

FÁBIO CANZIAN

**ESTABILIDADE DE TALUDES:
O PAPEL DA PROTEÇÃO SUPERFICIAL**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

CONSULTA
FD-3341

**São Paulo
2003**

FÁBIO CANZIAN (da Silva)

**ESTABILIDADE DE TALUDES:
O PAPEL DA PROTEÇÃO SUPERFICIAL**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Prof. Dr. Lindolfo Soares

**São Paulo
2003**



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
TERMO DE JULGAMENTO
DE**

DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos 27 dias do mês de janeiro de 2003, às 10:00 horas, no Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, presente a Comissão Julgadora, integrada pelos Senhores Professores Doutores Lindolfo Soares, orientador do candidato, Wildor Theodoro Hennies e Fábio Taióli, iniciou-se a Defesa da Dissertação de Mestrado do(a) Sr(a) **FÁBIO CANZIAN DA SILVA.**

Título da Dissertação: **"ESTABILIDADE DE TALUDES: O PAPEL DA PROTEÇÃO SUPERFICIAL"**

Concluída a argüição, procedeu-se ao julgamento na forma regulamentar, tendo a Comissão Julgadora considerado o(a) candidato(a):

- Prof.Dr.Lindolfo Soares.....(*aprovado*)
- Prof.Dr.Wildor Theodoro Hennies.....(*aprovado*)
- Prof.Dr.Fábio Taióli.....(*APROVADO*)

Para constar, é lavrado o presente termo, que vai assinado pela Comissão Julgadora e pela Secretária de Pós-Graduação.

São Paulo, 27 de janeiro de 2003.
A COMISSÃO JULGADORA

[Handwritten signature]

 Wildor Theodoro Hennies

Secretária: Maria Cristina Vígolo *[Handwritten signature]*
Obs: Resolução 4476, de 17.09.1997 Altera dispositivos do Regimento Geral da USP Art.109 - Imediatamente após o encerramento da argüição da dissertação ou da tese cada examinador expressará seu julgamento em sessão secreta, considerando o candidato aprovado ou reprovado.

Homologado pela C.P.G. em reunião realizada 29/01/03.

130p.

Aos meus pais,
exemplos de dedicação
e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Lindolfo Soares, pela orientação precisa, dedicação e entusiasmo.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelo acolhimento e fornecimento de subsídios para a elaboração dessa dissertação.

Ao programa de bolsas da CAPES, indispensável no início dos trabalhos.

Às bibliotecárias Maria Cristina Martinez Bonesio e Elaine Grava pelo apoio durante todo o estudo.

Ao amigo Eng. Florestal Edilson Fazzio, pelas empolgantes conversas sobre a flora e suas espécies.

Ao amigo Luiz Ferreira Vaz, pelas críticas (inúmeras) e sugestões ao longo do trabalho e da vida.

À Maria que, com ouvidos atentos e olhares interessados, suportou bravamente minhas conversas sobre o tema; coisas que só o amor explica.

ERRATA

PÁGINA	LINHA	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
8	12 ^a	Rahardjo & Toll (2002)	Rahardjo <i>et al.</i> (2002)
24	9 ^a	sobreposto	sotoposto
29	2 ^a	DAEE/IPT (1990)	DAEE (1990)
31	29 ^a	buscas	bruscas
67	20 ^a	eminente	iminente
90	3 ^a	ao	o
111	6 ^a	eliminado	eliminando
112	3 ^a	um	uma
116	10 ^a	fixando-os	fixando-as
118	1 ^a	COSIDERAÇÕES	CONSIDERAÇÕES
125	29 ^a	Koener, R.M	Koerner, R.M
126	25 ^a	cronrol	control

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE FOTOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 MOVIMENTOS DE MASSA.....	3
2.1 CLASSIFICAÇÕES DOS MOVIMENTOS DE MASSA.....	3
2.1.1 <i>Rastejo</i>	6
2.1.2 <i>Escorregamentos</i>	8
2.1.3 <i>Quedas</i>	12
2.1.4 <i>Corridas</i>	15
2.2 CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA	18
2.2.1 <i>Geologia</i>	21
2.2.2 <i>Geomorfologia</i>	28
2.2.3 <i>Clima</i>	31
2.2.4 <i>Cobertura vegetal</i>	38
2.2.5 <i>Ação antrópica</i>	49
3 ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES	52
3.1 GEOMETRIA DO TALUDE	53
3.1.1 <i>Características geomecânicas do maciço</i>	54
3.1.2 <i>Estruturas do maciço</i>	55
3.1.3 <i>Perfil de intemperismo</i>	56
3.1.4 <i>Presença de água</i>	57
3.2 O MACIÇO COMPONENTE.....	59
3.3 O SISTEMA DE DRENAGEM.....	61
3.3.1 <i>Drenagem superficial</i>	61
3.3.2 <i>Drenagem subterrânea</i>	64
3.4 A PROTEÇÃO SUPERFICIAL.....	67
4 TIPOS DE REVESTIMENTO.....	72
4.1 IMPERMEABILIZANTES.....	72
4.1.1 <i>Taludes com alto grau de inclinação</i>	72
4.1.2 <i>Dificuldade de acesso</i>	74
4.1.3 <i>Necessidade de proteção imediata</i>	75
4.1.4 <i>Maciços heterogêneos</i>	75
4.1.5 <i>Superfícies irregulares</i>	76
4.1.6 <i>Taludes em rocha fragmentada</i>	76
4.1.7 <i>Maciços empastilhados</i>	76
4.2 MATERIAL GRANULAR	78
4.2.1 <i>Estética</i>	79
4.2.2 <i>Drenabilidade</i>	80
4.2.3 <i>Resistência e durabilidade</i>	81
4.2.4 <i>Peso específico</i>	81
4.2.5 <i>Rapidez na proteção</i>	82

4.2.6	<i>Clima</i>	82
4.2.7	<i>Formas de utilização</i>	83
4.3	VEGETAIS.....	91
4.3.1	<i>Facilidade de implantação</i>	91
4.3.2	<i>Estética</i>	92
4.3.3	<i>Adaptação ao ambiente</i>	92
4.3.4	<i>Estabilização do talude</i>	93
4.3.5	<i>Tipos de revestimento vegetais</i>	97
4.3.6	<i>Formas de aplicação</i>	103
4.4	GEOSINTÉTICOS.....	113
4.4.1	<i>Geotêxteis</i>	114
4.4.2	<i>Geogrelhas</i>	115
4.4.3	<i>Geocélulas</i>	115
4.5	TELAS METÁLICAS.....	116
5	COSIDERAÇÕES FINAIS	118
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos movimentos de massa.	04
Quadro 2 - Classificação dos movimentos em encostas.	05
Quadro 3 - Velocidade do movimento.	16
Quadro 4 - Estilo do escorregamento.	17
Quadro 5 - Estado de atividade do movimento.	17
Quadro 6 - Agentes e fenômenos causadores de escorregamentos.	19
Quadro 7 - Tipos de agentes condicionantes aos movimentos de massa.	21
Quadro 8 - Classificação de maciços fraturados segundo o índice Q.	28
Quadro 9 - Efeitos da vegetação na estabilidade de encostas e taludes de corte.	40
Quadro 10 - Principais interferências antrópicas indutoras de escorregamento.	49
Quadro 11 - Conseqüências da falta de proteção superficial.	69
Quadro 12 - Espécies de leguminosas para uso em estabilização de taludes.	99
Quadro 13 - Arbustos para uso em estabilização de taludes.	100
Quadro 14 - Espécies arbóreas para o uso em estabilização de taludes.	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Indícios de movimento de rastejo.	06
Figura 2 - Rastejo de caráter plástico.	07
Figura 3 - Escorregamento planar típico.	09
Figura 4 - Perfil típico esquemático de uma ruptura do tipo planar.	09
Figura 5 - Escorregamento do tipo rotacional.	11
Figura 6 - Perfil típico esquemático de uma ruptura do tipo rotacional.	11
Figura 7 - Deslocamento de bloco devido à planos de fraqueza com direções desfavoráveis.	12
Figura 8 - Quedas.	13
Figura 9 - Tombamentos.	13
Figura 10 - Rolamentos.	14
Figura 11 - Desplacamentos.	15
Figura 12 - Planos com preenchimento biotítico comuns em gnaisses bandados.	25
Figura 13 - Percolação da água em maciços fraturados.	26
Figura 14 - Ruptura com cinemática circular em rocha extremamente fraturada.	27
Figura 15 - Modelo de evolução geomorfológica a partir de um escorregamento rotacional.	30
Figura 16 - Efeito alavanca de árvores sob a ação de ventos.	33
Figura 17 - Alteamento do N.A. gerando pressões neutras em massa de solo homogêneo.	34
Figura 18 - Esforços cisalhantes gerados por coluna d'água em discontinuidades rochosas durante chuva intensa.	35
Figura 19 - Frentes de saturação causando a redução da coesão aparente pela perda dos meniscos.	35
Figura 20 - Escorregamento devido à evolução de erosão.	36
Figura 21 - Correlação entre a intensidade da chuva, o volume acumulado e a ocorrência de escorregamentos.	37

Figura 22 - A influência da estanqueidade das juntas no acúmulo de água e formação de pressões hidrostáticas.	38
Figura 23 - Dano causado pelo impacto da gota de chuva sobre a superfície do terreno nu e a proteção proporcionada pela vegetação.	41
Figura 24 - Relação entre interceptação, intensidade e precipitação.	41
Figura 25 - Atuação da cobertura vegetal no balanço hídrico de uma encosta.	43
Figura 26 - Relação entre acréscimo de resistência ao cisalhamento e densidade de raízes.	44
Figura 27 - Influência da profundidade das raízes na estabilidade de um talude.	45
Figura 28 - Atuação das árvores como barreira à descida de detritos.	47
Figura 29 - Variação da estabilidade de uma encosta ao longo do tempo antes e depois do desmatamento.	49
Figura 30 - Escorregamento causado pelo corte inadequado do maciço.	51
Figura 31 - Elementos componentes da geometria de um talude de corte.	54
Figura 32 - Relação entre ângulo das estruturas internas e altura máxima do talude de corte.	56
Figura 33 - Exemplos de geometrias diferentes para tipos de solos diferentes.	56
Figura 34 - Variação da geometria devido à diferenças de permeabilidade.	57
Figura 35 - Perfil de intemperismo para regiões tropicais.	59
Figura 36 - Tipos de canaletas.	62
Figura 37 - Escada dissipadora e caixa coletora.	63
Figura 38 - Valeta de rebaixamento.	64
Figura 39 - Drenos horizontais profundos (DHP's).	65
Figura 40 - Sistema de rebaixamento por ponteiras filtrantes.	66
Figura 41 - Rebaixamento por drenos cegos.	67

Figura 42 - Aplicação de concreto projetado.	75
Figura 43 - Instabilização de blocos devido ao empastilhamento.	77
Figura 44 - Perfil geológico esquemático de uma várzea aluvionar na RMSP.	80
Figura 45 - Pano de pedra.	84
Figura 46 - Esquema de instalação de um colchão Reno®.	87
Figura 47 - Forma de enraizamento das gramíneas.	97
Figura 48 - Uso de arbustos na recomposição de talude.	100
Figura 49 - Tipos de raízes de árvores.	101
Figura 50 - Semeadura manual.	104
Figura 51 - Aplicação de grama em placas.	107
Figura 52 - Tela plástica, tipo geogrelha, para grama armada.	109
Figura 53 - Tipos de biotelas e biomantas.	111
Figura 54 - Estabilização e revegetação com sacos de linhagem.	113
Figura 55 - Tipos de geotêxteis.	114
Figura 56 - Geocélula.	115
Figura 57 - Geocélula aplicada com vegetação.	116

LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Troncos de árvores curvados devido a movimentos de rastejo do solo.	07
Foto 2 - Trinca de tração na crista de um escorregamento planar.	10
Foto 3 - Material grosseiro acumulado em drenagem após uma corrida (<i>debris flow</i>).	15
Foto 4 - Resultado de uma corrida na cidade de Los Corales, Venezuela (dez./99).	16
Foto 5 - Blocos rochosos isolados durante o intemperismo.	23
Foto 6 - Escorregamento circular em terreno sedimentar.	23
Foto 7 - Queda de blocos de rocha sedimentar em clima árido (Bacia do Parnaíba, Piauí).	24
Foto 8 - Escorregamento em solo devido às estruturas reliquiares.	26
Foto 9 - Serra do Mar, próximo à Caraguatatuba, mostrando antigas cicatrizes de escorregamentos longe da ação antrópica.	30
Foto 10 - Serra de Caraguatatuba parcialmente reflorestada com espécimes de pinus.	46
Foto 11 - Erosão em talude com indicação do traçado de canaleta de drenagem (1996).	68
Foto 12 - Mesmo local apresentando avanço da cicatriz de erosão até a canaleta (2002).	68
Foto 13 - Talude revestido com concreto projetado e sem dispositivos de drenagem adequados.	70
Foto 14 - Talude parcialmente revestido com concreto projetado cuja concentração de água causa erosão nas porções desprotegidas.	71
Foto 15 - Imprimação asfáltica garantindo a proteção do talude do maciço de fundação de torre de transmissão.	73
Foto 16 - Aplicação de concreto projetado com tela.	74
Foto 17 - Talude protegido com enrocamento rochoso.	79
Foto 18 - Crescimento de vegetação em meio ao revestimento granular.	79
Foto 19 - Talude experimental revestido com macambira.	83

Foto 20 - Aplicação do pano de pedra.	84
Foto 21 – Enrocamento de proteção (rip-rap).	85
Foto 22 - Talude protegido com colchão Reno®.	86
Foto 23 – Recobrimento de colchão Reno® com argamassa sobre transição de brita.	88
Foto 24 - Canal de restituição da UHE Chavantes revestido com pedra amarrada.	89
Foto 25 - Talude revestido com paralelepípedo.	90
Foto 26 - Talude revestido com gramíneas em meio à Mata Atlântica.	92
Foto 27 - Talude em Mata Atlântica revestido somente com grama em 1997 (foto de novembro de 2002).	93
Foto 28 – Escorregamento em encosta revegetado somente no terço superior.	95
Foto 29 - Corte em solo de alteração intensamente ravinado. Notar a porção superior preservada.	95
Foto 30 - Talude do Instituto de Química da USP revegetado com leiras.	105
Foto 31 - Aplicação de hidrossemeadura em talude rodoviário.	106
Foto 32 - Aspersão da mistura em superfície covada.	106
Foto 33 – Espaçamento excessivo entre as placas de grama provocando o surgimento de sulcos erosivos.	108
Foto 34 – Escorregamento e erosão em talude inicialmente protegido com grama armada.	110
Foto 35 - Exemplo de aplicação de biomanta.	111
Foto 36 - Ruptura em talude protegido por biomanta.	112
Foto 37 - Aplicação de tela metálica.	116

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma descrição dos diversos tipos de revestimentos empregados em taludes naturais e de corte, tanto em rocha como em solo, mostrando as características básicas de cada um, seu método executivo, suas vantagens e desvantagens. Servindo como embasamento para a escolha do tipo de revestimento mais propício para cada situação, o trabalho apresenta uma introdução aos tipos de movimentos de massa ocorrentes em taludes, mostrando suas classificações e os diversos condicionantes envolvidos.

ABSTRACT

The present work presents a description of several types of revetments applied in natural and cutting slopes, in rock and soil, showing the basic characteristics of each one, its executive method, its advantages and disadvantages. In order to help the choice of the best revetment for each situation, this work presents an introduction to the types of mass movements, showing its classifications and the several conditions involved.

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo a engenharia tem buscado criar e desenvolver diversos métodos e técnicas para manter taludes naturais e de escavação definitiva estáveis por períodos indefinidamente longos. Essa preocupação fundamenta-se não só na busca em manter os índices de segurança inalterados mas também almeja mantê-los com suas características estéticas e funcionais igualmente preservadas.

A concepção de um projeto de escavação e posterior estabilização ou a recuperação de áreas instabilizadas, sejam elas em solo ou em rocha, deve sempre partir dessas duas premissas: a segurança e a durabilidade.

A durabilidade indefinida depende da solução proposta e da qualidade da intervenção executada. Autores como Guidicini & Nieble (1984), Wolle (1980), Carvalho (1991), Augusto Filho & Virgili (1998), GEORIO (2000), entre outros mostram que, fundamentalmente, existem quatro mecanismos que, associados, podem garantir essas duas premissas: a geometria do talude, o reforço do maciço, o sistema de drenagem e a proteção superficial.

O grau de importância comparativa entre esses quatro mecanismos varia de caso a caso podendo, em determinadas situações, terem importância equivalente ou, em outro caso, o papel de um ser preponderante sobre outro.

A definição e a execução do revestimento de um talude de corte muitas vezes são tratadas como medidas acessórias, de menor importância, quando em alguns casos é a proteção superficial que vai, primordialmente, garantir o sucesso da estabilidade do maciço tratado.

Esse trabalho aborda o papel da proteção superficial na segurança e na durabilidade dos talude naturais e de escavação, apresentando as diversas técnicas hoje disponíveis para seu revestimento.

O objetivo do trabalho é o de reunir e apresentar os diversos tipos e técnicas de revestimento de taludes de corte e encostas naturais. Sua proposta é a de fornecer subsídios ao meio técnico para a escolha do melhor método a ser empregado em cada caso específico mostrando a aplicabilidade dos diversos tipos de revestimento, suas

vantagens e desvantagens e, ainda que de forma simplificada, descrever seu método executivo.

Espera-se que, com esses dados, o técnico interessado possa confrontar as diversas opções existentes com o seu caso específico, avaliando a disponibilidade e acessibilidade aos materiais apresentados, o tipo de maciço existente, as condições a que estará sujeito, o custo e, talvez, sua própria capacitação técnica para a execução.

Assim, o trabalho não tem a intenção de esgotar o assunto sobre revestimentos em taludes de corte. Espera-se que, com ele, o interessado possa ao menos desconsiderar soluções absurdas que, infelizmente, ainda são vistas país afora.

Como objetivo secundário, o trabalho tem a intenção de familiarizar o leitor com os processos de instabilização e os condicionantes neles envolvidos, de modo a ter uma compreensão mais ampla do problema e, assim, tomar as medidas mais apropriadas para combatê-lo.

2 MOVIMENTOS DE MASSA

Qualquer tipo de tratamento, seja ele médico ou geotécnico, será proporcionalmente mais eficiente quanto maior for o conhecimento do problema. Nos processos de estabilização de taludes, esse conhecimento deve passar primordialmente pela compreensão dos mecanismos de instabilização envolvidos, tanto para massas já instabilizadas, quanto para às sujeitas à esses processos, e pelos agentes atuantes no processo de instabilização.

Ter o mínimo de compreensão sobre os mecanismos de ruptura, desagregação, empastilhamento, tombamento, erosão, etc., é o primeiro procedimento a ser tomado no processo de proteção ou recuperação de um talude natural ou de corte. Dessa forma, são aqui sucintamente abordados os diversos tipos de processos de instabilização de encostas naturais e artificiais, descrevendo-se a cinemática envolvida e os agentes atuantes.

2.1 Classificações dos Movimentos de Massa

Sabidamente, a melhor maneira de entender e descrever fenômenos variados é organizá-los em um sistema classificatório. Baseados nesse conceito diversos autores vêm propondo sistemas classificatórios para movimentos de massa. Wolle (1980) e, mais recentemente, Rodrigues (1998), fazem um levantamento das diversas proposições para classificações de movimentos de massa. Porém, entre os vários modelos propostos, é o de Varnes (1978) o mais utilizado internacionalmente. Nessa classificação, o autor associa o tipo do movimento ao material envolvido, conforme apresentado no Quadro 1.

Apesar da adoção internacional dessa classificação, sendo inclusive o sistema adotado pela IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment), a classificação de Varnes não aborda processos de subsidências e colapsos, como apresenta Magalhães Freire (1965) *apud* Wolle (1980), ou agentes atuantes no processo de instabilização, como Terzaghi (1950) e ainda os processos erosivos, como Costa Nunes (1969).

Quadro 1 – Classificação dos movimentos de massa.

TIPO DE MOVIMENTO			TIPO DE MATERIAL		
			Rocha	Solo	
				Grossoiro	Fino
Quedas			de rocha	de detritos	de terra
Tombamentos			de rocha	de detritos	de terra
Escorregamentos	Rotacionais	poucas unidades	Abatimento de rocha	abatimento de detritos	abatimento de terra
	Translacionais		De blocos rochosos	de blocos de detritos	de blocos de terra
		muitas unidades	de rocha	de detritos	de terra
Expansões laterais			de rocha	de detritos	de terra
Corridas/escoamentos			de rocha (rastejo profundo)	de detritos (rastejo de solo)	de terra

Complexos: formados pela combinação de dois ou mais dos principais tipo de movimentos

fonte: Varnes (1978).

Cabe ainda lembrar o trabalho de Wolle (1988a) no qual o autor separa os escorregamentos do tipo translacional em duas categorias em função da ação da elevação ou não no nível d'água.

A mais recente proposta de classificação brasileira é a de Augusto Filho (1992a e 1994), onde o autor separa os movimentos segundo a cinemática envolvida. Baseada na experiência nacional, essa classificação descreve os processos atuantes em meio tropical, sendo mais voltada à instabilizações de encostas naturais. Um exemplo dessa classificação pode ser observado no Quadro 2.

A principal vantagem da classificação de Augusto Filho (*op cit.*) talvez seja sua simplicidade, uma vez que, em apenas quatro grupos, o autor consegue agrupar todos os processos de movimento de massa comumente encontrados em nosso País, apesar de não incluir os recalques, as subsidências e os colapsos.

Quadro 2 – Classificação dos movimentos em encostas.

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO / MATERIAL / GEOMETRIA
RASTEJOS (CREEP)	<ul style="list-style-type: none"> • vários planos de deslocamento (internos) • velocidades muito baixas a baixas (cm/ano) e decrescentes com a profundidade • movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • em solo, depósitos, rochas alteradas/fraturadas • geometria indefinida
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	<ul style="list-style-type: none"> • poucos planos de deslocamento (externos) • velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • pequenos e grandes volumes • geometria e materiais variados • <u>Planares</u> – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza • <u>Circulares</u> – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas • <u>Em cunha</u> – solos e rochas com dois planos de fraqueza
QUEDAS (FALLS)	<ul style="list-style-type: none"> • sem planos de deslocamento • movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado • velocidades muito altas (vários m/seg.) • material rochoso • pequenos a médios volumes • geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. <p><u>Rolamento de matacões</u></p> <p><u>Tombamento</u></p>
CORRIDAS (FLOWS)	<ul style="list-style-type: none"> • muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimento) • movimento semelhante ao de um líquido viscoso • desenvolvimento ao longo de drenagens • velocidades médias a altas • mobilização de solo, rocha, detritos e água • grandes volumes de material • extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

fonte: Augusto Filho (1992a e 1994).

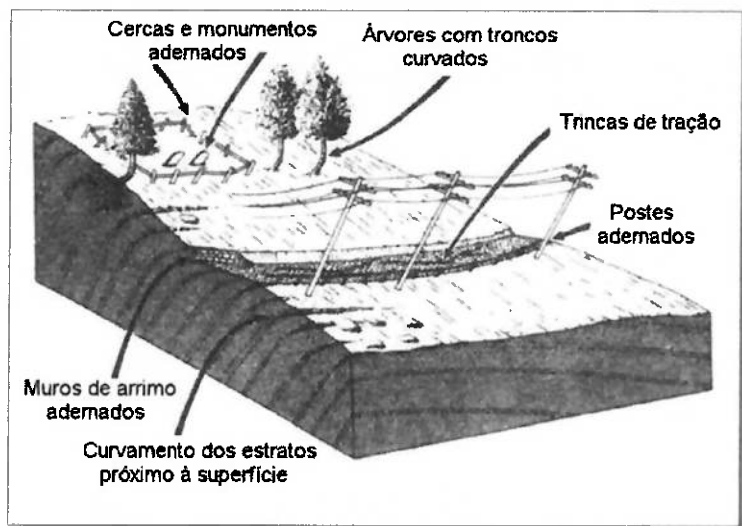
A seguir são exemplificados os diversos tipos de movimentos de massa segundo essa classificação. Sua escolha deve-se à simplicidade com a qual uniformiza os movimentos de massa em apenas quatro grupos.

Vale lembrar que outros tipos de movimentos, como recalques, subsidências e colapsos, foram aqui suprimidos devido ao enfoque voltado à estabilidade de encostas e de taludes de corte.

2.1.1 Rastejo

Os rastejos consistem em um movimento de massa de solo com cinemática descendente, lenta e contínua. A velocidade pode variar de mm a cm/ano, sendo decrescentes em profundidade e ligeiramente maiores nas épocas chuvosas. Apresentam uma deformação disforme e sem desenvolvimento de uma superfície definida de ruptura.

A velocidade de rastejo pode ser tão lenta que árvores podem crescer encurvando seu tronco de modo a compensar o adernamento causado pelo movimento (Figura 1 e Foto 1).

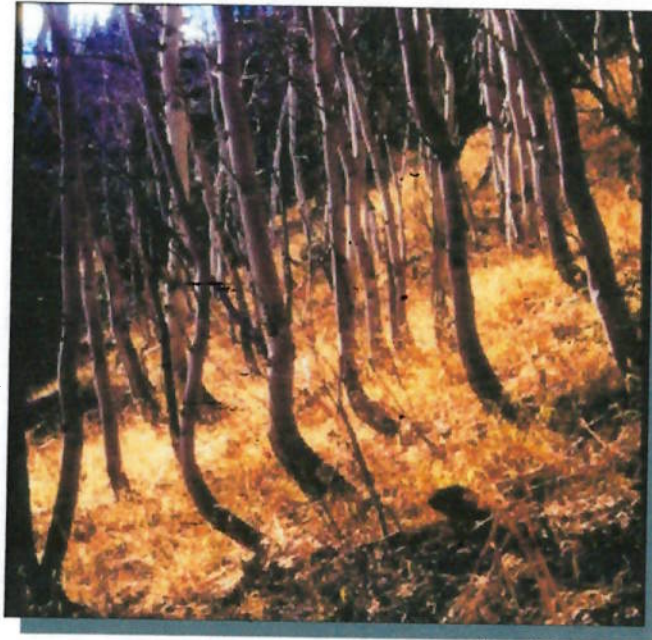


fonte: Bloom (1988) *apud* Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998), modificado.

Figura 1 – Indícios de movimento de rastejo.

