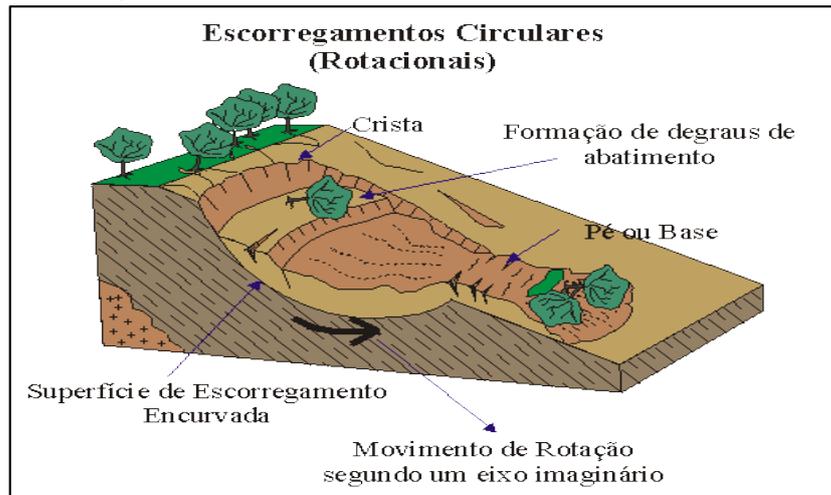


Fonte: CRUDEN & VARNES (1996, a partir de COUTINHO 2010).

Nos deslizamentos rotacionais ou circulares (Figura 2.4) a massa movimentada forma superfícies de escorregamento encurvadas e côncavas, que rotaciona segundo um eixo imaginário. Normalmente, estão associados a materiais homogêneos, aterros, depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas (COUTINHO; SILVA, 2006.).

Segundo Varnes (1978) quando a superfície de ruptura desloca-se do topo (crista) até a base do talude, a massa instável tende a restaurar seu equilíbrio, isto porque a quantidade de movimento decresce e a massa deslizada cessa o movimento. Após o movimento, é possível perceber a formação de degraus de abatimento.

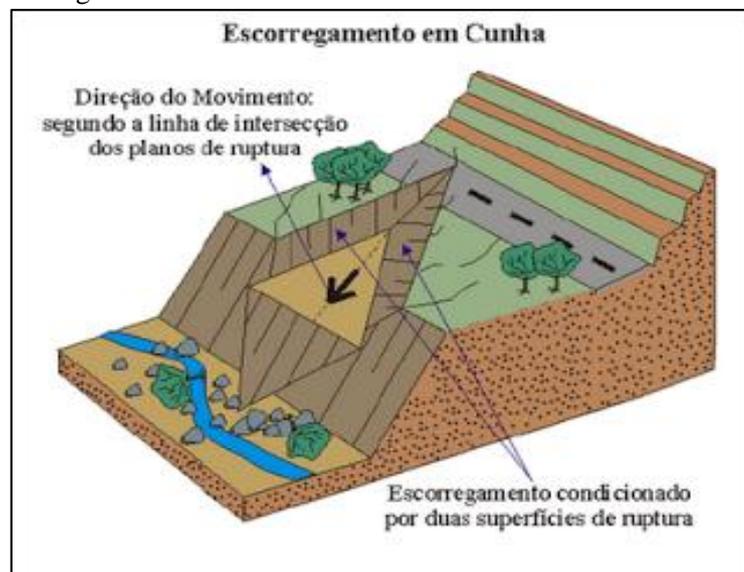
Figura 2.4 - Processo de deslizamento rotacional



Fonte: CRUDEN & VARNES (1996, a partir de COUTINHO 2010).

O deslizamento em cunha é mais comum em rocha ou em taludes de corte ou encostas que sofreram algum processo natural de erosão ou deslizamentos anteriores, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos (Figura 2.5).

Figura 2.5 - Processo de deslizamento em cunha

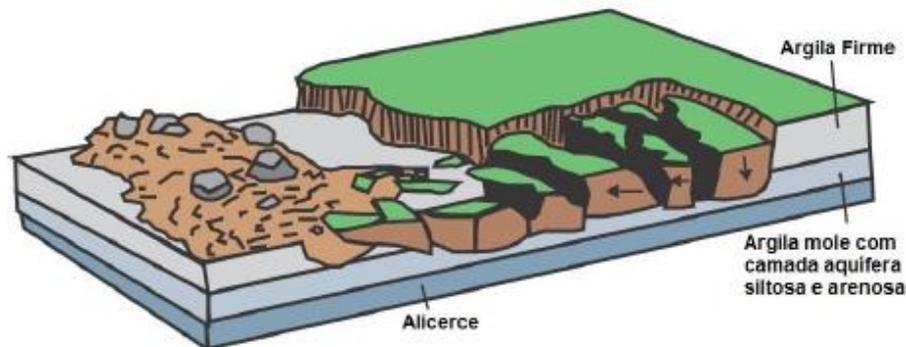


Fonte: CRUDEN & VARNES (1996, a partir de COUTINHO 2010)

➤ Expansões laterais

São movimentos caracterizados pela expansão de um solo coesivo ou de uma massa de rocha combinado com uma subsidência da massa fraturada numa camada de material subjacente que apresenta pouca resistência (CRUDEN & VARNES, 1996, a partir de COUTINHO, 2010). Expansões laterais podem resultar da liquefação ou escoamento de materiais. A Figura 2.6 ilustra esse tipo de processo.

Figura 2.6 – Processo de expansão lateral



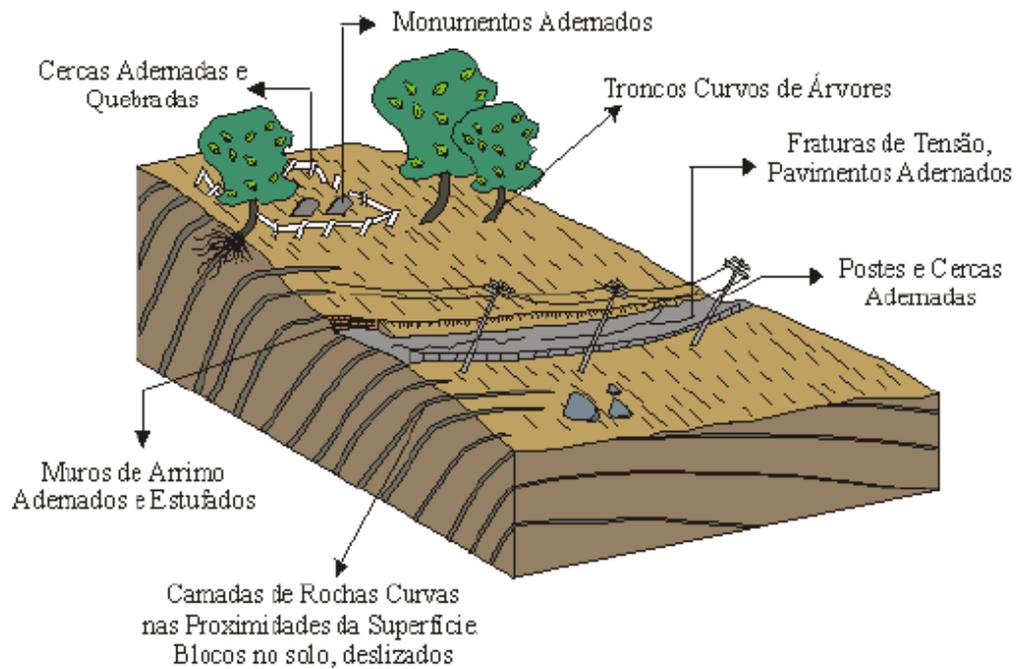
Fonte: Modificado de USGS, 2004.

➤ Fluxo

Movimentos contínuos, com ou sem superfície de deslocamento definidos. Quando o movimento é lento, é denominado de rastejo; quando o movimento é rápido, é denominado de corrida. A deformação dos escoamentos assemelha-se ao movimento de um líquido viscoso.

Rastejo: movimentos lentos e contínuos, sem superfície de ruptura bem definida, podem abranger grandes áreas, onde o deslocamento superficial é imperceptível e pode ocorrer em centímetros por ano. Esse movimento pode ser observado através de inclinação de árvores, postes, cercas e muros tortos, ondulações no solo ou pequenos sulcos, rachaduras em casas e até rachaduras em estradas (Figura 2.7).

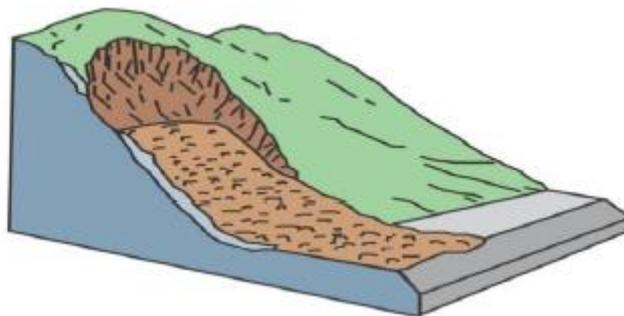
Figura 2.7 – Exemplo de processo de rastejo



Fonte: USGS, 2004.

Corrida: movimento de alta velocidade, gerado pela perda de atrito interno, ocasionado pela destruição da estrutura do solo na presença de excesso de água. A massa de solo passa a se comportar como um fluido viscoso e os deslocamentos atingem extensões significativas. A fluidificação do material pode ser originada por adição de água em solos predominantemente arenosos, terremotos, cravação de estacas ou amolgamento em argilas muito sensíveis (Figura 2.8).

Figura 2.8 – Exemplo de processo de corrida



Fonte: USGS, 2004.

2.1.2 Causas e condicionantes nos movimentos de massa

Os movimentos de massa ocorrem sob influência de fatores naturais, antrópicos, ou ambos. As causas ou fatores influentes nos movimentos de massa devem ser bem entendidos, para que acontecimentos similares possam ser previstos, controlados e evitados, uma vez que ocorrem sob a influência de fatores geológicos, geomorfológicos e climáticos específicos que se repetem em várias regiões do planeta.

Em geral, um deslizamento está associado a um conjunto de fatores condicionantes, cujos efeitos somados determinam sua deflagração, e a identificação precisa desses fatores é fundamental para a adoção de medidas corretivas ou preventivas, garantindo maior acerto do ponto de vista técnico e econômico (CARVALHO et al., 2007).

Os condicionantes naturais podem ser divididos em dois grupos. Os agentes predisponentes, que são o conjunto de características intrínsecas do meio físico natural, como morfologia, litologia, solo, clima, hidrologia, cobertura vegetal e força da gravidade. E os agentes acionantes, que desencadeiam diretamente o processo de movimentação de massas, como chuva, erosão, vibração, vento, ondas, variação de temperatura e umidade, oscilação do nível d'água e ação do homem (CARVALHO et al., 2007).

Os condicionantes antrópicos mais danosos às encostas são a remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas servidas e pluviais diretamente sobre o solo, execução inadequada de cortes e aterros, presença de fossas sanitárias e obstrução da drenagem natural, agravada pelo lançamento de lixo ou entulhos.

Segundo Cruden e Varnes (1996, a partir de COUTINHO, 2010), os fatores causadores dos deslizamentos de encostas podem ser divididos em quatro classes de causas: geológicas, morfológicas, físicas e antrópicas, como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Causas dos movimentos de massa

CAUSAS GEOLÓGICAS	CAUSAS MORFOLÓGICAS
<ul style="list-style-type: none"> - Perfil geotécnico / materiais problemáticos: sensitivo, colapsível, plástico/ mole; - Orientação desfavorável da descontinuidade de massa (clivagem, acamamentos, xistosidade, falhas, contatos sedimentares); - Contraste na permeabilidade e seus efeitos na poro-pressão; - Contraste na rigidez (material denso sobre material plástico); - Material de preenchimento de juntas alteradas (fissuras). 	<ul style="list-style-type: none"> - Geometria, declividade e forma da encosta / relevo; - Atividade geológicas: terremotos, vulcanismo, etc; - Depósito de carregamento no topo do talude; - Remoção da vegetação (por erosão, queimadas, secas); - Erosão fluvial no pé do talude / erosão na face do talude; - Erosão subterrânea (“pipping”).
CAUSAS FÍSICAS	CAUSAS ANTRÓPICAS
<ul style="list-style-type: none"> - Chuvas intensas em períodos curtos; - Chuvas intensas de longa duração; - Inundações; - Terremotos; - Contração e expansão de solos expansivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Escavação na base da encosta; - Sobrecarga na encosta ou no topo; - Remoção vegetal; - Vibração artificial (incluindo tráfego, máquinas pesadas); - Falta de manutenção de drenagem; - Vazamento de rede de abastecimento (água e esgoto).

Fonte: Cruden & Varnes (1996, a partir de COUTINHO, 2010).

Os movimentos de massa ocorrem quando as solicitações são maiores que a resistência ao cisalhamento dos materiais e, de acordo com Varnes (1978, a partir de COUTINHO, 2010), os fatores deflagradores desses movimentos podem ser separados em dois grupos: os que aumentam as solicitações e os que reduzem a resistência ao cisalhamento, considerando os fenômenos, como pode ser visto na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Fatores deflagradores do movimento de massa

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS GEOLÓGICOS/ANTRÓPICOS
Aumento da solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	- Erosão, escorregamentos - Cortes;
	Sobrecarga	- Peso da água de chuva, etc. - Depósito de material - Peso da vegetação - Construção de estruturas, aterros, etc;
	Solicitações dinâmicas	- Terremotos, ondas, etc. - Explosões, tráfego, sismos induzidos;
	Pressões laterais	- Água em trincas, congelamento, material expansivo;
Redução da resistência	Características Inerentes ao material (textura, geometria, estrutura)	- Características geomecânicas do material, tensões iniciais;
	Mudanças ou fatores variáveis	- Intemperismo → redução da coesão, ângulo de atrito; - Elevação do nível d'água; - Aumento da umidade com redução da sucção.

Fonte: Varnes (1978, a partir de COUTINHO, 2010).

2.2 AÇÕES NÃO ESTRUTURAIS PARA REDUÇÃO DE RISCOS

As ações não estruturais compreendem um conjunto de medidas estratégicas, sem envolver obras de engenharia, voltadas para a redução do risco e de suas consequências, utilizando-se de ferramentas de gestão e mudanças de comportamento pelo poder público, pelos moradores das áreas de risco e pela sociedade em geral.

No estudo de caso 1, é proposto algumas medidas não estruturais como parte da solução para mitigação do risco naquela encosta, nesse sentido pode-se citar algumas medidas não estruturais como exemplo, são elas:

- Definir e implementar o modelo de gestão de risco que atenda aos problemas do município;
- Fortalecer a Defesa Civil e o Controle Urbano Municipal através da ampliação e capacitação dos quadros técnicos, da melhoria das condições de infraestrutura e do respaldo político da gestão municipal;

- Atualizar o conhecimento dos processos destrutivos e do mapeamento das áreas de risco e propor medidas de mitigação e redução de risco;
- Garantir monitoramento permanente dos setores de risco alto e muito alto e atualizar sistematicamente os cadastros das famílias que ocupam esses setores;
- Considerar a redução de risco nos Planos Diretores Municipais;
- Realizar ações de conscientização dos moradores para os problemas da área que ocupam;
- Montar Planos de Contingência;
- Elaborar o Plano Municipal de Redução de Risco ou similar, para planejar as intervenções e obras necessárias.

Como citado no item acima, o Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR), segundo o modelo proposto para os municípios brasileiros pelo Ministério das Cidades, que foi instituído em 2003 pela Ação de Apoio à Prevenção de Riscos em Assentamentos Precários no âmbito do Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários do Ministério das Cidades, serve como um instrumento de planejamento para o diagnóstico e mapeamento do risco e a proposição de medidas estruturais para a sua redução, considerando a estimativa de custos, os critérios de priorização e a compatibilização com outros programas nas três esferas de governo: federal, estadual e municipal.

Esse Plano é parte de uma política pública para redução de risco que inclui o fortalecimento institucional das administrações municipais, por meio de programas de capacitação em escala nacional e suporte financeiro não só para a execução do PMRR, como também para a elaboração de projetos de engenharia para as intervenções nos setores de risco, classificados como prioritários pelo PMRR.

Para os municípios que não têm ainda o domínio sobre suas áreas de risco, ou dispõem de dados desatualizados sobre as mesmas, o PMRR inclui, como etapa inicial, o mapeamento dos setores de risco. Também foi incluída no PMRR a proposição de algumas medidas não estruturais para o estabelecimento de modelos de gerenciamento mais ágeis e eficientes e as medidas preventivas para atender às contingências dos períodos críticos de chuvas. Devem ser ainda consideradas as especificidades dos municípios quanto às questões legais, habitacionais e urbanísticas levantadas pelos Planos Diretores Municipais.

O plano de contingência é um importante aliado ao PMRR, pois se trata de um conjunto de ações planejadas, com a definição dos responsáveis comprometidos com cada uma delas, além da infraestrutura necessária para o enfrentamento de um possível período crítico.

O Planejamento pressupõe o levantamento das informações disponíveis sobre o risco, necessárias à montagem do Plano de Contingência. A etapa de Preparação é aquela onde são feitos os contatos com os órgãos participantes para a concepção da logística necessária ao enfrentamento dos possíveis desastres naturais. A Resposta ou Socorro se dá logo após e durante a ocorrência dos desastres e a Reconstrução é etapa onde se dá a recuperação das áreas atingidas, buscando a volta à normalidade.

A montagem do Plano deve ser iniciada tão logo se conheçam as condições climáticas do período chuvoso com antecedência suficiente para permitir a construção logística para o período mais crítico das chuvas.

2.3 PROTEÇÃO SUPERFICIAL

A proteção superficial dos taludes tem como objetivo impedir a formação de processos erosivos e diminuir a infiltração de água no maciço através da retenção física das folhas e absorção da vegetação pelas raízes. Os solos expostos à erosão e a infiltração, devido à remoção da vegetação e das camadas superficiais podem contribuir para uma possível movimentação de massa. A Tabela 2.4 apresenta alguns tipos de obras de proteção superficial e drenagem.

As obras de proteção superficial com drenagem adequada podem vir a estabilizar uma encosta sem necessidade de obras de contenção. A sua execução pode ser realizada através de materiais naturais ou artificiais. Vale ressaltar que toda obra de drenagem e proteção superficial é uma condição necessária para a estabilização de uma encosta, mas, em alguns casos, pode não ser uma condição suficiente. Nas situações onde esse conjunto de intervenções não é suficiente, faz-se necessário a utilização de algum tipo de estrutura de contenção para estabilizar o maciço.

Tabela 2.4 – Obras sem estrutura de contenção

Grupos	Subgrupos		Tipos de Obras	
Obras sem estrutura de contenção	Rataludamento	Cortes	Talude contínuo e escalonado	
		Aterro Compactado	Carga de fase de talude (muro de terra)	
	Proteção Superficial	Materiais naturais	Gramíneas	
			Gramas armada com geossintético	
			Vegetação Arbórea (mata)	
			Selagem de Fendas com solo argiloso	
		Materiais artificiais	Cimentado	
			Geomantas e gramíneas	
			Geocélula e solo compactado	
			Tela argamassada	
	Drenagem	Interna	Pano de pedra ou lajota	
			Alvenaria armada	
		Externa	Asfalto ou polietileno	
			Lonas sintéticas	
Drenos sub-horizontais, trincheiras, etc.				
Canais, canaletas de borda, de pé e de descida.				

Fonte: Modificada de ALHEIROS et al., 2003

2.3.1 Erosão em taludes e encostas naturais

O conceito de erosão é essencialmente um processo de desgaste da superfície e/ou desagregação das partículas do solo por agentes, tais como a água das chuvas (hídrica), ventos (eólica) ou outros agentes geológicos, incluindo processos como o arraste gravitacional (DIAS, 2014).

Os processos erosivos ocorrem de maneira simultânea ou não na natureza, em três fases diferentes. Galas (2006) define estas fases em desagregação, transporte e deposição. Segundo o autor, a primeira fase, desagregação, consiste em um choque ou impacto dos agentes erosivos na superfície do solo, o transporte das partículas soltas caracteriza a segunda fase do processo e a deposição dos materiais despreendidos finaliza o processo erosivo, que pode chegar ao fim quando o agente deixa de agir sobre o maciço ou até mesmo quando aquele perde sua

intensidade devido a obstáculos impostos tanto pela topografia do terreno quanto pela presença de vegetação no mesmo.

Ao se tratar de erosão, dois conceitos devem ser esclarecidos de forma a compreender o processo e estabelecer importantes relações entre os agentes erosivos e o solo exposto a intempéries. O primeiro refere-se à erodibilidade, característica intrínseca do solo, definida pelo grau de facilidade em que suas partículas são desprendidas e carregadas pelos agentes, portanto, quanto maior a erodibilidade de um solo mais suscetível à erosão ele será. O segundo conceito, traz o termo erosividade, mais comumente utilizado como erosividade da chuva, ou meramente a capacidade deste agente em causar erosão, deste modo, sua intensidade é proporcional à duração e volume de chuva, bem como da quantidade de energia cinética que esta desprende ao solo.

De modo geral, a evolução da erosão hídrica, que no Brasil é a maior responsável pelos processos gerados devido ao alto índice pluviométrico do país, depende em suma do nível de erodibilidade do solo tão quanto do índice de erosividade da chuva. O fenômeno em si correlaciona-se, desta forma, com fatores não só antrópicos, como o desmatamento causado pela ocupação desordenada, mas também com fatores naturais, como o volume e intensidade da chuva que é fonte da energia cinética causadora da erosão, presença de cobertura vegetal que auxilia na retenção da água bem como na sua evaporação, relevo e morfologia da região onde regiões mais extensas e/ou mais íngremes permitem maior acúmulo de energia para gerar o processo, e por fim da caracterização do solo, de modo que sua textura aliada a seu coeficiente de permeabilidade é capaz de quantificar e qualificar a absorção de água para dentro do maciço, portanto solos com alto índice de vazios tendem a diminuir o potencial cinético da água arrastada e por consequência, amenizam o processo erosivo.

As principais formas de minorar os efeitos que resultam do processo de erosão são fundamentalmente duas: por um lado, deve-se minimizar-se o impacto das gotas da chuva na superfície do solo, por outro, deve diminuir-se as velocidades e os caudais do escoamento superficial de modo que as técnicas de controle de erosão se dão através de meios físicos, técnicas vegetativas e práticas de conservação do solo (BARBOSA, 2008).

2.3.2 Proteção superficial com a utilização de materiais naturais

A utilização de cobertura vegetal tem como objetivo proteger a encosta, interceptando a água de modo a reduzir o volume de água escoada e infiltrada, protegendo a superfície contra erosão, atenuando o choque das chuvas sobre o solo e o reforçando, através das raízes.

As espécies vegetais contribuem, na estabilidade do maciço terroso, com o sistema radicular e o caule, sendo utilizadas em diferentes arranjos geométricos como elementos estruturais e mecânicos para contenção e proteção do solo, melhorando as condições de drenagem e retenção das movimentações de terra (BARBOSA, 2012). Neste sentido, as espécies selecionadas devem apresentar o sistema radicular profundo e desenvolvido, para maximizar o volume de solo estabilizado pelas raízes das plantas (COUTO, 2010).