Atuam sobre horizontes superficiais de solo e em transições de solo/rocha, podendo ocorrer em depósitos de colúvio e, mais comumente, em corpos de talus. De difícil controle, justamente devido ao volume de massa envolvido e a falta de uma geometria definida, os rastejos, ao contrário de outros tipos de movimento, demoram

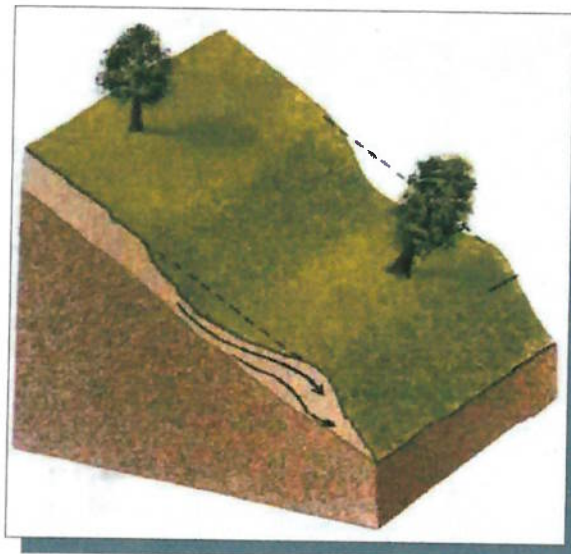
a atingir um estado de equilíbrio que cesse o movimento, podendo, muitas vezes, evoluírem para escorregamentos.



fonte: NOAA (2002).

Foto 1 – Troncos de árvores curvados devido a movimentos de rastejo do solo.

Alguns rastejos apresentam massas com comportamento plástico, tornando-os mais difíceis ainda de serem reconhecidos no campo, uma vez que, devido ao caráter dúctil da massa, nem sempre ocorre o aparecimento de trincas de tração indicativas de movimento. Porém, são perceptíveis pela visualização de postes, árvores e muros inclinados e por “embarrigamentos” do terreno (Figura 2).



fonte: Keller (1996).

Figura 2 – Rastejo de caráter plástico.

Normalmente associados à corpos de tálus, os rastejos são francamente dependentes do regime higrológico e de alterações na geometria do massa, principalmente em sua base (Wolle, 1988b).

2.1.2 Escorregamentos

Diferentemente dos rastejos, os escorregamentos caracterizam-se pela existência de uma superfície externa de ruptura definida, única ou formada pela associação de duas ou mais, e pela maior velocidade de deslocamento da massa mobilizada. Sua cinemática é fundada em esforços de cisalhamento, onde a massa se mobiliza para fora e, conseqüentemente, para baixo da superfície original.

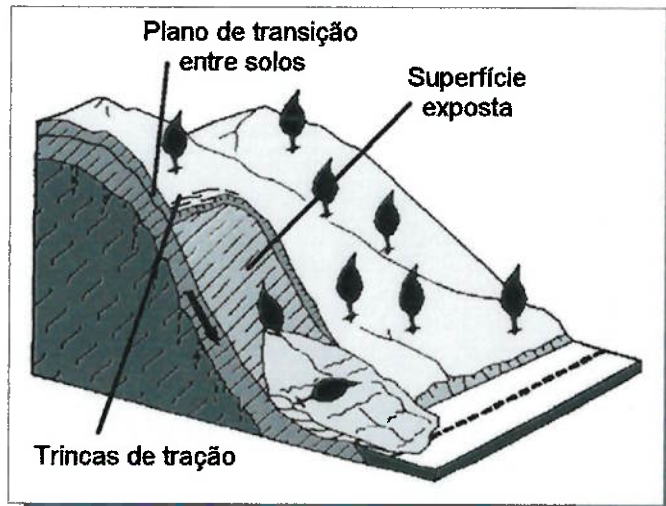
Ao contrário dos rastejos, os escorregamentos são eventos pontuais deflagrados num momento definido. Autores como Costa Nunes (1969), Guidicini & Iwasa (1976), Tatizana *et al.* (1987a e b), Martinez (1999) e Rahardjo & Toll (2002) fazem estreitas correlações entre o regime de chuvas e o desencadeamento de um ou vários escorregamentos, demonstrando tratarem-se de eventos conseqüentes à períodos de grandes precipitações acumuladas seguidos ou não por chuvas intensas.

Como apresentado anteriormente, Augusto Filho (1992a e 1994) separa os escorregamentos em três tipos distintos em função da geometria da ruptura. São eles os escorregamentos planares ou translacionais, os circulares ou rotacionais e os em cunha.

2.1.2.1 *Planares ou translacionais*

Muito comum em regiões serranas, inclusive na Serra do Mar, os escorregamentos planares desenvolvem-se a partir de superfícies ou planos de fraqueza definidos. Esses planos, de disposição espacial desfavorável à estabilidade do talude ou da encosta, podem ter sua origem vinculada à pré-estruturação do maciço (fraturas, xistosidades, foliações, falhas, etc.) ou, mais freqüentemente, à estratificação resultante do perfil de intemperismo (Terzaghi, 1950; Wolle, 1980, 1981, 1986 e 1988b; Wolle & Pedrosa, 1981; Guidicini & Nieble, 1984; Tatizana *et al.*, 1987a e b Augusto Filho; 1992a e 1994; Carregã, 1996; entre outros).

Seu movimento cisalhante desloca a massa superior do maciço através de um plano inclinado, deixando-o exposto ao final do movimento (Figura 3).



fonte: Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), modificado.

Figura 3 – Escorregamento planar típico.

São, em geral, movimentos fáceis de serem identificados devido à geometria característica, além de outras feições típicas, tais como trincas de tração remanescentes e taludes em negativo na crista da ruptura (Figura 4).

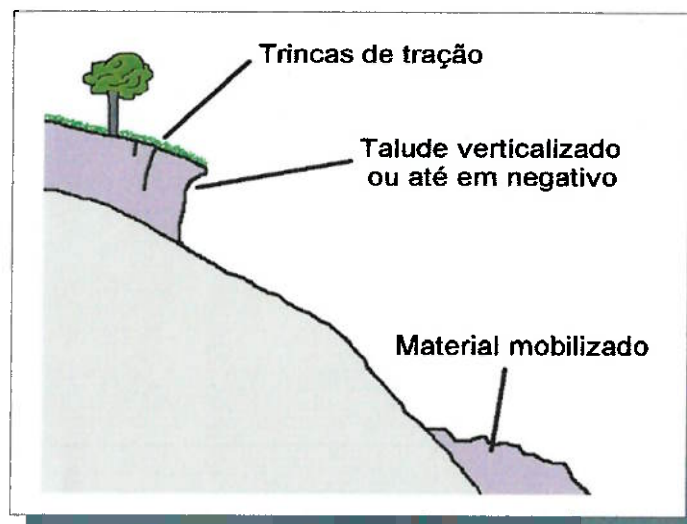


Figura 4 – Perfil típico esquemático de uma ruptura do tipo planar.

Devido à crista verticalizada e ao surgimento de trincas de tração, após o escorregamento sua crista passa a ficar exposta a outros tipos de instabilizações, como o tombamento abordado no item 2.1.3.2. A Foto 2 mostra um exemplo de trinca de tração na crista de um escorregamento translacional em solo saprolítico.



foto: do autor.

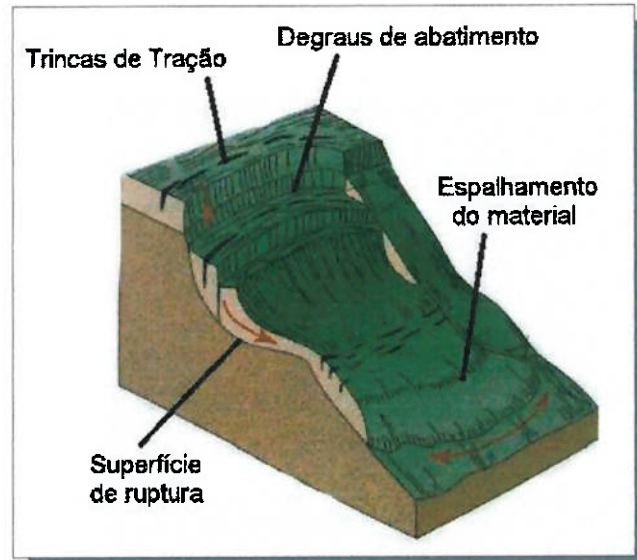
Foto 2 – Trinca de tração na crista de um escorregamento planar.

2.1.2.2 *Circulares ou rotacionais*

Caracterizam-se pela instalação de uma superfície de ruptura curva, até circular, sendo comum a formação de várias superfícies conjugadas e degraus de abatimento na massa escorregada (Figura 5). São movimentos de massa típicos de aterros e de horizontes de solo espessos devido à homogeneidade do material. Sua forma circular, com o centro do círculo fora da massa escorregada, causa uma relação volume/área bem maior que o planar, justamente pela profundidade em que a ruptura atinge. Podem ocorrer também em maciços rochosos extremamente fraturados, onde a superfície de ruptura instala-se na conjugação de diversos planos de descontinuidades.

Os escorregamentos rotacionais apresentam feições peculiares ao seu tipo de movimento, o que facilita muito sua identificação. Entre elas pode-se citar o espalhamento de parte do material mobilizado na parte inferior da ruptura (Figura 5), diferentemente dos escorregamentos planares onde o material normalmente movimenta-se num único vetor paralelo à gravidade. Outra feição típica são os degraus de abatimento na crista do talude onde, devido à instalação de sucessivos

planos de ruptura a superfície original do terreno é segmentada em diversas porções que acabam estacionando em cotas distintas (Figura 6).



fonte: Keller (1996), modificado.

Figura 5 – Escorregamento do tipo rotacional.

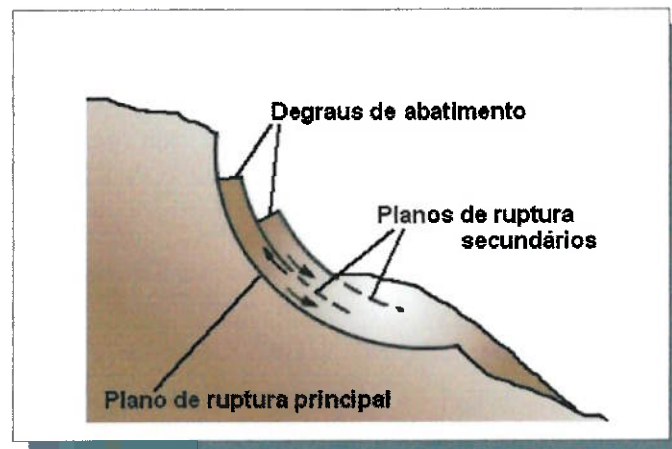


Figura 6 – Perfil típico esquemático de uma ruptura do tipo rotacional.

2.1.2.3 Em cunha

São definidos como escorregamentos em cunha aqueles cuja massa mobilizada se desprende do maciço através da intersecção de dois ou mais planos de fraqueza (Figura 7). Devido à essa morfologia, esses escorregamentos são restritos a maciços rochosos ou a solos de alteração jovens (solos saprolíticos), cuja estruturação original da rocha ainda esteja presente.

São mais comuns em taludes de corte ou em encostas desconfiadas por algum processo natural, uma vez que necessitam de espaço lateral para que a massa rígida se desprenda do maciço. Sua previsão, às vezes, é facilitada pela possibilidade de mapeamento das direções das descontinuidades associadas à face do talude.

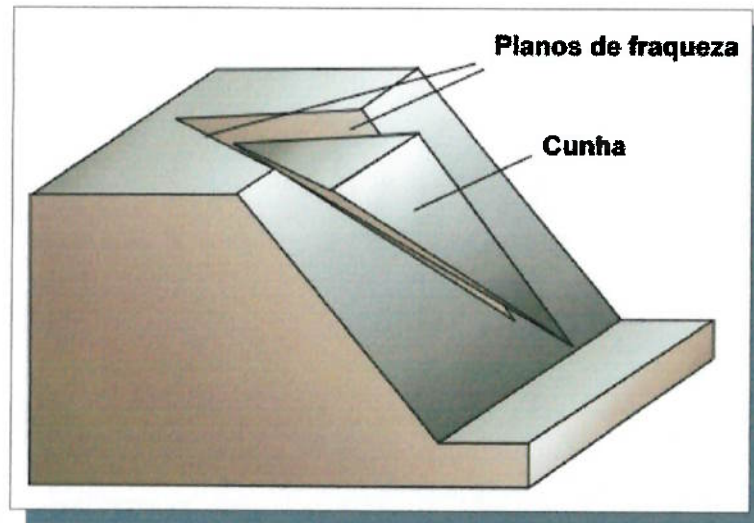


Figura 7 – Deslocamento de bloco devido à planos de fraqueza com direções desfavoráveis.

2.1.3 Quedas

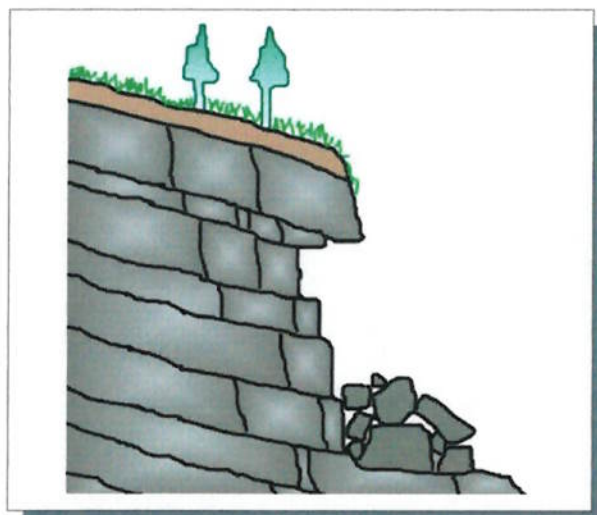
As quedas são movimentos de massa quase que exclusivos de maciços rochosos, com algumas exceções em solos saprolíticos estruturados. Semelhantemente aos escorregamentos em cunha, são condicionadas pelo descolamento do bloco através de um plano estrutural do maciço, tais como falhas, fraturas, xistosidade, foliação, estratificação, etc., diferindo destes somente devido ao desprendimento total da massa mobilizada do maciço adjacente e da velocidade de queda sensivelmente maior.

Incluem-se também na classificação de quedas os tombamentos, os rolamentos de blocos e os deslocamentos.

2.1.3.1 *Queda de blocos*

São movimentos subverticais de massas rochosas que se desprendem do maciço por planos de fraqueza. Durante a queda o bloco pouco ou nada toca na superfície do talude abaixo de sua posição original. São mais comuns em taludes de escavações

onde, às vezes, os blocos ficam literalmente “pendurados” após a detonação, caindo posteriormente com uma chuva ou pela vibração causada por outra detonação ou por veículos de carga transitando próximo ao local (Figura 8).

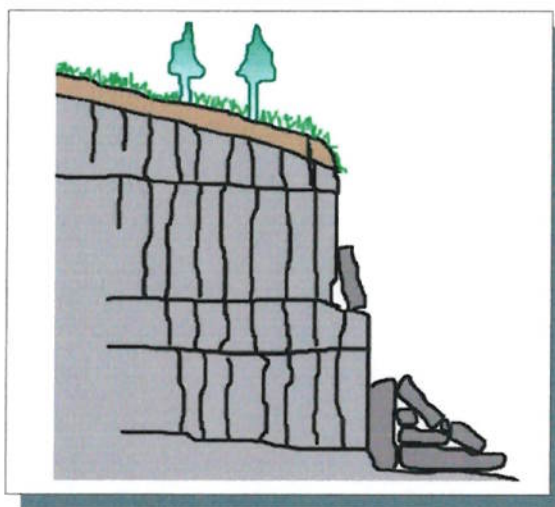


fonte: Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), modificado.

Figura 8 – Quedas.

2.1.3.2 Tombamentos

Caracterizam-se por um movimento inicial de rotação do bloco num eixo locado em sua base. Ocorrem em maciços fortemente estruturados na direção vertical ou subvertical, onde o desconfinamento lateral desencadeia o processo de maneira continuada. Muito comum em derrames basálticos com disjunção colunar, também ocorre em taludes de corte, cujo primeiro desconfinamento se dá na superfície exposta pela escavação (Figura 9).

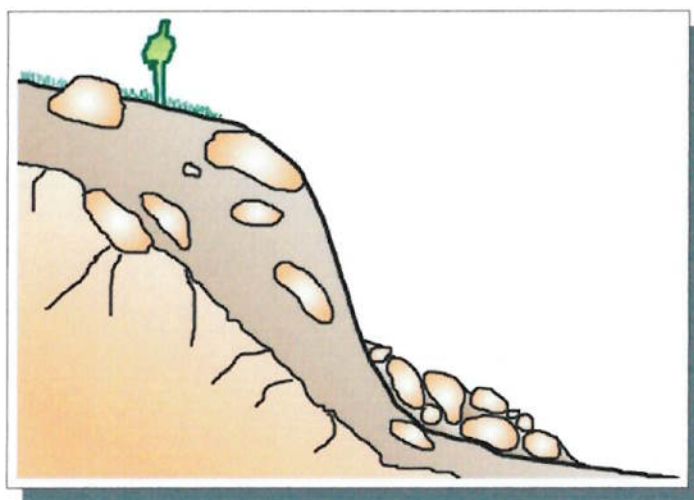


fonte: Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), modificado.

Figura 9 – Tombamentos.

2.1.3.3 Rolamentos

Os rolamentos ocorrem quando um bloco rochoso se desprende da massa de solo onde está imerso e rola pela superfície do talude ou da encosta até ser contido por alguma barreira, muitas vezes formada por outros blocos, ou perder a energia com a diminuição da declividade (Figura 10). Os rolamentos são comumente encontrados em regiões com presença de matacões, ou seja, regiões de litologia granítica e relevo acidentado. Depósitos de tálus são, grosseiramente, um acúmulo de diversos rolamentos, ou outros processos de queda, preenchidos por solo.



fonte: Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), modificado.

Figura 10 – Rolamentos.

2.1.3.4 Desplacamentos

São comuns em rochas sedimentares finas (siltitos e argilitos) com presença de minerais expansíveis cujo processo formador é melhor detalhado no item 4.1.7. Ausentes nas rochas ígneas, raramente ocorrem em rochas metamórficas, restringindo-se às finamente foliadas cujos planos de foliação são paralelos à superfície do talude, como em alguns cortes em itabiritos de Minas Gerais (Figura 11).



fonte: Keller (1996).

Figura 11 – Deslocamentos.

2.1.4 Corridas

Segundo Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998) as corridas caracterizam-se por um movimento de massa de dinâmica híbrida entre a mecânica dos sólidos e dos fluídos. Seu desencadeamento se dá de duas maneiras, ambas associadas à chuvas intensas. A primeira quando ocorre a liquefação de massas dispostas em encostas e drenagens e, a segunda, quando ocorre a remobilização de material depositados no leito ou em barramentos de drenagens, acrescida ou não de material descendente da bacia hidrográfica (Foto 3).

São distinguidos três tipos de corridas: as corridas de lama, as corridas de terra e as corridas de detritos (mais comumente descritas em inglês como *mud flows*, *earth flows* e *debris flows*, respectivamente).

fonte: Wieczorek *et al.* (2001).**Foto 3** – Material grosseiro acumulado em drenagem após uma corrida (*debris flow*).

As corridas de lama caracterizam-se pelo alto teor de água em uma massa de solo. As corridas de terra apresentam composição semelhante, ou seja, essencialmente terrosa, porém com menor quantidade de água. Já as corridas de detritos apresentam todas as granulometrias, do fino ao grosseiro, sendo esse último o predominante.

Sem geometria definida, as corridas apresentam velocidades altíssimas que, associadas ao grande volume de material envolvido, possuem um enorme potencial destrutivo (Foto 4). Trabalhos como os de Kanji *et al.* (1997 e 1998) e Gramani (2001) apresentam descrições detalhadas sobre esses eventos.



fonte: BBC News (1999).

Foto 4 – Resultado de uma corrida na cidade de Los Corales, Venezuela (dez./99).

GEORIO (2000) apresenta ainda mais três formas de descrição dos movimentos de massa, a saber: a velocidade, o estilo e o estado de atividade. Esses três parâmetros podem ser observados nos Quadros 3, 4 e 5, respectivamente.

Quadro 3 – Velocidade do movimento.

Classificação	Velocidade
Muito lento	de 6 cm/ano a 1,5 m/ano
Lento	de 1,5 m/ano a 1,5 m/mês
Moderado	de 1,5 m/mês a 1,5 m/dia
Rápido	de 1,5 m/dia a 30 cm/minuto
Muito rápido	de 30 cm/minuto a 3 m/segundo

fonte: GEORIO (2000).

Quadro 4 – Estilo do escorregamento.

Tipo	Descrição
Complexo	Exibe pelo menos dois tipos de movimentos (queda, escorregamento, corrida, etc.) em seqüência.
Composto	Exibe pelo menos dois tipos de movimentos simultâneos em diferentes partes da massa deslocada.
Sucessivo	É do mesmo tipo do escorregamento anterior vizinho, mas não compartilha o material deslocado ou a superfície de ruptura.
Simplex	É um simples movimento de material deslocado.
Múltiplo	Apresenta repetidos desenvolvimentos no mesmo tipo de movimento.

fonte: GEORIO (2000).

Quadro 5 – Estado de atividade do movimento.

Estado de atividade	Velocidade
Ativo	Está atualmente em movimento.
Paralisado	Moveu-se nos últimos 12 meses, mas não está ativo no presente.
Reativado	É um ativo que estava inativo.
Inativo	Não se moveu nos últimos 12 meses.
Adormecido	Inativo que pode ser reativado por suas causas originais ou por outras causas.
Abandonado	Inativo que não está mais afetado pelas causas originais.
Estabilizado	Inativo que está protegido de suas causas originais por medidas corretivas artificiais.
Reliquiar	Um escorregamento inativo que se desenvolveu sob condições climáticas e geomorfológicas consideravelmente diferentes das do presente. São também denominados movimentos de massas fósseis.

fonte: GEORIO (2000).

Os movimentos de massa, conforme apresentado, muitas vezes ocorrem associados, podendo ser encontrados mais de um tipo numa mesma instabilização. A distinção deverá ser feita a partir do tipo dominante, que normalmente é o que rege a instabilização e causa os processos associados. Como dito anteriormente, alguns tipos de movimentos podem evoluir para outros, ou atingir um estado de equilíbrio por um determinado tempo para então, após um fator desencadeador, instabilizar-se por outro mecanismo (Barata, 1969). Cabe ao técnico fazer o discernimento entre o processo atuante no momento da observação e o que realmente causou o movimento, baseado primordialmente nos condicionantes responsáveis pela instabilização.

2.2 Condicionantes dos movimentos de massa

Entendidos os aspectos cinemáticos envolvidos nos movimentos de massa, deve-se então conhecer os diversos condicionantes, naturais ou não, atuantes nessas instabilizações.

Vale lembrar que, conforme dito anteriormente, Terzaghi (1950) inclui na descrição dos movimentos os agentes atuantes nos processos, apresentando ainda as causas e seus efeitos. Cabe aqui ressaltar a importância da contribuição desse autor na compreensão dos processos de instabilização e, conseqüentemente, na precisão das medidas de controle. O Quadro 6 apresenta os agentes e os fenômenos causadores de escorregamentos segundo esse autor.

Quadro 6 – Agentes e fenômenos causadores de escorregamentos.

Nome do agente	Causa inicial da ação do agente	Modalidade de ação do agente	Material mais susceptível ao ataque	Natureza física das ações significativas	Efeitos sobre as condições de equilíbrio do talude
Agente de transporte	Operações de construção ou erosão	1	Qualquer material	Modifica as tensões do material no talude	Aumenta as tensões de cisalhamento
		2	Argila fissurada rija, folhelho	Modifica o estado das tensões e provoca a abertura de fendas	Aumenta as tensões de cisalhamento e inicia a ação do processo
Tensões tectônicas	Movimentos tectônicos	Deformação da crosta terrestre em grande escala	Qualquer material	Aumenta o ângulo do talude	Aumento das tensões ao cisalhamento
				Produz modificações transitórias das tensões	
Tensões tectônicas ou explosões	Terremotos ou detonações	3	Loess, areia pouco cimentada e pedregulho	Danifica as ligações intergranulares	Diminui a coesão e aumenta a tensão de cisalhamento
				Areia fina ou média solta em estado saturado	Inicia rearranjo dos grãos
Peso do material do talude	Fenômeno que deu origem ao talude	4	Argila fissurada rija, folhelho ou resíduos de escorregamentos antigos	Abre juntas fechadas e produz novas juntas	Reduz a coesão e acelera a ação do processo
		5	Material rijo sobre outro plástico		
		6	Areia úmida		
		7	Rocha diaclasada, folhelho	Aumenta a pressão da água intersticial	Diminui a resistência por atrito
	Chuvas ou águas provenientes de degelo	8	Argila fissurada rija e alguns folhelhos	Dá origem à expansão	
		9	Rocha de qualquer natureza	Enfraquece as ligações entre grãos (alteração química)	Diminui a coesão
	Geada	10	Rocha diaclasada	Alarga as juntas existentes e produz novas juntas	
		11	Silte e areia silteosa	Aumenta o teor de água no solo das camadas superficiais	Diminui a resistência por atrito
Água	Estiagem	12	Argila	Produz juntas de contração	Diminui a coesão
		13	Areia fina ou silte, drenado previamente	Produz pressão excessiva da água intersticial	Diminui a resistência por atrito
	Mudança rápida do nível de lençol de água	14	Areia fina ou média, solta em estado saturado	Aumento espontâneo da pressão da água intersticial	Liquefação espontânea
	Elevação do nível de água em lençol freático distante	15	Silte e camadas de areia entre ou abaixo de camadas argilosas	Aumenta a pressão da água intersticial	Diminui a resistência por atrito
	Infiltração proveniente de reservatórios e canais	16	Silte saturado	Aumenta a pressão da água intersticial	Diminui a resistência por atrito
		17	Areia fina, úmida	Elimina a tensão superficial	Diminuição da coesão
18	Loess	Destroi a ligação intergranular			
		19	Areia fina ou silte	Solapa o pé do talude	Aumenta a tensão de cisalhamento

fonte: Terzaghi (1956)

Como visto, Terzaghi (1950) se preocupou em sistematizar a forma como esses condicionantes atuavam sobre o maciço. Surgiram então dois termos, distintos porém relacionados: agentes e causas.

Agente, segundo o Michaelis (1998), “*é o que age, que exerce alguma ação, que produz algum efeito; é qualquer coisa, força ou substância que produz ou é capaz de produzir determinado efeito ou resultado*”. No caso de movimentos de massa, seguindo essa definição, diversos podem ser os agentes atuantes nos movimentos, incluindo-se desde abalos sísmicos até a ação humana. Terzaghi, porém, ateve-se a apenas 5 agentes distintos, a saber: o transporte de material, tensões tectônicas, explosões, peso do material e a água.

Baseados no conceito de Terzaghi (1950) e de Magalhães Freire (1965) *apud* Wolle (1980), Guidicini & Nieble (1984) ampliaram o número de agentes, distinguindo-os segundo a forma de atuação de cada um. Foram então divididos entre “agentes predisponentes” e “agentes efetivos”, sendo os últimos subdivididos entre preparatórios e imediatos, conforme apresentados no Quadro 7. Para os autores, os agentes predisponentes referem-se à somatória das características intrínsecas do maciço que atuam em sua instabilização e os agentes efetivos aqueles diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento, podendo ser divididos em preparatórios e imediatos.

Quadro 7 – Tipos de agentes condicionantes aos movimentos de massa.