Gray e Sotir (1996) apontam que os principais efeitos benéficos da vegetação no controle dos processos erosivos são ligados a interceptação da energia das chuvas através das folhas impedindo o deslizamento do maciço, contenção e ligação das partículas do solo através das raízes, os troncos bem como as folhas aumentam o atrito superficial e diminuem a velocidade de escoamento, e por último o fato de que as plantas e seus componentes ajudam a manter a porosidade e permeabilidade do solo retendo assim parte do escoamento.

De acordo com Gray (1995), a vegetação melhora a resistência de taludes nos processos erosivos. De modo oposto, a retirada da vegetação do talude tende a acelerar ou aumentar suas falhas. Vegetações rasteiras ou gramíneas são mais eficientes por aumentar a resistência à erosão superficial, enquanto vegetações arborizadas são mais efetivas na prevenção de deslizamentos rasos de massa. A vegetação afeta a estabilidade de massas rasas principalmente aumentando a resistência ao cisalhamento do solo através do reforço das raízes. A presença da vegetação também modifica o regime hidrológico interceptando as chuvas nas folhas, e extraíndo e transpirando a umidade do solo através das raízes.

A gramínea para manutenção de encostas deve possuir as seguintes características (SUPAN, 1983):

- Portadora de raízes profundas para travar o solo;
- De elevada densidade de cobertura para que se obtenha um tapete denso e uniforme;
- Rasteira, a fim de evitar caminhos com cobertura alta que poderá ocasionar o acúmulo de água e lixo;
- Dura e agressiva;
- Resistente ao fogo, calor e seca;

- Condições ambientais locais;
- De fácil adaptação aos diversos tipos de solos.

De acordo com Alheiros et al (2003), não se observa por parte da população dos morros, os cuidados necessários para a manutenção da vegetação nos taludes, alegando que, em razão da grande proximidade da moradia para com a barreira, a vegetação traz, para dentro das casas, insetos e ratos.

A cobertura vegetal da superfície do terreno varia de acordo com a espécie, densidade de plantio ou da vegetação, altura da vegetação, área foliar e tipologia florestal, e estas podem afetar diretamente a erodibilidade de um solo (COUTO, 2010).

A importância da vegetação frequentemente é verificada quando se procede a supressão dela. Após a retirada da cobertura vegetal na maioria das vezes ocorre intenso aumento de processos erosivos e de instabilizações de taludes. A retomada do crescimento vegetal, por sua vez, promove a diminuição destes processos (COUTO, 2010).

Styczen e Morgan (1995) apontam a necessidade de entender o processo da erosão, considerar como cada desses processos pode ser afetado pela vegetação, determinar as propriedades principais da vegetação que mais afetam esses processos, e tentar quantificar o efeito combinado da vegetação em diferentes situações, com os processos agindo juntos em diferentes situações.

Apesar de a cobertura vegetal ser um grande fator de proteção do solo, isto não significa que grande percentual de cobertura vegetal tenha total eficiência na proteção do solo, pois pode ocorrer que, embora o recobrimento vegetal seja de 100%, o solo pode ainda estar desprotegido (COUTO, 2010). De modo que torna-se necessária uma correta avaliação dos fatores edáficos, ou seja, das peculiaridades de cada solo perante a cobertura vegetal, bem como sua compatibilidade com a espécie vegetal adotada, as características do clima da região em questão, além de questões relacionadas à manutenção do sistema verde de proteção.

A utilização de proteção do solo com cobertura vegetal se mostra resistente, devido à habilidade da vegetação de crescimento e regeneração. Estas são, portanto, na maioria dos casos, as soluções de menor custo e de maior adequabilidade ambiental, que atende à crescente demanda e ao interesse geral em benefício do meio ambiente (DIAS, 2014).

2.3.2.1 Seleção vegetal

As sementes a serem utilizadas deverão conter referências à porcentagem de pureza e ao poder germinativo. A seleção das espécies deve se basear em critérios de adaptabilidade edafoclimática, rusticidade, capacidade de reprodução e perfilhamento, velocidade de crescimento e facilidade de obtenção de sementes. (DNIT, 2006)

A escolha adequada das espécies a serem consorciadas e as respectivas quantidades de sementes ou mudas são fatores decisivos no estabelecimento da vegetação, portanto é necessário conhecimento técnico, a fim de eliminar a escolha aleatória das espécies, gerando uma relação custo/benefício positiva para o projeto a ser executado (PEREIRA, 2006).

As espécies selecionadas devem apresentar o sistema radicular profundo e desenvolvido, para maximizar o volume de solo estabilizado pelas raízes das plantas.

Normalmente é utilizado o consorciamento de gramíneas e leguminosas devido à rapidez de crescimento e recobrimento dessas espécies. Com uma composição heterogênea de espécies, a ciclagem de nutrientes é mais intensa, a ocorrência de pragas é menor e a porcentagem de recobrimento do solo é maior.

Espécies de gramíneas e leguminosas são amplamente empregadas em muitos projetos de recuperação ambiental devido às suas características morfológicas e fisiológicas que permitem uma rápida cobertura do solo e a criação, até certo ponto, de um novo sistema sustentável, como ressaltado por Campelo (1996).

2.3.2.1.1 Gramíneas

As características de interesse agrônomo destas espécies se constituem na apresentação de crescimento rápido, baixa exigência em fertilidade do substrato e alta capacidade de perfilhamento, bem como, a contribuição para a estabilidade do meio biótico através do fornecimento de matéria orgânica, devido à sua grande capacidade de produção de material vegetativo (DNIT, 2006).

O sistema radicular das gramíneas é fasciculado com predomínio de ramificações na camada mais superficial do solo, contribuindo para sua estruturação (GRAY e SORTIR, 1992).

De acordo com Einloft (1996), o volume de raízes desenvolvidas pelas gramíneas é superior ao da parte aérea, o que reforça a indicação deste grupo de plantas como meio de incrementar as condições físicas do solo.

2.3.2.1.2 Leguminosas

As características de interesse agrônomo destas espécies são de apresentar alta capacidade reprodutiva, baixa exigência em fertilidade e melhorar as características do substrato através da fixação biológica de nitrogênio atmosférico. Devido às suas características de desenvolvimento do sistema radicular, favorecem a captação e reciclagem de nutrientes, presentes em camadas mais profundas do perfil. (DNIT, 2006).

Muitas leguminosas apresentam crescimento rápido, sendo de fácil manipulação por sementes e tolerando condições ambientais extremamente adversas (CAMPELO, 1996).

Conforme Souza (1997), as leguminosas apresentam maior contribuição para a produção de matéria seca da parte aérea do que as gramíneas. Elas destinam uma parcela maior da energia para o desenvolvimento de parte aérea e apresentam maior potencial para desenvolverem-se em camadas profundas e compactas, devido ao seu sistema radicular pivotante. Raízes pivotantes das leguminosas são úteis na descompactação de solos, bem como na melhoria de condições de infiltração, ancoramento, e movimentação de nutrientes ao longo do perfil do solo.

Uma das alternativas, ainda não muito utilizadas no Brasil, que tem sido exponencialmente empregada no mundo é o Vetiver.

O vetiver, de nome científico *Vetiveria zizanioides* desde 1931 tem sido estudado com a finalidade de contenção de encostas e taludes íngremes, ele exerce o papel de atirantamento do solo, cuja resistência da raiz é de 1/6 do aço doce. Além disso é uma espécie recomendada por todos os órgãos ambientais internacionais, em razão de não ser invasora, não se reproduzindo por sementes, rizomas ou estolões, apenas por mudas. O uso do capim vetiver em obras de engenharia é uma alternativa vantajosa e tem apresentado resultados surpreendentes em estradas, ferrovias, canais, barragens, tanto pela sua eficiência como por seus custos reduzidos em comparação com as técnicas tradicionais de engenharia. De acordo com Hengchaovanich (1998), as raízes do vetiver apresentam resistência à tração de 75 MPa e oferecem grande aumento na resistência ao cisalhamento, que está entre 6 e 10 KPa por quilo de raiz por m³ de solo, em comparação com valores entre 3,2 a 3,7 KPa por m³ de solo de raízes de árvores. É importante que as aplicações do vetiver sejam realizadas por especialistas que conheçam as reais necessidades de proteção e características das regiões, para que se possam aplicar outras técnicas complementares para garantir o sucesso e a segurança do meio ambiente.

Uma das grandes vantagens dela é seu baixo custo quando comparada a outras plantas com a mesma finalidade. Mas, além disso, pode-se destacar: não é uma planta invasora, é

resistente ao fogo, cresce e se desenvolve em distintos tipos de solo, é facilmente removida, sobrevive em condições intempéricas, baixo custo de implantação e manutenção e não é hospedeiras de insetos e fungos.

Pereira (2008) alerta para as medidas necessárias sugeridas para a obtenção de bons resultados. Portanto, para se aplicar o Sistema Vetiver: a) planejamento; b) produção de material para o cultivo; c) embalagens, preparação e transporte; d) preparação da área a ser plantada; e) plantio; f) preparação e capacitação das pessoas envolvidas na atividade; g) acompanhamento e manutenção; h) relato e documentação das atividades e resultados obtidos

No Brasil o vetiver é utilizado em mais escala no Nordeste, na proteção de taludes principalmente nas estradas. No entanto, a produção tem sido estimulada em todo país e sempre tem apresentados resultados promissores.

2.3.2.2 Principais técnicas de revegetação em taludes

Estão sumarizados na Tabela 2.5 as vantagens e desvantagens fundamentais das principais técnicas empregadas na proteção superficial em taludes.

Tabela 2.5 – Comparativo das principais técnicas empregadas na proteção de taludes

Técnicas	Vantagem	Desvantagem
Enleivamento	Revestimento imediato do solo. Valor paisagístico	Custo relativamente elevado. Dificulta a entrada de outras espécies no sistema. Sistema radicular é pouco profundo e geralmente requer manutenção periódica (adubação).
Hidrosseadura	Rapidez e economia para grandes áreas. Eficácia para locais de difícil acesso. Custos relativamente baixos.	Necessidade de existência de fontes de água nas proximidades. Necessidade de repasses para recobrimento de falhas. Dificuldade de estabelecimento de espécies espontânea. Utilização de um número maior de sementes que o semeio manual. Utilização de mão de obra especializada.
Plantio em cova/ semeadura a lanço	Economia para as pequenas áreas. Favorecimento da entrada de novas espécies, conferindo uma maior biodiversidade. Não requer a utilização de mão-de-obra especializada.	Aporte considerável de recursos para grandes áreas, o que muitas vezes a torna inaplicável. Rendimento em áreas íngremes é baixo. Há ainda os riscos operacionais.

Transposição de serrapilheira	Diversidade de espécies presentes no banco de sementes. Protege a superfície do solo dos raios solares, conserva umidade e fornece micro e meso fauna ao solo. Ambiente criado facilita a autossustentabilidade do sistema. Custo é relativamente baixo e a heterogeneidade de espécies e fauna associada incrementa o aspecto paisagístico.	Dano ecológico causado no local de retirada. Uso restrito a pequenas áreas com declividade reduzida.
Sacos de anagem	Revestimento imediato. Diversidade biológica e fornecimento de substrato para os primeiros meses. Recomendada para o controle e a recuperação de voçorocas.	Custo relativamente elevado. Baixo rendimento operacional-ergonomicamente problemático e tempo relativamente alto para costura e compartimentalização dos sacos. Dificuldade de fixação dependendo da inclinação e das condições físicas do talude.
Geotêxteis	Rápida aplicação. Controle imediato da erosão. Elevada eficiência, além da utilização em conjunto com outras práticas, como hidrossemeadura e plantio manual.	Custos elevados, geralmente com as despesas com o transporte do material e a carência de informação por parte dos empreendedores.

Fonte: (Moretto, 2012)

➤ Enleivamento (Placa de grama)

É uma alternativa versátil que fornece bom recobrimento do solo. Sua função restringe-se a proteção da camada superior do solo contra o impacto direto das gotas de chuva e ação eólica, geralmente a sua estrutura é uma porção de terra medindo cerca de 40X40 cm, com gramíneas enraizadas no solo (IBAMA, 1990, *apud* FERNANDES, 2004).

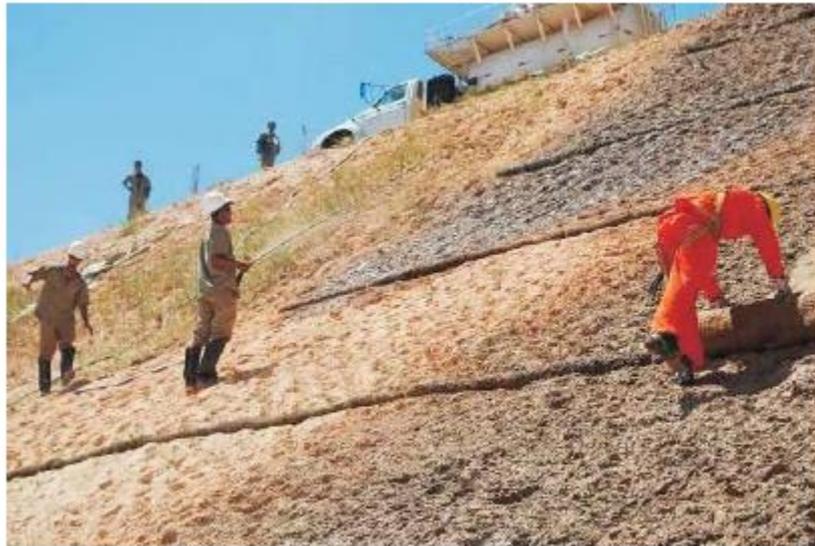
Em taludes mais íngremes, podem-se utilizar telas plásticas, fixadas por grampos ou chumbadores para colocação da grama em placa. Como principal vantagem, tem-se o revestimento imediato do solo com valor paisagístico e com uma camada de solo orgânico. Como desvantagens, pode-se dizer que o custo é relativamente elevado e dificulta a entrada de outras espécies no sistema, inviabilizando a autossustentabilidade do local. O sistema radicular é pouco profundo e geralmente requer a manutenção periódica (adubação).

A aquisição das placas de grama quase sempre se dá por intermédio de “grameiros” (fazendas produtoras de gramas), que retiram a cobertura de uma área já existente, ocasionando assim um impacto na área.

➤ Hidrossemeadura

É a semeadura feita por via aquo-pastosa, com sementes de espécies herbáceas e outros materiais que induzem a fixação e crescimento das sementes e a retenção de umidade (fertilizantes, adesivos e geralmente celulose) como podem ser observados na Figura 2.9. A aplicação é feita com maquinário apropriado, consistindo de tanque com pás agitadoras num eixo horizontal e moto-bomba para a aplicação da mistura (IBAMA, 1990, *apud* FERNANDES, 2004).

Figura 2.9 – Demonstração da aplicação de hidrossemeadura em taludes de corte.



Fonte: CBCN, 2010

Esta prática é recomendada para encostas de difícil acesso, geralmente compreendendo grandes áreas (CANO et al., 2002). Taludes íngremes apresentam fortes restrições à incorporação de matéria orgânica, de adubos químicos e à fixação de sementes, por isso, o processo de hidrossemeadura tem sido recomendado para sua revegetação (IBAMA, 1990, *apud* FERNANDES, 2004).

Os maiores fatores que influenciam a hidrossemeadura são os de ordem técnica, como o tempo de semeadura, componentes não vivos da mistura, tipo, qualidade e número de sementes e fatores intrínsecos ao local como declividade, orientação, rugosidade e dureza do substrato.

As principais vantagens são a rapidez e a economia para grandes áreas, eficácia para locais de difícil acesso e custo relativamente baixos. Como desvantagens, há necessidades de

existência de fontes de água nas proximidades, necessidade de repasses para recobrimento de falhas, dificuldade de estabelecimento de espécies espontâneas, utilização de um número maior de sementes que o semeio manual e utilização de mão de obra especializada.

Toxicidade de fertilizantes e inibição por estabilizadores são alguns dos fatores bem conhecidos de baixa germinação de sementes e comprometimento do estabelecimento de plantas em talude hidrossemeados. Segundo Cano *et al* (2002), hidrossemeadura com plantas herbáceas parece não ser o caminho mais favorável para se alcançar uma rápida e densa cobertura vegetal.

➤ Plantio em Covas/Semeadura a Lanço

O preparo do solo para plantio consiste em distribuir as plântulas e/ou sementes em covas, linhas ou sulcos. Também há a possibilidade de realizar um recobrimento aleatório de sementes sobre o talude (FERNANDES, 2004).

Como vantagens, ressaltam-se a economia para as pequenas áreas e o favorecimento da entrada de novas espécies. Conferindo uma maior biodiversidade – principalmente quando existirem áreas próximas potencialmente fornecedoras de propágulos – garantindo maior autossustentabilidade do sistema. Vale lembrar que esta prática não requer a utilização de mão de obra especializada.

Como desvantagem, destaca-se o aporte considerável de recursos para grandes áreas, o que muitas vezes a torna inaplicável. Observa-se também que o rendimento em áreas íngremes é baixo e que há ainda os riscos operacionais. Para aumentar a probabilidade de sucesso nas fases iniciais, recomenda-se acompanhamento técnico.

➤ Transposição de Serrapilheira

Essa técnica consiste na retirada de serrapilheira do solo de mata ou capoeiras naturais e transporte para o local a ser revegetado/vegetado.

Como vantagem, destaca-se a diversidade de espécies presentes no banco de sementes. Seu uso na revegetação protege a superfície do solo dos raios solares, conserva umidade e fornece micro e meso fauna ao solo (IBAMA, 1990, *apud* FERNANDES, 2004). O ambiente criado facilita a autossustentabilidade do sistema. O custo é relativamente baixo e a heterogeneidade de espécies e fauna associada incrementa o aspecto paisagístico.

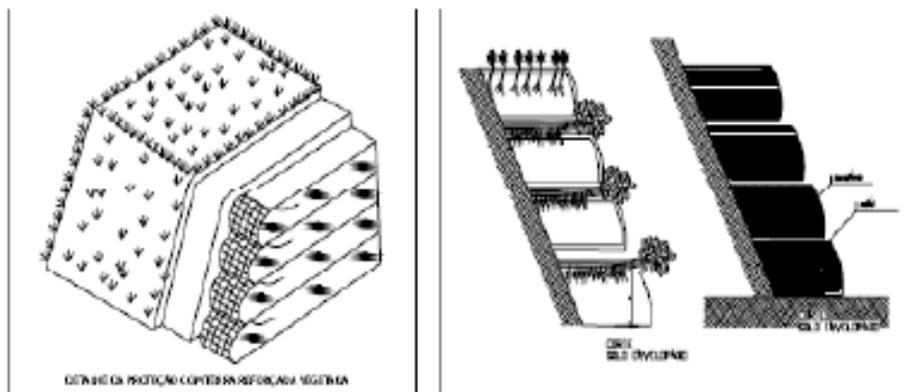
Como desvantagem principal, destaca-se o dano ecológico causado no local de retirada, cujo impacto não foi ainda bem compreendido. Também se observa o uso restrito a pequenas áreas com declividade reduzida.

➤ Solo envelopado verde

É uma técnica usada para recompor taludes, erosões e envelopar aterros (Figuras 2.10 e 2.11). Este método é de construção rápida, podendo-se utilizar material próprio do local para construir o aterro compactado, podendo ainda ser utilizadas sementes e estacas vivas para deixar verde a superfície e atirantar o solo com as raízes (DNIT, 2009).

O local deverá ser preparado e a biomanta antierosiva estendida, e na saída colocar bermalunga para evitar a fuga do solo em uma camada de 50 cm e fazer a compactação. Depois de compactado o solo, a biomanta deverá envolver todo o aterro, formando um envelope, sendo aplicadas estacas vivas de plantas entre uma camada e outra do envelopamento.

Figura 2.10 - Método construtivo se solo envelopado



Fonte: CBCN, 2010

Figura 2.11 – Revitalização da margem o rio utilizando solo envelopado e madeira como estacas vivas, Santa Luiza – MG, Rio das Velhas.



Fonte: CBCN, 2010

➤ Sacos de aniagem

A técnica consiste em preencher um saco de aniagem (geralmente com dimensões médias de 0,54m de largura X 0,9m de comprimento) com um substrato constituído de capim picado, terra, esterco, fertilizantes químicos e sementes. O substrato e a escolha de sementes são variáveis de acordo com os objetivos, criatividade e disponibilidade de recursos por parte do empreendedor.

Esta técnica tem como vantagens o revestimento imediato, diversidade biológica e fornecimento de substrato para os primeiros meses após a germinação das sementes, sendo bastante recomendada para o controle e a recuperação de voçorocas.

Como desvantagem tem-se um custo relativamente elevado, baixo rendimento operacional – ergonomicamente problemático e tempo alto para costura e compartimentalização dos sacos – e dificuldades de fixação dependendo da inclinação e das condições físicas do talude. Costa et al. (1997, *apud* Fernandes, 2004).

2.3.2.3 Custos das técnicas de revegetação de taludes

Dentre as técnicas de revegetação de taludes mais empregadas no Brasil, os investimentos para a aplicação variam bastante, dependendo basicamente da mão de obra empregada, matéria – prima e “grau de industrialização” do produto utilizado. Os custos estimados, segundo Dias (2002, a partir de FERNANDES, 2004), para as técnicas mais empregadas no Brasil são apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Custos das principais técnicas de revegetação de taludes empregadas no Brasil.

Técnica	Custos (R\$) / m ²
Placa de grama	4,00
Plantio em covas/ semeadura a lanço	0,35
Plantio de mudas	0,20
Transposição de serapilheira	não quantificada
Hidrosseadura	0,86
Sacos de aniagem	4,00
Geotêxteis	1,60 a 9,00
Outras práticas	não quantificada

Fonte: Dias (2002 *apud* FERNANDES 2004).