Agentes		Descrição
Predisponentes		<ul style="list-style-type: none"> - complexo geológico - complexo morfológico - complexo climatológico - gravidade - calor solar - tipo de vegetação
Efetivos	Preparatórios	<ul style="list-style-type: none"> - pluviosidade - erosão pela água e pelo vento - congelamento e degelo - variação da temperatura - dissolução química - ação de fontes e mananciais - oscilações do freático - ação de animais e antrópica
	Imediatos	<ul style="list-style-type: none"> - chuvas intensas - fusão do gelo e neve - erosão - terremoto - ondas - vento - ação do homem

fonte: Guidicini & Nieble (1984).

A seguir são descritos, sucintamente, o papel dos principais agentes e suas inter-relações no desencadeamento dos movimentos de massa. Alguns agentes são agrupados num mesmo item devido às suas estreitas relações.

2.2.1 Geologia

Cada um dos agentes condicionantes listados no Quadro 7 apresenta importância relativa variável para cada situação específica, porém, a geologia é, entre todos, o único cuja importância não pode ser desconsiderada em nenhum caso. São as características geológicas do maciço que irão impor as condições de atuação de todos os outros agentes. A alterabilidade, resistência à erosão, permeabilidade, a presença, direção, persistência e quantidade de descontinuidades, etc. irão controlar a influência dos outros agentes na instabilização do maciço.

Em paralelo, os parâmetros geomecânicos de cada litotipo, controlados fundamentalmente pela composição e arranjo dos minerais constituintes, podem

definir o limite de estabilidade da massa, seja ela rochosa ou terrosa. Essa mesma composição responderá diferentemente para cada situação climática a que o maciço for exposto, gerando mantos de intemperismo com composições e espessuras distintas, assim como a posição e flutuação do lençol freático.

Ter em mãos o mínimo de conhecimento sobre a geologia local torna-se imprescindível na compreensão geral do problema e encaminhamento da solução. Dentre os diversos fatores geológicos envolvidos dois merecem destaque: a litologia e as estruturas do maciço.

2.2.1.1 Litotipo

O controle do litotipo na estabilidade de encostas naturais e de taludes de corte inicia-se no tipo de relevo que nele irá se instalar. Rochas cristalinas, como as presentes na Serra do Mar, são, via de regra, bastante resistentes aos processos erosivos. Essa característica propicia a formação de relevos acidentados, com escarpas íngremes e vales apertados, morfologia essa que facilita a ocorrência de movimentos de massa.

A presença de blocos e matacões imersos no manto de intemperismo também é muito comum em terrenos de rochas cristalinas, especialmente os de natureza granítica. O caráter isotrópico dessas rochas, juntamente com famílias de juntas propiciam a segregação de blocos isolados que podem remanescer sozinhos em meio a massa de solo (Foto 5). Esses blocos podem movimentar-se na forma de rolamentos, conforme descrito anteriormente no item 2.1.3.3.

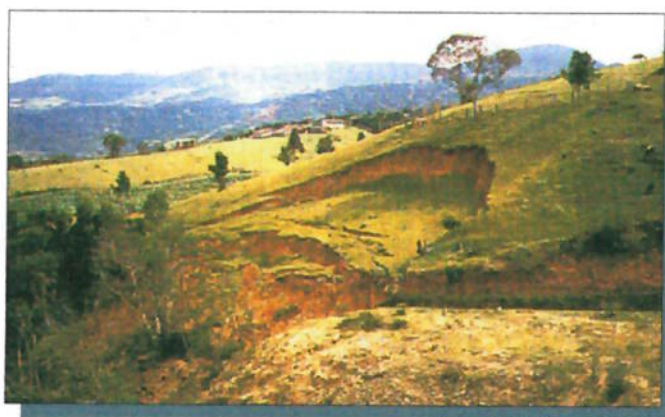
As rochas sedimentares, por outro lado, são normalmente menos resistentes à ação intempérica e erosiva, o que possibilita o desenvolvimento de relevos mais suaves em regiões de clima tropicais e subtropicais. Nesses relevos, o maciço tende a desenvolver solos espessos devido à ação intempérica ser superior à da erosão, justamente devido às vertentes com menores inclinações.



fonte: Teixeira et al. (2000).

Foto 5 – Blocos rochosos isolados durante o intemperismo.

Devido também à homogeneidade composicional, os horizontes de intemperismo das rochas sedimentares tendem a ser igualmente mais homogêneos, tal qual é identificado em grande parte do interior do Estado de São Paulo, onde os litotipos presentes são de natureza sedimentar componentes da Bacia do Paraná. Escorregamentos em horizontes espessos e homogêneos, tendem a adquirir cinemática circular (Foto 6), conforme apresentado no item 2.1.2.2.



fonte: Teixeira et al. (2000).

Foto 6 – Escorregamento circular em terreno sedimentar.

Contudo, em regiões áridas, onde o manto de intemperismo é mais delgado, são mais freqüentes movimentos do tipo queda de blocos em escarpas íngremes típicas de ambientes sedimentares e expostos à climas secos (Foto 7).



foto: do autor.

Foto 7 – Queda de blocos de rocha sedimentar em clima árido (Bacia do Parnaíba, Piauí).

Quedas de blocos em terrenos sedimentares podem ainda estarem associadas à cortes que interceptam seqüências estratigráficas de natureza variável, onde um pacote mais susceptível à erosão está sobreposto à uma rocha mais coesa. Essa situação, melhor descrita posteriormente, propicia o surgimento de blocos em balanço pela erosão mais acelerada do pacote inferior.

A permeabilidade e as características geomecânicas (coesão, ângulo de atrito, resistência ao cisalhamento e à compressão, etc.) também serão condicionadas pelo litotipo presente. Rochas sedimentares de natureza arenosa e pouco cimentada, por exemplo, tendem a apresentar altos coeficientes de permeabilidade, enquanto que rochas sedimentares argilosas ou cristalinas compactas são praticamente estanques. A permeabilidade do maciço, melhor discutida mais adiante, exerce grande influência na instalação, elevação e rebaixamento do nível d'água, além do controle na performance da frente de saturação durante as chuvas, fatores importantíssimos na estabilidade do maciço.

Vaz (1996) afirma ainda que a principal contribuição da rocha matriz no processo de formação do solo está na definição da composição mineralógica do solo resultante e que, sendo essa composição determinante para a granulometria, plasticidade e tipo de argilo-mineral presente, torna-se diretamente responsável pelas características geomecânicas do solo gerado durante o intemperismo.

2.2.1.2 Estruturas

De importância fundamental nos maciços rochosos, as estruturas geológicas também condicionam a estabilidade de taludes em solos saprolíticos nos quais ainda estão presentes. Nos maciços rochosos esse condicionamento pode ocorrer na forma de planos com material de preenchimento menos resistente, ou seja, mais susceptíveis à alteração e erosão (Figura 12), na forma de caminhos preferenciais para a percolação da água, o que contribui na lixiviação do material de preenchimento ou no surgimento de cargas hidráulicas pelo acúmulo de água (Figura 13) ou mesmo, nos maciços terrosos, na separação de dois horizontes distintos.

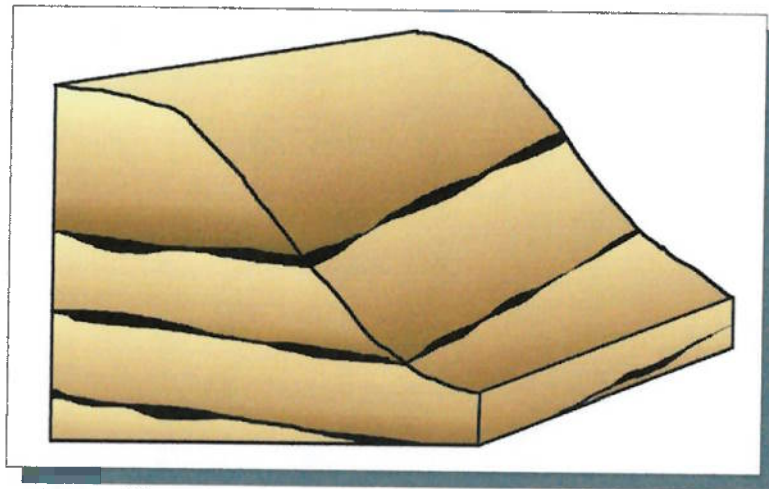


Figura 12 – Planos com preenchimento biotítico comuns em gnaisses bandados.

Mesmo traços reliquiais da foliação/xistosidade da rocha original, ainda presentes nos solos saprolíticos, condicionam sua estabilidade segundo o arranjo espacial com a superfície do talude. Essa característica mostra-se bastante evidente na Foto 8 onde um corte de rodovia interceptou, em ângulo agudo, a foliação reliquiar presente no solo, possibilitando o movimento da massa ao longo de planos paralelos à foliação.

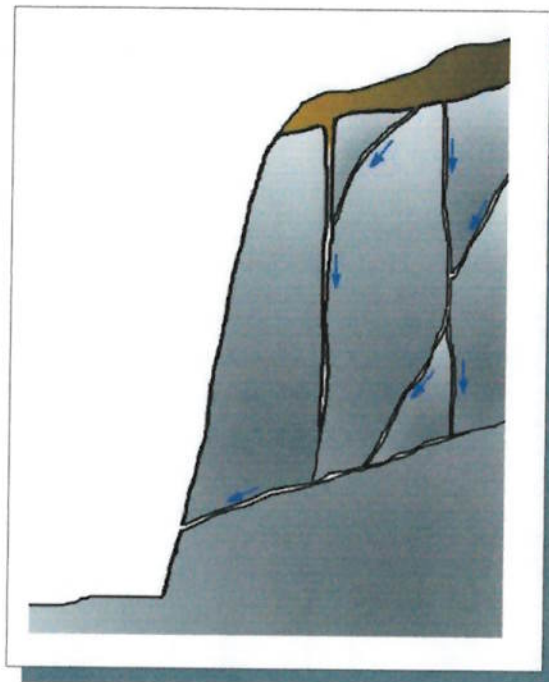


Figura 13 – Percolação da água em maciços fraturados.



foto: do autor.

Foto 8 – Escorregamento em solo devido às estruturas reliquiárias.

No caso de maciços rochosos é a compartimentação estrutural que irá comandar a estabilidade da maciço através da presença, geometria e características geomecânicas das discontinuidades e sua relação com a superfície do talude. La Torre & Barroso (1984), por exemplo, apresentam casos de condicionamento de estruturas na instabilização de encostas no município de Petrópolis, RJ.

Como visto anteriormente, movimentos de massa como quedas de blocos, tombamentos e escorregamentos em cunha são estreitamente condicionados às estruturas. Contudo, dependendo da densidade e arranjo espacial das descontinuidades, é até possível a ocorrência de um escorregamento com cinemática circular ou rotacional (Figura 14).

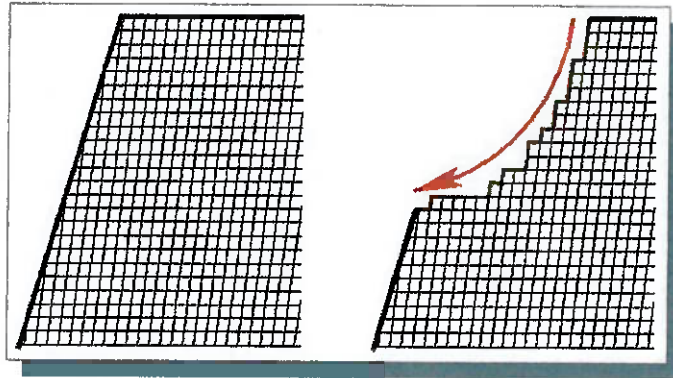


Figura 14 – Ruptura com cinemática circular em rocha extremamente fraturada.

Segundo Serra Jr. & Ojima (1998), as estruturas condicionam o comportamento dos maciços rochosos especialmente em relação à deformabilidade, resistência e permeabilidade. Dessa forma, conhecer as características dessas descontinuidades, mesmo que expeditamente, é impositivo na avaliação da estabilidade do maciço.

A importância dessa avaliação torna-se ainda mais notável quando utiliza-se uma classificação de maciços rochosos como o Sistema Q, proposto por Barton *et al.* (1974). Nessa classificação, as características ditas “básicas” da rocha, como alteração, coerência, resistência, natureza, composição, etc., simplesmente não fazem parte dos parâmetros adotados (Quadro 8), a não ser pelo reflexo que impõem ao valor de RQD.

Wolle (1981) alerta ainda acerca da influência de estruturas regionais, como lineamentos e falhas, as quais podem atuar desde o processo de intemperismo, condicionando-o em direções preferenciais, até na distribuição das drenagens.

Quadro 8 – Classificação de maciços fraturados segundo o índice Q.

$$Q = \left[\frac{RQD}{J_n} \right]_A \times \left[\frac{J_r}{J_a} \right]_B \times \left[\frac{J_w}{SRF} \right]_C$$

razão **A** → refere-se ao tamanho e a forma dos blocos delimitados pelas descontinuidades

razão **B** → refere-se ao estado e à resistência ao cisalhamento das superfícies que delimitam o bloco

razão **C** → refere-se ao efeito das tensões sobre o conjunto

RQD Índice de qualidade da rocha (baseado no grau de fraturamento do maciço)

PARÂMETROS	J_n	Influência do número de famílias de descontinuidades
	J_r	Influência da rugosidade nas paredes das descontinuidades
	J_a	Influência do grau de alteração e preenchimento das descontinuidades
	J_w	Influência da água que percola nas descontinuidades
	SRF	Influência do estado de tensões a que todo o maciço está exposto

fonte: Barton *et al.* (1974).

2.2.2 Geomorfologia

A geomorfologia pode ser entendida como o produto da interação entre o clima e a geologia. Logicamente a cobertura vegetal exerce grande influência no modelado do terreno, porém, em última instância, a flora também é consequência do clima e da geologia, através da composição e espessura dos solos que gera.

A superfície da Terra está em constante evolução devido ao embate de duas forças básicas: a tectônica e a gravidade. A primeira é responsável pelos movimentos epirogênicos que criam novos relevos, tornando a superfície terrestre mais acidentada, enquanto que a segunda atua na destruição desses relevos, num contínuo processo de aplainamento cujo principal agente, porém não único, é a erosão.

Apesar de muitos autores considerarem a erosão como a somatória de todos os processos que causam a retirada e o transporte de materiais de um ponto à outro,

incluindo aí os movimentos de massa (Rodrigues, 1998), será aqui tratada a erosão no sentido classicamente conhecido (DAEE/IPT, 1990), ou seja, um fenômeno de desgaste, transporte e deposição com a atuação de um agente, seja ele um rio, o vento, o gelo, ondas, etc., excluindo-se, dessa forma, os movimentos de massa anteriormente descritos.

Essa distinção é importante na compreensão da evolução do relevo em clima tropical como a ação de vários processos simultâneos, tais como:

- a atuação do clima sobre a geologia no processo de intemperismo das rochas;
- a evolução pedológica dos solos através da laterização, lixiviação, podzolização, etc.;
- o arranque e posterior transporte das partículas pelas águas das chuvas e vento no processo de erosão; e
- a ação dos movimentos de massa que ocorrem naturalmente durante a evolução geomorfológica.

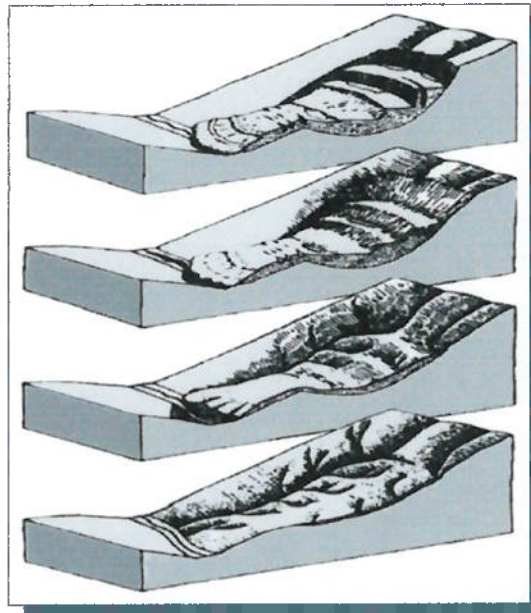
Sabidamente a ação antrópica tem uma enorme capacidade de produzir e acelerar processos de instabilização de massas, porém a natureza, em seu delicado equilíbrio evolutivo, também é responsável por freqüentes instabilizações como os movimentos de massa. Particularmente, os escorregamentos são fenômenos comuns em regiões serranas como a Serra do Mar onde, mesmo sem a influência direta do homem, inúmeros escorregamentos vêm ocorrendo durante a evolução geomorfológica daquele ambiente (Foto 9).



foto: do autor.

Foto 9 – Serra do Mar, próximo à Caraguatatuba, mostrando antigas cicatrizes de escorregamentos longe da ação antrópica.

Mesmo em relevos mais colinosos, a evolução geomorfológica pode passar por fenômenos de escorregamentos, incorporando, posteriormente, sua cicatriz ao modelado regional (Figura 15).



fonte: Brabb (1991) *apud* Augusto Filho & Virgili (1998).

Figura 15 – Modelo de evolução geomorfológica a partir de um escorregamento rotacional.

Cruz (1988), afirma que “qualquer talude está em processo de evolução, e os materiais que o formam têm suas propriedades permanentemente em mudança, e estatisticamente para pior, no que se refere à estabilidade”. Essa afirmação serve também de alerta para que, após um sucesso imediato na realização de um corte ou na recuperação de uma encosta instável, tenha-se em mente que o relevo está em constante evolução e que, uma situação estável hoje, não possui garantia de perpetuação.

Outro fator importante do condicionamento geomorfológico na estabilidade de encostas e taludes de corte é o disciplinamento das águas de superfície, o que influi diretamente no regime de escoamento, no potencial de infiltração e saturação do maciço, como melhor apresentado adiante.

2.2.3 Clima

Os condicionantes climatológicos podem atuar tanto nas condições de contorno de uma instabilização, como na própria deflagração do movimento, ou seja, o clima pode agir tanto como um agente predisponente como efetivo. Essa particularidade é consequência de sua presença e ação nas diversas fases da evolução do relevo e através de ações curtas e pontuais.

Dentre as diversas formas de ações (diretas e/ou indiretas) do clima sobre os movimentos de massa, pode-se dizer que ele atua:

1. *na vegetação que recobre a superfície do maciço*: influenciando no tipo, na diversidade, na densidade, no sistema radicular, etc.;
2. *no intemperismo*: influenciando no modo e na velocidade de alteração das rochas e nos produtos resultantes;
3. *na evolução geomorfológica*: modelando o relevo pela associação pluviosidade/intemperismo;
4. *na temperatura e umidade relativa do ar*: atuando nas mudanças de estado físico da água (fusão, condensação, congelamento, evaporação e evapotranspiração pelas plantas);
5. *na taxa de insolação*: influenciando no desenvolvimento vegetal, nas buscas mudanças de temperatura e no ressecamento superficial do terreno;

6. *nos ventos*, através do efeito alavanca com as árvores e na formação e deslocamento de ondas aquáticas.
7. *na saturação do maciço*: através da pluviosidade com excedentes ou déficits hídricos, no volume acumulado de chuvas, nas chuvas intensas, etc.;

Dentre as sete formas de atuação acima listadas, algumas merecem destaque.

2.2.3.1 *Intemperismo*

Considerando o aspecto das características geomecânicas dos materiais, Guidicini & Nieble (1984) descrevem a atuação do intemperismo como um processo que *“leva a um enfraquecimento gradual do maciço rochoso ou terroso (...) pela remoção dos elementos solúveis constituintes dos próprios minerais, pela dissolução dos elementos com função de cimentação em solos ou rochas sedimentares e pelo desenvolvimento de uma rede de microfraturas num meio rochoso que não as possuía”*.

O processo de intemperismo é dividido em dois tipos: o físico e o químico, cujos potenciais de atuação são fundamentalmente controlados pelo clima.

O intemperismo físico é basicamente controlado pelas variações na temperatura ambiente, sejam elas sazonais, diárias ou abruptas, como uma longa exposição ao sol logo seguida de uma chuva. As variações térmicas causam sucessivas dilatações e contrações no maciço, fragmentando-o e tornando possível o acesso da água a porções mais internas do mesmo. Minerais com diferentes coeficientes de dilatação térmica colaboram no processo através de movimentos relativos entre os cristais. O congelamento da água em fraturas também impõe esforços de tração nas paredes devido ao seu aumento de volume quando da solidificação, favorecendo a abertura e aprofundamento dessas fraturas. Trata-se, portanto, de um tipo de intemperismo mais importante nos maciços rochosos, os quais apresentam maior rigidez.

O intemperismo químico, por outro lado, age através de reações químicas entre os constituintes do maciço, rochoso ou terroso e soluções acidificadas que nele escoam ou percolam. Através de reações de hidratação, dissolução, hidrólise, oxidação e acidólise (Teixeira *et al.*, 2000), os minerais sofrem transformação e/ou

solubilização, alterando suas características e, conseqüentemente, as de todo o maciço.

É possível, então, concluir que o intemperismo físico é preponderante em regiões de clima seco, como o semi-árido nordestino, ou muito frias, como regiões glaciais ou em elevadas altitudes; enquanto que o intemperismo químico é mais atuante em regiões quentes e, principalmente, úmidas, como nos climas tropicais e subtropicais, abundantes no território nacional.

Dessa forma, regiões de clima seco apresentam pequena espessura de solo evoluído, sendo comum a ocorrência de fragmentos e blocos rochosos oriundos da atuação do intemperismo físico favorecendo, portanto, movimentos de massa do tipo queda de blocos. Por outro lado, regiões de clima úmido propiciam a evolução de mantos de alteração mais desenvolvidos, tornando mais comum a ocorrência de escorregamentos.

2.2.3.2 Ventos

A ação dos ventos nos processos de instabilização ocorre principalmente através do efeito alavanca sobre as raízes das árvores, às quais transferem ao terreno um esforço cisalhante proporcional ao momento ao qual a planta é submetida (Figura 16). Comum em solos, o efeito alavanca pode ocorrer em maciços rochosos fraturados, nos quais as raízes da árvore envolvem blocos, engastando-se em nas fraturas com solo acumulado.

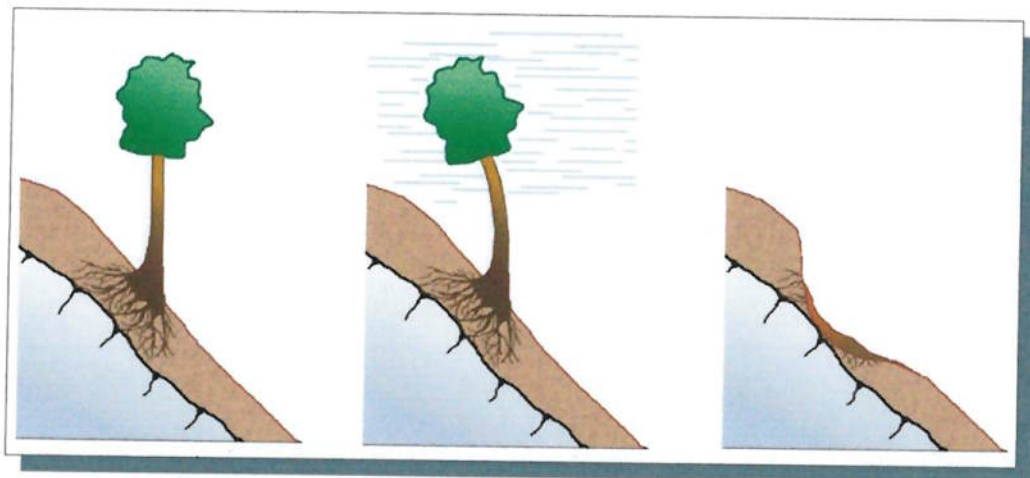


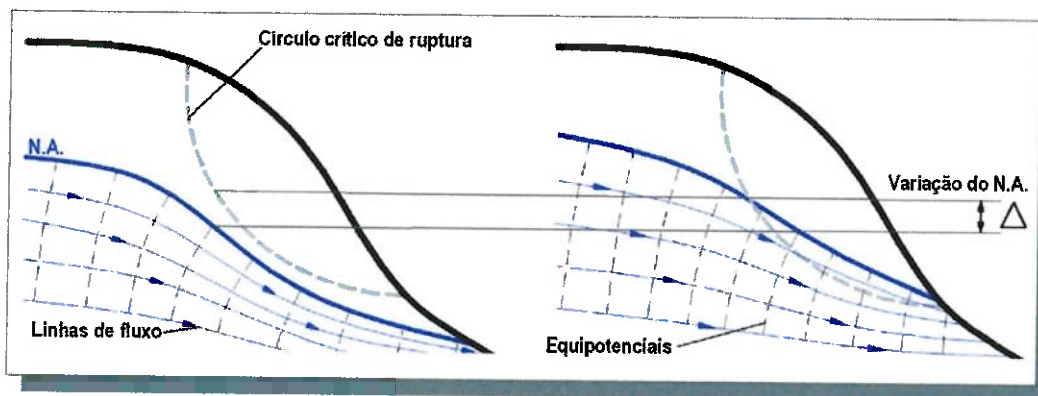
Figura 16 - Efeito alavanca de árvores sob a ação de ventos.

Outra forma de atuação dos ventos sobre os movimentos de massa é através do embate de ondas aquáticas na superfície dos maciços. Esse efeito, mais facilmente observado em falésias, também ocorre, mesmo que em menores proporções, em encostas marginais de reservatórios (De Jorge, 1984), como os apresentados nos reservatórios das barragens de Paraibuna-Paraitinga (Ávila *et al.*, 1984; IPT, 1986a e b) e Ponte Nova (IPT, 1980 *apud* De Jorge, 1984).

2.2.3.3 Saturação do maciço

Consideradas como o principal agente efetivo na deflagração dos escorregamentos em regiões tropicais, as chuvas podem atuar de modo preparatório e/ou imediato no desencadeamento da instabilização. Wolle (1988a) apresenta 3 formas de contribuição das chuvas nos fenômenos de movimentos de massa:

- 1) O alçamento do nível d'água em massas homogêneas altera o estado de equilíbrio das tensões no maciço através do aumento das pressões neutras, o que causa a redução das tensões normais efetivas e, conseqüentemente, a redução da resistência ao cisalhamento. Sua ação é tipicamente observada em escorregamentos rotacionais (Figura 17).



fonte: do autor, baseado em Wolle (1988a).

Figura 17 - Alçamento do N.A. gerando pressões neutras em massa de solo homogêneo.

- 2) Preenchimento temporário de fendas, trincas e/ou estruturas em solos saprolíticos e rochas, diminuindo as tensões normais efetivas e criando esforços laterais cisalhantes nas paredes das discontinuidades. É um agente típico dos movimentos de massa do tipo queda de blocos (Figura 18).