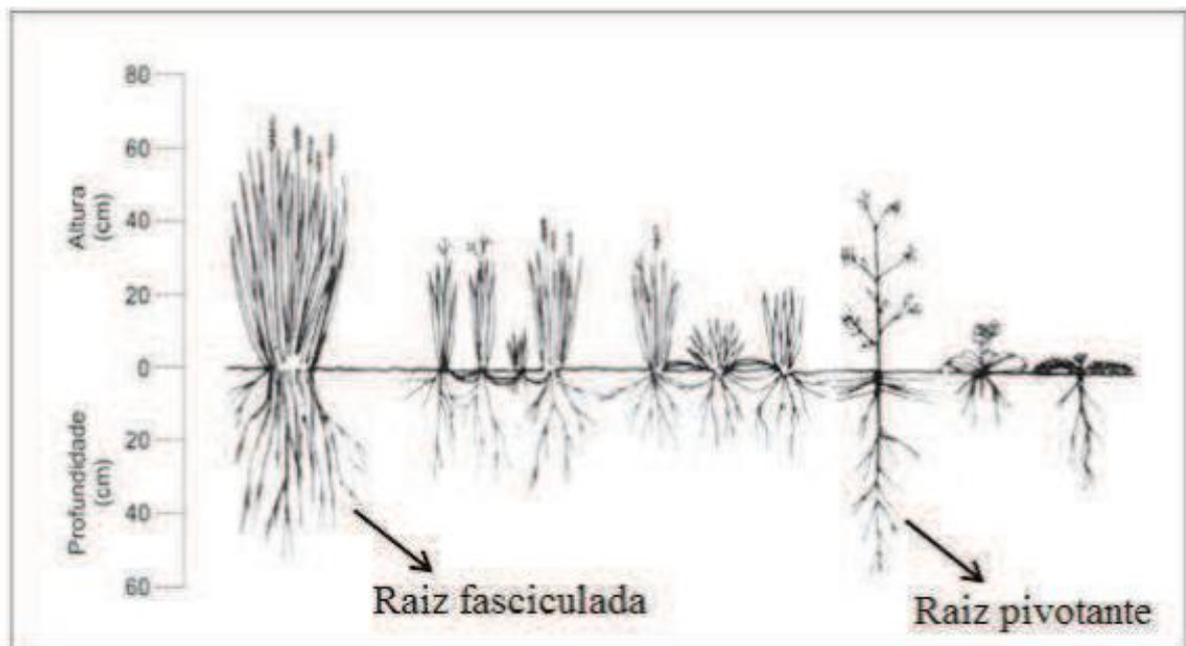
2.3.2.4 Efeito das Raízes sobre o Comportamento Mecânico de Solos

A vegetação afeta a estabilidade dos solos por intermédio das raízes, devido ao aumento da resistência ao cisalhamento e da coesão das partículas. O aumento da resistência ao cisalhamento depende da tensão exercida pelas e sobre as raízes, bem como das propriedades da interface das próprias raízes com o solo, e da concentração destas no mesmo (SILVA, 2012).

Segundo Fiori e Carmignani (2009) citados em Barbosa et al (2012), para avaliar a contribuição da resistência ao cisalhamento do solo pelas raízes é necessário considerar a interação solo-raiz. Em um sistema deste tipo, as raízes podem ser tratadas como se fossem elementos flexíveis e elásticos, que enterrados no solo, levam a um aumento da resistência.

Cada espécie vegetal possui um determinado tipo de raiz, que de acordo com suas características, confere ao solo maior ou menor resistência ao cisalhamento, destacando dois tipos básicos de raízes: fasciculadas e pivotantes (BARBOSA, 2012). A Figura 2.12 apresenta a arquitetura das raízes.

Figura 2.12 – Espécies vegetais mostrando arquitetura de raízes



Fonte: Pereira (2008)

As raízes das plantas exercem função de estabilização das partículas do solo, por meio de diversos mecanismos, como o aumento da resistência ao cisalhamento, promovido especialmente pelas radículas, que mantêm maior relação superfície / volume radicular; e com

a estabilização de movimentos de massa pelo efeito das raízes, especialmente as pivotantes, que atuam de maneira semelhante à dos “tirantes vivos”, promovendo o ancoramento de grandes massas de solo. Esse efeito de “tirantes vivos” é especialmente verificado em perfis do solo com diferenças significativas entre resistência ao cisalhamento ao longo da profundidade do perfil como em solos residuais (COELHO & PEREIRA, 2006).

O aumento da resistência ao cisalhamento do solo está vinculado diretamente à transferência direta das tensões de cisalhamento para resistência das raízes à tensão. Essa transferência ocasiona incrementos consideráveis na resistência ao cisalhamento dos solos, com conseqüente redução da erodibilidade, e no aumento da estabilidade do solo (COELHO & PEREIRA, 2006).

Esse efeito é denominado reforçamento radicular e pode variar em decorrência de fatores como: (i) valores de resistência à tensão das raízes; (ii) propriedades da interface entre as raízes e o solo; (iii) concentração, características de ramificação e distribuição das raízes no solo – também denominada arquitetura radicular; (iv) espaçamento, diâmetro e massa de solo explorada pelas raízes; (v) espessura e declividade do perfil do solo do talude; (vi) parâmetros geotécnicos relativos à resistência ao cisalhamento do solo. Esses fatores que regulam o reforçamento radicular, por sua vez, podem ser influenciados pela espécie da planta, pelas variações ambientais nas condições de crescimento e pela época do ano (COELHO & PEREIRA, 2006).

O diâmetro das raízes, em geral, é inversamente proporcional à resistência radicular a tensão. Raízes finas possuem a vantagem de não apenas possuírem altas resistências à tensão radicular, mas também maiores resistências ao arranquio, dada sua alta superfície específica se comparada a raízes de maior diâmetro.

Greenway (1987) citado em Coelho e Pereira et al (2006), afirma que a elevada concentração de fibras radiculares de pequeno diâmetro é mais efetiva do que poucas raízes de diâmetro maior para o aumento da resistência ao cisalhamento de massas de solos permeadas por raízes. Esse aumento à resistência será diretamente proporcional à profundidade explorada pelas raízes. A ação mais eficiente nesse aumento da resistência é verificada quando as raízes penetram ao longo do manto de solo até fraturas ou fissuras presentes na camada de rocha matriz; ou onde raízes penetrem ao longo de solos residuais; ou em zonas de transição em que a densidade e a resistência do solo ao cisalhamento aumentem com a profundidade, atingindo

esses pontos. Nesse caso, as raízes se fixam, promovendo a transferência de forças de zonas de menor resistência ao cisalhamento para zonas de maior resistência a ele.

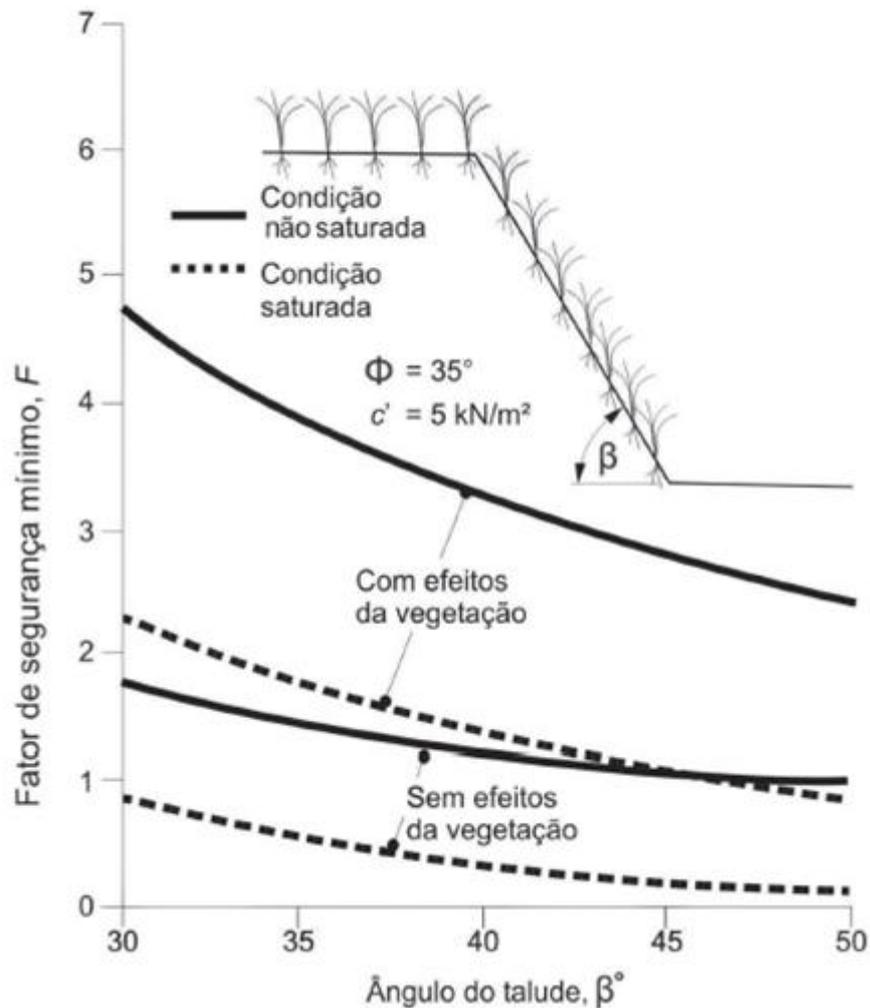
Segundo Coelho (2005, a partir de Galas et al., 2006), outro efeito causado pelo sistema radicular da vegetação é o aumento da coesão entre as partículas. De acordo com esse autor, a coesão efetuada pelas fibras radiculares pode fazer uma diferença significativa na resistência a deslizamentos superficiais ou em movimentações por cisalhamento na maioria de solos arenosos com pouca ou nenhuma coesão intrínseca. Uma pequena variação na coesão radicular pode influenciar substancialmente o coeficiente de segurança dos taludes.

2.3.2.5 A Evapotranspiração no solo

A evapotranspiração pode ser definida como a remoção da umidade do solo pela transpiração das plantas e pela evaporação da parcela de água interceptada da chuva pela superfície das plantas. Normalmente, a sucção radicular absorve a água do solo até certo limite, quase sempre próximo ao valor do potencial hídrico do solo. A capacidade de a vegetação alterar o conteúdo de água no solo é comprovada e intrinsecamente vinculada ao comprimento e extensão das raízes. O efeito da vegetação na redução da umidade dependerá da espécie vegetal, da profundidade, da época do ano e do estado fisiológico da vegetação, podendo estar vinculada a um ou mais desses fatores concomitantemente (BIDDLE, 1983).

2.3.2.6 Efeito da vegetação no fator de segurança de taludes

Figura 2.13 - Efeito da vegetação no fator de segurança de taludes



Fonte: Pereira (2006).

A Figura 2.13 mostra o efeito da vegetação na melhoria da estabilidade do talude, quando comparado à mesma condição de um talude com e sem vegetação, em razão da inclinação e do fator de segurança. Para uma inclinação de 45° , sem proteger o talude com vegetação na condição não saturada, o fator de segurança é de 1,3; quando ocorre a proteção vegetal no talude, o fator de segurança é de 2,8; ou seja, uma melhoria muito significativa da estabilidade. Na condição saturada, a vegetação também contribui para melhorar a estabilidade do talude.

2.3.3 Proteção superficial com a utilização de materiais artificiais

Para Bandeira (2003), a impermeabilização superficial mostra melhor resultado quando executada em conjunto com o retaludamento e a microdrenagem, tratando o talude de modo completo. Ainda segundo Bandeira (2003), a impermeabilização deve ser executada em toda a superfície a ser protegida, estendendo-a para além do topo do talude até o sistema de drenagem implantado na crista. Recomenda-se a instalação de drenos (barbacãs) que permitam a dissipação de excessos de poro-pressão que possam ocorrer no interior da placa de impermeabilização.

A impermeabilização superficial, através de materiais artificiais pode ser dos seguintes tipos (ALHEIROS et al. 2003 a partir de BANDEIRA, 2003):

- Impermeabilização com cimentado: constitui de uma mistura de cimento Portland e areia, no traço 1:3, aplicado sobre o talude a partir do pé até a crista. A superfície deve ser preparada, limpa e aplainada. No final, executa-se uma compactação da mistura. Esse tipo de revestimento deve ser acompanhado por barbacãs.

- Impermeabilização com tela argamassada: consiste no preenchimento e revestimento de uma tela galvanizada com argamassa de cimento Portland e areia no traço 1:3. A tela galvanizada é fixa no solo com ganchos de ferro instalados a cada 1,0 m, nas duas direções, sendo necessário colocar drenos de PVC com filtro de geotêxtil na parte interna.

- Impermeabilização com pedra ou lajotas: Neste revestimento, os blocos de pedra rachão são arrumados sobre o talude, com maior travamento na interface pedra / solo natural, e rejuntados com argamassa de cimento e areia (1:3). Pode-se também utilizar lajotas pré-moldadas (40 cm X 40 cm) aplicadas com argamassa. Neste caso deve-se realizar o retaludamento para reduzir a declividade do talude, já que este material apresenta menor condição de travamento no solo. Qualquer que seja o material deve-se executar os barbacãs e o sistema de microdrenagem superficial.

- Impermeabilização asfáltica ou com polietileno: Este tipo de revestimento tem caráter emergencial. Consiste na aplicação de uma camada delgada de asfalto diluído a quente. Exige manutenção constante, pois a película sofre deterioração por calor solar e por não resistir a impactos ou cargas. O polietileno é aplicado por jatos e mostra boa aderência com os solos areno-argilosos, suportando cargas de até 1,8 Kg/m².

- Impermeabilização com lonas plásticas: Utilizadas no inverno, em caráter emergencial, nos morros da Região Metropolitana do Recife. Elas devem ser aplicadas antes da

saturação total da encosta e corretamente colocadas, devendo ser retiradas quando as condições de segurança forem adequadas. A encosta deve ser preparada com roçagem, remoção de arbustos e destocamento, deixando apenas gramíneas e vegetação rasteira. Na crista da encosta deve-se escavar uma valeta, servindo de canaleta e de fixação superior da lona. A lona deve ser fixa com estacas de madeira a cada 2,0 m, no máximo, na parte superior e em suas laterais.

- Impermeabilização com cal e aglutinantes “Cal-Jet”: utilizadas para proteger superficialmente o solo contra erosão. A técnica é baseada na pulverização de calda fluida de cal com aglutinantes fixadores sobre as superfícies de solo a serem protegidas, tendo como denominação a expressão “Cal-Jet”. A pulverização é possibilitada através da utilização, com pequenas adaptações, de pulverizadores de uso agrícola, tanto os pulverizadores costais manuais, como pulverizadores motorizados.

Em substituição as lonas plásticas na região metropolitana do Recife no ano de 2011, na chamada operação inverno, foi utilizado amplamente o gel impermeabilizante (Figuras 2.14 e 2.15) que consiste em um composto por bio-óleo vegetal e polímero acrílico, possuindo uma coloração verde e sendo importado dos Estados Unidos.

Segundo Silva (2010), o produto tem a capacidade de agregar as partículas de solo impedido a desfragmentação e evitando a infiltração de água no talude. Porém, permite que cresça vegetação e as raízes cortam esse efeito. De acordo com o representante da fabricante do gel, Etack Environmental Solution no Brasil, Jefferson Lima, a impermeabilização dura um ano e a secagem completa acontece em oito horas. Porém, atualmente o gel está sendo substituído por uma nova técnica, a geomanta, que será detalhada posteriormente.

Figura 2.14 – Aplicação de gel impermeabilizante em encosta em Recife/PE



Fonte: Viaencosta

Figura 2.15 - Encosta após aplicação de gel impermeabilizante em Recife/PE



Fonte: Viaencosta

Outro tipo de técnica bastante utilizada são os Geossintéticos que segundo a ASTM D-35 - 1994, geossintético é um produto planar, derivado de material polimérico usado com um material geotécnico (solos, rochas, etc.) como parte integrante de um sistema de engenharia civil. Os geossintéticos possuem sete funções básicas: filtrante, drenagem, separação, reforço, barreira fluida, proteção e impermeabilização.

Como vantagens, destaca-se a rápida aplicação, o controle imediato da erosão, a elevada eficiência, além da utilização em conjunto com outras práticas, como hidrossemeadura e plantio manual.

Como desvantagem, observam-se os custos elevados, geralmente com as despesas com o transporte do material.

Entre os geossintéticos mais comuns destacam-se as geomantas, biomantas e as geocélulas.

Geomantas:

São produtos com estrutura tridimensional, permeáveis, usados para controle de erosão superficial do solo, também conhecidos como biomanta, quando biodegradáveis (NBR 12553 – Terminologia).

A geomanta consiste num dos produtos da vasta gama de geossintéticos, é formada por uma malha tridimensional e grande volume de vazios, o que permite que a vegetação cresça entrelaçando-se com a mesma. É largamente empregada em taludes de corte e aterro, canais de irrigação, aterros ou canais de descarga. Deve apresentar alta durabilidade, resistência UV (estabilizada com relação aos raios ultravioletas) e resistência à tração (conforme o emprego do produto). Suas especificações são fornecidas em função de algumas de suas características importantes: durabilidade, espessura, porosidade, resistência à tração, deformação na ruptura e fotodecomposição

As geomantas são produzidas a partir de materiais sintéticos, um emaranhado de fibras de polímeros (polipropileno, poliamida, policlreto de vinila, entre outros) de alta resistência e durabilidade. É constituída por mais de 90% de vazios e seu emprego pode estar associado à utilização de métodos de estabilização de taludes, como por exemplo, solo grampeado.

Num primeiro momento, enquanto a vegetação ainda não se desenvolveu, as geomantas são responsáveis por reduzir o impacto das gotas de chuva e dissipar energia da água durante o escoamento superficial. Além disso, evitam a perda de umidade do solo, auxiliando na germinação das sementes. Suas funções se estendem ainda à ancoragem das sementes e fertilizantes e proteção contra a erosão eólica.

Numa segunda etapa, com o crescimento da vegetação, que agora é capaz de interceptar as chuvas antes que atinjam o solo, as mantas agem de forma permanente como reforço das raízes, que grampeiam a camada superficial do maciço. Além de contribuírem ainda no controle da umidade e escoamento superficial (INFRAESTRUTURA URBANA, 2011).

Uma de suas principais vantagens, quando comparadas com o concreto projetado, é o custo, que é bem menor que a solução anterior, cerca de 70% mais barato. Também se adéqua melhor ao ambiente, proporcionando uma boa integração da obra com o meio ambiente, sem causar tantos impactos ambientais e visuais, conforme é ilustrado na Figura 2.16 (SOBRAL, 2011). É considerada solução sustentável, com menores impactos à natureza e economia de seus recursos.

Como as geomantas são materiais leves, podem ser facilmente transportadas pelos funcionários, favorecendo sua fixação e permitindo que seja aplicada em lugares de difícil acesso. Diferentemente das biomantas, pode ser aplicada em ribanceiras de cursos d'água, com

inclinações mais críticas (com inclinação de até V:H = 2:1 para revestimentos flexíveis) e fluxos hidráulicos importantes (SOBRAL, 2011).

Figura 2.16 – À esquerda, talude revestido com geomanta. À direita, o mesmo maciço com a vegetação já desenvolvida.



Fonte: SOBRAL, 2011.

Além da utilização de geomantas juntamente com a vegetação como citado acima, pode-se ter geomantas impermeabilizantes de PVC, utilizadas na região metropolitana do Recife recentemente (Figuras 2.17 e 2.18). O material impermeabilizante é composto por PVC com fios sintéticos e revestido com uma camada de proteção mecânica de cimento e pigmento na cor verde. Sua aplicação é feita com a execução do chapisco projetado, espalhando sobre a geomanta um material que mistura água, areia, cimento e alguns aditivos. A geomanta tem proteção contra raios UVA e UVB e tem durabilidade de cinco anos.

Figura 2.17 – Aplicação de geomantas de PVC no Recife



Fonte: G1

Figura 2.18 – Geomanta de PVC aplicada no bairro do Ibura em Recife/PE



Fonte: Autora

Biomantas:

São produtos com estrutura tridimensional, permeáveis, usados para controle de erosão superficial do solo, também conhecidos como biomanta, quando biodegradáveis (NBR 12553 – Terminologia).

As biomantas compõe hoje uma alternativa ao controle da erosão. Sua estrutura é bastante semelhante às geomantas, porém seu principal destaque está relacionado ao seu caráter biodegradável, impactando menos o ambiente e conferindo à obra um tom maior de sustentabilidade.

Tal método consiste na proteção imediata do talude por meio da biomanta, por tempo suficiente para que a vegetação adequada se desenvolva e seja capaz de proteger o solo contra os agentes erosivos e haja o reestabelecimento do sistema de drenagem natural. A presença da biomanta numa primeira fase de execução evita que a água entre em contato diretamente com a superfície do solo, ameniza os processos de deslocamento e mobiliza partículas de material. Num segundo momento, com o desenvolvimento da cobertura vegetal e desgaste da biomanta que passa a servir como adubo propiciando o desenvolvimento de espécies (INFRAESTRUTURA URBANA, 2011).

São produzidas a partir de fibras vegetais (fibras de coco, palha ou capim). As fibras são estruturadas em um ou ambos os sentidos da biomanta e todo o conjunto é consolidado por meio de costuras industriais (com polipropileno ou fios de juta), formando uma trama resistente. É possível ainda programar, por meio de seu processo de fabricação, a degradabilidade da biomanta conforme a necessidade do projeto (tempo suficiente para desenvolvimento da cobertura vegetal). Algumas possuem sementes e substratos de fertilizantes incorporados. A longevidade de sua composição chega a 24 ou até mesmo 30 meses, conforme necessidade do projeto e especificações do fabricante.

São aplicáveis em casos de áreas recém-terraplenadas, taludes de corte e aterro, e áreas com recobrimento deficiente de vegetação para, associadas a espécies vegetais, estabilizar a área em termos de erosão, ou para finalidades ambientais e/ou estéticas. Entretanto seu uso está sujeito a uma série de condições do ambiente, tal como a inclinação e composição granulométrica do maciço. Quanto ao primeiro tópico, as inclinações podem atingir o valor máximo de (V:H) 2:1, sendo importante observar que cada produto possui suas próprias indicações (INFRAESTRUTURA URBANA). Para taludes de inclinações mais acentuadas, a solução torna-se inviável. Outra restrição é em casos de composições granulométricas de baixa coesão, no qual não há estabilidade suficiente das camadas superficiais para instalação da manta

vegetal. As biomantas ainda não são indicadas para áreas de fluxos hidráulicos importantes, como barrancos de rios e canais.

As principais vantagens desse modelo de proteção consistem em proporcionar cobertura imediata ao solo, permitir e melhorar as taxas de infiltração no maciço, reduzir o volume e velocidade do escoamento superficial (reduzindo o volume de material desprendido e transportado) e conferir matéria orgânica ao solo. Além disso, é responsável também por reduzir a evaporação de água do solo e restringir a insolação direta de raios solares. (DEFLOR, 2013). Apresenta rapidez no processo de revegetação, em virtude de sua associação com gramíneas de desenvolvimento rápido, e permite plantio em épocas de estiagem. Há ainda o benefício de ancorar sementes e fertilizantes. São soluções leves, podem ser facilmente transportadas, o que permite atingir regiões de difícil acesso à maquinários; é de fácil aplicação, não requer equipamentos sofisticados ou mão de obra qualificada.

Como pontos contra, as biomantas apresentam bem mais restrições de emprego que o concreto projetado, não se aplicando a taludes muito inclinados, ou com velocidades elevadas de fluxo (permitindo valores até 1,5m/s, 2m/s ou 2,5m/s conforme a biomanta empregada). Para taludes muito acentuados, a água da chuva pode instabilizar a biomanta empregada. A utilização de biomantas também é comprometida para grandes comprimentos de rampa ou quando o solo apresenta composição granulométrica de baixa coesão (INFRAESTRUTURA URBANA, 2011).

Figura 2.19 – Biomantas de fibras vegetais. Grande parte é fornecida na forma de bobinas



Fonte: DEFLOR, 2013.

Geocélulas:

São produtos com estrutura tridimensional aberta, constituídos de células interligadas que confinam mecanicamente os materiais neles inseridos (Figura 2.20), com função predominante de reforço e controle de erosão (NBR 12553 - Terminologia).