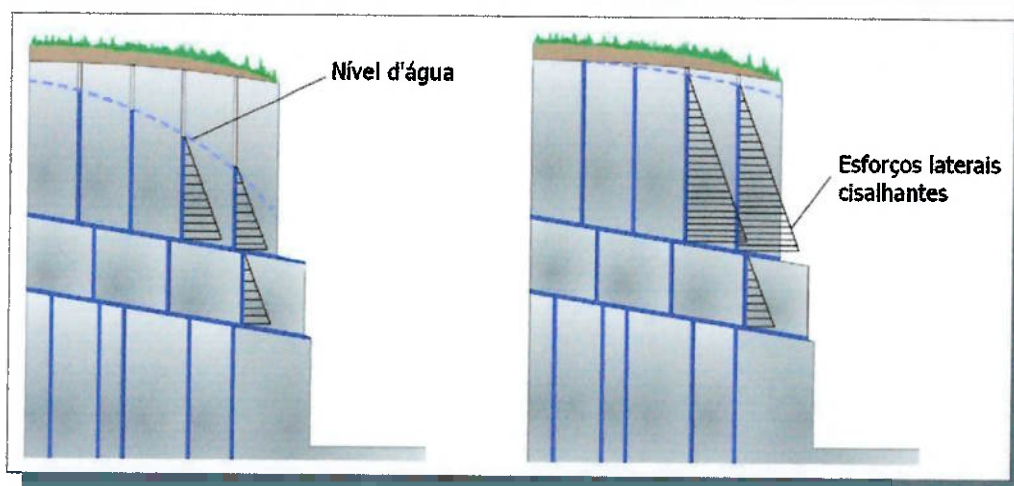


Figura 18 - Esforços cisalhantes gerados por coluna d'água em descontinuidades rochosas durante chuva intensa.

- 3) Formação de frentes de saturação em solos não saturados que, mesmo sem a formação ou elevação de N.A., formam linhas de fluxo verticais que diminuem a coesão aparente, causando a redução da resistência de toda a massa. Augusto Filho & Virgili (1998) e Cerri (1993) apresentam esse fenômeno como o principal deflagrador de escorregamentos planares em solo na região da Serra do Mar paulista (Figura 19).

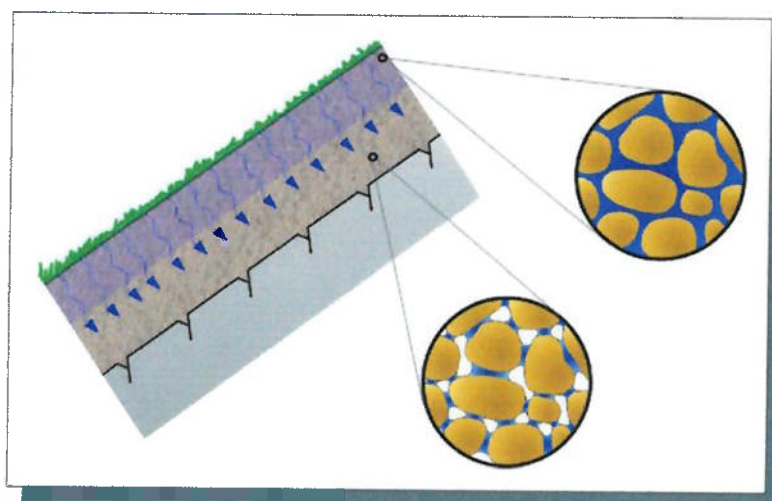
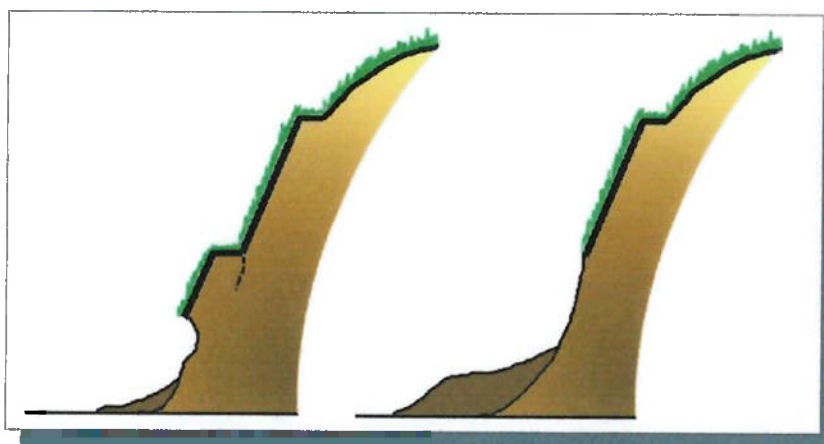


Figura 19 - Frentes de saturação causando a redução da coesão aparente pela perda dos meniscos.

Nota-se que as três formas de contribuição relacionam-se ao papel da água em subsuperfície, ou seja, após sua infiltração para o interior do maciço. De fato, o escoamento superficial exerce, preferencialmente, influência indireta nos processos

de instabilização, uma vez que os mecanismos de ruptura são controlados pelos parâmetros geomecânicos internos ao maciço, onde realmente se instala as superfícies de ruptura. Contudo, Carvalho (1991) mostra que podem ocorrer processos de instabilização devido à evolução da erosão (Figura 20), ou seja, pela ação direta do escoamento superficial.



fonte: Carvalho (1991), modificado.

Figura 20 – Escorregamento devido à evolução de erosão.

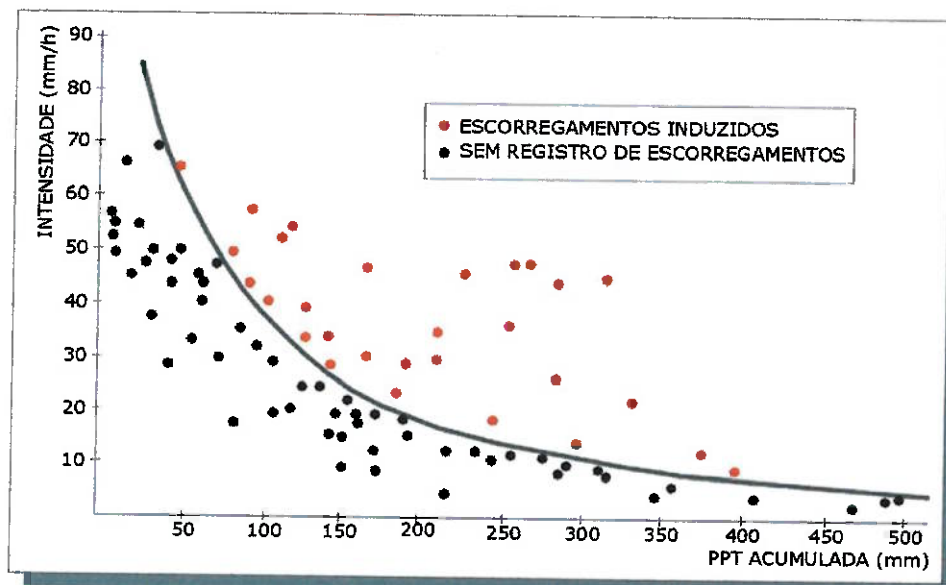
Cabe ainda lembrar uma das proposições apresentadas por Santos (2002), na qual o autor manifesta a opinião de que os escorregamentos planares, os únicos de ocorrência natural na Serra do Mar, tem sua origem ligada ao aparecimento de trincas de tração promovidas pela diferença na intensidade, ou velocidade, do rastejo da massa saturada a montante e jusante do local da trinca. Segundo o autor, “*Essas trincas (...) permitem, quando de episódios de alta pluviosidade concentrada, uma direta, volumosa e rápida entrada de água no horizonte imediatamente inferior aos solos superficiais, com a formação de bolsões instantâneos de água que (...) podem “explodir” provocando um verdadeiro desmonte hidráulico na “raiz” do escorregamento*”. Apesar dessa hipótese ser contrária às explicações clássicas para esses processos, também demonstra a fundamental participação da água infiltrada no desencadeamento da ruptura.

De extrema influência na intensidade de infiltração de água no maciço, o papel do revestimento na estabilidade será melhor discutido mais adiante, em item específico.

A quantidade de chuva necessária para a deflagração de um escorregamento dependerá de todas as condições de contorno que ocorrem no local, tais como, permeabilidade do terreno, presença de estruturas, espessura do manto de

intemperismo, declividade das encostas, profundidade do nível d'água, etc. Contudo, vários autores têm conseguido estabelecer estreitas relações entre o índice de pluviosidade e o desencadeamento de escorregamentos ocorridos em regiões específicas. Essas relações são válidas justamente devido à similaridade das condições de contorno dos locais em que são feitas.

No Brasil, Guidicini & Iwasa (1976) foram pioneiros nessa tentativa, analisando essas correlações nas Serras de Caraguatatuba em São Paulo, Maranguape no Ceará, Araras no Rio de Janeiro, na região da Baixada Santista, nas Rodovias dos Imigrantes e Anchieta, na cidade do Rio de Janeiro, no Vale do Tubarão em Santa Catarina e no sul de Minas Gerais. Os autores conseguiram definir faixas de periculosidade de deflagração de escorregamentos baseados na intensidade das chuvas durante os eventos e nos volumes acumulados do ano. Tatizana *et al.* (1987a e b), analisando os índices pluviométricos e escorregamentos ocorridos num trecho da Serra do Mar no município de Cubatão, correlacionaram intensidade da chuva (mm/hora) e volume acumulado entre 2 e 4 dias anteriores ao evento. Plotados esses dados em um gráfico, e identificados os eventos que resultaram em escorregamentos, os autores conseguiram estabelecer uma curva exponencial que mostra a relação entre um evento de chuva isolado e o volume de água acumulado no desencadeamento de escorregamentos (Figura 21).

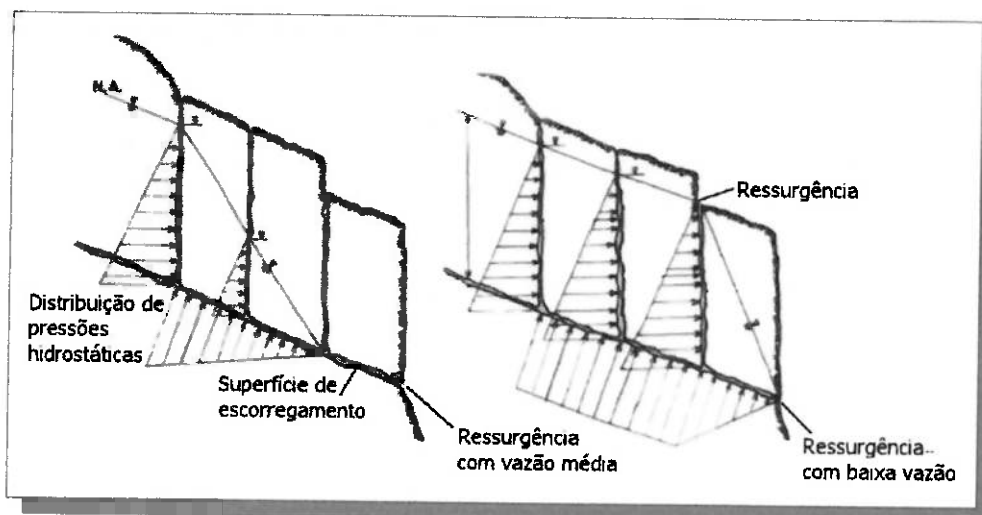


fonte: Tatizana et al, (1987a e b).

Figura 21 – Correlação entre a intensidade da chuva, o volume acumulado e a ocorrência de escorregamentos.

O entendimento do papel das chuvas, intensas e acumuladas, na deflagração de escorregamentos serve não só para a compreensão dos mecanismos e agentes atuantes mas, em última instância, para balizar previsões mais seguras sobre possíveis rupturas, principalmente em locais povoados. Baseados nesse conceito, os PPDC's (Planos Preventivos de Defesa Civil) estão sendo implementados em regiões povoadas da Serra do Mar paulista consideradas críticas para a ocorrência de escorregamentos através do monitoramento das chuvas (Macedo & Santoro, 2002).

Por outro lado, em massas rochosas ou solos saprolíticos estruturados, onde a presença e quantidade de água nas discontinuidades rege os processos de instabilização, são as chuvas intensas que desempenham o papel de agente principal. Isso ocorre devido à relação entre a velocidade com que a água preenche as discontinuidades e com a qual ela escoava para fora do maciço. Dependendo da intensidade da chuva, o volume de água infiltrando é superior ao que aflora em cotas inferiores, causando o surgimento e alteamento de colunas d'água nas discontinuidades e, conseqüentemente, o surgimento de pressões hidrostáticas (Figura 22).



fonte: Patton & Deere (1971) in Guidicini & Nieble (1984), modificado.

Figura 22 – A influência da estanqueidade das juntas no acúmulo de água e formação de pressões hidrostáticas.

2.2.4 Cobertura vegetal

Apesar de ser muitas vezes considerada como atuante somente na proteção contra erosão, a cobertura vegetal ou a ausência dela exerce um papel de grande

importância nos mecanismos de instabilização em encostas naturais e taludes de corte. Diversos trabalhos tratam diretamente dessa influência, dentre os quais podem ser citados o de Prandini *et al.* (1976), Wolle (1980 e 1988a), Leventhal & Mostyn (1987), Augusto Filho, (1992b e 1994), Styczen & Morgan (1995), Wu, (1995), Gray & Sotir (1996), Pugliese (1998), Coelho (1999), entre outros. As influências e ações da vegetação descritas por esses autores podem ser condensadas em apenas dois grupos de atuações: as hidrológicas e as mecânicas.

Ressalta-se porém que o recobrimento vegetal não é unicamente um fator estabilizante. Sua presença e tipo de interação com o maciço subjacente pode, eventualmente, ter conseqüências desfavoráveis à estabilidade do mesmo. Baseado nos conceitos de Greenway (1987) *apud* Pugliese (1998), Gray & Leiser (1982) e Gray & Sotir (1996) pode-se sintetizar os efeitos hidrológicos e mecânicos da vegetação conforme apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Efeitos da vegetação na estabilidade de encostas e taludes de corte.

Ação	Descrição	Efeito
Hidrologia	Interceptação das águas da chuva.	Favorável
	Absorção da água pela camada de matéria orgânica depositada.	
	Redução da velocidade de escoamento superficial.	
	Retirada de água do solo por absorção e evapotranspiração.	
	Aumento da capacidade de infiltração devido à retenção pelo material orgânico depositado.	Desfavorável
	Ressecamento e trincamento do solo devido à absorção da água pelas raízes.	
Abertura de canais devido ao apodrecimento das raízes.		
Mecânica	Aumento da resistência ao cisalhamento pelo reforço das raízes.	Favorável
	Solidarizam extratos de solo superiores aos inferiores.	
	Diminuição da susceptibilidade à erosão.	
	Ação de alavanca pela ação do vento.	Desfavorável
	Encunhamento de raízes em fissuras ocasionando esforços normais cisalhantes.	
Sobrecarga vertical.	Depende da inclinação da superfície	

baseado em: Greenway (1987) *apud* Pugliese (1998), Gray & Leiser (1982) e Gray & Sotir (1996).

A seguir são descritos os diversos modos de atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas e de taludes de corte.

2.2.4.1 Ações hidrológicas

A primeira ação efetiva da vegetação na proteção do maciço é a interceptação da água da chuva. A interceptação protege o maciço de duas maneiras (Figura 23):

1. através do amortecimento do impacto direto da gota de chuva sobre a superfície do terreno, seja pelas folhas, galhos e troncos da vegetação arbórea, arbustiva e/ou rasteira, seja pelos restos vegetais espalhados pela superfície do terreno; e
2. através da retenção de parte do volume precipitado na superfície das folhas, sobre os galhos e até nas reentrâncias de troncos mais rugosos.

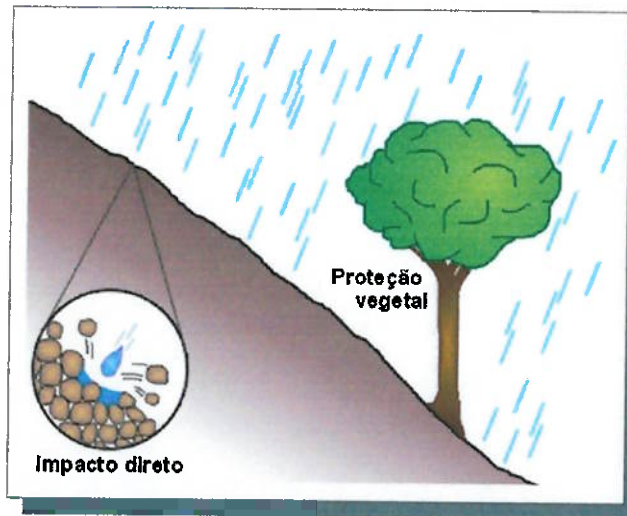
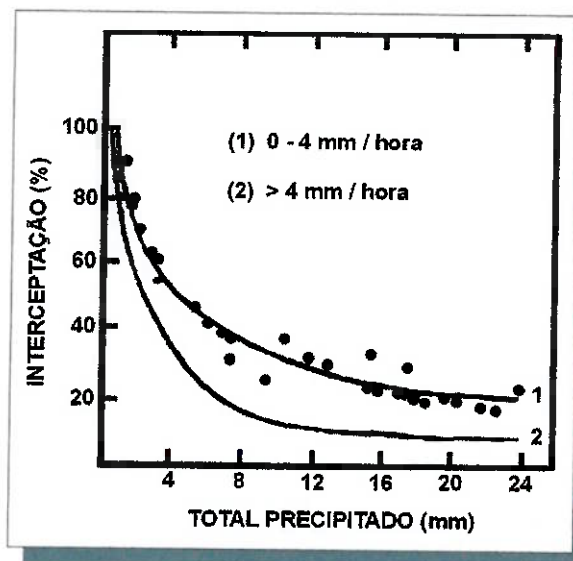


Figura 23 – Dano causado pelo impacto da gota de chuva sobre a superfície do terreno nu e a proteção proporcionada pela vegetação.

Logicamente, a porcentagem de água retida na superfície dos vegetais, além de dependente do(s) tipo(s) e densidade da vegetação e das condições de temperatura e umidade relativa do ar, será inversamente proporcional ao volume total precipitado, bem como a intensidade das mesmas. Ou seja, a interceptação da água de chuva atua até um determinado limite volumétrico, que varia em função das características da vegetação, do clima e, principalmente, da quantidade de água precipitada. O gráfico apresentado na Figura 24 demonstra essa proporção.



fonte: Blake (1975) *apud* Pugliese (1998).

Figura 24 – Relação entre interceptação, intensidade e precipitação.

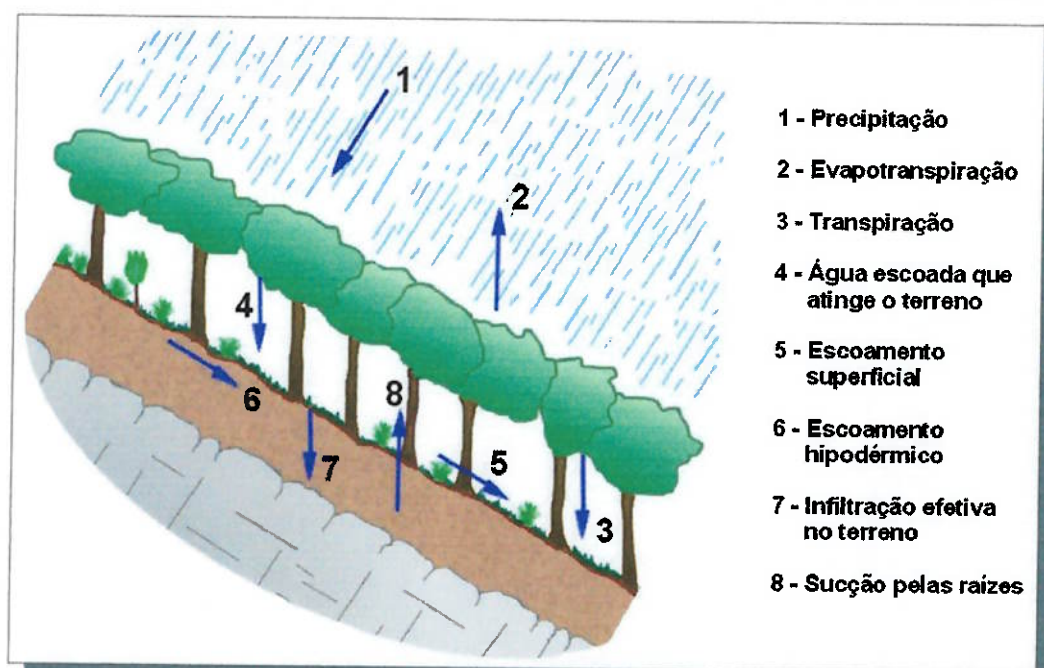
A camada de matéria orgânica depositada no solo atua como um manto absorvente, retendo uma porcentagem da água que atravessou a primeira barreira vegetal e se dirige ao maciço. Variável em função do tipo de material acumulado, densidade e umidade, esse recobrimento pode reter volumes consideráveis, podendo ser significativo no grau crítico de saturação do terreno para sua ruptura.

Espécimes vivas ou restos vegetais também atuam como barreiras no escoamento superficial, restringindo a área a ser umedecida ou saturada pelo alcance do *runoff*.

A cobertura vegetal também auxilia na retirada da água do solo através da absorção da água pelas raízes e sua transferência para a atmosfera através da evapotranspiração. Ambos os processos (absorção e evapotranspiração) são de intensidade variável em função da disponibilidade de água no solo, do tipo, tamanho e densidade de vegetação e das condições climáticas (umidade relativa do ar, ventos, pluviosidade, temperatura e insolação). Gray (1973) *apud* Wolle (1980), estudando a ação da vegetação sobre as tensões de sucção na água intersticial dos solos verificou que, em áreas florestadas, a recuperação dessas tensões após as chuvas era significativamente mais rápida que em áreas pouco vegetadas. Wolle (1980) acredita que tais constatações, mesmo sendo observada em florestas de clima frio, podem ser extrapoladas para as nossas matas tropicais.

A retirada de parte da água do solo através da absorção auxilia no aumento do grau de coesão da massa de solo criando pressões neutras negativas em direção ao sistema radicular. Mesmo as camadas mais profundas do solo, onde as raízes das plantas não alcançam, sofrem a influência da absorção através da subida da água à porções mais secas por capilaridade.

A Figura 25, de Prandini *et al.* (1976), apresenta os diversos mecanismos de atuação da cobertura vegetal no balanço hídrico de uma encosta.



fonte: Prandini *et al.* (1976), modificado.

Figura 25 – Atuação da cobertura vegetal no balanço hídrico de uma encosta.

Contudo, hidrológicamente, a cobertura vegetal não traz só benefícios para a estabilidade de uma encosta. Após um evento de chuva o material orgânico depositado em superfície atua como o teto de uma estufa em relação à camada superficial de solo. A água de superfície, retida no material orgânico e entre ele e a superfície do terreno, permanecerá infiltrando ao invés de evaporar.

Também após a morte de um espécime vegetal suas raízes apodrecem, podendo deixar canáliculos que facilitam a entrada e percolação da água pelo maciço. Esse efeito é particularmente importante nos maciços rochosos, onde as raízes aproveitam-se das fissuras para se instalar e, com o crescimento da planta, aumenta seu diâmetro causando o alargamento da fratura através de esforços cisalhantes. Com a morte da planta a fratura pode então ser preenchida com água e causar a instabilização de blocos, como visto anteriormente.

2.2.4.2 Ações mecânicas

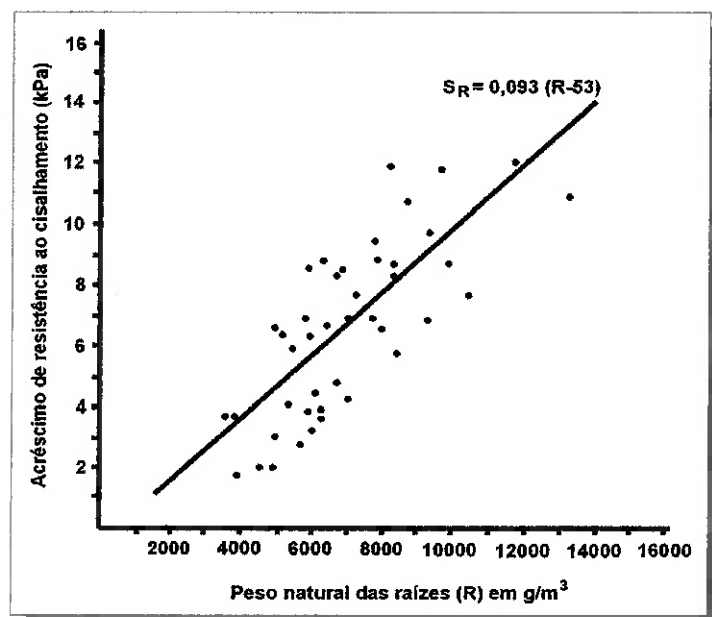
As ações mecânicas da vegetação sobre a estabilidade das encostas se dão através de três mecanismos principais:

1. efeitos do enraizamento em solos;

2. efeito alavanca com ação do vento; e
3. sobrecarga vertical.

O processo de enraizamento ocorre como a cravação de uma estaca no terreno, onde a extremidade da raiz, tal qual o fuste da estaca, abre caminho forçosamente no solo à sua frente, empurrando as partículas componente do maciço para frente e para o lado. Essa ação causa, de imediato, um efetivo adensamento do solo através do rearranjo de suas partículas, estejam elas na zona de aeração, vadosa ou de saturação (Azevedo & Albuquerque Filho, 1998). Como as raízes desenvolvem-se tridimensionalmente, o adensamento ocorre em toda massa que envolve a raiz.

Ademais, a malha formada pelo sistema radicular atua como uma armadura no maciço terroso e, tal qual o aço no concreto armado, proporciona um acréscimo na resistência ao cisalhamento da massa de solo que a envolve. Pugliese (1998) apresentando experimentos de outros autores e através de seus próprios, juntamente com Gray & Sotir (1996) e Wu (1995), demonstram essa afirmação. Merece destaque ainda o trabalho desenvolvido por Endo & Tsuruta (1968) *apud* Pugliese (1998) que demonstra a relação direta que há entre a densidade de raízes no solo (representada pela razão peso das raízes por volume de solo) e a resistência ao cisalhamento (Figura 26).

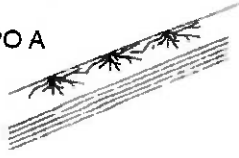
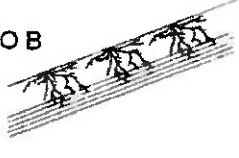
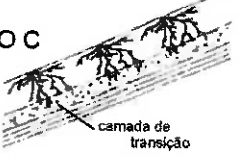
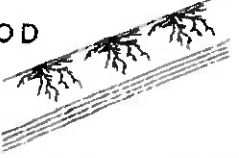


fonte: Endo & Tsuruta (1968) *apud* Pugliese (1998).

Figura 26 – Relação entre acréscimo de resistência ao cisalhamento e densidade de raízes.

A característica fibrosa das raízes também promove benefícios para a estabilidade, uma vez que, com um comportamento mais dúctil, promove um acréscimo na resistência a esforços de tração, comportamento particularmente benéfico em movimento de tombamento de massas de solo na crista de escorregamentos planares.