São sistemas de confinamento celular, constituídos por células tridimensionais em formato tipo favo de mel, fabricadas em polietileno de alta densidade usando um processo de extrusão simples e contínuo. A geocélula é uma excelente alternativa para sistema de controle de erosão de taludes de aterro e de corte em geral, não reforçados, ou reforçados, utilizando como material de preenchimento material granular, concreto, vegetação, Resíduo da Construção e Demolição (RCD) ou o próprio solo local. As propriedades de confinamento e drenagem da geocélula, quando incorporada ao material de preenchimento, minimizam os efeitos da erosão e promovem proteção de longo prazo na face do talude.

A geocélula melhora o desempenho a longo prazo dos taludes vegetados por reforçar as raízes e direcionar o fluxo hidráulico sobre o topo das células, com estas funcionando como uma série de barragens, e também evitando a formação de sulcos e ravinas.

Richardson (2004) comenta que a altura da célula, neste caso, é função do ângulo de inclinação do talude e da profundidade que a raiz penetrará no solo de apoio da geocélula. Se o solo de apoio não é adequado para plantio de vegetação, a altura da célula deve ser selecionada de acordo com a necessidade de enraizamento e estabelecimento da vegetação. No caso das raízes penetrarem no solo de apoio, a altura da célula pode ser reduzida. Esta última condição é preferível, pois as raízes proporcionarão uma ancoragem de longo prazo reforçada pela geocélula. Parece ser irrelevante se as paredes das células são lisas ou texturizadas nesta aplicação.

Figura 2.20 – Geocélulas aplicadas na encosta



Fonte: Ecosalix

2.3.3.1 Custos das técnicas de proteção com material artificial utilizados na RMR

Estão sumarizados na Tabela 2.7 o comparativo de custos de proteções superficiais artificiais comumente utilizadas na Região Metropolitana do Recife.

Tabela 2.7 – Comparativo de custo de proteções superficiais artificiais comumente utilizadas na RMR

Custo das ferramentas usadas em áreas de risco do Recife				
	Lona plástica	Gel	Geomanta	Muro de arrimo
Custo (Mão de obra, material, veículos e combustível)	R\$ 2,50 *por metro quadrado	R\$ 65 *por metro quadrado	R\$ 95 *por metro quadrado	R\$ 260 *por metro cúbico
Tempo de aplicação das técnicas	1.865m ² /horas	100m ² /horas	75m ² /horas	0,30m ³ /horas
Durabilidade	30 a 60 dias, em condições normais.	1 ano	5 anos	Solução definitiva, sendo necessária manutenção.
>> 526 mil pessoas (34% da população do Recife) moram em áreas de morro; a capital tem 3.000 pontos de riscos alto e muito alto.				
Fonte: Secretaria- executiva de Defesa Civil do Recife. Os valores (*) são aproximados				

Fonte: G1 (2014)

2.4 DRENAGEM

A água é o principal agente deflagrador dos movimentos de massa. Os processos de infiltração decorrentes das precipitações podem alterar as condições de estabilidade do talude, devido ao aumento da poropressão, reduzindo a tensão efetiva e conseqüentemente a resistência ao cisalhamento do solo, tendendo a causar a instabilidade da encosta.

O objetivo primordial de uma drenagem eficiente é efetuar um escoamento seguro para locais com estabilidade geotécnica, evitando assim a mobilização de partículas do solo em decorrência do escoamento superficial. Para tanto, as estruturas de drenagem devem apresentar as seguintes características: (i) confiabilidade dos materiais utilizados; (ii) durabilidade dos materiais utilizados; (iii) facilidade de manutenção; e (iv) segurança.

Uma drenagem ineficiente geralmente pode ocasionar: (i) piping ou erosão tubular progressiva, que está ligada ao escoamento subsuperfície, e devido às diferenças de resistência entre as camadas de solo a água, quando encontra uma camada menos resistente, inicia o processo de escavação, dando origem, desta forma, as cavidades ou dutos no interior do solo; (ii) alagamento da área próxima aos drenos, trazendo como conseqüências entupimento do dreno, carreamento de solo superficial, redução da capacidade de suporte do solo (resistência ao cisalhamento).

As obras de drenagem e de proteção superficial não devem ser encaradas apenas como obras auxiliares ou complementares no projeto de estabilização. Uma correta execução destas obras pode ser o principal instrumento na contenção de diversos problemas de instabilização. retaludamentos, aterros e mesmo obras como estrutura de contenção podem ser danificados ou destruídos quando seus projetos não preveem sistemas de drenagem eficientes (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 1998).

A execução de obras de drenagem, tanto as de captação e direcionamento das águas do escoamento superficial, quanto aquelas de retirada d'água e alívio de pressões neutras do fluxo intersticial representam um dos procedimentos mais eficientes e de mais larga utilização, na estabilização de todos os tipos de taludes. (WOLLE, 1980).

O sistema de drenagem utilizado em talude pode ser dividido em drenagem superficial, drenagem profunda e drenagem de estruturas de contenção.

2.4.1 Drenagem superficial

De acordo com Santana (2006), os projetos de drenagem superficial têm o objetivo de melhorar as condições de estabilidade, considerando não só a área estudada como toda a bacia de drenagem. Um sistema eficiente para os morros deve ser planejado para a micro- bacia em questão, para evitar transbordamento nas ocorrências de chuvas intensas. A drenagem superficial se faz pelas linhas d'água naturais e pelo sistema formal construído, que deve obedecer à forma do relevo para que o escoamento das águas seja efetivo.

As soluções que envolvem o escoamento superficial são divididas em dois subsistemas: o sistema de micro-drenagem, formado por valetas, calhas e canaletas, além dos dissipadores de energia e as caixas coletoras; e o sistema de macro-drenagem, formado por galerias subterrâneas e canais, completado por rios, lagos e pelo mar, que recebe todo o volume escoado. Esses subsistemas recebem tratamentos diferenciados pelos setores responsáveis pela sua execução e conservação. Enquanto a macro-drenagem é formalmente reconhecida pelo poder público e dispõe de registro nos setores municipais de obras, com recursos para manutenção, a micro-drenagem é precariamente conhecida e administrada, sendo hoje um desafio para o município, o seu cadastramento para permitir o monitoramento e controle. (BANDEIRA, 2003 a partir de ALHEIROS et al., 2003).

O sistema de drenagem superficial é composto, basicamente, dos seguintes dispositivos: canaleta longitudinal, canaleta transversal de descida, caixas coletoras e de passagem e dissipadores de energia (GEO-RIO, 2000). Este sistema tem a função de captar, conduzir e dar destino final adequado às águas captadas.

2.4.1.1 Canaletas

As canaletas são canais de pequenas dimensões, destinadas à captação das águas que, de algum modo, poderiam afetar a estrutura do solo ou danificar os taludes. Para cumprirem sua finalidade, as canaletas de drenagem deverão ter capacidade suficiente para as taxas de escoamento superficial de pico, que poderão ocorrer com frequência especificada – também denominada de tempo de recorrência. Em trabalhos de recuperação ambiental, costuma-se utilizar a precipitação máxima ocorrida em 1 hora, em um histórico de 5 a 10 anos.

As canaletas verdes além de serem uma alternativa à utilização de materiais inertes como o concreto, proporcionam uma significativa redução na velocidade do escoamento na

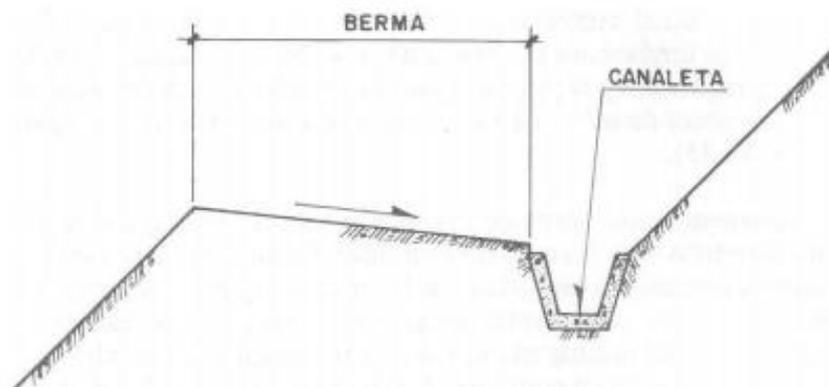
canaleta; estas são escavadas no solo local em dimensões variáveis, são compactadas e, posteriormente, cobertas com biomantas antierosivas (Figura 2.21). É apresentado nas Figuras 2.22 e 2.23 a indicação de dispositivos de um sistema de drenagem superficial e o detalhamento de uma canaleta de drenagem superficial, respectivamente.

Figura 2.21 - Canaletas verdes revestidas com tela sintemax



Fonte: Boletim Técnico CBCN, n. 1, 2010

Figura 2.22 - Indicação dos diversos dispositivos de um sistema de drenagem superficial



Fonte: (Carvalho, 1991)

Figura 2.23 - Detalhes de uma canaleta de drenagem superficial



Fonte: (Carvalho, 1991).

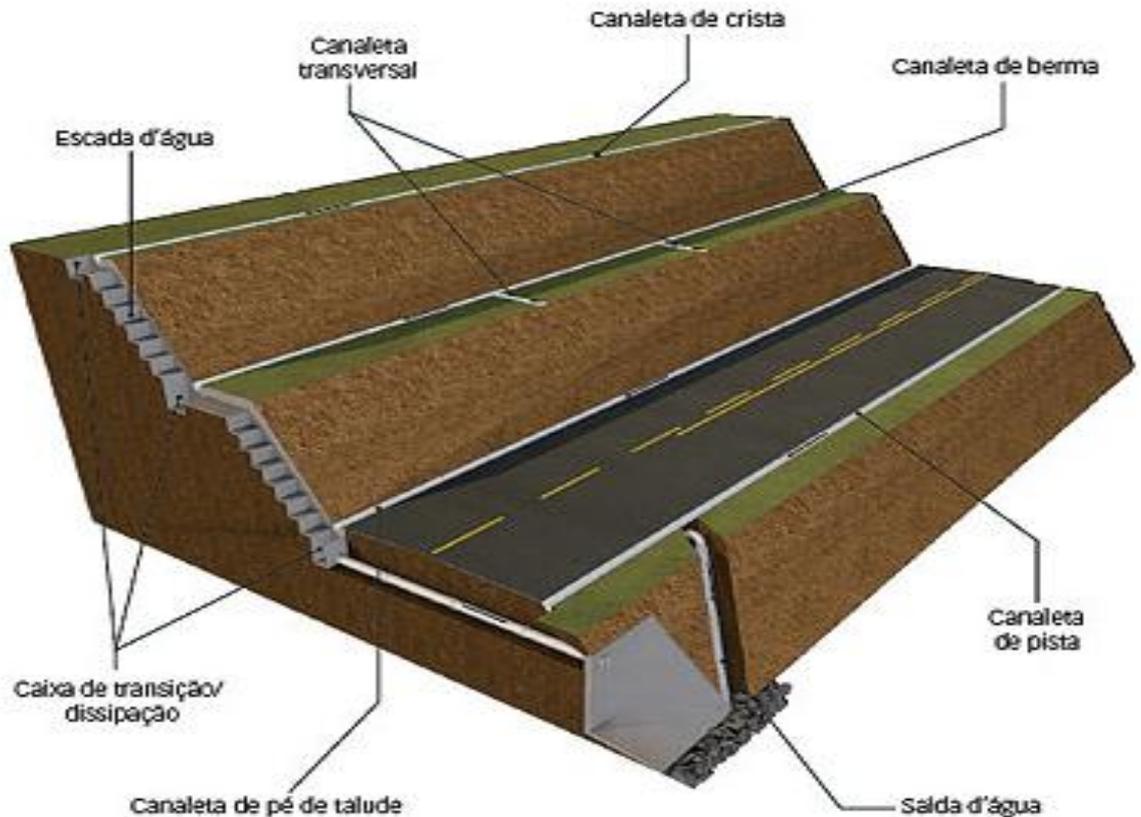
2.4.1.2 Escada Hidráulica

Dispositivos que possibilitam o escoamento das águas que se concentram em talvegues interceptados pela terraplanagem e que vertem sobre os taludes de corte e aterros. Nessas condições, para evitar os danos de erosão, torna-se necessária à sua canalização e condução através de dispositivos, adequadamente construídos, de forma a promover a dissipação das velocidades e, com isto, desenvolver o escoamento em condições favoráveis até os pontos de deságue, previamente escolhidos (Figura 2.24). Na Figura 2.25 é apresentado um esquema geral de uma drenagem superficial em um talude rodoviário.

Figura 2.24 – Escada hidráulica



Figura 2.25 – Esquema geral de uma drenagem superficial em um talude rodoviário



Fonte: COUTINHO et al, 2008

2.4.2 Drenagem profunda

A drenagem profunda é usada quando se pretende reduzir as pressões neutras no interior do maciço, aumentando a resistência do solo ao cisalhamento e disciplinando o fluxo da água subterrânea.

A drenagem profunda consiste no rebaixamento do lençol freático abaixo da base da massa de solo que será estabilizada. Para rebaixar o lençol freático a uma determinada cota é necessário instalar, abaixo deste nível, um sistema de drenagem. A água escoada do solo para dentro dos coletores (poços, galerias, trincheiras ou drenos) sendo removida pela gravidade, por meio de bombas, ou outros meios adequados (Terzaghi e Peck, 1967).

Cedergren (1968) sugeriu que o controle do lençol freático e percolação da água, através da drenagem profunda, é um bom método para melhorar a estabilidade de taludes, pois com a retirada da água as pressões neutras diminuem e a resistência ao cisalhamento do solo aumenta, melhorando a estabilidade do talude.

De acordo com Guidicini e Nieble (1983), a drenagem da água subterrânea dos taludes sempre melhorará a estabilidade, entretanto, é necessário observar o incremento real, que pode ser conseguido no fator de segurança, e o custo do sistema.

Em taludes predominantemente rochosos a ação instabilizante da água subterrânea se dá principalmente pela pressão hidrostática empurrando as paredes das trincas e diminuindo a resistência ao cisalhamento. A ação instabilizante da água no solo se dá principalmente pelo aumento do peso específico e a redução da tensão efetiva atuante na superfície crítica (Sembeneili, 1988).

São classificadas como drenagem profunda todas aquelas não superficiais, tais como: ponteiras filtrantes, poços profundos, drenos verticais de alívio, trincheiras drenantes, drenos sub-horizontais profundos, galerias e túneis.

Os sistemas de drenagem profunda, utilizados com maior frequência na estabilidade de encostas, são os drenos sub-horizontais profundos, trincheiras drenantes, galerias e túneis de drenagem. As ponteiras filtrantes e poços profundos são mais utilizados quando se pretende um rebaixamento temporário do lençol freático, e os drenos verticais de alívio são mais utilizados no adensamento de argilas moles saturadas.

2.4.2.1 Ponteiras filtrantes

Segundo Alonso (1999), as ponteiras filtrantes são constituídas de um tubo de aço galvanizado ou de PVC com diâmetro de 3,8 a 5 cm, cuja extremidade contém uma peça com cerca de 1 m de comprimento (a ponteira propriamente dita), perfurada e envolvida por tela de nylon com malha de 0,6mm (Figura 2.26).

Para que se consiga o rebaixamento do lençol freático é necessária a instalação de várias ponteiras. As ponteiras são ligadas a um tubo coletor por meio de um mangote flexível e um registro que serve para regular a vazão de água. O espaçamento entre as ponteiras pode variar de 1 a 3m.

A extração da água é feita por uma ou mais bombas de vácuo acopladas a uma tubulação de descarga disposta ao longo das ponteiras, sendo necessária boa vedação das conexões. A sucção do ar reduz a pressão no interior da tubulação e das ponteiras promovendo a retirada de água do aquífero (Dobereiner e Vaz, 1998).

Alonso (1999) afirmou que a vazão de água que cada ponteira consegue extrair varia de acordo com a permeabilidade do solo, sendo normal vazões na faixa de 0,5 a 1 m³/h. Como as

bombas são geralmente de 30 a 40 m³/h, cada conjunto moto-bomba pode conter da ordem de 60 ponteiros.

Dobereiner e Vaz (1998) descreveram que as ponteiros filtrantes evitam o carreamento de partículas do solo e, conseqüentemente, a ocorrência de erosão interna regressiva, permitindo o rebaixamento máximo efetivo do lençol freático de 4 a 5 m. Para rebaixamentos maiores são necessárias duas ou mais linhas paralelas de ponteiros dispostas ao longo do perímetro a ser rebaixado.

Figura 2.26 – Ponteira filtrante



Fonte: Dobereiner e Vaz, 1998.

2.4.2.2 Poços profundos

Para o rebaixamento temporário do lençol freático existem dois tipos de poços profundos: com o emprego de injetores e com o emprego de bombas de recalque submersas vertical. Para a estabilidade de taludes não se costuma empregar bombas, devido ao custo elevado e impossibilidade de rebaixamento permanente. Na estabilidade de taludes os poços são ligados por meio de túneis, galerias, ou drenos sub-horizontais profundos, onde a água escoar por gravidade, estes são chamados poços de alívio.

Rico e Castilho (1974) relataram que os poços de alívio são perfurações verticais com 40 a 60 cm de diâmetro e até 20 m de profundidade, onde se coloca um tubo perfurado de 10 a 15 cm de diâmetro. O espaço anelar é preenchido com material filtro. São colocados de forma que capturem os fluxos prejudiciais do talude que se deseja proteger. Sua principal missão é diminuir a pressão neutra em camadas profundas do subsolo.

Cederdren (1968) destacou que sistemas de poços oferecem a vantagem de serem flexíveis porque poços adicionais podem ser instalados em pontos intermediários se um espaçamento inicial for inadequado para controlar a percolação e o nível do lençol freático.

2.4.2.3 Drenos verticais de alívio

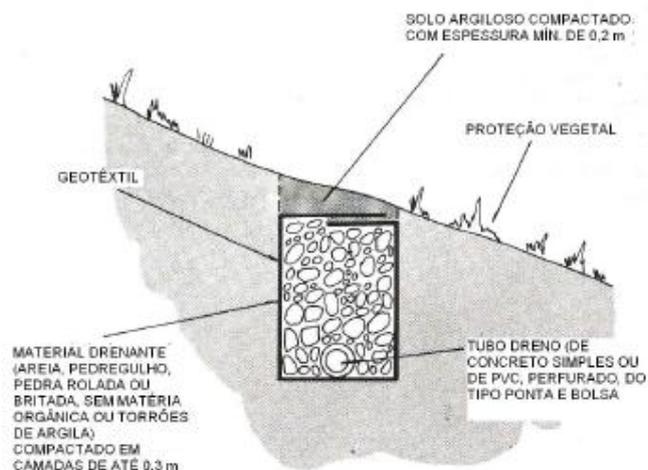
Os drenos verticais de alívio mais usuais são confeccionados através de perfurações circulares, com diâmetro de aproximadamente 30 cm, preenchidos com areia ou brita. Eles ajudam a reduzir a pressão de água no interior do maciço.

Quando os drenos verticais de alívio são construídos em solo estes são chamados de drenos de areia, por serem preenchidos por areia, sendo mais empregados no adensamento de argilas saturadas, muito moles e moles, com uso de sobrecarga. Nos casos de lençóis suspensos sobre camadas de solos de baixa permeabilidade, os drenos podem ser utilizados para transferir a água do lençol suspenso para baixo (Dobereiner e Vaz, 1998).

2.4.2.4 Trincheiras drenantes

Rico e Castilho (1974) descreveram que as trincheiras drenantes são valas escavadas geralmente com 1 a 2 m de profundidade, providas de um tubo perfurado no fundo e preenchidas por material drenante compactado. A água coletada pelo tubo escoar por gravidade para algum lugar mais baixo onde sua descarga não cause processos erosivos. A Figura 2.27 ilustra um exemplo de trincheira drenante.

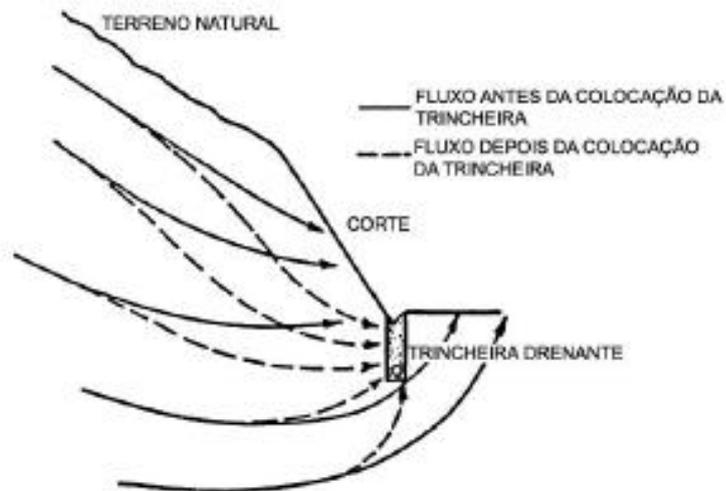
Figura 2.27 – Trincheira drenante



Fonte: CUNHA et al, 1991.

Bromhead (1986) afirmou que trincheiras drenantes são muito usadas na estabilidade de taludes (Figura 2.28). O uso principal das trincheiras drenantes são para estabilizar deslizamentos rasos e deslizamentos translacionais.

Figura 2.28 - Seção transversal mostrando o fluxo em direção a superfície do talude, antes e depois da colocação da trincheira drenante.

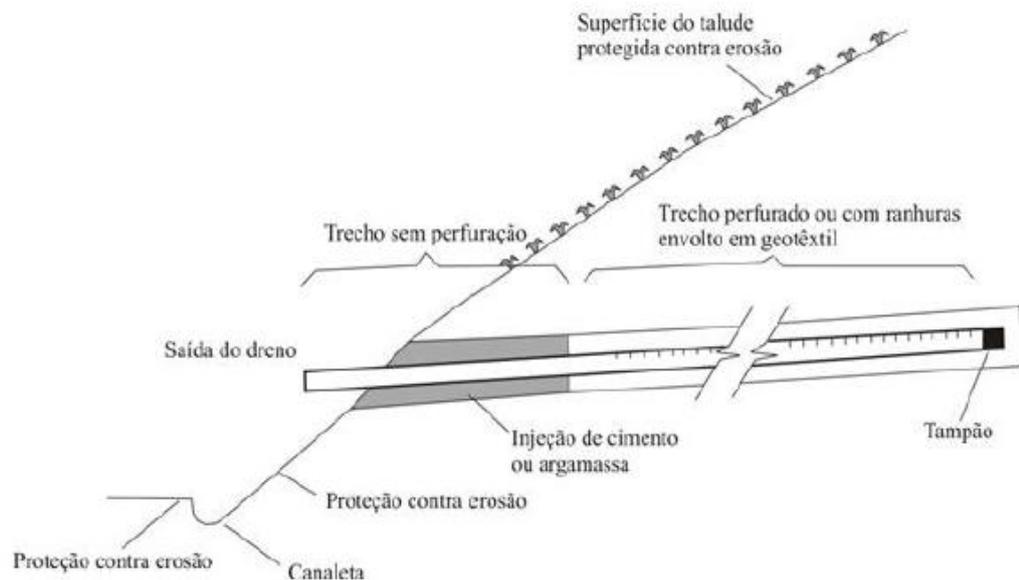


Fonte: Rico e Castilho, 1974.