As raízes das plantas podem ainda promover um reforço mecânico através da solidarização de camadas de solo superiores, e possivelmente instáveis, com massas inferiores mais estáveis, dentre elas o próprio maciço rochoso. Logicamente esse benefício só é atingido se as raízes forem profundas o suficiente para atravessar a provável superfície de ruptura e promover um bom engaste com a massa inferior. A Figura 27 demonstra o grau de influência da profundidade das raízes na estabilidade de um talude.

TIPO DE TALUDE	DESCRIÇÃO	EFEITO DAS RAÍZES NA ESTABILIZAÇÃO
TIPO A 	manto de solo relativamente delgado, totalmente reforçado pelas raízes, sobre rocha são impenetrável às raízes	LEVE ainda pode ocorrer plano de fraqueza na interface com o topo rochoso
TIPO B 	similar ao tipo A, exceto pela presença de fraturas na rocha que permitem a entrada das raízes, que atuam como estacas	PRINCIPAL
TIPO C  camada de transição	manto de solo mais espesso contendo uma camada de transição com densidade e resistência crescentes com a profundidade. As raízes que penetram essa camada estabilizam o talude	SUBSTANCIAL
TIPO D 	espesso manto de solo que se estende abaixo das raízes. As raízes podem afetar o regime hidrológico mas não alcançam as fraturas do maciço rochoso	SECUNDÁRIO exerce pouco efeito em planos de ruptura mais profundos

fonte: Tsukamoto & Kusuba (1984) *apud* Gray & Sotir (1996).

Figura 27 – Influência da profundidade das raízes na estabilidade de um talude.

Portanto, espécies que apresentem sistemas radiculares preferencialmente profundos ou pivotantes, apresentam vantagens no travamento e, conseqüentemente, na melhoria da estabilidade do talude. Essa constatação é facilmente observada em grandes áreas da Serra do Mar atingidas por eventos catastróficos, como na Serra de Caraguatatuba por exemplo, onde, após o episódio de 1967, foram plantadas milhares de mudas de pinus. Tal espécie, apesar de exótica à flora nativa, apresentou excelentes resultados na proteção e travamento das camadas superficiais de solo, estando hoje já incorporados à paisagem (Foto 10).



foto: do autor.

Foto 10 – Serra de Caraguatatuba parcialmente reflorestada com espécimes de pinus.

Como apresentado no item 2.2.3.2, as árvores podem atuar como agentes de instabilização quando suas raízes são submetidas à esforços cisalhantes causados pela ação do vento (Figura 16). Nilawera (1994) *apud* Pugliese (1998) aponta que, mesmo não ocorrendo o arranque da raiz, os esforços sentidos pelo manto de solo podem comprometê-lo, predispondo-os a instabilizações futuras. O efeito alavanca é variável e dependente da coesão do solo, da forma e profundidade do sistema radicular, da altura das árvores, do espaçamento entre elas, da direção e intensidade do vento e da inclinação do talude, sendo necessárias condições bastante específicas para a ocorrência desse tipo de instabilização.

O efeito de cunha das raízes também pode ser significativo em maciços rochosos fraturados e com pequena cobertura de solo. As plantas lançam suas raízes para dentro das fissuras do maciço em busca de substrato terroso e água. A medida que a

planta se desenvolve, suas raízes avançam e engrossam, aplicando um esforço cisalhante nas paredes das discontinuidades ocasionando a separação de blocos por esforços de tração. Considerado como desfavorável à estabilidade da massa rochosa, esse efeito deve, contudo, ser encarado de maneira mais ampla. Enquanto as raízes atuam como cunhas na separação de blocos, elas também podem atuar como uma armadura externa, mantendo unido todo o conjunto.

O efeito de sobrecarga vertical pode apresentar influência positiva ou negativa à estabilidade da massa de solo dependendo da inclinação do talude. Bishop & Stevens (1964) *apud* Prandini *et al.* (1976) estimam que a sobrecarga exercida por uma floresta de clima frio fica em torno de $0,025 \text{ kg/cm}^2$, ou o correspondente a 15 cm de solo. Enquanto Prandini *et al.* (1976) afirmam que o efeito da sobrecarga vertical é benéfica para taludes com ângulo de inclinação inferiores a 45° e adverso para inclinações superiores, Gray (1974) *apud* Pugliese (1998) aponta o ângulo de 30° como limite para essa situação. Contudo Nilawera (1994) *apud* Pugliese (1998) afirma que o ângulo limite entre os efeitos benéficos e adversos da sobrecarga vertical é igual ao ângulo de atrito do solo.

Guidicini & Nieble (1984) apresentam ainda como efeito secundário e benéfico da cobertura vegetal, sua atuação como barreira mecânica aos detritos descendentes oriundos de escorregamentos em cotas superiores (Figura 28). Essa participação atenua os estragos da descida de detritos que, dependendo da condição geomorfológica, podem ganhar enormes proporções.

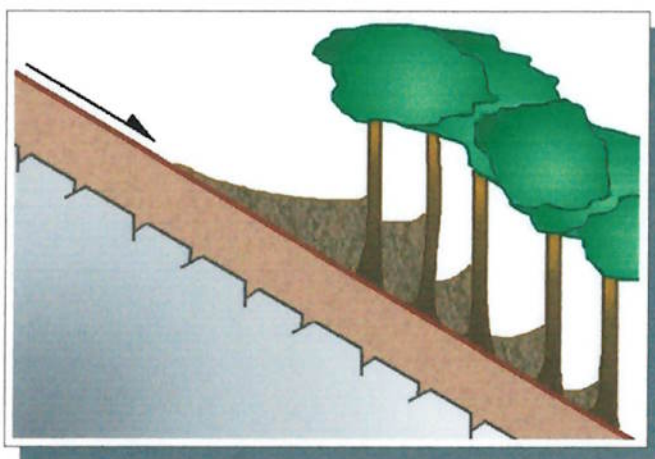


Figura 28 – Atuação das árvores como barreira à descida de detritos.

2.2.4.3 Efeitos do desmatamento

Assunto já amplamente discutido na literatura nacional e estrangeira, os efeitos do desmatamento na estabilidade de encostas passou de um assunto polêmico para algo mais consensual. Sabe-se hoje que o desmatamento apresenta, a curto prazo, uma tendência à melhoria do fator de segurança no que se refere à estabilidade do talude. Essa melhoria se deve principalmente a dois fatores de atuação imediata:

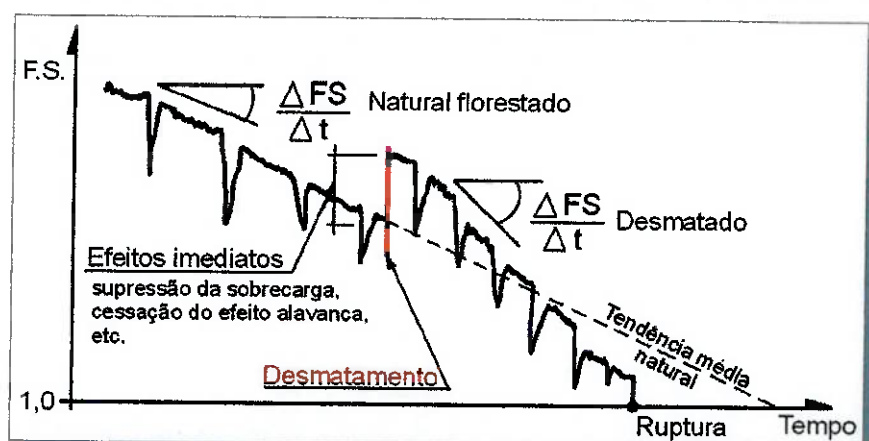
1. cessação do efeito alavanca pela ação do vento;
2. retirada da sobrecarga vertical;

Essa ação benéfica, porém, tende a ser suprimida a médio e longo prazo pelos efeitos adversos que o desmatamento acaba proporcionando, tais como:

1. cessação dos benefícios hidrológicos como a interceptação, absorção, evapotranspiração, redistribuição da água de chuva, escoamento hipodérmico, etc.;
2. cessação dos efeitos de proteção à ação física da água como o embate direto da chuva na superfície, a erosão superficial causada pelo *runoff*, etc.;
3. cessação do reforço mecânico do solo após o apodrecimento das raízes;
4. abertura de caminhos de percolação nos locais antes ocupados pelas raízes;
5. perda do travamento das camadas superiores do solo às inferiores pelo estaqueamento proporcionado por raízes profundas.

A Figura 29, apresentada por Wolle (1986) demonstra o efeito do desmatamento de curto a longo prazo. Nota-se que os efeitos benéficos do desmatamento aparecem imediatamente após sua ocorrência, porém, a longo prazo, o talude é levado à ruptura antes do prazo esperado pela sua tendência natural.

A ação benéfica, mesmo que provisória, que o desmatamento de uma floresta provoca na cessação do efeito alavanca pelo vento pode ser discutível para o caso de florestas densas. Nesse tipo de floresta, o dossel funciona como uma superfície contínua e rugosa, dificultando a ação do vento sobre um único espécime.



fonte: Wolle (1996).

Figura 29 – Variação da estabilidade de uma encosta ao longo do tempo antes e depois do desmatamento.

2.2.5 Ação antrópica

Com exceção aos terremotos, que são raros e de baixa intensidade no Brasil, a ação humana é o mais importante agente imediato no desencadeamento de instabilizações. Nakazawa & Cerri (1990) e Costa Nunes (1990) *apud* Augusto Filho & Virgili (1998) afirmam que, dentre todos os escorregamentos ocorridos na região de Petrópolis, RJ, em 1988, cerca de 90% tiveram influência direta ou indireta da intervenção humana no meio físico. O Quadro 10, apresentado por Augusto Filho (1992b), lista as principais interferências antrópicas indutoras de escorregamentos:

Quadro 10 – Principais interferências antrópicas indutoras de escorregamento.

- remoção da cobertura vegetal;
- lançamento concentrado de águas servidas;
- vazamentos na rede de abastecimento e de esgoto;
- presença de fossas;
- execução de cortes com geometria inadequada (altura e inclinação);
- execução deficiente de aterros (compactação, geometria e fundação);
- lançamento de entulho e lixo nas encostas;
- vibrações produzidas por tráfego pesado, explosões, etc.

fonte: Augusto Filho (1992b).

Cerri (1993) acrescenta ainda os efeitos de sobrecarga de construções na crista e ao longo da superfície do talude ou encosta, o cultivo de espécies potencialmente

instabilizadoras e a implantação de obras de contenção mal executadas como outras interferências antrópicas indutoras de instabilizações.

Wolle (1986) também acrescenta a influência da poluição na instabilização de encostas da Serra do Mar. O autor descreve fenômenos de escorregamentos ocorridos na Serra, correlacionando-os à supressão da cobertura vegetal nas cercanias do Município de Cubatão, devido à intensa poluição produzida em seu polo industrial.

Soares *et al.* (1976) também apontam a grande incidência de escorregamentos em regiões de ocupação agrícola na Serra de Maranguape, CE, propondo, entre outras medidas de controle das instabilizações, o reflorestamento de algumas porções da Serra.

Como visto anteriormente, a remoção da cobertura vegetal causa, a médio e longo prazo, uma diminuição das condições de estabilidade do maciço devido ao apodrecimento das raízes, eliminação da proteção superficial contra a ação da água de chuva e aumento da infiltração da água no maciço. Ocupações de encostas inevitavelmente são precedidas de desmatamentos que, mesmo localizadamente, podem comprometer a estabilidade da área ocupada.

O lançamento concentrado de águas servidas diretamente sobre o terreno é comum em locais com pouco ou nenhum dispositivo de saneamento básico, cenário infelizmente muito comum nas encostas ocupadas. Essas águas, além de causar o surgimento de processos erosivos lineares, colaboram na manutenção da umidade elevada, ou mesmo da saturação do maciço, condição essa propícia para instabilizações durante eventos de chuvas intensas, como visto anteriormente. Ironicamente, encostas ocupadas atendidas por redes de abastecimento d'água e/ou coleta de esgoto também estão sujeitas à escorregamentos causados por rompimentos acidentais dessas redes.

Talvez a ação humana mais comum e de conseqüências mais imediatas no desencadeamento de instabilizações seja a escavação inadequada. Segundo Augusto Filho & Virgili (1998), a escavação de cortes em uma encosta provoca alterações no estado de tensões atuantes no maciço. Os efeitos desse desequilíbrio de tensões podem variar desde o aparecimento de trincas de tração acima do corte até a ruptura total do maciço (Figura 30).

A concentração de dejetos nas encostas, além de todos os problemas ambientais associados, também atua no processo de instabilização através da concentração de fluxo d'água por sob o depósito e o impedimento do crescimento de vegetação.

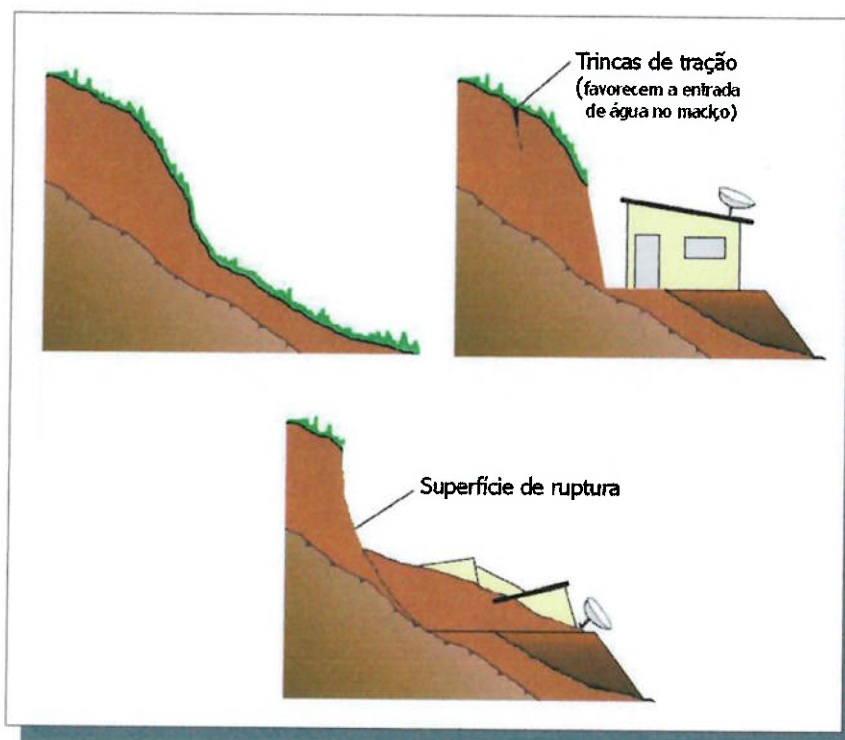


Figura 30 – Escorregamento causado pelo corte inadequado do maciço.

Outra forma de atuação antrópica na instabilização de maciços, já observada pelo autor, é a instalação de torneiras na saída de drenos horizontais profundos (DHP's) instalados em maciços com histórico de movimentações causadas por nível d'água elevado. Em outro caso, o autor observou a instalação de uma mangueira na saída do DHP que levava a água até uma caixa d'água devidamente provida de bóia reguladora.

Cabe aqui ressaltar que não é somente os denominados “excluídos”, ou seja, a população de baixa renda e, conseqüentemente, de pouco conhecimento técnico, os únicos responsáveis antrópicos pela deflagração de movimentos de massas. Infelizmente o meio técnico, por ignorância ou despreparo, muitas vezes também atua como agente instabilizador, seja pela falta de dispositivos de drenagem, pela não atenção às condições geológicas locais ou mesmo por projetos geotécnicos equivocados.

3 ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

A implantação de um talude de corte cria, inevitavelmente, uma alteração no equilíbrio natural do maciço. O efeito dessa alteração na estabilidade depende do tipo de intervenção executada e de quanto essa intervenção alterou suas características de equilíbrio.

Normalmente, taludes de corte realizados em empreendimentos civis e mineiros acabam por piorar as condições naturais de equilíbrio do maciço, colocando-os em uma geometria com inclinações mais acentuadas do que a natural, mudando o regime de escoamento superficial da água de chuva, a taxa de infiltração e modo de percolação da água subterrânea. Essas mudanças têm reflexo imediato na estabilização porque alteram o equilíbrio das forças atuantes.

A escavação de uma superfície inclinada causa também uma alteração no regime de erosão e transporte dos materiais que compõe a nova superfície exposta, podendo ter reflexo mais tardio na estabilidade do talude, ou vir a ocasionar o comprometimento dos sistemas de drenagem e da própria aparência estética da superfície.

Da mesma forma, encostas naturais potencialmente instáveis ou já instabilizadas encontram-se em situações de desequilíbrio devido basicamente aos mesmos condicionantes acima descritos, só que, às vezes, atuando mais lentamente. Wolle (1980) já dizia que as encostas, particularmente aquelas da Serra do Mar, são naturalmente instáveis e propensas à instalação de escorregamentos, ou seja, estão com as condições de equilíbrio caminhando gradativamente a níveis críticos. Um talude escorregado não necessariamente já se encontra em estado de equilíbrio e, conseqüentemente, estabilizado. Sua nova condição impõe, no mínimo, alterações no regime hidrológico (superficial e subterrâneo) e na resistência aos processos erosivos.

Dessa forma, a estabilização de taludes tratada nesse capítulo abrange igualmente os taludes de corte e os naturais, considerando que ambos necessitam de avaliações e cuidados semelhantes.

Diversos trabalhos tratam da estabilidade de taludes de corte e de encostas naturais, podendo-se destacar Terzaghi (1950), Teixeira (1966), Vargas (1966), Guidicini &

Nieble (1976), Costa Nunes (1978), Wolle (1980 e 1988a e b), Carvalho (1991), Augusto Filho & Virgili (1998) entre outros que, de maneira abrangente e sistemática, caracterizam os diversos tipos de movimento de massa, revisando classificações, propondo novas e/ou apresentando, mesmo que alguns superficialmente, os procedimentos básicos para controle e correções. Somando-se os conceitos apresentados nesses trabalhos, pode-se concluir que a estabilidade de um talude depende, basicamente, de quatro fatores:

- a geometria do talude;
- o maciço componente;
- o sistema de drenagem; e
- a proteção superficial.

A seguir são descritos o papel de cada um dos quatro fatores acima mencionados na estabilidade de um talude. Cabe ressaltar que o objetivo desse trabalho é a compreensão do papel da proteção superficial na garantia da estabilização, de modo que os outros fatores, embora muitas vezes mais importantes nesse processo que o próprio revestimento, serão abordados de forma mais superficial, tanto quanto sua complexidade e importância assim o permitir.

3.1 Geometria do Talude

A geometria de um talude pode ser definida como sua forma espacial e as dimensões de cada segmento que o compõe, conforme é apresentado na Figura 31. A geometria de um talude de corte é produto de um projeto previamente estabelecido, podendo ser concebido da forma mais adequada à sua estabilidade. Desse modo, taludes com ângulo de inclinação pequeno, bancadas baixas e bermas largas são, naturalmente, mais estáveis que taludes com altas inclinações, bancadas altas e poucas bermas em maciços semelhantes.

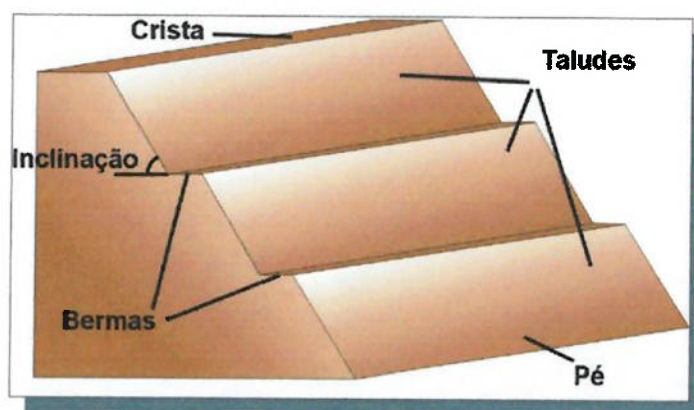


Figura 31 – Elementos componentes da geometria de um talude de corte.

Porém, a geometria de um talude escavado nem sempre pode ser igual à geometria ideal, ou seja, menos inclinado, bermas largas, etc. É o caso, por exemplo, de taludes em rodovias com estreitas faixas de domínio ou, mais impositivo ainda, os taludes de mineração, os quais normalmente são deixados com inclinações acentuadas para facilitar o desmonte em taludes provisórios e obter o máximo de material possível nos definitivos.

Dessa forma, existe uma série de condicionantes, naturais ou não, que podem influenciar na geometria assumida no projeto de escavação de um maciço. A seguir são descritos, de maneira simplificada, esses diversos condicionantes e seu papel na estabilidade final do maciço escavado.

3.1.1 Características geomecânicas do maciço

Os diversos tipos de materiais, sejam eles terrosos, rochosos ou mistos, apresentam uma infinita gama de variações de parâmetros geomecânicos empregados nos cálculos clássicos de estabilidade. Coesão, ângulo de atrito, peso específico, resistência ao cisalhamento, índice de vazios, plasticidade, variações litológicas e estratigráficas, tensões residuais, etc. são alguns dos parâmetros que condicionam a geometria final do talude de corte, às vezes beneficiando escavações mais íngremes, mais interessantes para minerações, às vezes impondo geometrias extremamente abatidas, como é o caso das argilas marinhas.

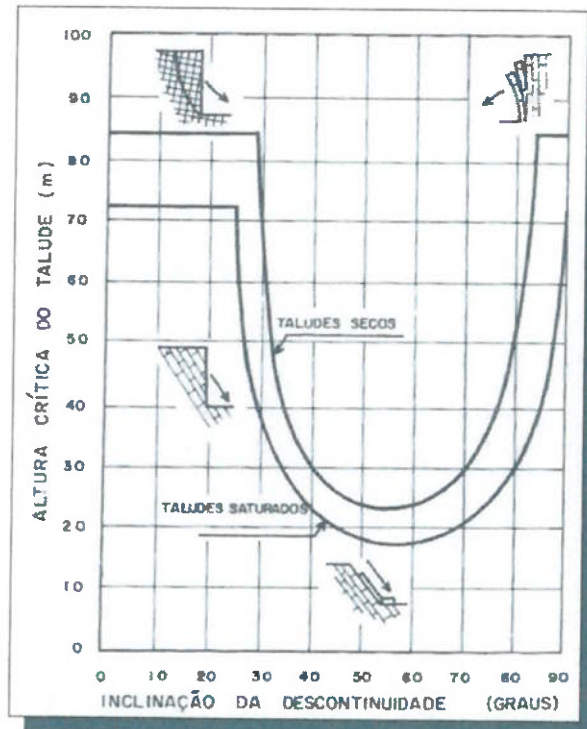
Dessa forma, maciços rochosos, que normalmente apresentam valores de coesão e ângulo de atrito maiores que os terrosos, podem suportar geometrias mais íngremes, desde que satisfaçam os outros condicionantes a seguir apresentados.

3.1.2 Estruturas do maciço

De fundamental importância para os maciços rochosos, a estruturação do maciço tem papel decisivo na geometria final do talude, influenciando inclusive os maciços terrosos. A presença, posição, persistência, inter-relação e estado das descontinuidades (alteração, abertura, rugosidade e preenchimento) como juntas, falhas, acamamentos e contatos, além de estruturações internas como xistosidade e foliação, são dados imprescindíveis para a avaliação da estabilidade da massa e concepção do projeto de escavação ou estabilização.

Augusto Filho & Virgili (1998) afirmam que a estabilidade de massas rochosas é determinada, em grande parte, por essas estruturas. Trabalhos como os de Barton *et al.* (1974), Bieniawski (1989), Hoek (1998) apresentam técnicas de quantificação da influência dessas estruturas na estabilidade geral do maciço, possibilitando sua compartimentação e, conseqüentemente, a definição de geometrias e tratamentos distintos em cada compartimento definido.

O trabalho de Hoek & Bray (1974) *apud* Guidicini e Nieble (1976) é particularmente interessante na compreensão da influência da compartimentação estrutural do maciço na estabilidade de um talude nele escavado. A Figura 32, obtida desse trabalho, apresenta a influência da inclinação e persistência de descontinuidades na altura considerada crítica à instalação de rupturas.



fonte: Hoek & Bray (1974) *apud* Guidicini e Nieble (1976).

Figura 32 – Relação entre ângulo das estruturas internas e altura máxima do talude de corte.

3.1.3 Perfil de intemperismo

A espessura e composição do perfil de intemperismo condicionam o projeto geométrico de um talude de corte na medida em que são utilizados diferentes parâmetros para cada horizonte identificado. Dessa forma, é possível projetar taludes com geometrias variáveis em função do tipo de material encontrado em cada horizonte do maciço. Quanto melhores os parâmetros, ou seja, mais favoráveis à estabilidade, mais inclinado e com bermas mais estreitas e espaçadas pode ser o talude final (Figura 33).



Figura 33 – Exemplos de geometrias diferentes para tipos de solos diferentes.

O contato brusco entre dois horizontes distintos também pode condicionar a geometria do talude. Caso, por exemplo, uma camada mais permeável ocorra sobreposta à outra impermeável, pode ser necessária a implantação de uma berma para captação e condução da água dos dispositivos de drenagem (Figura 34).

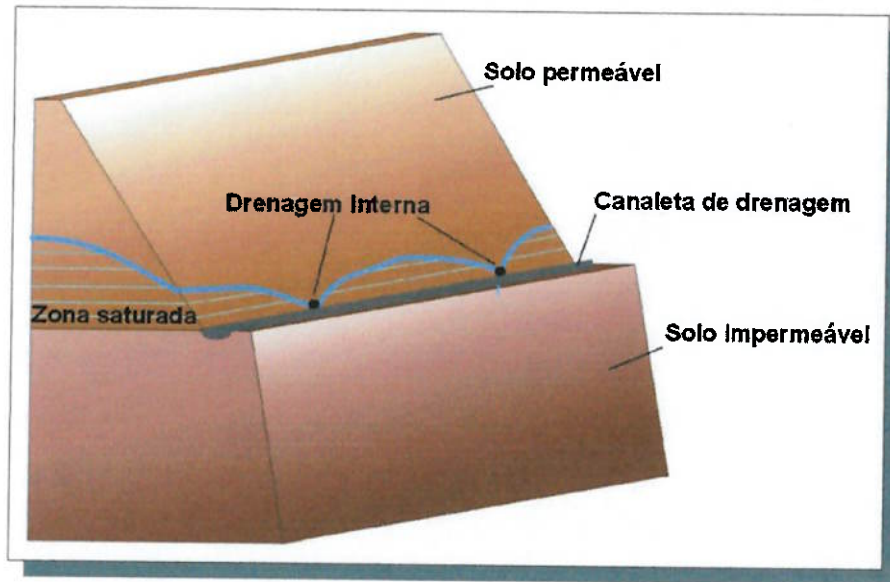


Figura 34 – Variação da geometria devido à diferenças de permeabilidade.

Esse mesmo conceito é aplicável em solos estratificados, cujos estratos apresentem diferentes parâmetros geotécnicos, impondo adaptações geométricas para atender os requisitos de estabilidade de cada camada.

3.1.4 Presença de água

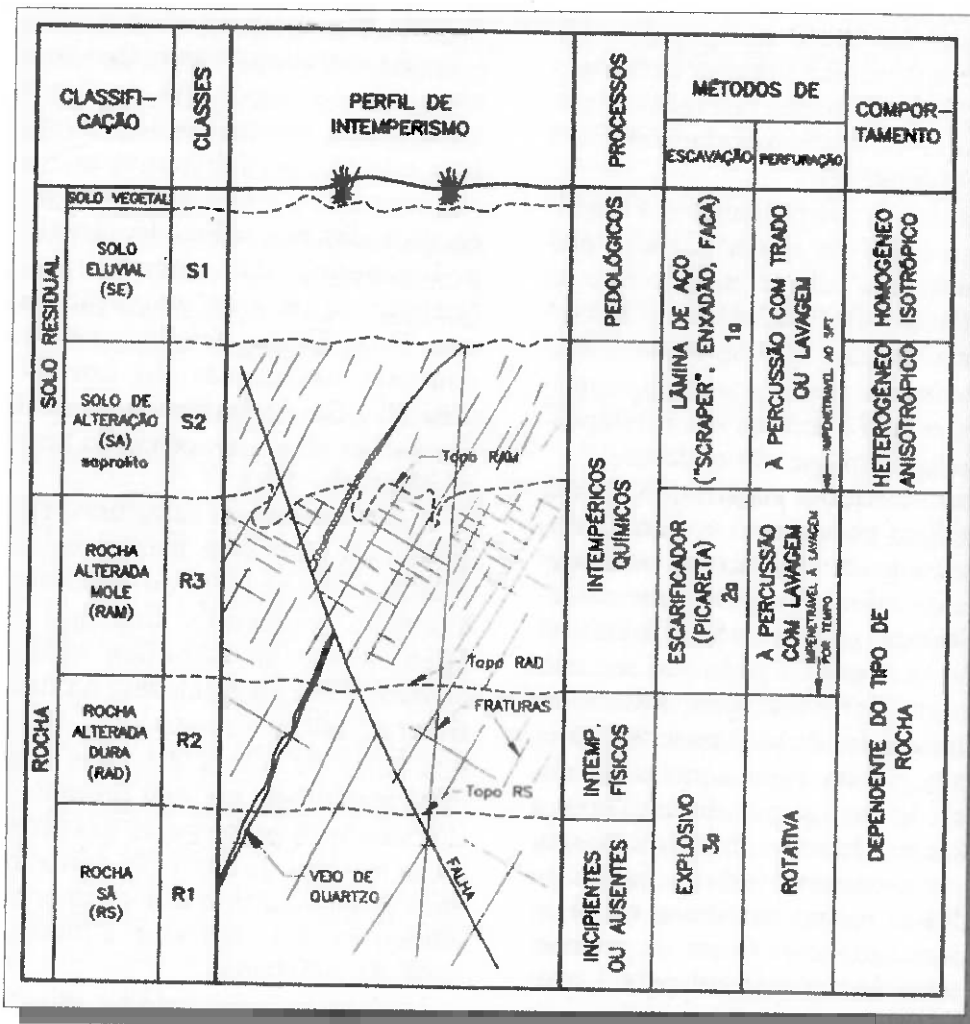
A água, como visto anteriormente, é um dos principais agentes na instabilização de um maciço. A presença e variação do lençol freático influi na adequação da geometria final do talude de corte uma vez que a água altera as características geomecânicas dos materiais que satura ou umedece. A necessidade de implantação de dispositivos de drenagem para sua captação e condução também é responsável pela adoção de geometrias específicas, como observado na Figura 34.

A simplicidade e eficiência do processo de retaludamento é enfaticamente defendida por Wolle (1980 e 1981). Para o autor, essa técnica deveria ser prioritariamente concebida nos casos estabilização de encostas para somente depois, na

impossibilidade de seu uso e/ou insuficiência de resultados, serem empregadas outras técnicas mais complexas. O retaludamento, segundo esse autor, altera positivamente o estado de tensões do maciço reduzindo os esforços de cisalhamento, ou seja, reduzindo a obliquidade das tensões atuantes através do abatimento da superfície final do talude pela retirada de material nas porções de aplicação de maior carga. Leme (1987) corrobora com esse conceito afirmando que estabilizações com retaludamento são menos onerosas que outras alternativas, como estruturas de contenção.

O retaludamento, ou abatimento do talude, torna-se mais eficiente ainda para a grande maioria dos escorregamentos ocorridos na Serra do Mar. Preferencialmente do tipo planares ou translacionais (Vargas, 1966; Wolle, 1980; Augusto Filho, 1992a; Martinez, 1999; Santos, 2002; entre outros), os escorregamentos ocorridos nessa região deixam uma superfície lisa desprotegida (plano de ruptura) com a crista em negativo (Figura 4). Esse tipo de movimento ocorre com muita frequência nos solos residuais da Serra do Mar devido aos delgados horizontes de intemperismo típicos daquela região (Costa Nunes, 1971; Carregã, 1996). Em Vaz (1996) é sugerida uma classificação terminológica para os diversos horizontes de intemperismo dos solos residuais baseada em seu grau de alteração e comportamento frente à escavação. Na Serra do Mar, observa-se que, comumente, o plano de ruptura de um escorregamento do tipo planar é coincidente com o limite entre os dois horizontes mais superficiais apresentado por esse autor, solo eluvial / solo de alteração (Figura 35), possivelmente pela brusca alteração nas condições de permeabilidade.

Obras simples de retaludamento, sempre associadas à implantação de dispositivos de drenagem e proteção superficial, têm demonstrado grande eficiência no aumento ou recomposição da segurança de rupturas ocorridas na Serra do Mar. Essas soluções simples, sem a utilização de dispositivos de contenção, trazem como vantagem adicional, a médio e longo prazo, a reintegração da cicatriz deixada pela ruptura ao seu meio de entorno.



fonte: Vaz (1996).

Figura 35 – Perfil de intemperismo para regiões tropicais.

3.2 O maciço componente

A geometria, o sistema de drenagem e a proteção superficial são fatores que podem ser controlados num projeto de um talude de corte ou na recuperação de uma encosta, ou seja, é possível projetar inúmeras geometrias distintas, diversos sistemas de drenagem e escolher um ou mais entre os vários tipos de revestimentos existentes. Porém, o maciço componente é, entre os quatro fatores, o único no qual não é possível fazer adaptações ou escolhas diferentes, uma vez que ele é o próprio material que compõe o talude.

Esse raciocínio perde um pouco do seu significado quando são considerados os sistemas de tratamentos de maciços existentes (ex. injeções, consolidações e adensamentos). Esses tratamentos *“modificam determinadas características ou*

propriedades dos maciços geológicos, de forma a adequá-los às solicitações impostas por uma obra de engenharia e garantir sua estabilidade” (Dobereiner & Vaz, 1998).

Contudo, nem sempre é possível o emprego de determinados tratamentos, seja pela sua ineficiência em certas condições, seja pelo custo elevado em outras. Hoek & Londe (1974) *apud* Guidicini & Nieble (1984) afirmam que, em massas instabilizadas, os tratamentos de maciço apresentam baixa eficiência, pois parte da resistência do maciço já foi perdida na abertura de trincas ou durante sua movimentação. Conclui-se, então, que os tratamentos devam ser preferencialmente realizados durante as etapas de terraplenagem de um talude de corte ou empregados numa encosta natural antes de qualquer indício de ruptura, de modo a aumentar seu fator de segurança.

Na quase totalidade dos casos, o projeto de estabilização de uma encosta ou de um talude de escavação deverá conviver com as características intrínsecas do maciço (rochoso ou terroso), adaptando-se os demais fatores às imposições dessas características. Fundamentalmente pode-se reunir todas as características relevantes em três grupos:

1. parâmetros geomecânicos, que refletem a composição do maciço, o arranjo das partículas dessa composição e as relações físicas e químicas que essas partículas têm entre si e com o meio (água, raízes, subpressões, etc.);
2. água, através de sua presença, quantidade, direção de fluxo, carga hidráulica e/ou piezométrica, etc.;
3. estruturas internas, formadas por horizontes de intemperismo com características geomecânicas distintas ou por estruturas próprias do litotipo (xistosidade, foliação, acamamento, fraturas, falhas, etc.).

Como visto no item anterior, esses três fatores apresentam grande influência já na geometria a ser adotada no projeto de estabilização. Contudo, também apresentam influência significativa no projeto de drenagem e escolha do tipo de proteção superficial a ser implantada, conforme visto a seguir.

3.3 O sistema de drenagem

Muitas vezes deixado num plano secundário, é o sistema de drenagem que, em muitos casos, irá garantir o sucesso da estabilidade de um talude.

Como visto anteriormente, a maior parte dos mecanismos de instabilização estão estreitamente ligados à presença e comportamento da água. A atuação desfavorável da água de chuva, por exemplo, começa com o impacto da gota sobre a superfície do terreno, podendo causar desagregação e/ou arranque de partículas; continua pelo escoamento superficial, que pode causar erosão na superfície, criando sulcos e removendo a camada de solo orgânico necessário para a fixação e desenvolvimento vegetal; passa pela infiltração no maciço, o que contribui para a criação de frentes de saturação e alteamento do N.A.; e termina com surgências indesejáveis na superfície do talude, causando *piping* e comprometendo a segurança do maciço como um todo.

Além da estabilidade, a estética torna-se igualmente comprometida com a ação descontrolada da água na superfície do talude. Além do comprometimento visual com a instalação erosões lineares e laminares excessivas, essas feições também comprometem o sistema de drenagem através de seu assoreamento.

Portanto, é impositivo que, num projeto de talude de corte ou no tratamento (preventivo ou de recuperação) de uma encosta natural, desprenda-se grande preocupação com o sistema de drenagem.

Carvalho (1991) diz que “a execução destas obras (de drenagem) representa um dos procedimentos mais eficientes e de mais larga utilização na estabilização de todos os tipos de taludes”.

Os dispositivos de drenagem empregados em taludes escavados e encostas naturais podem ser agrupados em dois conjuntos segundo o local de atuação: superficiais e os subterrâneos.

3.3.1 Drenagem superficial

Entende-se como drenagem superficial o conjunto de dispositivos responsáveis pelo disciplinamento, captação, condução e disposição da água superficial. O termo disposição refere-se tanto à ligação do sistema de drenagem com a rede pública,

caixas de bombeamento, etc., como também ao retorno controlado da água recolhida ao meio ambiente. Seus objetivos principais são:

1. a proteção da superfície contra a erosão; e
2. a diminuição da parcela de água que infiltra no maciço.

A seguir são listados alguns dos dispositivos de drenagem utilizados em taludes de corte e encostas naturais.

Canaletas: são obras lineares que funcionam como canais artificiais e que têm a função de interceptar e conduzir a água de superfície. Existem canaletas de crista, de berma e de pé (Figura 36). As de crista, muito utilizadas em procedimentos de recuperação e estabilização de encostas naturais e em cortes rodoviários, fazem a interceptação e condução da água que vem de cotas mais altas e escoam em direção ao talude. As de berma, também chamadas de intermediárias, auxiliam na captação da água de chuva, que cai diretamente na superfície do talude, e da água que sai dos dispositivos de drenagem subterrânea. As canaletas de pé protegem a base do talude da ação erosiva da água concentrada, além de também captar a água de dispositivos de drenagem subterrânea.

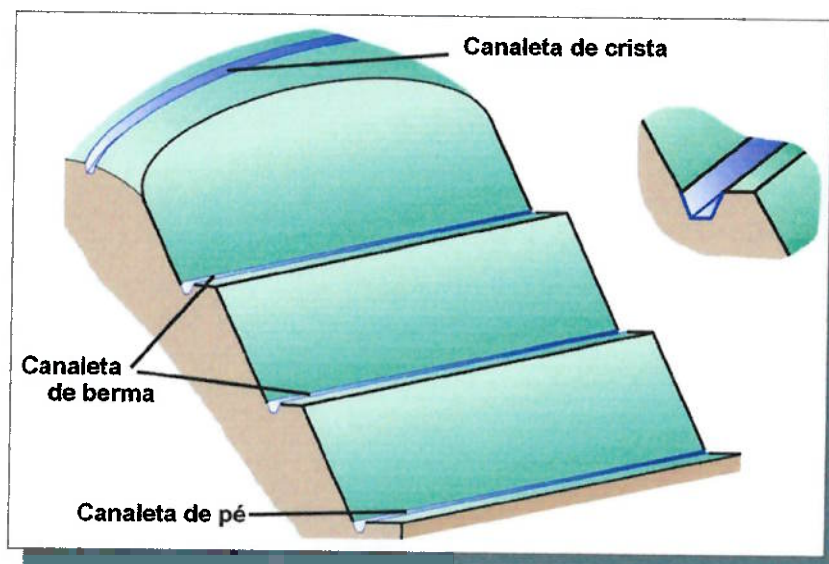
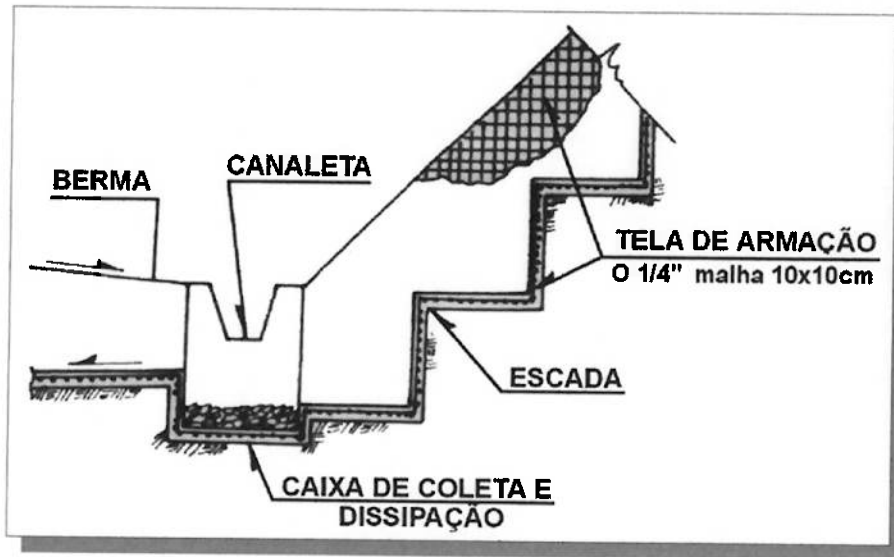


Figura 36 – Tipos de canaletas.

Escadas dissipadoras: são estruturas destinadas à receber a água coletada nas canaletas e conduzi-las às porções mais baixas do talude. Sua forma em degraus

promove a dissipação da energia de descida da água que, concentrada, poderia causar erosões lineares profundas (Figura 37).

Caixas de coleta e dissipação: coletam a água vinda das canaletas conduzindo-a às escadas dissipadoras, lançando-a em bueiros, galerias e poços de bombeamento, ou devolvendo-a ao meio através de enrocamentos de proteção (Figura 37).



fonte: Carvalho (1991).

Figura 37 – Escada dissipadora e caixa coletora.

Os dispositivos de drenagem superficial são normalmente confeccionados *in loco*, primeiramente com a escavação das valas (manual ou mecanicamente) e posterior confecção do revestimento, normalmente de concreto ou argamassa. Podem ter suas partes pré-fabricadas, moldadas *in loco* ou mesmo confeccionadas com concreto projetado.

Recomenda-se que sejam feitos pequenos orifícios em suas laterais de modo a permitir a entrada da água que encontra-se abaixo da borda, evitando assim problemas de subpressões nas paredes e fundo dos dispositivos.

Muitos problemas de instabilizações em taludes com dispositivos de drenagem devidamente instalados se devem à problemas de manutenção. A água, antes de atingir a canaleta, escoou pela superfície do terreno e, com maior ou menor intensidade, trouxe consigo partículas de solo. Não fosse a interceptação dos dispositivos de drenagem esse material continuaria a ser transportado, podendo ser lançado num rio ou lago, ou ser deixado em um depósito coluvionar. O processo de

erosão, transporte e deposição não foi interrompido com a implantação da drenagem, foi apenas modificado. Essa constatação parece óbvia mas é muitas vezes negligenciada, de modo que, após instalados, os dispositivos de drenagem são esquecidos, acreditando-se que, por terem sido projetados para recolher água, somente água por eles passa.

3.3.2 Drenagem subterrânea

Pode-se afirmar que a água subterrânea apresenta sempre um papel desfavorável para a estabilidade de uma encosta natural ou talude de corte, seja pela diminuição da coesão aparente, pela aplicação de pressões neutras, pela lixiviação de agentes cimentantes ou devido ao surgimento de *piping*. Assim, o rebaixamento do lençol freático torna-se uma medida benéfica no incremento da estabilidade.

Os sistemas de drenagem subterrânea promovem o rebaixamento do lençol freático através de cinco formas, a saber:

Cavas e valetas: são escavações rasas, normalmente lineares, que buscam interceptar o lençol freático de modo a direcionar a água que percola no maciço para seu interior (Figura 38). A água coletada pode ser retirada por gravidade, quando as condições topográficas assim o permitirem, ou bombeada em poços de acumulação.

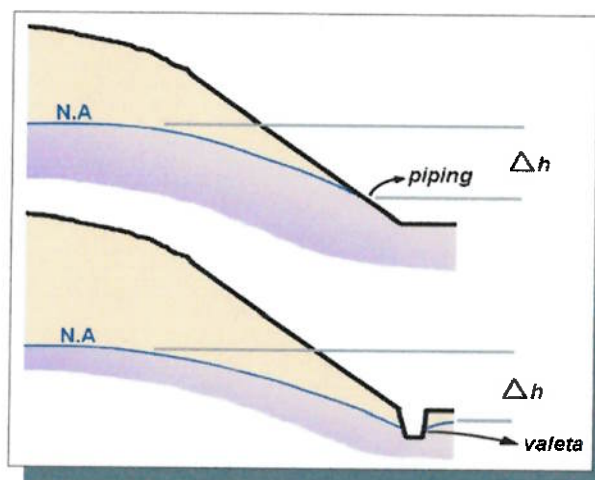
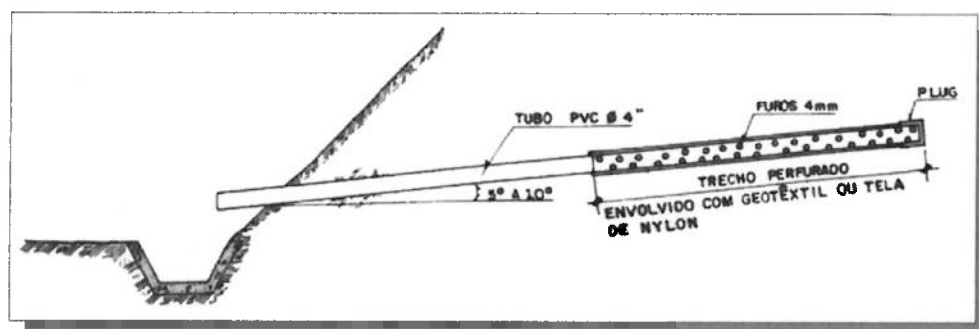


Figura 38 – Valeta de rebaixamento.

Drenos Horizontais Profundos: conhecidos simplesmente por DHP's, promovem o rebaixamento do lençol freático através da execução de furos no maciço com inclinação ascendente (normalmente entre 5° e 15°) e posterior introdução de tubos para o escoamento da água, normalmente de PVC rígido de 2", cuja extremidade é previamente perfurada e envolta em tela plástica ou manta geotêxtil. Seu funcionamento está ligado à introdução da pressão atmosférica para dentro do maciço, causando o fluxo da água subterrânea em direção ao tubo que a recolhe e, por gravidade, a conduz para fora do talude (Figura 39). A tela plástica ou o geotêxtil funcionam como elementos filtrantes, impedindo o carreamento de material para dentro do tubo, o que poderia causar o surgimento de *piping* e/ou o assoreamento do mesmo. Podendo ser empregados tanto em maciços rochosos quanto em terrosos, são comumente instalados em série, e preferencialmente na mesma cota, de modo a promover um rebaixamento mais eficiente. A operação de DHP's requer a presença de canaletas para a captação e condução apropriada da água coletada. A perfuração pode ser feita tanto com equipamento rotopercussivo, mais usualmente empregado em maciços rochosos, como com equipamento de sondagem rotativa e o diâmetro do furo é normalmente de 3" a 4".

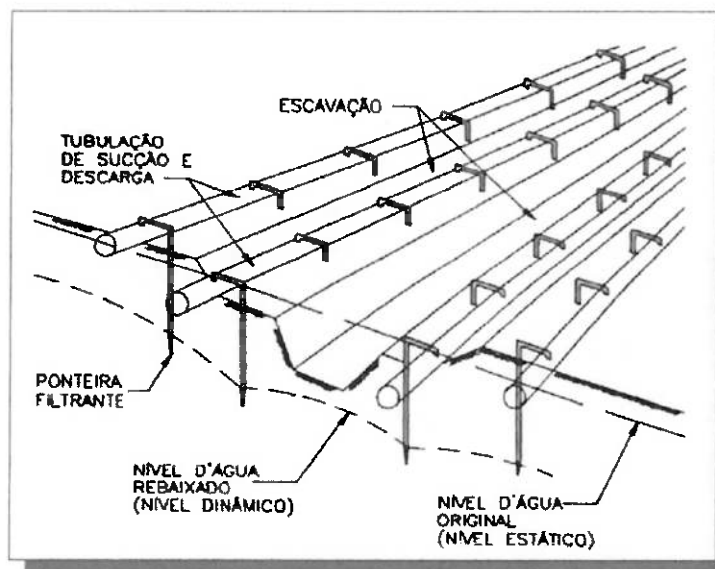


fonte: Carvalho (1991).

Figura 39 – Drenos horizontais profundos (DHP's).

Ponteiras filtrantes: também conhecidas como *well points*, promovem o rebaixamento temporário do aquífero através da introdução de vários tubos perfurados no terreno, acoplados a um sistema de bomba de vácuo (Figura 40). Permitem um rebaixamento máximo efetivo de 4 a 5 metros (Dobereiner & Vaz, 1998). São utilizadas em obras de escavação provisória, como valas para enterrar de tubulações, executadas em solos moles incoesos. O dimensionamento do

sistema é feito baseado nas características de permeabilidade do solo e capacidade de recarga do aquífero, sendo muito útil em solos de baixa permeabilidade que necessitam de diversos pontos de coleta.



fonte: Cetesb (1978) in Dobereiner & Vaz (1998).

Figura 40 – Sistema de rebaixamento por ponteiros filtrantes.

Poços de bombeamento: muito utilizados no auxílio da estabilização de taludes em minerações, os poços de bombeamento podem apresentar alto desempenho a grandes profundidades. A eficiência do rebaixamento que promove é condicionada por diversos fatores, entre eles a locação, projeto e execução do poço, sua profundidade, as características hidrológicas do aquífero como condutividade hidráulica, coeficientes de transmissividade e armazenamento, a capacidade de recarga, a presença de estruturas geológicas, a capacidade da bomba, etc. Seu emprego, assim como as ponteiros filtrantes, requer a operação constante de bombas, o que exerce grande influência no custo final da obra.

Drenos cegos: são dispositivos executados verticalmente em taludes com níveis d'água suspensos, também conhecidos como lençóis empoleirados, muito comuns em bacias de sedimentos terciários como a de São Paulo e Taubaté. Sua execução consiste na perfuração vertical do maciço, de modo a atravessar as camadas impermeáveis que sustentam os níveis d'água suspensos, e posterior preenchimento do furo com material permeável, normalmente areia. Os drenos cegos funcionam como ralos, que drenam a água de níveis superiores para as

camadas inferiores do talude para então, caso necessário, serem escoadas para fora deste (Figura 41).

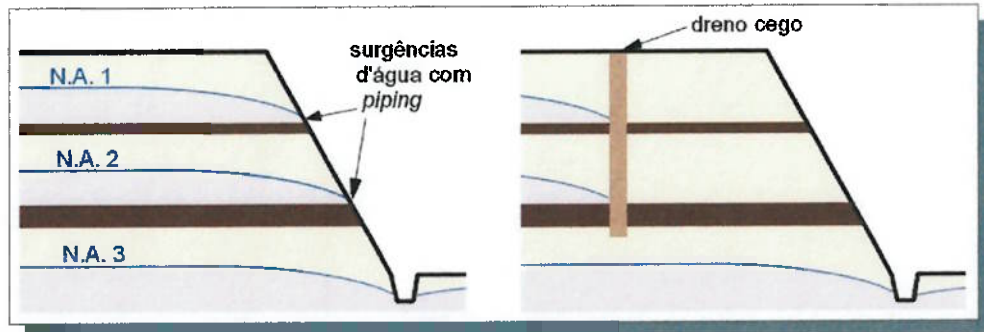


Figura 41 – Rebaixamento por drenos cegos.

Alonso (1999) apresenta, além dessas e de outras técnicas de rebaixamento de aquíferos, os métodos para o dimensionamento de cada um deles.

3.4 A proteção superficial

O termo “proteção superficial” é muitas vezes entendido, erroneamente, como somente um elemento de proteção da superfície do talude. O revestimento, entretanto, pode atuar como um agente protetor de todo o maciço, tanto superficial como internamente à ele. A interceptação da água de chuva e o efeito mecânico das raízes de plantas são dois exemplos de como um revestimento pode contribuir na estabilidade interna do talude, independente dos outros benefícios superficiais que traz. Contudo, o termo “proteção superficial” não está errado, uma vez que sua atuação realmente é feita em superfície ou, no máximo, em subsuperfície.

Muitas vezes negligenciada, a proteção superficial pode ter papel decisivo na continuidade da estabilidade do maciço. As Fotos 11 e 12, por exemplo, apresentam uma típica situação onde o tratamento de estabilização não contemplou a implantação de uma proteção superficial, o que acabou comprometendo a intervenção proposta. No local, altura do Km 80 da Rodovia dos Tamoios (SP-99), o maciço não apresenta risco eminente de escorregamento, porém está sujeito a um intenso processo de erosão superficial. A Foto 11, de 1996, mostra o tratamento de drenagem a ser implantado no local, consistindo de uma única canaleta de crista para a interceptação da água de chuva. A Foto 12, de 2002, mostra que, mesmo com a

canaleta de drenagem, o processo erosivo continuou a se desenvolver para montante, já comprometendo a fundação da própria canaleta.



foto: do autor.

Foto 11 – Erosão em talude com indicação do traçado de canaleta de drenagem (1996).



foto: do autor.

Foto 12 – Mesmo local apresentando avanço da cicatriz de erosão até a canaleta (2002).

O Quadro 11 apresenta as diversas conseqüências, superficiais e internas, que a falta da proteção superficial pode causar no maciço, e que podem ter efeito potencializador de instabilizações.

Quadro 11 – Conseqüências da falta de proteção superficial

Superficiais
<ul style="list-style-type: none">• aceleração da erosão laminar• assoreamento dos dispositivos de drenagem• aparecimento e aceleração de erosões lineares• empastilhamento• desagregação pelo embate de ondas
Internas
<ul style="list-style-type: none">• maior infiltração d'água para o interior do maciço• aparecimento de <i>piping</i>

Não estão incluídos nessa lista o efeito de reforço mecânico das raízes das plantas, estando somente listadas as conseqüências genéricas de qualquer tipo de revestimento.