2.4.2.5 Drenos sub-horizontais profundos

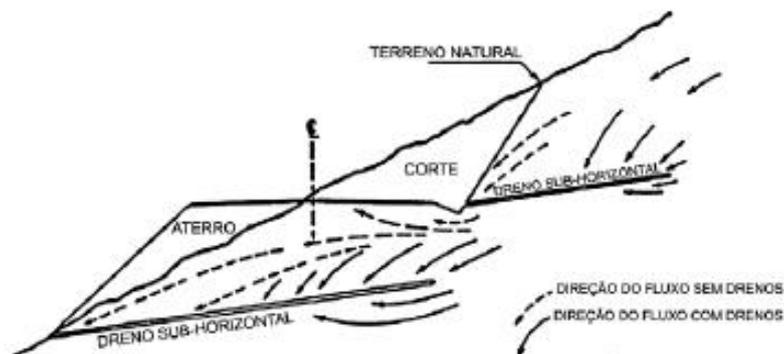
O dreno sub-horizantal profundo, mais conhecido por DHP, é construído por meio de uma perfuração sub-horizantal, geralmente com diâmetro de 50 a 100 mm, executada com uma inclinação de 5° a 10° para cima, de forma a propiciar a saída da água por gravidade. Nessa perfuração, é introduzida uma tubulação de PVC rígido, geralmente de 38 a 50 mm de diâmetro, sendo a maior parte constituída por trecho filtrante através de furos ou ranhuras no tubo. O trecho filtrante é envolvido por geotêxtil ou tela de nylon (Figura 2.29).

Figura 2.29 – Dreno sub-horizontal profundo



Fonte: GEORIO, 2000.

Figura 2.30 – Influência dos DHPs no fluxo de água no interior do maciço



Fonte: RICO e CASTILHO, 1974

Para maior eficiência, o DHP deve ser posicionado no maciço geológico de tal forma que a extensão do tubo filtrante imersa no aquífero seja maior possível (Figura 2.30). Para tanto, em aquíferos confinados, é necessário o prévio conhecimento da distribuição da camada que constitui o aquífero e, no caso de aquíferos livres, o comportamento da superfície do lençol freático deve ser conhecido antes da locação dos DHPs. Entretanto, na maioria dos casos existem caminhos preferenciais de percolação nos maciços geológicos, que concentram a água

subterrânea e podem ser de difícil localização, obrigando o posicionamento do DHP por tentativas (Dobereiner e Vaz, 1998).

2.4.2.6 Túneis e galerias de drenagem

Os túneis e galerias de drenagem são construídos em maciços de rocha, porém podem ser executados em solo. Normalmente apresentam diâmetros inferiores a 3 m e são executados através dos métodos convencionais de construção de túneis. Quando não necessitam de revestimento, as próprias paredes drenam o maciço, entretanto, geralmente são instalados drenos perfurados radialmente a partir do teto do túnel ou galeria. Os túneis e galerias de drenagem são empregados quando é necessária a retirada de grandes volumes de água do maciço ou quando a utilização de outros métodos de estabilização é inviável ou insuficiente para alcançar o rebaixamento pretendido.

Embora os túneis e galerias de drenagem sejam muito eficazes para aumentar as condições de estabilidade dos taludes com altas pressões neutras, são poucos utilizados devido ao seu alto custo.

Guidicini e Nieble (1976) destacaram que túneis e galerias de drenagem têm as vantagens de interceptar um grande número de discontinuidades em rocha e permitir a execução de drenos em regiões consideradas críticas.

3 ESTUDO DE CASOS

3.1 CASO 1 – ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE COM DRENAGEM PROFUNDA (RUA GILBERTO VIEGAS/ RUA CASSIMIRO DE ABREU – CAMARAGIBE/PE)

Este estudo refere-se a uma pesquisa onde inclui uma dissertação de mestrado e uma tese de doutorado desenvolvidas no Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres – GEGEP/UFPE por Silva (2007), Coutinho et al. (2010) e Silva (2010), com apoio financeiro do projeto Pronex–CNPq/FACEPE.

Segundo informações dos moradores do local e de técnicos da prefeitura de Camaragibe, indícios da ocorrência de processos de instabilidade foram observados na encosta no ano de 2000, caracterizado por alguns fatores relevantes; tais como declividade e rachaduras verificadas nos pisos das casas situadas no topo do deslizamento (na direção a qual se deu o movimento de massa) e em rachaduras verticais nas paredes das casas. Outros fatores relevantes se apresentaram paralelamente, como o início de formação de um desnível, junto com a presença uma fenda, no meio da encosta.

O estágio de ruptura, que caracterizou o movimento de massa ocorrido na encosta, foi visualmente definido no segundo semestre de 2002 (após período de precipitações intensas), acarretando um considerável aumento no desnível existente no meio da encosta, com formação de alguns patamares ao longo da encosta, levando-se a admitir que a chuva foi o principal fator acionante do movimento de massa ocorrido.

Os estudos realizados na área revelaram que durante os períodos chuvosos há reativação do movimento gravitacional de massa. Suas dimensões são da ordem de 117 m x 130 m com cotas que variam altura em torno de 23,75 m e apresenta uma inclinação de cerca de 10°. O levantamento geológico – geotécnico identificou que há presença de camadas de solo residual maduro de granito e formação barreiras.

A Figura 3.1 ilustra uma vista geral da ruptura ocorrida com indicações dos patamares formados ao longo da encosta, os quais apresentaram desnível de aproximadamente 1,5m entre os mesmos. A Figura 3.2 ilustra o desnível vertical do topo do movimento de massa.

Figura 3.1 – Vista geral do movimento de massa com indicação dos patamares formados



Fonte: Coutinho et al., 2010

Figura 3.2 – Vista do desnível vertical do topo do movimento de massa



Fonte: Coutinho et al., 2010

3.1.1 Caracterização geológico - geotécnica

A caracterização dos materiais foi realizada a partir de investigações de campo, instrumentação e ensaios laboratoriais.

As investigações de campo consistiram de sondagens, perfis de umidade, ensaios de condutividade hidráulica (Guelph) e coleta de amostras deformadas e indeformadas. A

campanha de instrumentação utilizou piezômetros tipo Casagrande, piezômetros de máxima, medidores de nível d' água, inclinômetros e pluviômetro. Em laboratório foram realizados ensaios de caracterização física, química e mineralógica, permeabilidade, ensaios de sucção (determinação da curva característica), ensaios edométricos e ensaios de resistência (incluindo cisalhamento direto e cisalhamento indireto com sucção controlada).

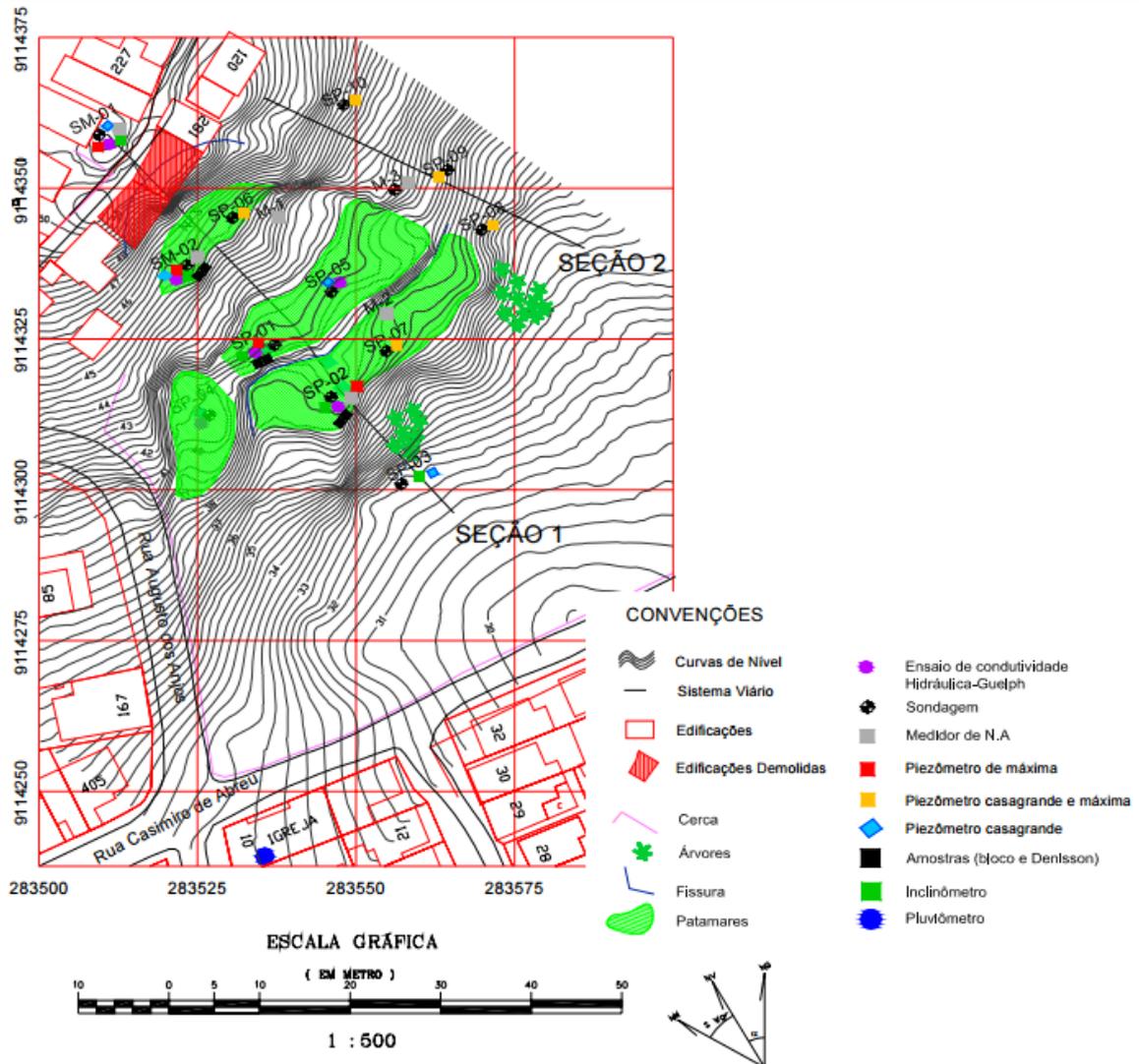
3.1.1.1 Investigações de Campo

Para a investigação da subsuperfície foram realizados doze verticais de sondagem, sendo dez a percussão e duas mistas (SPT e rotativa), localizados próximos ao deslizamento. Em anexo se apresenta os furos de sondagem, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos.

As sondagens foram executadas com profundidades variando entre 10,0 a 15,0m, com exceção de três que atingiram profundidades da ordem de 20,0m. Verificou-se, inicialmente, uma camada de areia argilosa de aproximadamente 7,5m, com valores de SPT variando entre 2-17 golpes, crescentes com a profundidade. Em seguida, no topo da camada de areia siltosa houve uma mudança brusca de SPT, com valores médios de 33 golpes/18cm, coincidindo com o contato entre as duas formações geológicas (Formação Barreiras e solo residual de granito). A partir desta profundidade, foi necessária a utilização de sondagem rotativa.

Na Figura 3.3, encontram-se o mapa topográfico da área de estudo após a ruptura e locação das investigações.

Figura 3.3 – Mapa topográfico da área de estudo após a ruptura e locação das investigações



Fonte: Coutinho et al., 2010

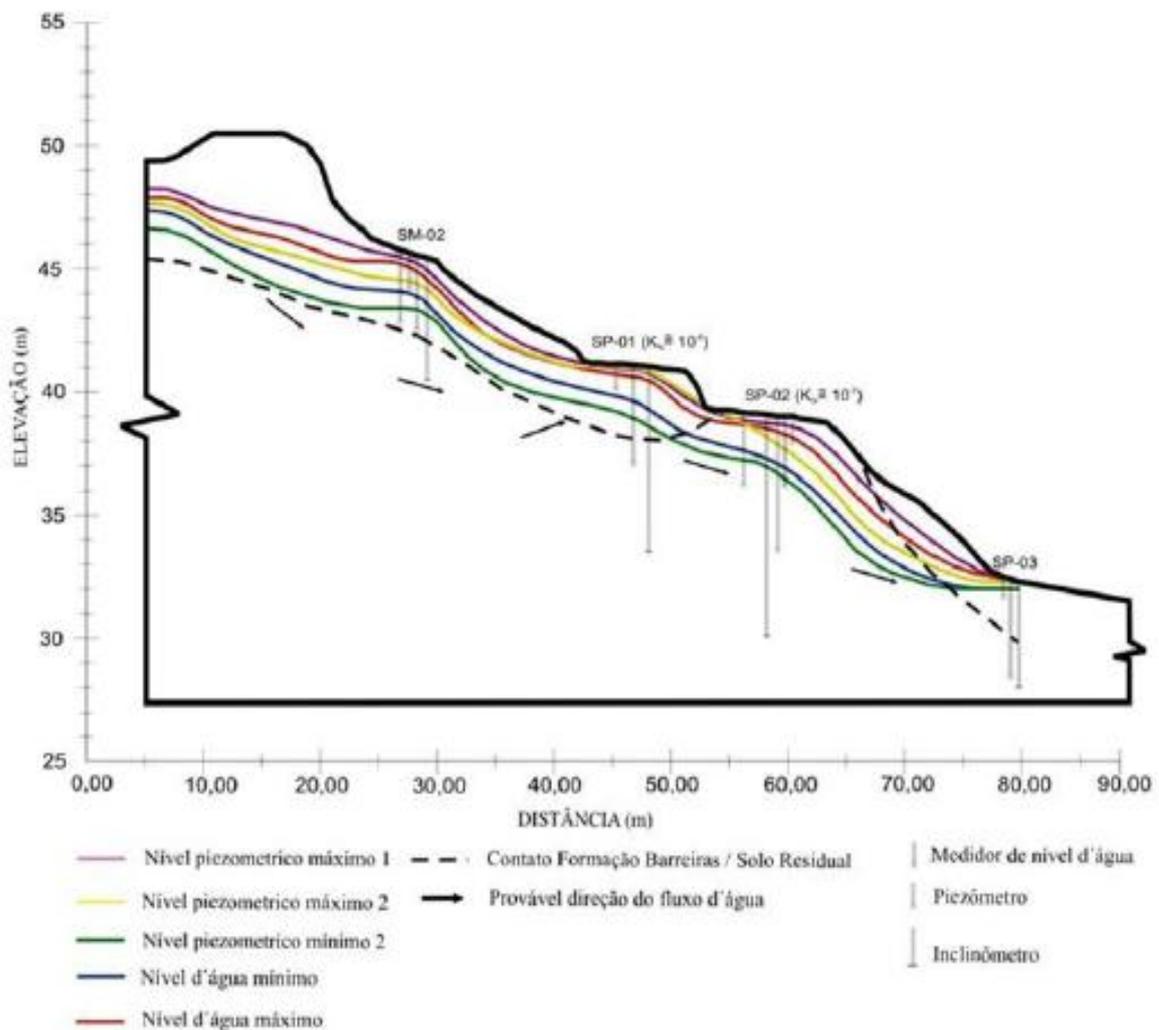
3.1.1.2 Campanha de Instrumentação

O programa de instrumentação contemplou 25 piezômetros tipo Casagrande, sendo dezoito capazes de registrar níveis máximos alcançados, seis medidores de nível d'água, cinco inclinômetros e um pluviômetro. Os níveis piezométricos e níveis d'água encontrados são bastante elevados mesmo em períodos secos, na faixa de 3,5 a 4,0 m de profundidade. Em épocas de maiores precipitações verificam-se os níveis d' água e piezométricos em profundidades variando entre 0,5 a 1,0 m e, inclusive, aflorando na encosta.

A Figura 3.4 apresenta os indicadores de níveis piezométricos e níveis d'água máximos e mínimos sendo possível visualizar a provável direção do fluxo subterrâneo.

Verifica-se um fluxo de água subterrâneo descendente o furo SP-01, onde ocorre um fluxo ascendente. No furo SP-02 o fluxo retorna a ser descendente chegando quase paralelo ao nível do terreno no furo SP-03. A mudança de direção do fluxo subterrâneo entre SP-01 e SP-02, ocorre, provavelmente, em virtude da mudança de formação geológica associada à permeabilidade dos materiais.

Figura 3.4 - Perfil (seção 1) com indicadores dos níveis piezométricos e níveis d'água máximos e mínimos e provável direção do fluxo subterâneo.



Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Os inclinômetros instalados na área indicaram que o movimento é mais significativo na parte central da encosta; em períodos de precipitações intensas há estágios de reativação; e que a superfície de ruptura atual encontra-se próxima ao contato dos solos da formação barreiras com solo residual de granito.

3.1.2 Análises de estabilidade

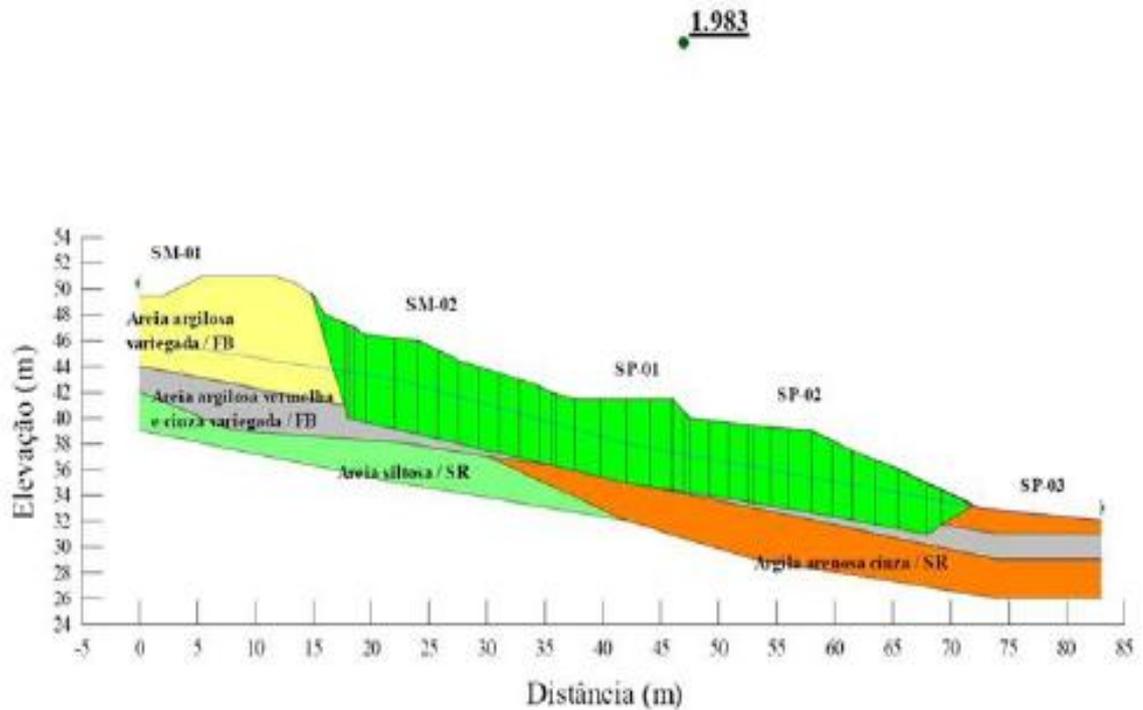
Para a análise de estabilidade considerando o estágio de ruptura, foi adotada a topografia original utilizando a superfície de ruptura obtida na instrumentação e os valores de resistência obtidos em estudo.

O software utilizado para o cálculo da análise é o SLOPE/W. Em conjunto com a análise de fluxo, foi realizada a verificação considerando uma ruptura global ao longo da encosta. O fator de segurança obtido de 1,278 não justifica a ruptura ocorrida, e sim a provável movimentação, concluindo que o movimento de massa se deu em etapas e não de forma global.

A análise no estágio de reativação verificou a condição atual da estabilidade da encosta, considerando os níveis d' água subterrâneos máximos e mínimos observados durante a instrumentação implantada e a geometria obtida após as movimentações. A superfície de ruptura foi definida pelas verticais de inclinômetros e os parâmetros de resistência referem-se aos residuais, obtidos nos ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas e ensaios ring shear. O software utilizado para o cálculo da análise de estabilidade foi o SLOPE/W.

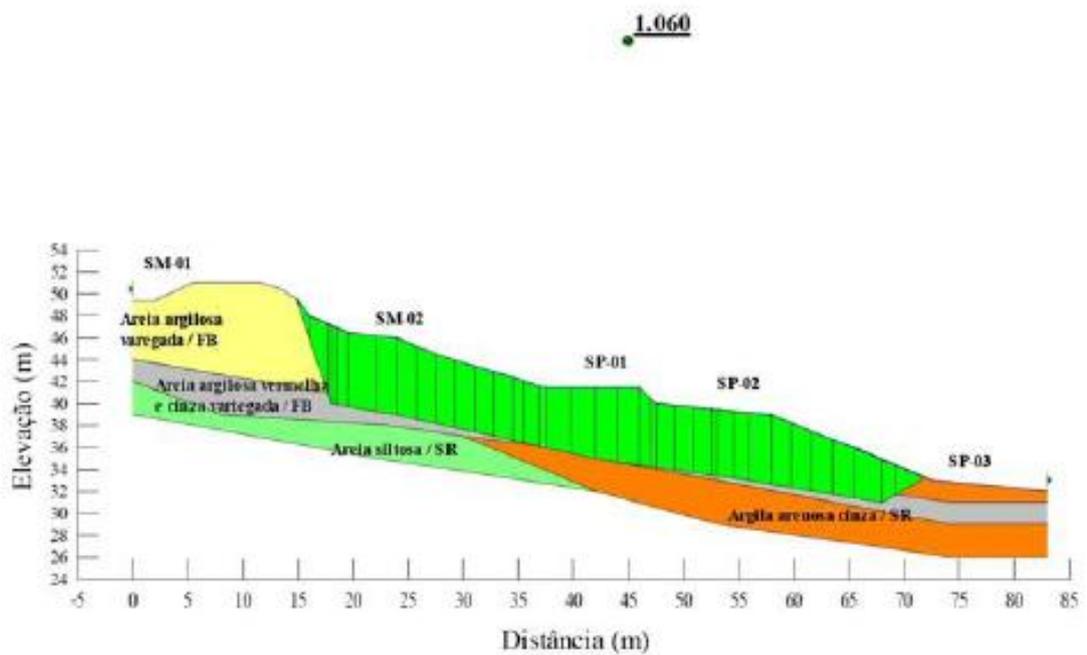
As Figuras 3.5 e 3.6 indicam a análise de estabilidade para os estágios de reativação considerando o nível de água subterrânea mínima e máxima, respectivamente.

Figura 3.5 – Análise de estabilidade – estágio de reativação considerando nível d'água subterrâneo mínimo.



Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Figura 3.6 – Análise de estabilidade – estágio de reativação considerando nível d'água subterrâneo máximo.



Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

O valor de 1,060 do fator de segurança obtido considerando o nível d' água máximo justifica as movimentações significativas observadas na encosta através dos deslocamentos horizontais. Esse resultado confirma que as precipitações são o principal fator acionante das movimentações ocorridas. A análise considerando o nível d' água subterrâneo mínimo resultou em fator de segurança de 1,983, concluindo que a encosta encontra-se em condições aparentemente estáveis em períodos de baixas precipitações.

3.1.3 Análise da solução

Como ficou evidenciada que a principal causa da movimentação é a elevação do nível de água, que promove o aumento da sollicitação no talude, a solução proposta tem como finalidade a redução da poro pressão através da execução de drenagem profunda com o emprego de drenos horizontais profundos – (DHP) também conhecidos como drenos sub- horizontais, além de drenagem superficial, proteção superficial, colocação de escada de acesso com drenagem superficial, modificação da forma da encosta, instalação de muro de arrimo, casas a serem realocadas, tratando o talude por completo, e ações não estruturais que consistem na preparação da equipe técnica da prefeitura, elaboração de plano preventivo, disseminação de informações para o público e conscientização geral da comunidade a respeito das condições locais.

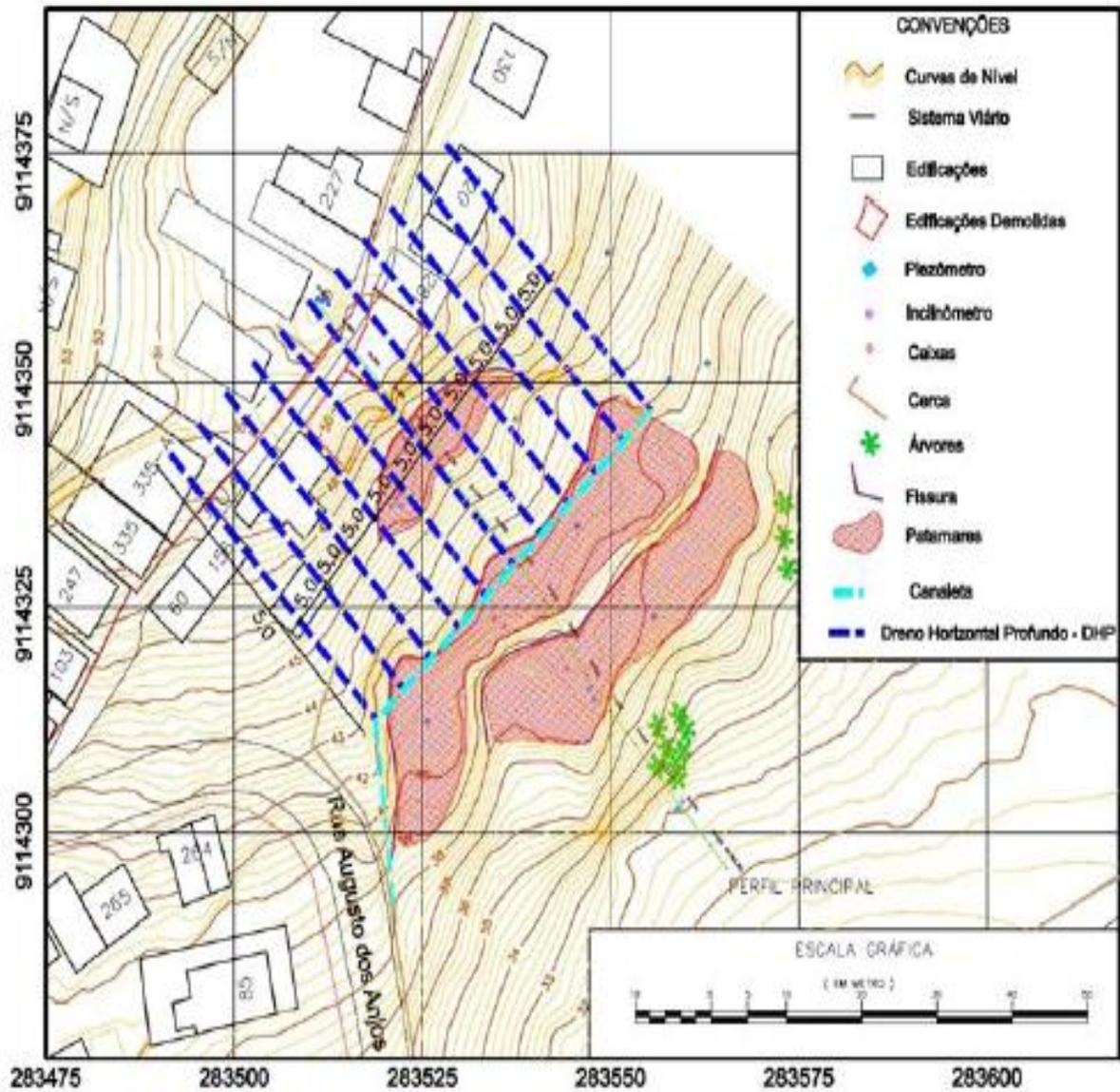
Nos trabalhos consultados, GEORIO (2000) e DNIT (2006a), encontram-se apenas ábacos para pré-dimensionamento de dreno horizontal profundo – (DHP) considerando camadas homogêneas de solo. A intervenção proposta deverá ser reavaliada considerando as características geológicas – geotécnicas encontradas no local.

O comprimento dos drenos foi definido considerando a posição do nível de água mínimo e a conclusão que drenos mais longos e mais espaçados são mais eficientes do que os drenos mais curtos com espaçamento menor (DNIT, 2006a e GEORIO, 2000). O comprimento dos drenos foi estimado em 40 m de modo a permitir o rebaixamento do nível de água do lado direito da Rua Gilberto Viegas e a possibilidade do emprego de tubos de PVC. A inclinação utilizada é de 5° em relação a horizontal.

A Figura 3.7 apresenta a planta contendo a solução proposta. Os drenos DHP foram integrados a um sistema de drenagem superficial com o objetivo de coletar e conduzir a água para fora do talude. O perfil longitudinal contendo a intervenção proposta encontra-se apresentado na Figura 3.8 juntamente com a inclinação dos níveis de água e piezométricos.

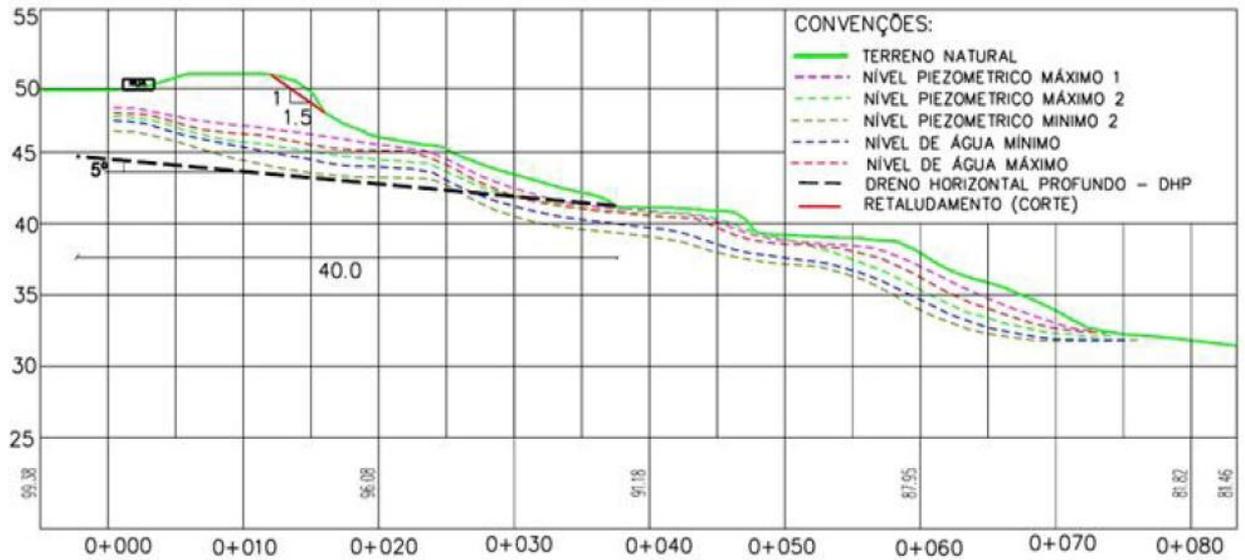
Neste talude, também foi necessária a execução de um pequeno retaludamento no topo do talude com o objetivo de diminuir as forças desestabilizadoras. Como a área apresentava indícios de movimentação, foi necessário a remoção de uma moradia que se encontrava próxima ao local instável do talude.

Figura 3.7 – Planta de localização dos drenos horizontais profundos – (DHPs)



Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

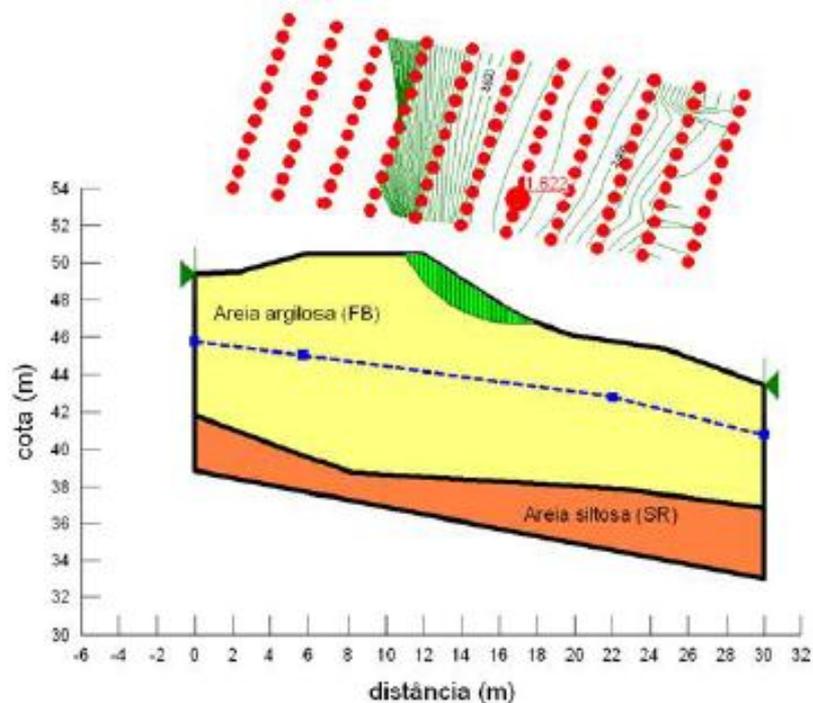
Figura 3.8 – Perfil longitudinal da intervenção com o DHP e os níveis de água/ piezométrico existentes no talude.



Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Com o emprego do software Geostudio (Versão 7.17) foi realizada a análise de estabilidade global do talude após o retaludamento. O Fator de Segurança mínimo obtido, considerando o nível de água mínimo do talude através do método de análise de estabilidade de Spencer foi de $FS = 1,622$, conforme ilustrado na Figura 3.9 a seguir.

Figura 3.9 – Análise de estabilidade global



Fonte: Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

3.1.4 Estimativa de custo da solução analisada

Foi estimado apenas o custo relativo à execução do dreno, compreendendo os serviços de perfuração e implantação do dreno, inclusive com a sua boca. Para a estimativa foi utilizado a tabela de referência do DNIT denominada de SICRO II (Sistema de Custos Rodoviários) para o estado de Pernambuco com database para janeiro de 2010. A Tabela 3.1 apresenta os quantitativos e a estimativa de custo encontrada.

Tabela 3.1 - Estimativa de custo – Solução com dreno sub-horizontal (DHP)

Item	Serviços	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo (R\$)
1	Perfuração para dreno sub-horizontal mat. 1a cat. m	m	440	120,67	53.094,80
2	Dreno subhorizontal	m	440	46,26	20.354,40
3	Boca de saída para dreno	und	11	12,30	135,30
	Total				73.584,50

Fonte: Coutinho et al., 2010

A solução apresenta um custo reduzido quando comparado a execução de muros de contenção para estabilização de taludes.

3.2 CASO 2 – ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE ATRAVÉS DO USO DE BIOMANTA ASSOCIADA À TÉCNICA DE HIDROSSEMEADURA NO COMPLEXO VIÁRIO DO IMBUÍ, SALVADOR/BA.

O Complexo Viário do Imbuí compreende um conjunto de viadutos e vias marginais na Avenida Luís Viana Filho na cidade de Salvador - BA, realizada pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – CONDER.

Ao longo de toda a avenida, em áreas consideradas críticas tanto para efeitos de instabilidade de taludes devido à geometria bem por modo de agravação dos efeitos erosivos avistados, foram realizados processos de estabilização utilizando métodos mistos que integravam técnicas tradicionais aliadas à bioengenharia.

Na parte supracitada da obra, o talude em questão tinha dimensões da ordem de 15 metros de altura e extensão de 200 metros. Para auxiliar no sistema de quebra de energia cinética provinda de águas pluviais, o maciço foi dividido em três partes com inclinações diferentes dotadas de bermas. As duas primeiras partes inferiores possuíam ângulo de 65° em relação a horizontal, e na parte superior um ângulo de 90° , como pode ser visto na Figura 3.10.

Figura 3.10 - Esquema de divisão do talude, na parte superior com ângulo de 90° foi utilizado solo grampeado em concreto e na parte inferior com uma inclinação de 65° , utilização de biomantas com recobrimento por vegetação.



Fonte: Grupo de Pesquisa LAGEO – 2014

3.2.1 Análise da solução

Devido à inclinação das partes do talude, o método adotado nas partes inferiores foi o uso de biomantas com recobrimento por vegetação, Figura 3.11. A escolha analisou o custo-benefício dos dados geométricos do talude, haja vista que para uma inclinação de 65° aliada às dimensões do maciço a técnica atende perfeitamente no combate aos processos erosivos, pois as raízes fasciculadas da vegetação contribuem favoravelmente à coesão superficial do solo.

Figura 3.11 - Uso de Biomanta em Inclinações com 65°



Fonte: Grupo de Pesquisa - LAGEO 2014

A vegetação foi implantada em toda a extensão do talude através de hidrossemeadura. Durante todos os dias de execução, as partes já implantadas eram regadas com jatos quatro vezes ao dia afim de que a vegetação fixasse e se adaptasse sem maiores problemas ao terreno.

Na parte superior, a qual a inclinação do maciço em relação a horizontal era de 90°, houve a necessidade de uma estrutura de contenção. Deste modo, os engenheiros responsáveis pelo projeto optaram pelo uso de solo-grampeado em concreto.

Como em toda obra que envolva a estabilização de taludes e encostas naturais, a necessidade de um sistema eficaz de drenagem é fundamental no processo de combate aos processos erosivos no que tange a erosão hídrica. Na obra relatada, o sistema contou com escadas hidráulicas que cobriam toda sua extensão vertical, uso de bermas como citado anteriormente, além de canaletas ao longo de todo o comprimento do talude nas duas partes inferiores (Figura 3.12).

Figura 3.12 - Sistema de drenagem composto por escadas hidráulicas, bermas e canaletas



Fonte: Grupo de Pesquisa - LAGEO 2014

Os efeitos do uso da vegetação para a estabilidade de maciços terrosos foram claramente vistos na análise do caso. As raízes têm sua eficiência em função de suas dimensões bem como da relação do sistema solo-raiz. De modo geral atuam de forma direta na coesão das partículas e por consequência na resistência ao cisalhamento do solo. Quanto mais extensas e possuírem arquitetura radicular favorável à fixação das mesmas no solo, mais eficiente será o sistema, porém a adaptação da vegetação ao tipo de solo que será inserida deve ser observada para que a transferência de tensões seja completa.

No caso citado, as raízes possuíam dimensões, espessura e comprimento, um tanto quanto pequenas, permitindo deste modo um efeito mais intenso sobre a coesão superficial do solo, de forma que as camadas mais profundas do maciço estariam sujeitas à condição de ruptura, caso a ação da erosão hídrica seja suficiente para desencadear um processo de movimentação de massa.

Os limites da solução adotada, no caso do Complexo Viário do Imbuí com biomantas e cobertura vegetal, deve ser considerado ainda em fase de projeto. Como visto no levantamento bibliográfico, o uso de materiais naturais em obras corriqueiras de contenção é eficiente desde

que se utilizem materiais “verdes” sem prejuízo ao desempenho técnico. Fato este observado na escolha dos métodos da obra, pois no caso da parte superior onde a inclinação ganhou alta magnitude, o fator de segurança de projeto foi elevado, e o uso isolado da biomanta com cobertura vegetal foi descartado, em seu lugar recorreu-se a técnicas que contenham efetivamente a massa de solo, como o uso do solo-grampeado. A partir daí, pode-se inferir que a escolha da técnica varia de acordo a geometria do talude a ser reforçado, as características intrínsecas do solo, bem como do custo-benefício do projeto.

3.3 COMENTÁRIOS FINAIS

As soluções apresentadas possuem poucas referências bibliográficas que trazem o custo da implantação desses métodos. As empresas deste ramo geralmente fornecem os custos por projeto e executam seus orçamentos com base em documentos, plantas e detalhes dos locais da obra, já que cada projeto possui suas peculiaridades. Dessa maneira, os custos, seja no âmbito da estabilização em taludes ou em outras áreas da construção civil, compõe ainda um amplo campo a ser explorado.

Porém, a fim de efeito comparativo para esse trabalho foram utilizados custos extraídos da tabela de preços unitários do DER/PE, com data base em maio de 2016 e custos aproximados fornecidos pela secretaria executiva de defesa civil do Recife no ano de 2014, compondo a Tabela 3.2 abaixo.

Tabela 3.2- Comparativo de custos entre algumas soluções de estabilização

Método de Estabilização	Custo (2016)	Custo (2014)
Enleivamento (placa de grama)	R\$ 8,76 / m ²	
Hidrossemeadura	R\$ 1,04 / m ²	
Geomanta		R\$ 95,00 / m ²
Muro de Arrimo		R\$260,00 /m ³

4 GANHO DE RESISTÊNCIA DE UM TALUDE ATRÁVES DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL E DRENAGEM SUPERFICIAL E/OU PROFUNDA

O ganho de resistência de um talude através de proteção superficial é dado pelo princípio de redução da umidade do solo seja pela interceptação da vegetação, ou impermeabilização do solo através de proteção com materiais artificiais, além de um ganho de resistência ao cisalhamento, através do reforço mecânico no solo promovido pelas raízes, seja pela transferência direta das tensões de cisalhamento para as raízes e/ou pelo aumento de coesão entre as partículas em camadas superficiais. Em todos os casos, sendo recomendado o uso de drenagem superficial que melhoram as condições de estabilidade, reduzindo a infiltração no solo e a força de percolação pela captação e condução das águas superficiais do talude para um sistema coletor.

Como resultado da redução da umidade do solo, ocorrem alterações significativas no equilíbrio de forças deste, que reduzem os valores de poro pressão da água em condições de saturação, elevando a tensão efetiva e conseqüentemente a resistência ao cisalhamento.

Em talude com vegetação aumentam a quantidade de água necessária para que ocorram essas condições e faz com que a quantidade de água precipitada necessária para causar instabilidade sobre um solo com vegetação seja maior do que a necessária para um solo sem vegetação, aumentando o coeficiente de segurança de taludes em condições de saturação, na maioria das vezes em que é utilizada.

Esse aumento do coeficiente de segurança é observado na figura 2.9 onde mostra o efeito da vegetação comparando fatores de segurança para taludes com e sem efeito da vegetação. Para efeito comparativo dessas situações, observa-se que para uma inclinação de 45° , sem proteger o talude com vegetação na condição não saturada, o fator de segurança é 1.3; quando ocorre a proteção vegetal no talude para mesma inclinação, o fator de segurança sobe para 2.8, mostrando uma melhoria significativa da estabilidade.

A drenagem profunda consiste no rebaixamento do lençol freático abaixo da base a ser estabilizada, utilizando-se do princípio de redução de pressão neutra no interior do maciço, aumentando a resistência ao cisalhamento e disciplinando o fluxo de água subterrânea.

Esse ganho de resistência pode ser observado no estudo de caso 1, na estabilização do talude em Camaragibe/PE que após instrumentação verificou-se que a principal causa de instabilidade era a elevação do nível de água, propondo como solução o uso de drenos sub-

horizontais, além de drenagem superficial, pequeno retaludamento entre outras ações mitigadoras para o risco. Após essa solução, foi observado um aumento no coeficiente de segurança de 1.060, no estágio de reativação considerando o nível de água subterrâneo máximo, para um fator de segurança 1.622. Assim, mostra-se que a composição da solução apresentada conseguiu elevar o fator de segurança do talude em 53% garantindo sua estabilização.

5 CONCLUSÕES

No estudo de caso 1, a solução de estabilização adotada através do uso de DHP's mostrou-se eficiente para estabilizar o talude. O fator de segurança teve um aumento de 53%, chegando ao valor de 1,622. Nesse caso, mantida as condições de não saturação, a solução apresentada mantém o talude estável.

Quanto ao estudo de caso 2, foi utilizada uma solução mista, utilizando no trecho superior, onde possui uma inclinação em torno de 90°, o uso de solo grampeado e no trecho inferior, com uma inclinação em torno de 65°, o uso de biomantas com recobrimento vegetal. Essa composição garantiu a estabilidade do talude, além de um ganho econômico e ambiental a essa obra.

As técnicas de proteção superficial associada à drenagem em taludes podem ser uma solução viável, pois mostraram desempenho técnico adequado, devido o ganho de resistência significativo dos maciços, e um melhor custo-benefício, em relação a outros métodos comumente utilizados em obras de estabilidade de encostas e taludes. Além disso, há um ganho com o desejado desenvolvimento sustentável, devido a diminuição do uso de materiais como o concreto e o aço. Por outro lado, a manutenção nesses tipos de obras é um fator que deve ser levado em consideração na escolha da solução, pois é de grande importância para a vida útil de obras de proteção superficiais e drenagem a manutenção de acordo com as especificações de projeto.

O problema resultante da ocupação desordenada de encostas envolve questões multidisciplinares, em princípio áreas de engenharia, urbanismo, meio-ambiente, socioeconômicas e políticas.

Deste modo as intervenções para estabilização de taludes devem consistir de um conjunto de ações que tenha por objetivo reordenar e regularizar a ocupação com adoção de diferentes tipos de obras de engenharia associadas as obras não estruturais, compondo uma estratégia eficiente para mitigação do risco nas encostas.