Evidentemente a ocorrência dessas conseqüências não é somente controlada pela ausência de revestimento, mas sobretudo pelas características do maciço exposto. Não há, por exemplo, aceleração de erosões lineares em maciços rochosos, assim como a taxa de infiltração depende, sobretudo, da permeabilidade da massa. Por outro lado, maciços de composição essencialmente arenosa e com pouca cimentação não são propícios à instalação de níveis d'água suspensos, o que poderia ser impróprio para sua estabilidade, mas são altamente susceptíveis à erosões quando não devidamente protegidos.

Dessa forma, a escolha de um determinado tipo de revestimento deve, primordialmente, ser precedida de uma clara compreensão das características do

maciço e dos processos a que está, ou estará, exposto, sejam eles geológicos, climáticos ou mecânicos.

Difícilmente encontram-se casos em que a proteção superficial é somente a única medida de estabilização a ser recomendada. A geometria adequada e principalmente a drenagem são outras medidas indispensáveis num projeto de estabilização de taludes. A falta ou inadequabilidade desses dois outros elementos pode inclusive piorar a situação, em particular nos casos de proteção com revestimentos impermeabilizantes que tendem a concentrar e acelerar o fluxo da água de chuva. As Fotos 13 e 14, por exemplo, apresentam dois locais na Rodovia Fernão Dias (BR-381), nos quais os dispositivos de drenagem foram suprimidos ou mal executados, acarretando num comprometimento da intervenção executada.

Apesar de não ter influência direta na estabilidade do maciço, a estética tem grande destaque na escolha do tipo de recobrimento a ser empregado, chegando, em muitos casos, a escolha do tipo de revestimento independentemente do papel estabilizador que possa proporcionar.

O Capítulo 4 apresenta diversos tipos de revestimento usualmente empregados na estabilização de taludes de corte e encostas naturais.



foto: do autor

Foto 13 – Talude revestido com concreto projetado e sem dispositivos de drenagem adequados.

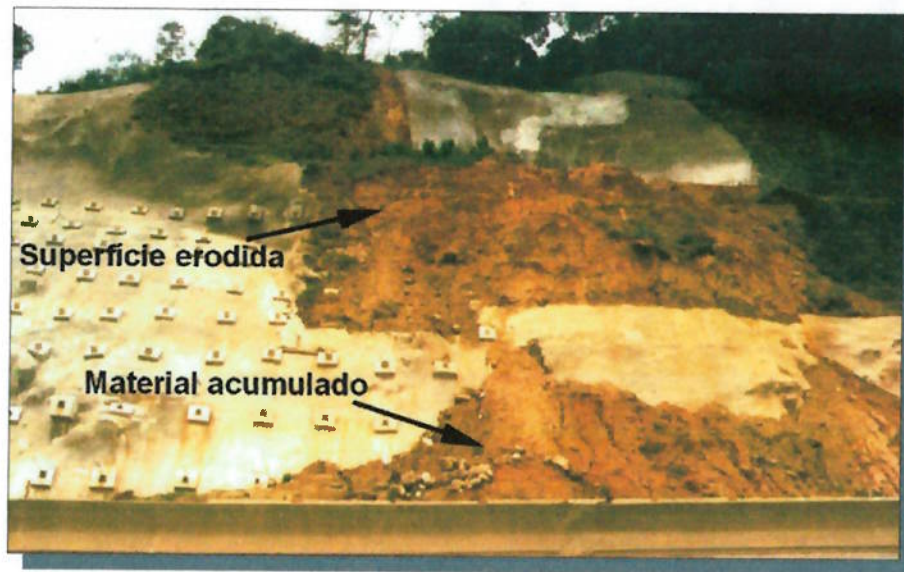


foto: do autor

Foto 14 – Talude parcialmente revestido com concreto projetado cuja concentração de água causa erosão nas porções desprotegidas.

4 TIPOS DE REVESTIMENTO

Nas últimas décadas, novos processos de proteção superficial surgiram ou foram melhorados. Nesse trabalho, os tipos de revestimento foram agrupados em conjuntos com características semelhantes conforme sua natureza constituinte ou sua forma de atuação. Para tanto foram criados cinco grupos distintos, a saber:

- impermeabilizantes;
- granulares;
- vegetais;
- geossintéticos; e
- telas metálicas.

A seguir serão descritas as características gerais de cada um, sua forma de atuação, as variações existentes, suas vantagens e desvantagens e seu procedimento de implantação.

4.1 Impermeabilizantes

Entende-se por revestimentos impermeabilizantes aqueles que recobrem a superfície de tal maneira que impossibilitam o impacto direto da água da chuva, bem como sua infiltração no maciço. Os revestimentos impermeabilizantes consagradamente utilizados no Brasil são o concreto projetado e a imprimação asfáltica.

GEORIO (2000) aponta que a completa impermeabilização de uma superfície faz-se necessária em casos onde se queira, além da proteção superficial contra erosão, impedir por completo a infiltração de água no maciço visando a manutenção de sua estabilidade (Foto 15). Porém, vale aqui ressaltar outros motivos que podem levar a utilização de revestimentos impermeabilizantes, tais como:

4.1.1 Taludes com alto grau de inclinação

Taludes com inclinação acentuada dificultam a execução da maioria dos revestimentos usualmente empregados. Revestimentos vegetais necessitam de uma espessura mínima de solo para sua fixação e desenvolvimento, e os taludes com

inclinações acentuadas, via de regra, apresentam delgados ou inexistentes mantos de solos desenvolvidos, ou seja, pobres em nutrientes vegetais. Revestimentos granulares, devido à seu peso específico alto, têm sua utilização parcialmente limitada pelo ângulo de repouso dos materiais de que são constituídos.



foto: do autor.

Foto 15 – Imprimação asfáltica garantindo a proteção do talude do maciço de fundação de torre de transmissão.

Os revestimentos impermeabilizantes podem ser aplicados em superfícies bastante inclinadas devido à aderência intrínseca dos materiais utilizados, bem como à reduzida espessura da capa final (Foto 16).

A imprimação asfáltica não é indicada para taludes muito íngremes devido à sua viscosidade que, associada à insolações intensas, escoam muito rapidamente demandando intervenções para manutenção mais frequentes.

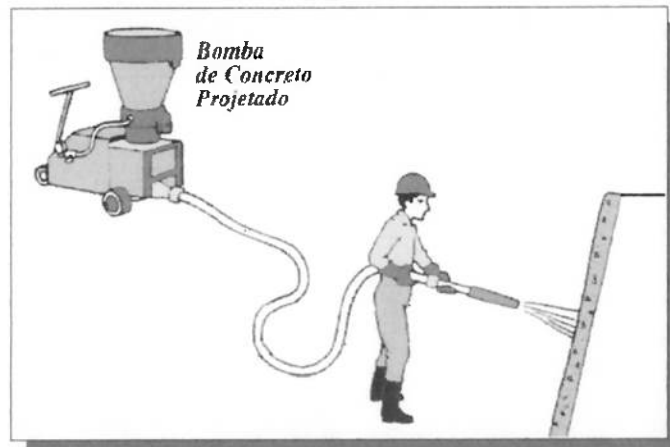


foto: do autor

Foto 16 – Aplicação de concreto projetado com tela.

4.1.2 Dificuldade de acesso

Revestimentos vegetais, granulares, tipo mantas, etc., devem ser transportados até o local de sua aplicação, demandando tempo, logística e acesso adequados, o que pode dificultar sua utilização no caso de taludes muito inclinados, altos, em meio à mata, etc. Particularmente interessante, o concreto projetado é lançado na superfície a ser revestida através de um único ponto móvel: a ponteira do mangote. Todo o aporte de material, via seca ou úmida, pode ser feito a uma distância suficiente para instalação de uma praça com acesso mais fácil, restringindo o trabalho na superfície do talude apenas para o operador do mangote (“mangoteiro”) e auxiliares responsáveis pela manutenção dos drenos durante e logo após a aplicação (Figura 42).



fonte: Abramento *et al.* (1999), modificado.

Figura 42 – Aplicação de concreto projetado.

Logicamente, essa vantagem do acesso fácil perde seu significado nos locais onde seja necessária a utilização de tela metálica, uma vez que sua instalação demanda procedimentos de transporte e fixação na superfície, dificuldade essa contornável com a utilização de concreto projetado com fibras.

4.1.3 Necessidade de proteção imediata

Após a aplicação do elemento impermeabilizante, a superfície torna-se protegida em curto espaço de tempo. No caso do concreto projetado é o tempo de cura inicial da argamassa de modo a torná-la resistente o mínimo suficiente para impedir a remoção de seus constituintes com a chuva. Esse tempo de cura varia em função do método de projeção, se via seca ou úmida, pelo traço, pelas condições climáticas do local, à umidade relativa do ar e a presença ou não de aditivos de pega no concreto.

4.1.4 Maçãos heterogêneos

Maçãos heterogêneos são aqueles compostos por solo e rocha em proporções variadas, nos quais não é possível a utilização de um revestimento vegetal em toda a superfície escavada porque parte dela é constituída por rocha. Um exemplo de maço com essas características é representado por solo de alteração de granito que contenha blocos de rocha preservadas em sua matriz.

A imprimação asfáltica e o concreto projetado podem ser empregados tanto em rocha como em solo, bem como em intercalações desses materiais.

4.1.5 Superfícies irregulares

Notadamente, o concreto projetado e a imprimação asfáltica podem se adaptar às irregularidades superficiais do talude. Isso possibilita sua execução em superfícies extremamente erodidas, já com muitas cicatrizes, preenchendo as ravinas e disciplinando o curso da água. Maciços terrosos com blocos de rocha tendem a apresentar superfícies irregulares quando os blocos são expostos durante a escavação ou mesmo quando de uma ruptura. Esse tipo de revestimento, por ser aderente aos dois materiais e sua aplicação realizada diretamente sobre ambos, resulta na homogeneização da superfície final.

Essa vantagem também pode ser aproveitada na regularização de maciços que receberam algum tipo de tratamento ou reforço como injeções, tirantes ou chumbadores. Após o tratamento, as cabeças dos tirantes e chumbadores ou os tubos de injeção podem ser recobertos pelo concreto projetado que acabará também por protegê-los da oxidação.

4.1.6 Taludes em rocha fragmentada

O concreto projetado é largamente utilizado no revestimento de taludes escavados em rocha fragmentada, nos quais as quedas de blocos são freqüentes e perigosas. Esse revestimento atua nesse tipo de situação como um elemento de contenção, mantendo os blocos de menor dimensão solidários ao talude. Blocos maiores, sujeitos à instabilizações e queda, devem ser tratados com métodos de reforço tradicionais, sejam eles passivos ou ativos (Wolle, 1980).

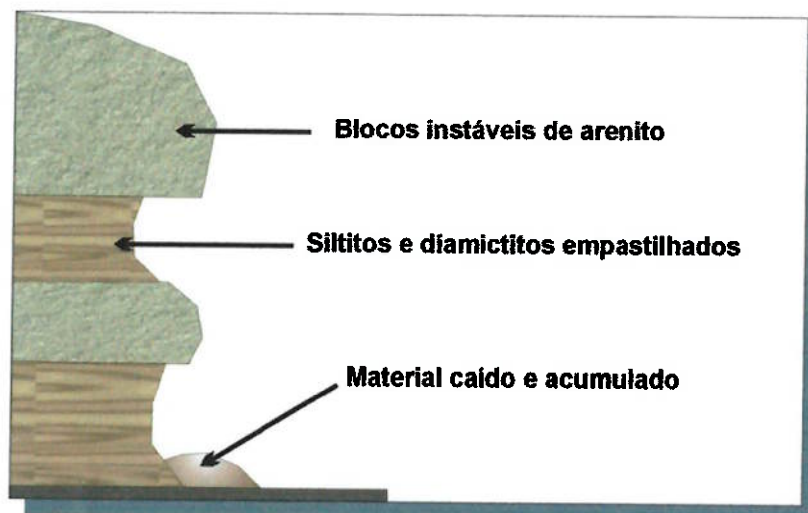
4.1.7 Maciços empastilhados

Em taludes de corte executados em rochas sedimentares finas como siltitos, folhelhos e argilitos, é comum a ocorrência do fenômeno conhecido como “empastilhamento”. Descrito por Frazão *et al.* (1976), Rodrigues & Lopes (1998) e Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), o processo de empastilhamento ocorre após a retirada da capa de solo que coroa o maciço, deixando seu substrato sujeito à ação intempérica. A água da chuva infiltra nas porções superficiais através da associação entre o intenso fraturamento e o acamamento do maciço. Em contato com argilo-minerais

expansíveis (nontronita, montmorilonita, etc.) a água penetra em seu retículo cristalino causando sua expansão. A força de expansão expõe as partes internas do maciço processo de ciclagem, acelerando o intemperismo físico.

Durante as chuvas o peso da coluna d'água que se cria no conjunto de fraturas/acamamento, ocasiona uma subpressão nas camadas sobrejacentes. Como o maciço encontra-se desconfinado, o acamamento fino facilita o soerguimento de pastilhas limitadas lateralmente pelo fraturamento. As “pastilhas”, assim denominadas devido ao seu tamanho reduzido e forma placóide, deslizam umas sobre as outras até o pé do talude expondo o substrato inferior à um novo ciclo de desagregação, e assim sucessivamente.

Muito comum em cortes de estrada executados nos diamictitos do Grupo Tubarão e nos sedimentos marinhos finos da Formação Estrada Nova, no Estado de São Paulo, o processo de empastilhamento não apresenta risco direto para a instabilização do talude, tampouco apresenta risco de queda de blocos, exceção feita à cortes íngremes em maciços estratificados cujo avanço pode acarretar na queda de blocos (Figura 43).



fonte: Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), modificado.

Figura 43 – Instabilização de blocos devido ao empastilhamento.

O empastilhamento, porém, acaba por assorear os dispositivos de drenagem, prejudicando a estabilidade do talude ou as condições de segurança da via estradal através de alagamentos ou saturação de aterros por bueiros e galerias obstruídas.

Devido ao acelerado processo de alteração física, muito mais intensa que a química, não é possível a evolução de mantos de intemperismo passíveis de receber

revestimentos vegetais. Nesses terrenos, de natureza sedimentar, também torna-se difícil a obtenção de materiais rochosos com comportamento tecnológico satisfatório para o uso como revestimento. Revestimentos impermeabilizantes, entretanto, só são possíveis de serem aplicados nessas situações, desde que:

- a) não exista água subterrânea, uma vez que o processo de expansão dos argilo-minerais continuaria ocorrendo e, dependendo da subpressão aplicada pela expansão, poderia estufar o revestimento ocasionado trincas; e
- b) que o sistema de drenagem nas partes altas seja suficientemente eficiente para impedir a infiltração de água, mesmo que pouca, por sob o revestimento, o que poderia danificar o revestimento como apresentado no parágrafo anterior.

Contudo, maciços sujeitos à esses processos normalmente são tratados somente com um acerto geométrico. Nesse caso, é feito um abatimento no ângulo do talude de modo a se evitar o deslizamento das pastilhas para as partes baixas, produzindo, assim, um acúmulo de material sobre a superfície que atuará como elemento protetor.

Ferreira *et al.* (1982), entretanto, apresentam uma tentativa de estabilização desses processos através da fixação de tela e geotêxteis, melhor apresentado no item 4.4.1.

4.2 Material granular

A escolha de um revestimento do tipo granular para a estabilização e/ou proteção superficial de taludes pode ter diversos condicionantes. A disponibilidade do material é, via de regra, o principal indutor de seu uso por questões econômicas ou ambientais. Essa disponibilidade normalmente é produto de escavações obrigatórias, sejam para fins civis ou mineiros, cujos materiais, se não utilizados para esse fim, seriam dispostos em bota-foras.

Contudo, dependendo dos objetivos a serem almejados, a utilização de material granular pode estar dissociada de sua disponibilidade. Alguns fatores alheios a esse condicionante podem ser determinantes na escolha desse tipo de revestimento, tais como:

4.2.1 Estética

Um revestimento granular, quando feito com critérios paisagísticos, promove uma ótima interação do talude de corte com o meio ambiente em que está contido. Essa é uma qualidade intrínseca da natureza do material que o constitui, neste caso: a rocha. Blocos de rocha ou agregados graúdos podem promover, devido à sua característica rústica, um aspecto mais natural na superfície do talude (Foto 17).



fonte: Maccaferri (1999).

Foto 17 – Talude protegido com enrocamento rochoso.

Associado à essa qualidade e dependendo da espessura do revestimento e do substrato terroso a que protege, os vazios entre os blocos podem ser ocupados por vegetação natural ou imposta artificialmente, o que muito contribui para a estética do conjunto (Foto 18).



fonte: Oyo (1996).

Foto 18 – Crescimento de vegetação em meio ao revestimento granular.

4.2.2 Drenabilidade

Taludes com níveis freáticos elevados e/ou sujeitos à rebaixamentos rápidos, são típicas situações onde um elevado coeficiente de permeabilidade da superfície exposta pode ser imprescindível. Terrenos argilosos são mais suscetíveis à instabilizações durante um rebaixamento rápido devido à sua lenta drenagem quando do desconfinamento causado pelo esgotamento do reservatório. Nesses casos o revestimento granular é indicado somente para os maciços cuja drenagem deva ser acelerada, ou seja, maciços pouco permeáveis.

Os reservatórios de retenção, popularmente conhecidos como “piscinões”, apresentam uma peculiaridade quanto ao rebaixamento rápido. Ela se refere à heterogeneidade dos coeficientes de permeabilidade dos materiais que normalmente estão presentes em seus taludes e o modo de saturação a que estão sujeitos.

Como a maioria desses reservatórios são projetados para reter parte da água de um rio ou córrego, esses são construídos, ou escavados, em solos aluvionares inconsolidados e estratificados e em regiões densamente povoadas, ou seja, com a superfície da bacia de captação quase que completamente impermeabilizada (Canholi, 1995). Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), onde esse tipo de obra tem se difundido no combate às freqüentes enchentes, um perfil geológico típico dessas várzeas aluvionares pode ser observado na Figura 44.

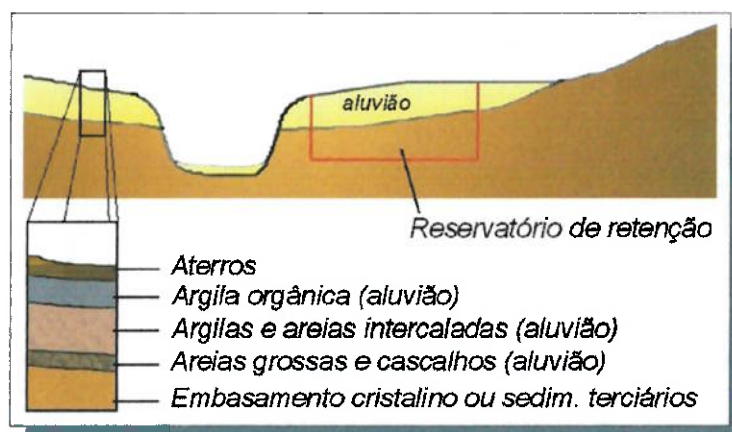


Figura 44 – Perfil geológico esquemático de uma várzea aluvionar na RMSP.

Com o solo impermeabilizado, os rios e córregos recebem um enorme aporte de água em um curto espaço de tempo, elevando seu nível rapidamente e invertendo o

gradiente hidráulico nos aluviões. Os “piscinões”, que captam a água por transbordamento do córrego, começam a encher somente após o nível do rio atingir cotas mais elevadas gerando seu transbordamento para dentro do reservatório. Em muitos casos, a porção basal dos aluviões está entre a cota de transbordamento e o nível normal do córrego, deixando-o exposto à saturação antes do enchimento do reservatório e, conseqüentemente, do confinamento dos taludes neles escavados.

Para esses casos, a característica permeável do revestimento granular é fundamental para garantir o livre fluxo da água para dentro do reservatório.

Ademais, se granulometricamente dimensionado, o revestimento granular atua também como filtro invertido, contendo possíveis processos de *piping*.

4.2.3 Resistência e durabilidade

A resistência e a durabilidade do material granular tem particular importância nos taludes cuja manutenção é custosa e de difícil execução, em especial alguns taludes de lavras e obras de infra-estrutura distantes e longas como canais ou, num caso mais específico, na proteção ao embate de ondas nas margens de reservatórios. Também são úteis em ambientes hostis ao recobrimento vegetal e/ou à materiais compostos ou artificiais, como concreto projetado, mantas, telas, etc.

Se corretamente escolhidos os tipos rochosos a serem empregados na proteção da superfície do talude, fica garantida a durabilidade do revestimento granular por períodos indefinidos de tempo. Nesse caso, a definição da utilização de um determinado material pétreo como revestimento granular deve ser feita através de ensaios tecnológicos específicos como os físicos (análise petrográfica, ciclagem, porosidade, absorção de água, etc.) e os mecânicos (abrasão Los Angeles, índice de forma, impacto, compressão, etc.).

4.2.4 Peso específico

Taludes com níveis freáticos naturalmente elevados e que, por razões adversas não podem ser rebaixados por uma drenagem interna (drenos horizontais profundos - “DHP’s”, por exemplo) estão sujeitos:

- a condições desfavoráveis quanto à estabilidade através da diminuição da coesão aparente e do aumento da carga piezométrica; e
- ao surgimento de *piping* (Augusto Filho & Virgili, 1998).

Nos dois casos o revestimento granular pode atuar como atenuador. No primeiro impondo uma sobrecarga vertical ao maciço, o que contrabalança as subpressões presentes em cortes com níveis freáticos elevados e, no segundo, através da proteção dos grãos da superfície do maciço, funcionando como um filtro invertido.

Vale lembrar que, pela própria direção da carga imposta pelo revestimento, este só é recomendado para taludes com baixa inclinação, onde a força normal decomposta tem papel preponderante. Caso contrário o revestimento e o próprio substrato, o qual espera-se proteger, podem deslizar.

4.2.5 Rapidez na proteção

O revestimento granular, tal qual os revestimentos impermeabilizantes, começa a atuar como protetor da superfície imediatamente após sua execução. Não há tempo de cura, brotação, crescimento ou fixação.

4.2.6 Clima

Regiões áridas, como o sertão nordestino, apresentam diversas restrições à utilização de revestimentos vegetais usualmente empregados na proteção superficial de taludes. A primeira delas é a pouca ou inexistente camada de solo evoluído, propício à fixação e ao desenvolvimento de vegetação. Soma-se a isso, o processo de salinização dos solos, a baixa porcentagem de nitrogênio livre e o enorme déficit hídrico ao qual a região está sujeita.

Apesar desse déficit hídrico, as chuvas, quando ocorrem, muitas vezes caem de maneira torrencial, causando grande destruição nas superfícies ressecadas dos taludes, não só pelo impacto direto das gotas, mas também pelo intenso escoamento superficial. Dessa forma, o revestimento empregado em regiões secas deverá resistir à longos períodos de intensa insolação, baixa umidade relativa do ar, baixa pluviosidade média anual e, além de tudo, suportar volumosos escoamentos superficiais (Duffy & Hatzell, 1993).

Para essa situação os revestimentos granulares apresentam-se como a melhor alternativa devido à sua resistência à essas solicitações.

Mesmo espécies vegetais adaptadas à esse clima têm se mostrado ineficientes à essas solicitações. No sertão pernambucano, por exemplo, obras de terra executadas em projetos de irrigação foram, experimentalmente, testadas com a utilização de uma espécie de bromélia, regionalmente conhecida como macambira (*Bromelia laciniosa*), muito semelhante ao abacaxi (Foto 19).



foto: do autor.

Foto 19 – Talude experimental revestido com macambira.

Nota-se, porém, que além do espaçamento necessário entre cada indivíduo (cerca de 40cm), suas folhas são estreitas e grossas, característica típica das plantas do semi-árido, o que não permite uma proteção eficiente da superfície do maciço.

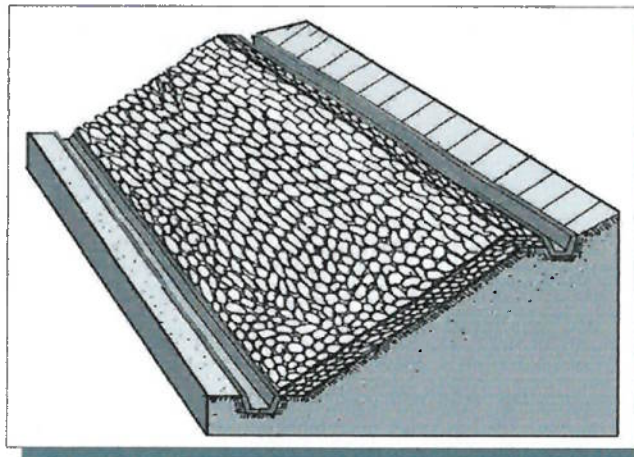
4.2.7 Formas de utilização

Classificam-se aqui como revestimentos granulares aqueles empregados também sob o auxílio estabilizador de um suporte confinante, ou seja, a tela metálica dos gabiões tipo colchão, mais conhecidos como colchão Reno[®]. Apesar de gabiões tipo caixa e de alguns tipos de muros de arrimos também serem constituídos de material rochoso granular estes exercem um papel fundamentalmente voltado à contenção, ficando o revestimento e proteção do talude como papel secundário e até conseqüente do da obra de estabilização.

A seguir são apresentados alguns tipos de revestimentos formados por materiais granulares empregados na estabilização e proteção superficial de taludes.

4.2.7.1 Pano de pedra

Segundo Carvalho (1991) o pano de pedra constitui-se na colocação de blocos de pedra num arranjo tal que os blocos fiquem o mais próximo uns dos outros, buscando o melhor intertravamento possível. Esse imbricamento dificulta a ação erosiva da água no maciço de solo abaixo do pano de pedra e também a remoção dos blocos por enxurradas ou outros agentes (Figura 45 e Foto 20).



fonte: Carvalho (1991).

Figura 45 – Pano de pedra.



foto: do autor.

Foto 20 – Aplicação do pano de pedra.

O pano de pedra funciona como uma barreira mecânica contra o impacto direto da chuva no solo e como dissipador de energia da água que escorre pela superfície do

talude. Porém, sua principal vantagem, além daquelas apresentadas anteriormente para os revestimentos granulares, é a facilidade com que se ajusta à superfície, ou seja, sua maleabilidade. Taludes com rupturas rasas ou em processo erosivo descontrolado, que normalmente geram superfícies bastante irregulares, são exemplos de situação às quais o pano de pedra pode adaptar-se facilmente.

Os blocos, de tamanho compatível com lançamento manual, devem possuir dimensões cúbicas e arestas agudas para potencializar seu imbricamento. A espessura pode variar em função do tamanho dos blocos e aconselha-se uma pequena variação granulométrica para um melhor preenchimento dos vazios.

4.2.7.2 Enrocamento de proteção (*rip-rap*)

O termo *rip-rap* é usualmente empregado para descrever enrocamentos lançados com alguma regularização da superfície. São bastante empregados para a proteção superficial de fundos e taludes laterais de canais e margem de rios e córregos contra a ação erosiva água (Foto 21).



foto: Stream Projects (2003).