Nesse sentido, o Plano Municipal de Redução de Risco, é um instrumento de prevenção dos mais relevantes, por conter um amplo leque de informações técnicas e estabelecer diretrizes para as ações preventivas da Defesa Civil.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14724/2011, Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação
- ALHEIROS, M. M.; SOUZA, M. A. A.; BITOUN, J.; MEDEIROS, S. M. G. M.; AMORIM JUNIOR, W. A. (2003). “Manual de ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife”. FIDEM, Recife- PE.
- ALONSO, U. R. (1999). “Rebaixamento temporário de aquíferos”. São Paulo, 131 p.
- AUGUSTO FILHO, O & VIRGILI, J. C (1998). “Estabilidade de taludes, Cap. 15 - Geologia de Engenharia”. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE. Editora Oficina de textos, pp. 243-269.
- BARBOSA, C. A. F. (2008) “Soluções para estabilização de taludes sujeitos a erosão superficial.” Universidade de Aveiro. Dissertação de mestrado.
- BANDEIRA, A. P. N. (2003). “Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento das Encostas com ocupações Desordenadas do Município de Camaragibe – PE”. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife – PE.
- BRASIL. Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável (CBCN). “ Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil. ” Boletim Técnico N° 001. Viçosa – MG, 2010.
- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S; OGURA, A. T. (ORGS.) (2007) “Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios”. BRASIL, Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Brasília.
- CEDERGREN, H. R. (1968) “Seepage, drainage, and flow nets”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 489 p.
- COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas. Boletim Técnico: Deflor Bioengenharia, Ano 01, v.1, nº 002, 2006.
- COUTINHO, Roberto Quental & SILVA, Marília Mary (2005). Apostila da disciplina Mecânica dos Solos 2 - Estabilidade de Taludes, ministrada pelo professor Roberto Coutinho na UFPE.
- COUTINHO et al (2008). Curso de Capacitação: Gestão e mapeamento de riscos socioambientais. Ministério das cidades / Secretaria de Programas Urbanos / Universidade Federal de Pernambuco
- COUTINHO, R.Q.; SILVA, M. M.; SILVA, R. R.; MANTOVANI, B.; LACERDA, W. 2016. Caracterização geotécnica, análise de estabilidade e propostas de estabilização de movimento de massa em área de Formação Barreiras e solo residual de granito, em Pernambuco. Capítulo

livro “Willy Lacerda: Doutor no saber e na arte de viver. COPPE - UFRJ. 1 ed. Outras Letras, Rio de Janeiro, Brazil, pp 276-297.

COUTO L. Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil. Boletim Técnico: CBCN, nº 001, ISSN: 2177-305X. Viçosa – MG, 2010.

CRUDEN, D.M; VARNES, D -Landslide Types and Processes.In Landslides Investigation and Mitigation.Cap 2. (Eds) –Turner, A.K Schuster, R.L. National Academy Press, Special Report 247. Washington, 1996, p. 337-370.

DIAS, D. M.; SANTOS, E. C.; GOMES, D. P. P. Bioengenharia dos solos para estabilização de taludes aplicada nas indústrias nucleares do Brasil – INB. Itapetinga, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2011.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA, site: <http://www.dnit.gov.br>.

DOBEREINER, L; VAZ, L.F. (1998) – Tratamento de maciços naturais. OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO,S.N.A.(eds) – Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, p. 361 – 380.

GALAS, N. D. Uso de vegetação para contenção e combate à erosão em taludes. São Paulo, Universidade Anhembi Morumbi, 2006. Trabalho de conclusão de curso de graduação.

GEO-RIO, (2000). “Manual técnico de encostas”. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GLOBO.COM (G1), (2014). “Recife testa geomanta para evitar deslizamentos em encostas”. Recife, PE. Data de acesso: 25/01/2016

GRAY, D. H. & SOTIR R. B. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control. 1.ed. Canada, John Wiley & Sons, 1996. 378p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2 ed., São Paulo: Edgar Blucher, 1984. 196p.

GREENWAY, D. R. Vegetation and slope stability. In: ANDERSON, M.G.; RICHARDS, K.S. (Eds). Slope stability. Chichester: Wiley, 1987. p. 37-39.

HUTCHINSON, J.N. (1968). Mass Movement. In: Encyclopedia of Geomorphology. New York: Ed. R.W. Fairbidge Reinhold Book Co.

IBGE. Normas de apresentação tabular. 3. ed. Rio de Janeiro, 1993

INFRAESTRUTURA URBANA. São Paulo: Pini, dez/2011. Mensal. Disponível em: <<http://www.infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/artigo256243-1.aspx>>.

LARANJEIRAS, Humberto & SANTOS, Renan & CANEIRO, Waldete (2014). “A bioengenharia na estabilização de taludes e encostas naturais da cidade de Salvador- BA. ” Estudo de caso: Visita técnica ao Complexo Viário do Imbuí – Salvador – BA. UNIFACS

MORETTO, Renata Lima (2012). “ Análise dos efeitos da vegetação na proteção de taludes rodoviários e proposição de alternativas de revegetação na BR – 386. ” Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

NBR 12553/ 2003, Geossintéticos – Terminologias

NUNES, A.L.L.S. Estabilidades de Taludes Rochosos em Estradas. Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 6º Geosul’2008, ABMS, Florianópolis, Santa Catarina, Anais, p. 1-11.

PEREIRA, A. R. Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. 2ª edição. Editora FAPI. Belo Horizonte – MG, 2008.

SANTANA, R, G. (2006). “Análise de Soluções de Engenharia para Estabilização de Encostas com ocupação Desordenada na UR-02, Ibura.” Dissertação de mestrado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife – PE.

SEMBENELLI, P. (1998) – General report: stabilization and drainage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 5º, Balkema, Rotterdam, v. 2, p. 813 – 819.

SILVA, Marília Mary da (2007). Proposta para estabilização de uma encosta ocupada em Camaragibe – PE com a consideração de um tratamento global. Estudo de caso: SETOR II (Rua Gilberto Viegas / Rua Cassimiro de Abreu). Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA, Renata Regina da (2010). Proposta para estabilização de uma encosta ocupada em Camaragibe – PE com a consideração de um tratamento global. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA, R. A. F. Aplicação da engenharia natural na estabilização de taludes. Funchal – Portugal, Universidade da Madeira, 2012. Dissertação de mestrado.

STYCZEN, M. E.; MORGAN, R. P. C. Engineering Properties of Vegetation. In: MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. (Ed). Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. London: E & FN Spon, 1995. p 4-5.

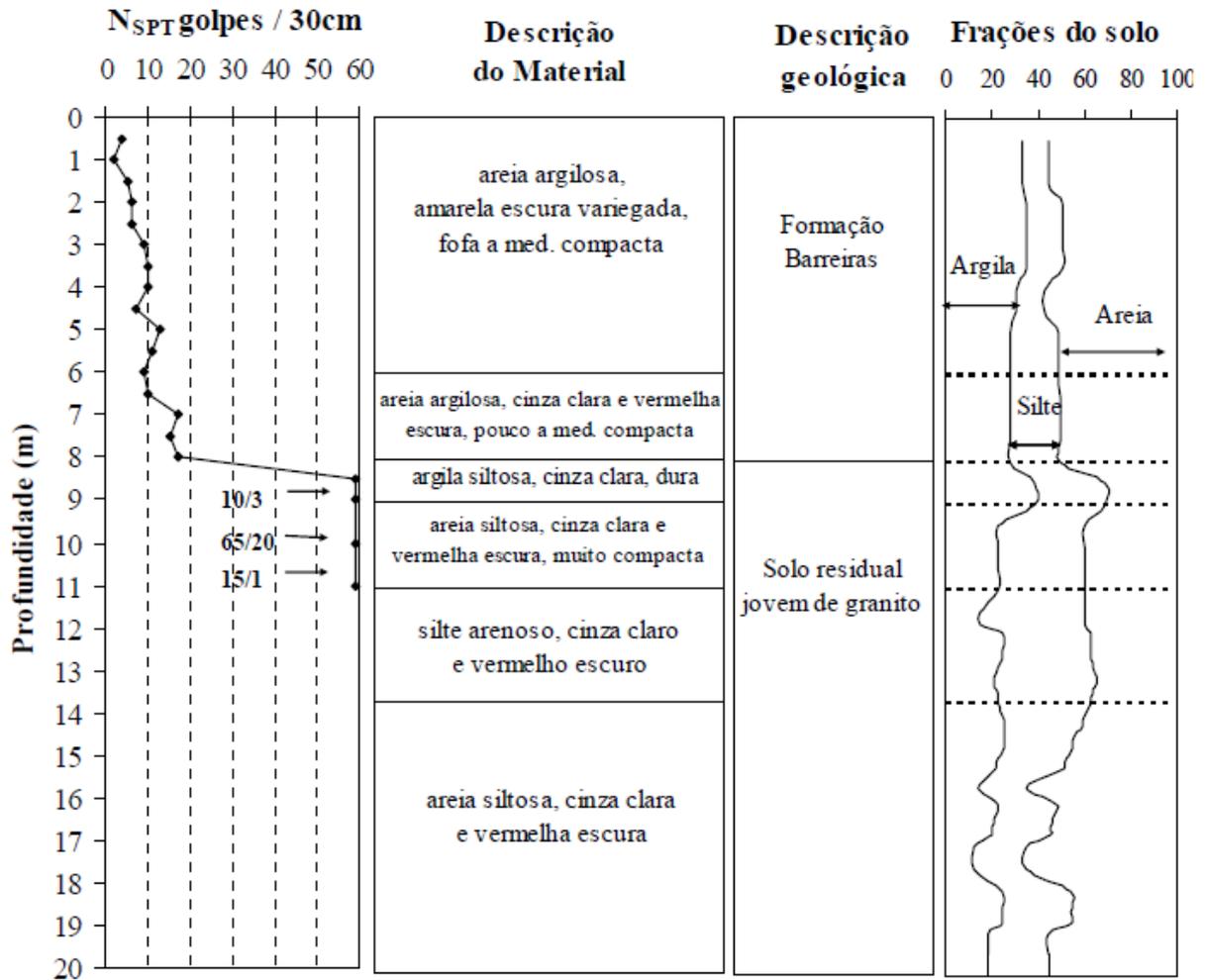
SUPAM (1983). “Sugestões para contenção de taludes”. Secretaria de Estado do planejamento e coordenação Geral – SUPAM. Belo Horizonte.

TERZAGUI, K; PECK, R.B (1967) – Soil mechanics in engineering Practice. Second Edition, John Wiley & Sons, New York, Chapter 3: Drainage of Soils, p. 131 a 152, chapter 8: Earth Pressure and Stability of slopes, p.379 – 393.

WOLLE, C.M. (1980). Taludes Naturais – Mecanismo de Estabilização e Critérios de Segurança. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

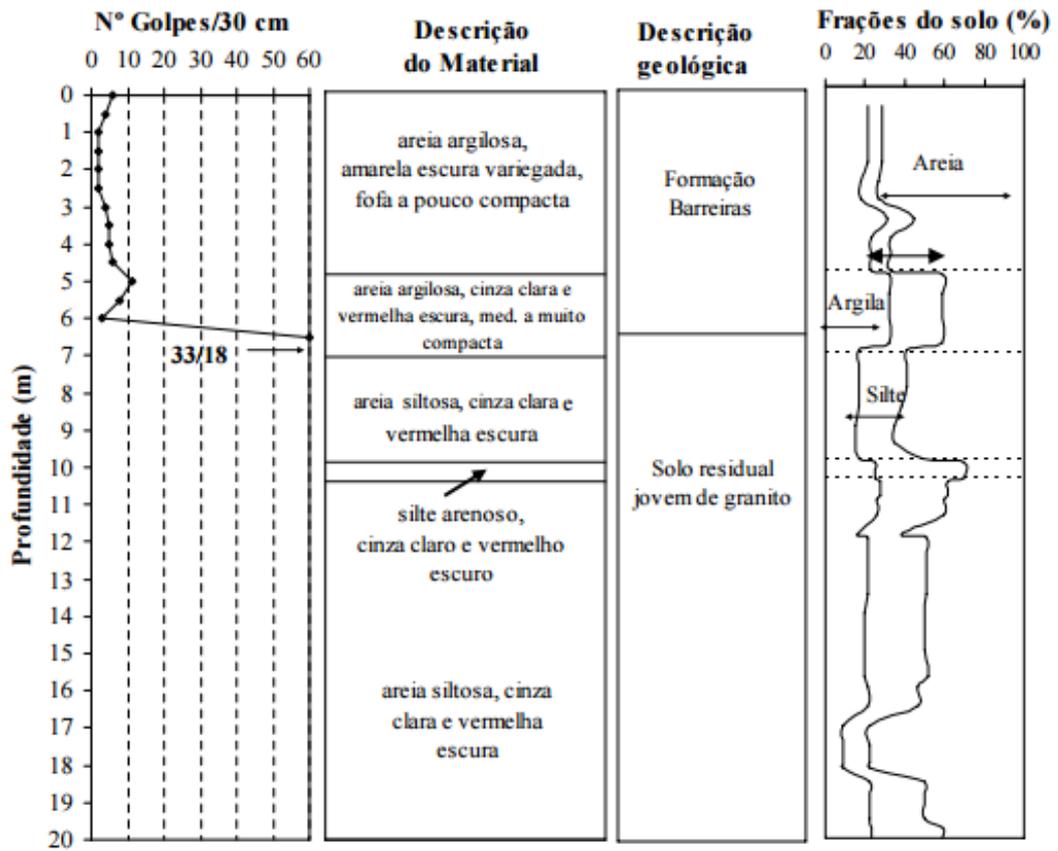
ANEXO

Furo de sondagem SM-01, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



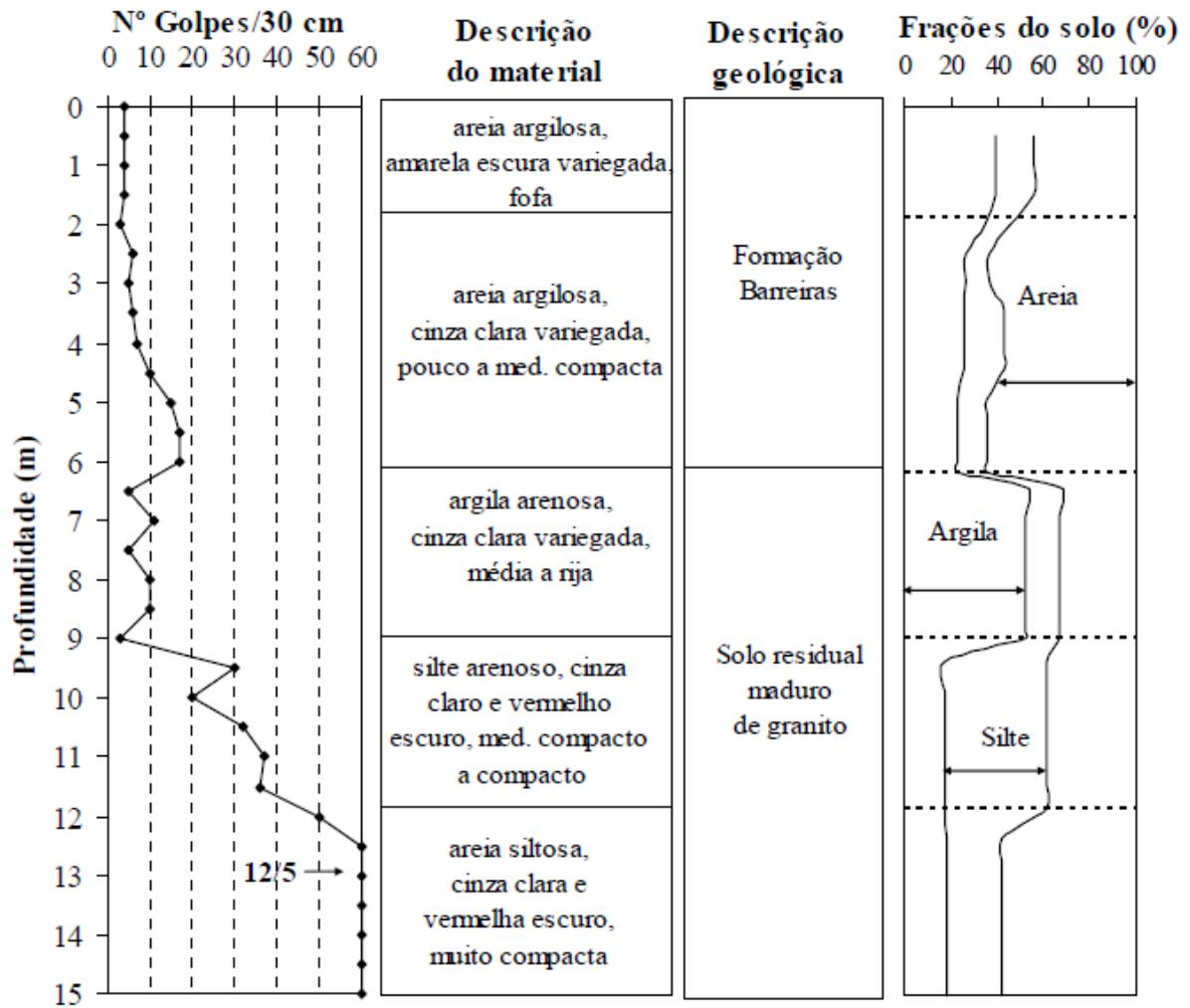
Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SM-02, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



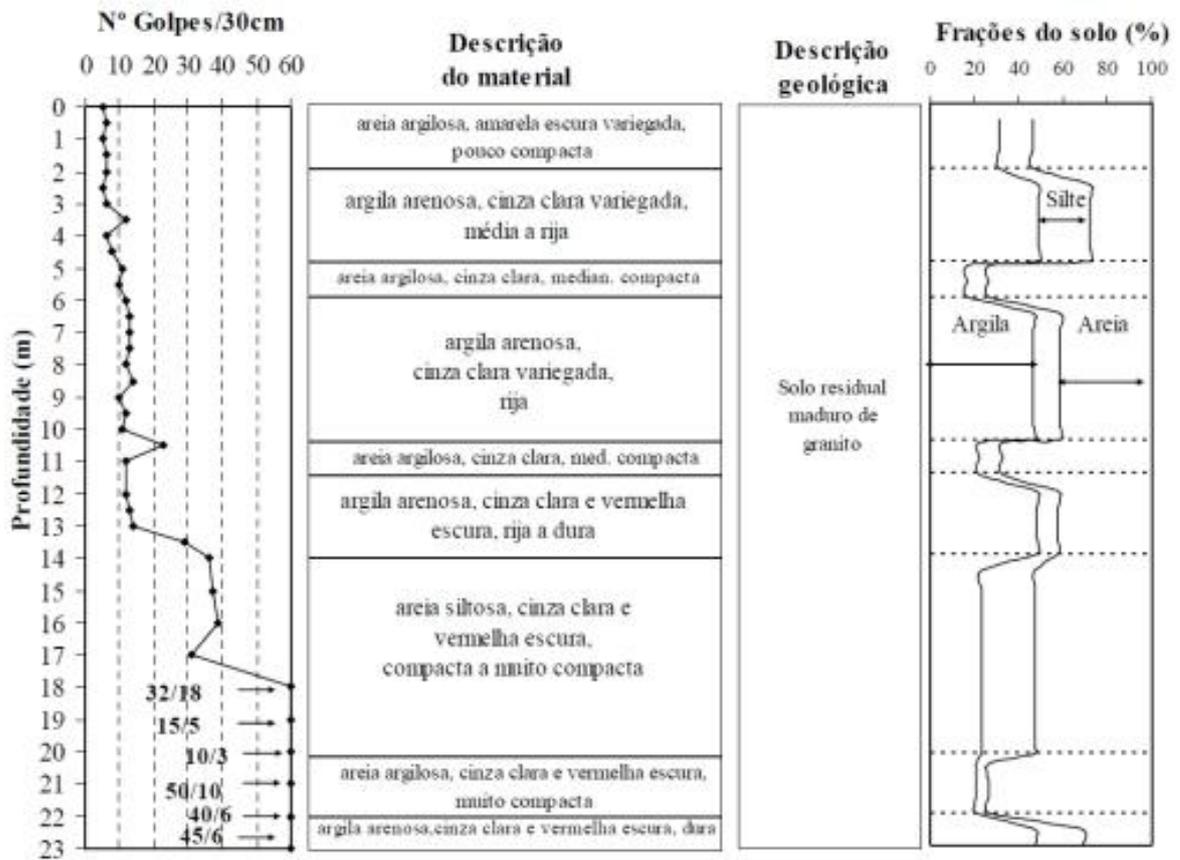
Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SP-01, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



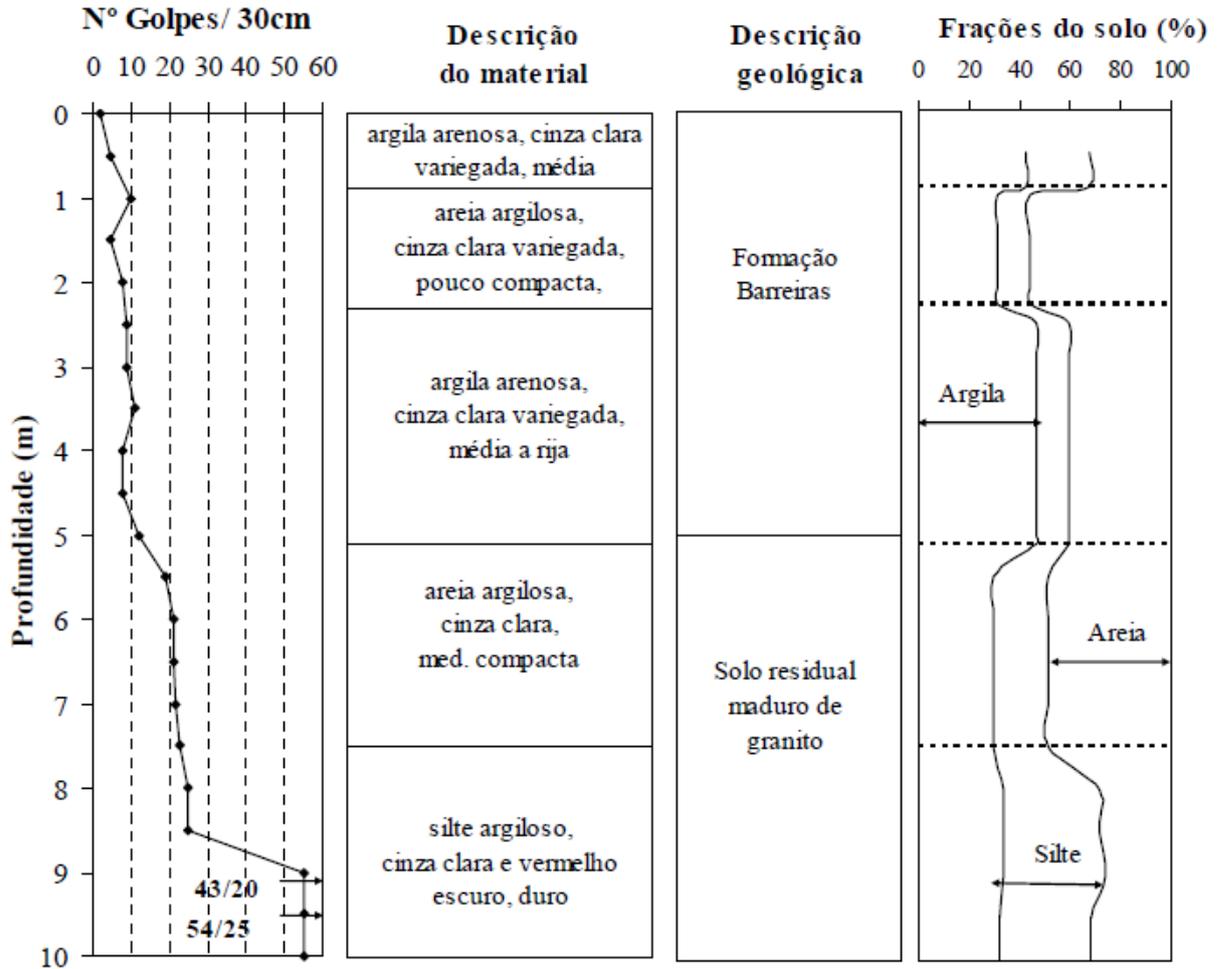
Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SP-02, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



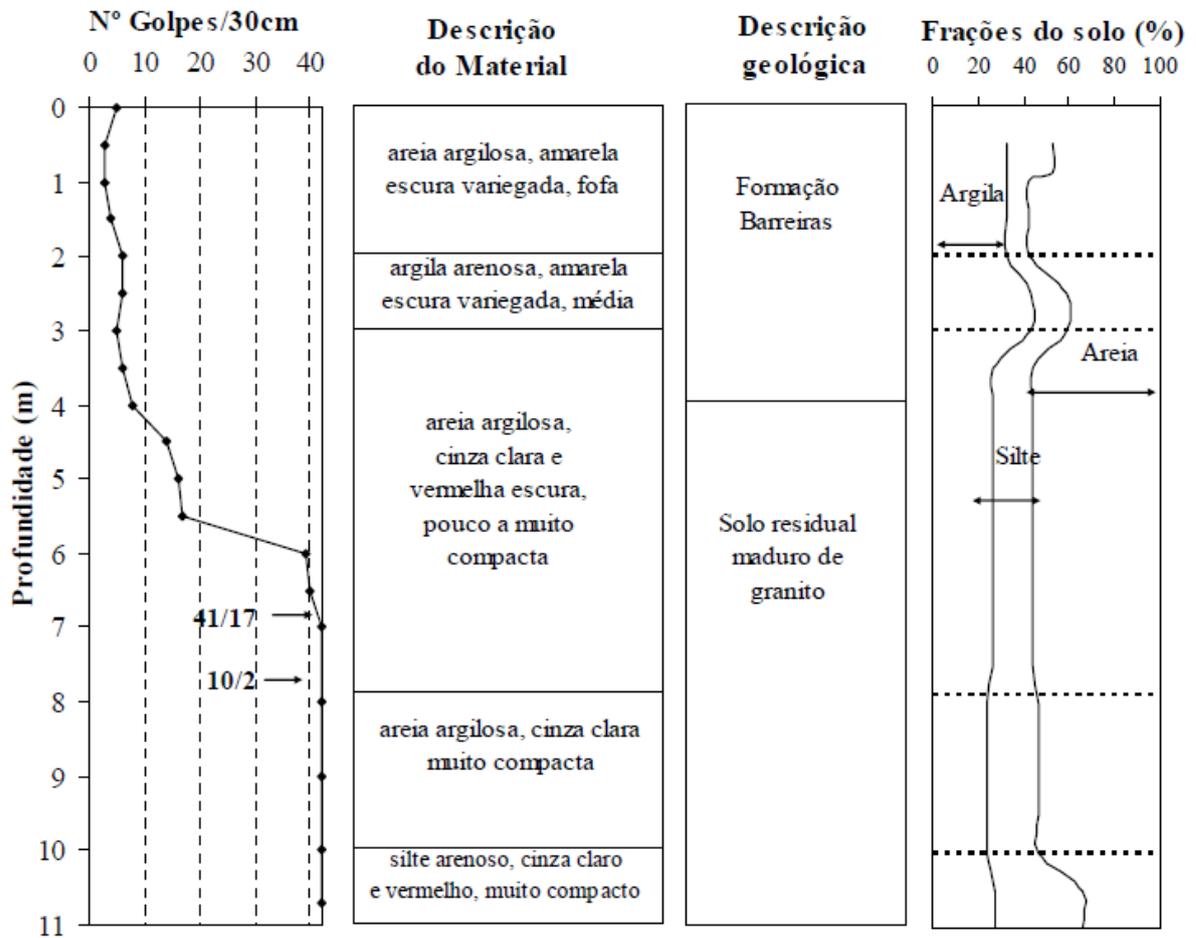
Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SP-03, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



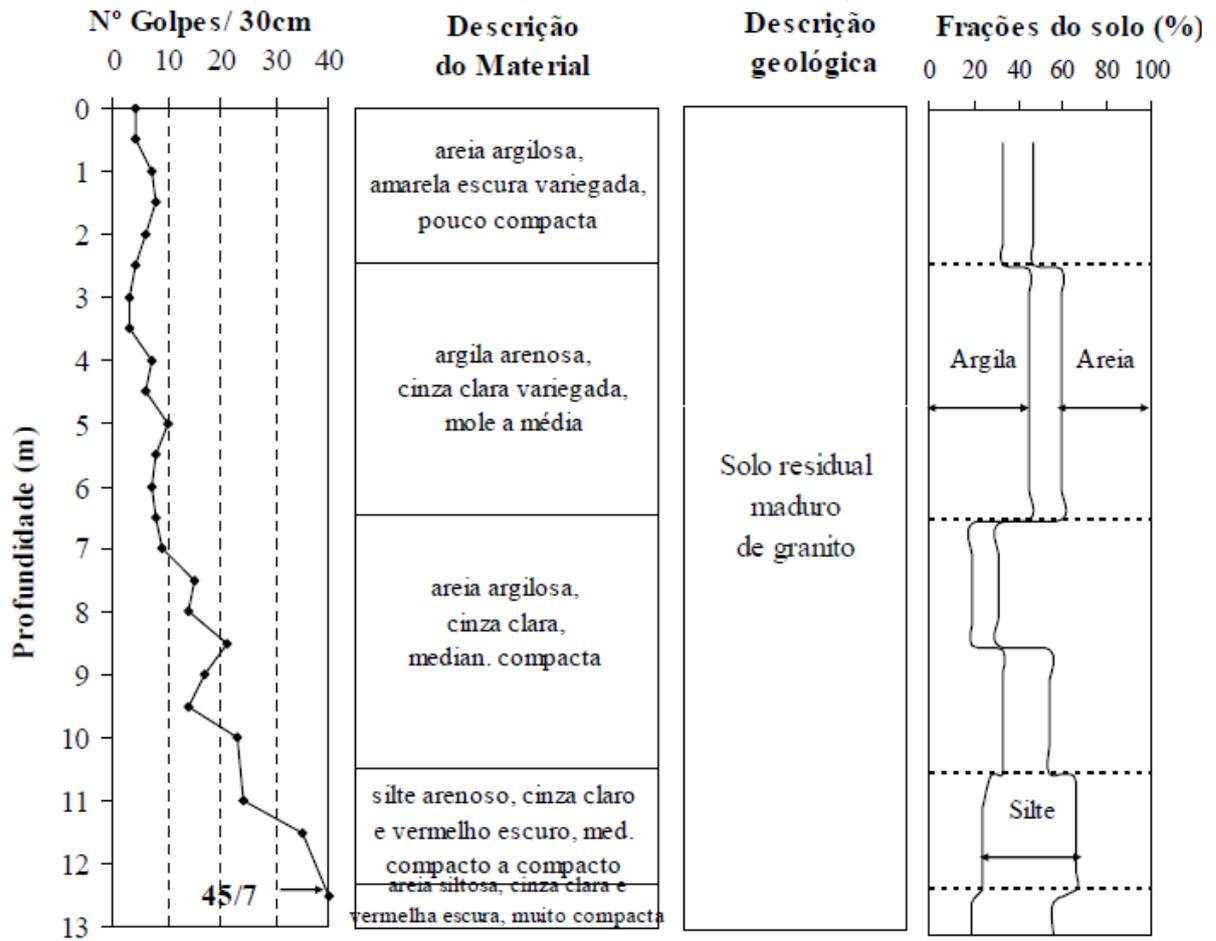
Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SP-04, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



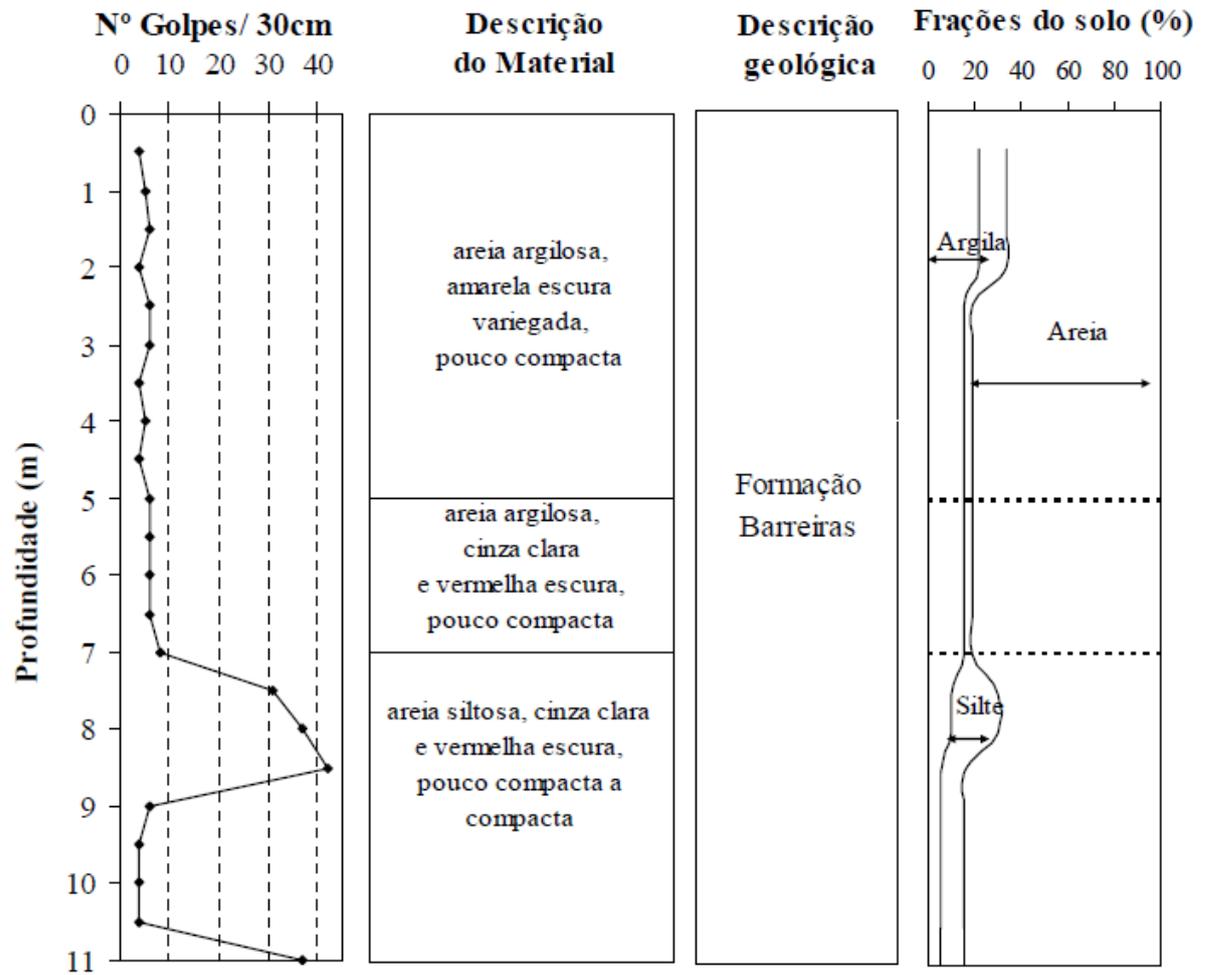
Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SP-05, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



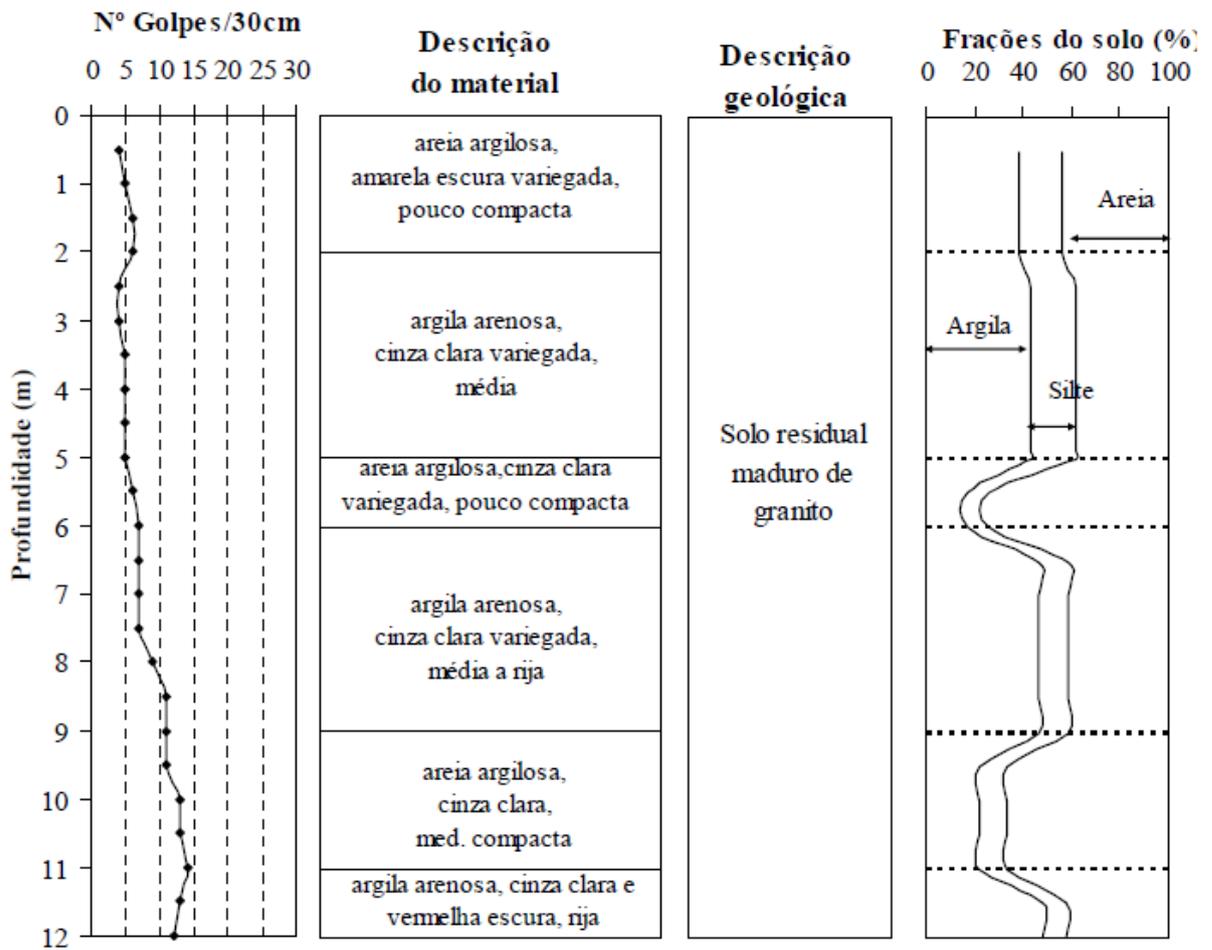
Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SP-06, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



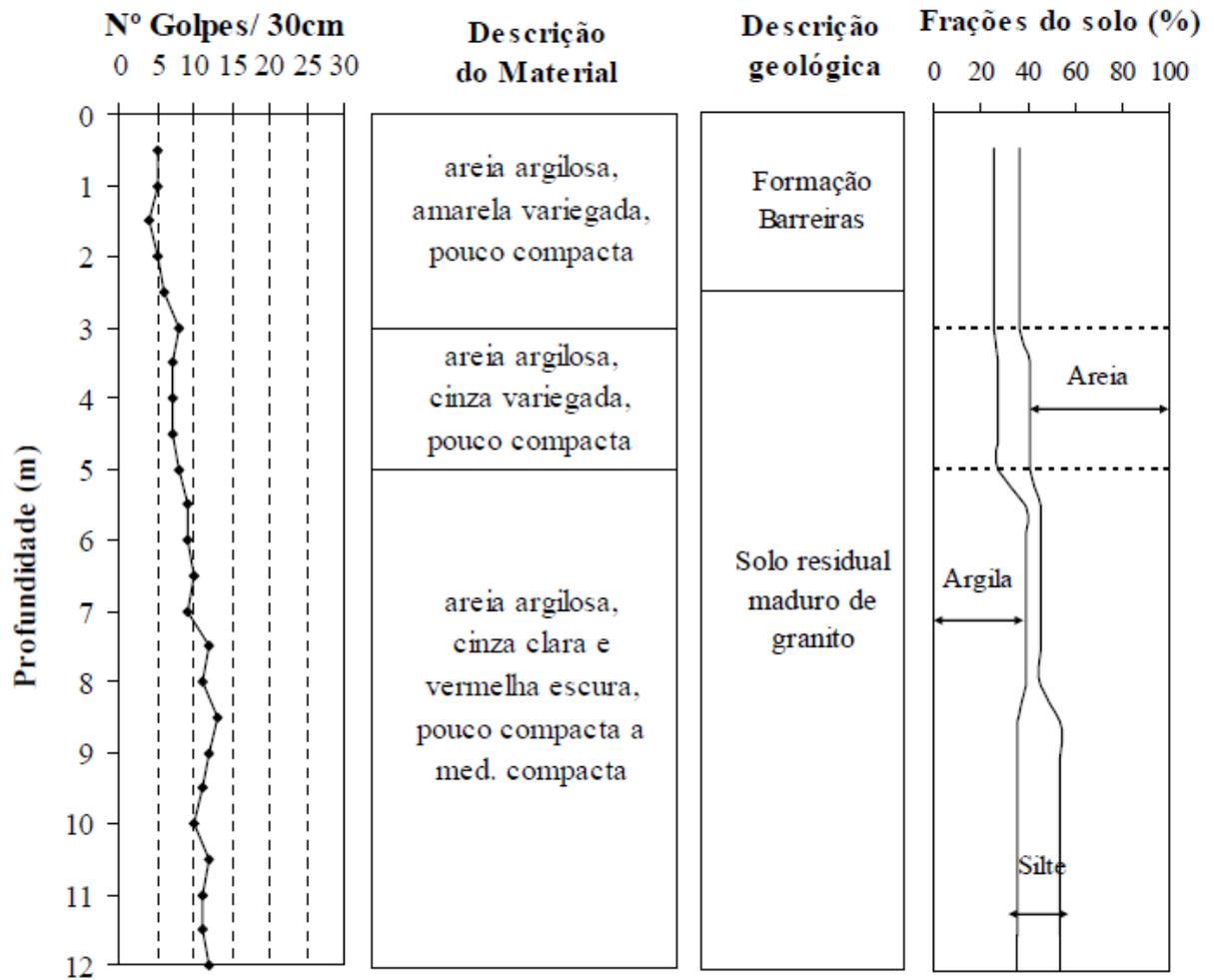
Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SP-07, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



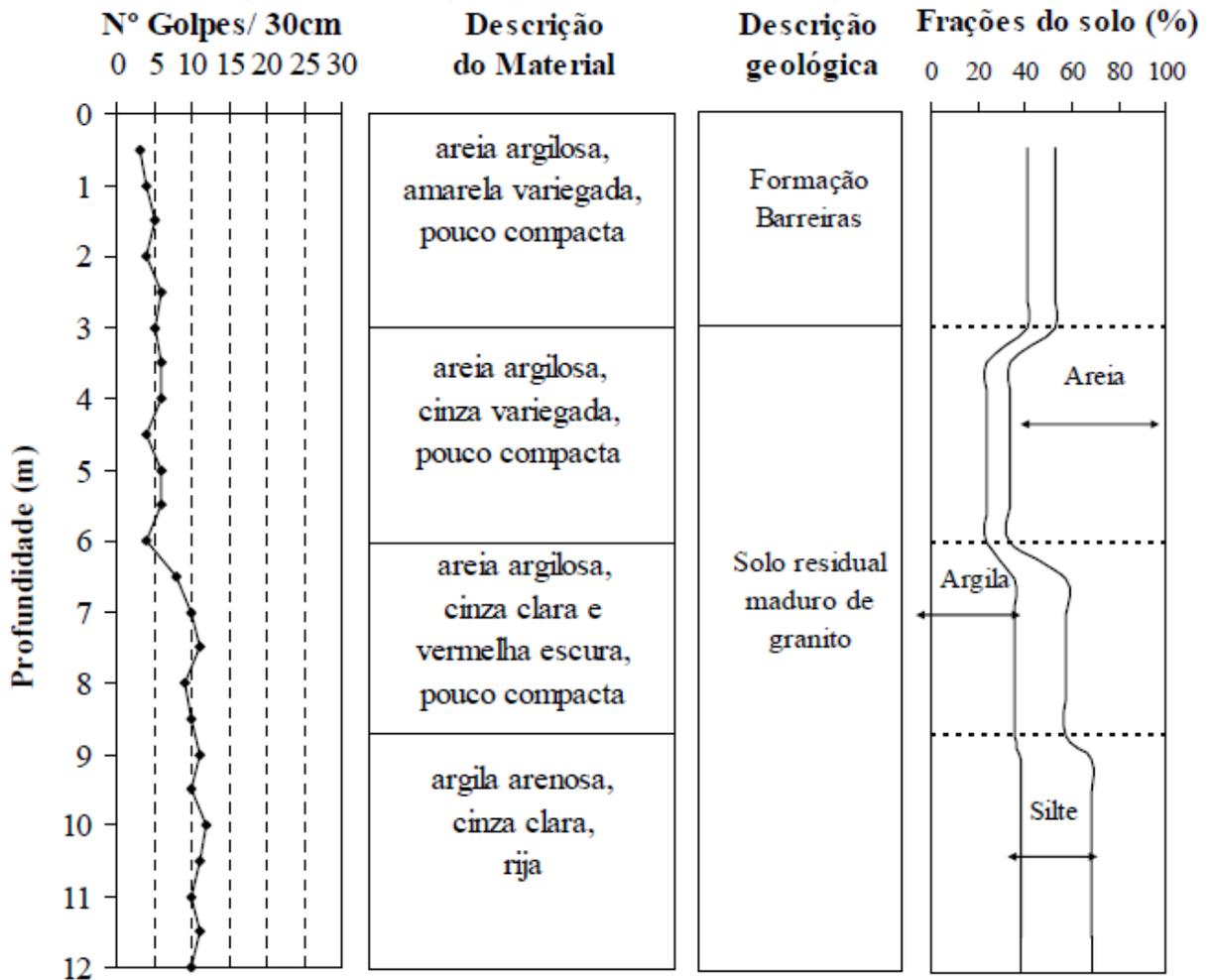
Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SP-09, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010

Furo de sondagem SP-10, com geologia e indicação das frações granulométricas dos solos



Fonte: Silva, 2007 e Coutinho et al., 2010