Foto 21 – Enrocamento de proteção (*rip-rap*).

Em barragens, proteções em *rip-rap* são empregadas tanto como barreiras ao embate de ondas do reservatório no maciço da barragem de terra, como a jusante, no controle de saída de percolações atuando como o último elemento da transição (Cruz, 1996).

Nos canais, além da proteção contra erosão, o *rip-rap* também é empregado para a obtenção de uma superfície de rugosidade conhecida e homogênea, característica fundamental para uma hidráulica eficiente. O coeficiente de Manning de um *rip-rap*

é logicamente maior do que de uma superfície lisa, porém o custo de regularizar uma superfície com quilômetros de extensão pode fazer com que a perda de carga seja menos significativa no custo total do empreendimento.

Assim, como qualquer outro tipo de revestimento granular que fica exposto à condições intempéricas, a escolha do tipo litológico é a premissa básica para sua execução. No caso de canais abertos essa preocupação é particularmente importante devido à ciclagem a que o material estará sujeito.

Sua execução se dá pela deposição dos blocos de rocha sobre a superfície a ser protegida com alguma regularização e ajuste na posição dos blocos. O ângulo final acaba ficando próximo ao próprio ângulo de repouso do material utilizado, o que implica em uma seção com espessura variável, sendo mais espessa na base e mais delgada no topo, salvo em situações onde o talude encontra-se com a inclinação semelhante à esse ângulo de repouso.

4.2.7.3 Colchão Reno®

Os colchões Reno® são gaiolas em forma achatada de aço trançado em malha hexagonal preenchidas com blocos de rocha de dimensões decimétricas (Foto 22). É uma variação dos gabiões, porém possui uma relação entre as dimensões bastante particular, o que lhe confere a possibilidade de cobrir superfícies maiores com menores volumes de material.



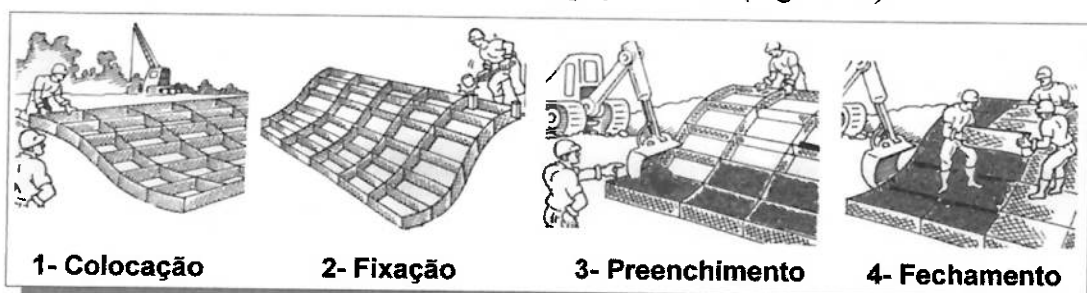
foto: do autor.

Foto 22 – Talude protegido com colchão Reno®.

Apresentam a mesma funcionalidade do pano de pedra e do *rip-rap*, ou seja, proteção contra a erosão e o impacto direto da água de chuva no terreno. Sua vantagem reside justamente na presença da malha de aço que envolve e confina os blocos de rocha neles contidos. Ademais, sua forma geométrica homogênea e flexibilidade facilitam o manuseio e adaptação às condições locais.

Devido à esse confinamento é possível dispor os blocos em superfícies cujas inclinações são superiores às de seus ângulos de repouso. Essa característica tem particular importância em empreendimentos onde existam imposições para taludes com inclinações mais acentuadas ou locais onde só seja possível o uso de cascalho que, com suas superfícies lisas e arredondadas, apresentam ângulo de repouso muito baixo e são facilmente mobilizados na passagem de água.

Seu enchimento é manual ou mecânico/manual onde, no segundo, as pedras são mecanicamente lançadas dentro das gaiolas e depois, manualmente, são acomodadas de modo a preenchê-la com o mínimo de espaços vazios (Figura 46).



fonte: Maccaferri (1999).

Figura 46 – Esquema de instalação de um colchão Reno®.

Os colchões Reno®, assim como os gabiões, são elementos capazes de trabalharem como elemento de contenção, com a vantagem de serem deformáveis. São indicados para os locais em que são esperados alguns deslocamentos e/ou acomodações, movimentos que tornariam impossíveis a utilização de elementos rígidos.

Outra vantagem interessante do colchão Reno® é que, devido ao caráter artesanal do preenchimento das gaiolas, sua superfície final é bastante homogênea, plana e de rugosidade pouco acentuada. A planura do colchão Reno® o habilita a ser recoberto por outros revestimentos como argamassa, mástique de betume ou mesmo um revestimento vegetal após uma camada de solo. Essa característica também pode ser aproveitada de maneira inversa como em canais revestidos e impermeabilizado com

mantas geossintéticas, onde o colchão Reno[®] funciona como agente protetor, impedindo o ataque direto do sol sobre a manta ou mesmo de troncos ou outros objetos que possam vir a perfurá-la ou rasgá-la.

Em alguns casos, porém, é o colchão Reno[®] que deve ser protegido. Obras de proteção de taludes em áreas urbanas que utilizam colchão Reno[®] muitas vezes acabam tornando-se verdadeiras jazidas de pedra. São depósitos limpos de pedra beneficiada, de dimensões homogêneas, com boas características tecnológicas e, principalmente, facilmente “lavráveis”.

Para esses casos é comum o revestimento do colchão com um concreto magro ou mesmo uma argamassa simples. Tal procedimento, entretanto, obriga a instalação de drenos ao longo da superfície do talude para o alívio de pressão de água e um sistema de drenagem mais reforçado, uma vez que não é mais possível contar com a absorção da água na superfície do talude. Essa solução, ou melhor, esse contorno ao problema, descarta a característica deformável do colchão Reno[®], contando somente com seu peso específico e drenagem. Vale lembrar que a adoção dessa alternativa obriga a adoção de um recobrimento de brita de maneira a melhorar a regularização da capa de concreto magro (Foto 23).



foto: do autor.

Foto 23 – Recobrimento de colchão Reno[®] com argamassa sobre transição de brita.

Nesses casos, o concreto não necessariamente precisa ser armado, apesar da imposição de esforços cisalhantes, uma vez que a tela da gaiola já atua como armadura, o que não dispensa a implantação de juntas de dilatação (Foto 23).

A perda da flexibilidade quando do recobrimento com concreto ou argamassa pode ser contornada com a utilização do mástique de betume que, pelo seu caráter flexível, mantém uma certa deformabilidade ao colchão Reno®.

4.2.7.4 Pedra amarrada

A pedra amarrada é uma variação do pano de pedra, diferindo deste pela inclusão de um elemento ligante unindo os blocos. A argamassa é o ligante mais empregado nesse tipo de revestimento e, secundariamente, mástique de betume.

É utilizada em locais onde o ângulo da superfície é muito acentuado, onde há risco de roubo do blocos, ou onde a simples colocação das pedras, sem o ligante, poderia ser insuficiente para sua manutenção, tais como superfícies sujeitas ao embate de ondas ou canais com velocidade e/ou turbilhonamento hidráulicos muito elevados (Foto 24).



foto: do autor.

Foto 24 – Canal de restituição da UHE Chavantes revestido com pedra amarrada.

A execução de um revestimento com pedra amarrada, também segue os mesmos procedimentos para execução do pano de pedra, com exceção do emprego do elemento ligante.

Quando da utilização da argamassa, essa é colocada entre os blocos a medida em que são sobrepostos, como numa parede de tijolos. No caso do betume, este é implantado

após a execução de todo o pano de pedra, rejuntando os blocos. Essa aplicação tardia torna-se uma vantagem desse tipo de ligante nos casos onde inicialmente previu-se ao emprego somente do pano de pedra e, posteriormente, optou-se pelo emprego da pedra amarrada, seja pela constatação de processos erosivos desenvolvidos posteriormente ao término do revestimento, seja pela não estabilidade dos blocos.

A principal desvantagem do betume é o resultado estético. Com sua cor negra e fosca, o betume quebra a homogeneidade de tons dos blocos de rocha, exceção feita talvez à rochas de composição máfica (basaltos, diabásios, gabros, peridotitos, etc.) que adaptam-se melhor esteticamente à esse ligante.

4.2.7.5 Paralelepípedo

Revestimentos com paralelepípedos podem ser comparados aos de pano de pedra, com a diferença de que, ao contrário deste, os blocos possuem dimensões e formas controladas e parecidas, o que garante um perfeito arranjo geométrico, reduzindo os espaços vazios entre os blocos e proporcionando um ótimo resultado estético (Foto 25). Esses melhores resultados exigem, porém, um procedimento executivo sensivelmente mais complexo.



foto: do autor.

Foto 25 – Talude revestido com paralelepípedo.

Para uma perfeita acomodação e travamento dos blocos, esses devem estar assentados em uma superfície relativamente plana e recoberta por uma camada de areia ou pedrisco. Seu assentamento é feito justapondo-se as faces paralelas dos blocos, de modo a diminuir o máximo possível o espaço entre eles. Depois de assentados, inicia-se o preenchimento dos espaços entre os blocos com material granular fino (areia ou pedrisco), com a utilização de água abundante ou, preferencialmente, com compactadores mecânicos vibratórios leves.

Devido à forma paralelogrâmica, a retirada de um único bloco pode desencadear a desestruturação de todo o revestimento, uma vez que os blocos adjacentes estabilizam-se não só no contato de sua base com o maciço a que protege, mas também lateralmente nos outros blocos, fazendo com que os paralelepípedos exijam uma manutenção mais freqüente, mesmo que seja a simples observação.

4.3 Vegetais

O revestimento vegetal seguramente é, entre todos os tipos, o mais utilizado na recomposição/proteção de taludes de corte e encostas naturais. Sua larga utilização é o reflexo de algumas características inerentes a esse tipo de revestimento que, quando somadas, o tornam bastante propício para essa função. Dentre as características favoráveis à sua aplicação, podemos citar:

4.3.1 Facilidade de implantação

A implantação de revestimentos vegetais é relativamente simples e barata, não demandando equipamentos ou pessoal especializado, salvo a hidrossemeadura exposta mais adiante. O plantio de mudas, a sementeira, a colocação e fixação de grama em placas são procedimentos manuais bastante simples e que, dependendo das condições locais, podem cobrir grandes áreas num espaço de tempo relativamente pequeno.

Ademais, uma das grandes dificuldades para a implantação de qualquer tipo de revestimento em um talude é o transporte do material até o local da aplicação, comumente feito de forma ascendente do pé em direção à crista. Nesse caso, os

revestimentos vegetais também apresentam a vantagem da maleabilidade e do baixo peso específico da maioria das formas de aplicação.

4.3.2 Estética

Indiscutivelmente a estética é uma das maiores vantagens do emprego de revestimentos vegetais como elemento protetor do talude. Assim como os revestimentos granulares, a vegetação (rasteira, arbustiva e/ou arbórea) promove uma excelente integração ao meio ambiente em que o talude está incluído. Essa integração é de tal modo efetiva que mesmo quando são implantadas espécies não similares às do entorno a aparência geral continua agradável (Foto 26).



foto: do autor.

Foto 26 – Talude revestido com gramíneas em meio à Mata Atlântica.

A possibilidade de emprego de várias espécies associadas também colabora para um resultado estético mais apurado.

4.3.3 Adaptação ao ambiente

Enquanto os revestimentos impermeabilizantes e os granulares são compostos por elementos inertes, tendendo a preservar sua aparência original, os revestimentos vegetais são ativos e evoluem com o tempo. Essa característica é especialmente interessante na recomposição de uma encosta tratada após uma ruptura, onde não é possível a recomposição vegetal tal qual existia antes da instabilização. A

implantação de revestimento vegetal permite que a mata de entorno vá, mesmo que lentamente, recobrando a nova superfície (Foto 27).



Foto 27 – Talude em Mata Atlântica revestido somente com grama em 1997 (foto de novembro de 2002).

Evidentemente que o retorno completo da flora anterior demandará um período muito longo, mesmo porque no caso específico da Foto 27 o escorregamento removeu praticamente todo o solo evoluído da encosta, dificultando a instalação de algumas espécies.

4.3.4 Estabilização do talude

Como visto no item 2.2.4, a cobertura vegetal exerce grande influência na estabilidade de um talude em solo e, mesmo havendo alguns eventuais efeitos desfavoráveis, sua atuação é extremamente benéfica para tal. Entre seus efeitos favoráveis, podemos citar:

- interceptação das águas da chuva;
- retenção da água pela camada de matéria orgânica;
- redução da velocidade de escoamento superficial;
- retirada de água do solo por absorção e evapotranspiração;

- aumento da resistência ao cisalhamento pelo reforço das raízes; e
- solidarização dos extratos de solo.

Dentre os seis efeitos apresentados, os três primeiros geram benefícios na proteção contra a erosão, que pode ter efeito imediato ou tardio na estabilidade da massa, e os três últimos em relação à resistência do maciço a processos de ruptura através da modificação das tensões atuantes.

Vale lembrar que, a medida que as espécies arbustivas e arbóreas se desenvolvem, maior é o intertravamento de suas raízes no terreno e maior também é sua ação hidrológica estabilizadora, tanto na interceptação da água de chuva quanto na retirada de água do solo.

Contudo, a recomposição vegetal em taludes de corte e encostas instabilizadas é extremamente dificultada pela retirada da camada de solo orgânico, ou fértil, durante a terraplenagem ou escorregamento.

Portanto, um fator importante para a aplicação do revestimento vegetal é o bom julgamento da real necessidade da proteção superficial de uma determinada área e a relação custo/benefício que essa proteção irá proporcionar. A Foto 28, por exemplo, mostra uma encosta que sofreu um escorregamento planar que expôs, no terço superior, um solo de alteração maduro, de textura essencialmente argilosa, porém de baixa coesão. Na porção inferior foi exposto um solo residual jovem que, apesar da textura arenosa, apresenta-se ainda muito coeso, ainda que escarificável ao martelo. Na época, em 1996, optou-se somente pela proteção vegetal com grama no terço superior talude, deixando o restante exposto. Na foto, tirada 6 anos depois, nota-se que o solo residual exposto não sofreu processos erosivos significativos enquanto que a grama foi praticamente suprimida por espécies nativas.



foto: do autor.

Foto 28 – Escorregamento em encosta revegetado somente no terço superior.

A Foto 29, por outro lado, mostra um grande corte em solo de alteração de gnaiss, intensamente ravinado devido à falta de proteção superficial. Nota-se, porém, que na parte superior do corte o solo de alteração maduro apresentou um excelente comportamento frente aos processos erosivos.



foto: do autor.

Foto 29 – Corte em solo de alteração intensamente ravinado. Notar a porção superior preservada.

Levando-se em conta somente a textura do solo, pode-se tomar o exemplo dos solos arenosos finos e, principalmente, dos podzólicos encontrados no centro-oeste do Estado de São Paulo, mais especificamente os solos oriundos dos arenitos do Grupo

Bauru que, em sua maioria esmagadora, são altamente susceptíveis à erosão em perfis de dezenas de metros, enquanto que os solos argilosos da Formação Serra Geral, que devido ao seu perfil latossólico, são muito pouco susceptíveis.

A seguir são apresentadas alguns tipos e técnicas de aplicação de revestimentos vegetais em taludes de corte e encostas naturais.

Devido à enorme variedade de combinações possíveis de serem feitas com os revestimentos vegetais, são apresentadas suas formas de utilização mais genéricas e comumente encontradas. A bioengenharia, ciência técnica que emprega elementos vegetais para a estabilização de taludes, reforço de terrenos, controle de erosão e outras ações ambientais, tem tido notável desenvolvimento nos Estados Unidos e Europa, estando ainda incipiente no Brasil com a utilização de mantas vegetais. Publicações como a de Morgan & Rickson (1995) e Gray & Sotir (1996) apresentam inúmeras técnicas de bioengenharia de fácil aplicação e baixo custo.

Mais importante que a técnica de plantio, a escolha das espécies deverá ser feita de maneira criteriosa, preferencialmente sob a orientação de um profissional capacitado. Essa escolha não pode ser feita utilizando apenas critérios técnicos para a estabilização e controle da erosão do talude, mas também deve atender preceitos ecológicos, visando sua integração com a fauna e flora local. Assim:

- as espécies plantadas devem proporcionar condições para o estabelecimento da sucessão natural, ou para o crescimento de outras espécies de interesse;
- não devem ser competidoras com as espécies existentes;
- o ciclo de crescimento e de reprodução deve ser conhecido para evitar que, através da dispersão de sementes ou propagação vegetativa indesejável, promova a exclusão de outras formas de vegetação;
- que sejam incluídas espécies atrativas para a fauna silvestre;
- que, preferencialmente, sejam empregadas espécies nativas da região, que além de adaptadas às condições ambientais locais causam menor competição; e
- utilizar espécies que contribuam para o enriquecimento mineral do solo.

4.3.5 Tipos de revestimento vegetais

Os revestimentos vegetais podem ser divididos em 4 tipos distintos: as gramíneas, as leguminosas, os arbustos e as árvores.

4.3.5.1 *Gramíneas*

Recebem a denominação de gramíneas, as plantas de desenvolvimento rasteiro, com folhas finas e raízes fasciculares, ou seja, raízes na forma de feixes que formam um emaranhado irregular (Figura 47).

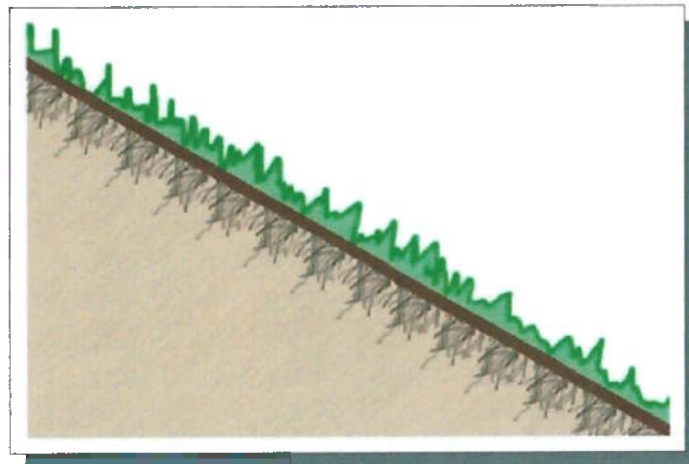


Figura 47 – Forma de enraizamento das gramíneas.

Devido à pouca profundidade de suas raízes, as gramíneas não são eficientes na solidarização das camadas de solo e contribuem no reforço mecânico apenas nas camadas mais próximas à superfície.

As gramíneas são bastante efetivas na proteção contra erosão, uma vez que, quando regularmente disseminadas em superfície, formam um denso e intrincado arranjo de folhas que protege o terreno do impacto da gota de chuva e do escoamento superficial (*runoff*).

As gramíneas podem ser subdivididas em gramas e capins, sendo que estes últimos podem atingir até 2 metros de altura. Ambos podem ser plantados por hidrossemeadura ou através de mudas, sendo que o plantio por placas é restrito às gramas.

Os quatro tipos mais comuns de gramas são:

Batatais (*Paspalum notatum*): possui folhas mais largas, com pêlos e talos bem entrelaçados e duros. Necessita de bastante insolação e pouca manutenção em época de pouca chuva, resistindo bem à falta d'água depois de formada. Adapta-se bem à solos pobres em nutrientes, sendo amplamente utilizada no recobrimento de taludes e no combate à erosão. Permite a entrada de outras espécies sendo facilmente substituída.

Esmeralda (*Wild zoysia*): possui folhas e textura finas. É resistente às ervas daninhas e relativamente livre de pragas e insetos. Muito lenta no crescimento, necessita de muita água e apresenta enraizamento forte. É recomendada para regiões úmidas, com altos índices pluviométricos, tais como a região da Serra do Mar. Apresenta, entretanto, a desvantagem de dificultar a entrada de outras espécies em sua área de recobrimento, resistindo à recomposição florística do local.

São Carlos (*Axonopus s.p.*): possui folhas largas, brilhantes e sem pêlos. Ideal para áreas de pouca insolação, tal qual rupturas isoladas em meio à mata. Necessita de muita água, mas não é resistente à escoamentos superficiais. É recomendada para taludes pouco inclinados. Resistente à pragas e ervas daninhas.

Santo Agostinho (*Steotaphum secundatum*): possui folhas largas, coloração verde azulada, com talos de sementes da mesma altura das suas folhas. Com crescimento robusto, gosta de sombra e tolera solo salino. Pouco resistente à pragas, não se adapta bem em regiões quentes e secas, uma vez que necessita de muita água.

Os dois tipos mais comuns de capim são:

Andropogão (*Andropogon gayanus*): possui folhas longas, finas e com pêlos. Apresenta notável resistência à falta d'água, adaptando-se bem à regiões de cerrado. Desenvolve-se rapidamente em touceiras de até 2 metros de altura.

Braquiária (*Braquiária humidicola*): possui folhas relativamente largas e de comprimento mediano. Recobrimento rápido e melhor aceitação em climas quentes e úmidos, com precipitações anuais acima de 900mm.

4.3.5.2 Leguminosas

São denominadas leguminosas as plantas cujos frutos se desenvolvem na forma de vagem. Apresentam bons resultados na recomposição vegetal de taludes e de encostas naturais devido à sua alta capacidade reprodutiva, baixa exigência de fertilidade, alcance mais profundo das raízes e alta fixação de nitrogênio atmosférico, o que colabora para o desenvolvimento das outras espécies associadas no plantio.

O Quadro 12 apresenta algumas espécies de leguminosas empregadas na recomposição vegetal de taludes.

Quadro 12 – Espécies de leguminosas para uso em estabilização de taludes.

Nome comum	Nome científico
Lab-Lab	<i>Lab-lab purpureus</i>
Mucuna preta	<i>Mucuna aterrima</i>
Soja perene	<i>Gycine weightii</i>
Feijão guandu	<i>Cajanus cajan</i>

fonte: Pereira & Coelho (1998).

4.3.5.3 Arbustos

Arbustos são plantas de porte médio, caule fino e bastante ramificado. Sozinhos apresentam pouca eficiência no controle à erosão por *runoff*, uma vez que, junto ao terreno, permanece somente seu caule. Entretanto são eficientes na interceptação da água de chuva e na retenção da mesma, sendo ainda particularmente interessantes no reforço mecânico que sua raízes provocam no solo em que se desenvolvem.

Dessa forma, as espécies arbustivas são empregadas quando se deseja incluir um reforço mecânico adicional ao talude a ser tratado, preferencialmente associado à espécies de gramíneas de maneira a suprir sua deficiência à proteção contra erosão superficial. São, portanto, muito utilizados na crista de taludes que sofreram algum tipo de instabilização e, eventualmente, na bermas, funcionando como barreiras mecânicas contra a descida de porções de solo ou blocos (Figura 48).

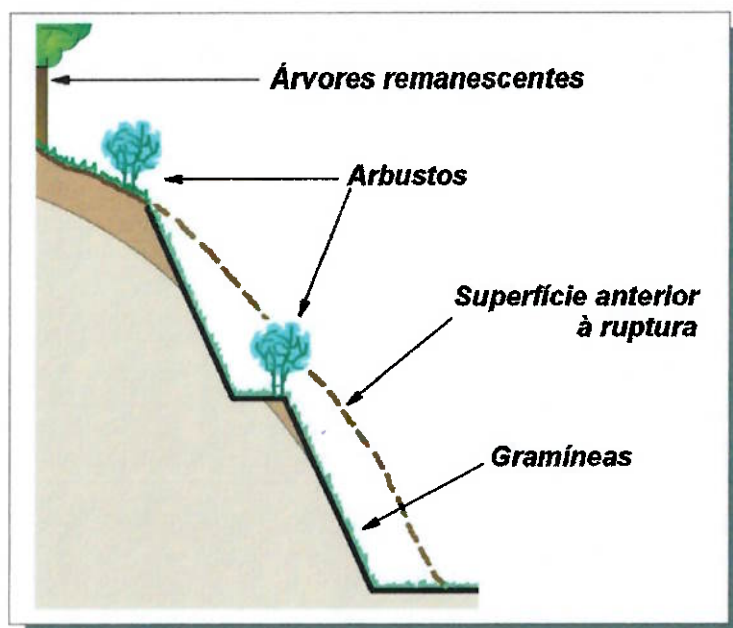


Figura 48 – Uso de arbustos na recomposição de talude.

O Quadro 13 apresenta as espécies arbustivas mais empregadas em obras de estabilização de taludes.

Quadro 13 – Arbustos para uso em estabilização de taludes.

Nome comum	Nome científico
Bambu chinês	<i>Phillostachys aurea</i>
Espirradeira	<i>Nerium oleander</i>
Graxa de estudante	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>
Bela Emília	<i>Plumbago capensis</i>
Cássia	<i>Cassia macratera</i>

fonte: Gariglio (1987).

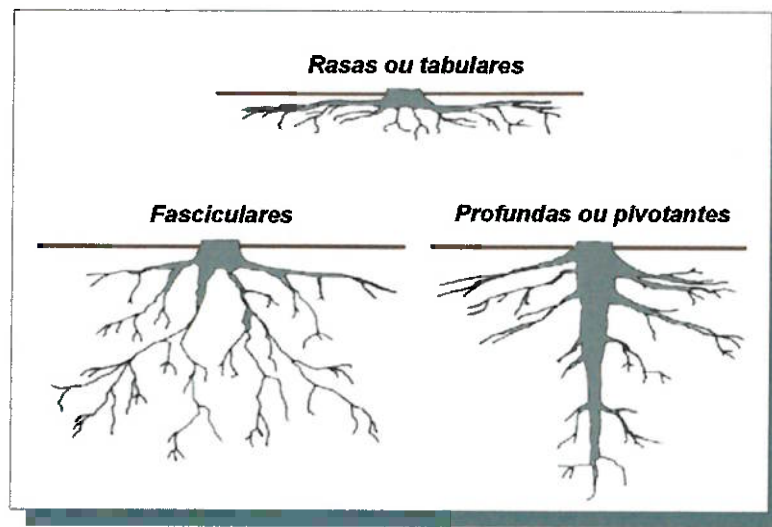
Os arbustos apresentam como vantagens adicionais a manutenção das folhas em períodos de estiagem, a proteção do solo contra a insolação direta, a manutenção de uma faixa quente e úmida entre sua folhagem e o terreno que, tal qual uma estufa, favorece o surgimento e o desenvolvimento de outras espécies vegetais.

4.3.5.4 Árvores

Apesar de rara, a utilização criteriosa de árvores na recomposição vegetal de um talude ou encosta natural pode ser bastante vantajosa para a estabilidade geral da massa. As árvores protegem o solo do impacto direto da chuva, retêm grande quantidade da água precipitada, podem retirar grandes quantidades de água do subsolo por absorção e evapotranspiração e, dependendo da espécie, transformam-se em estacas vivas que solidarizam os estratos de solo.

Logicamente, a capacidade de interceptação e absorção de água será condicionada, além da espécie, do clima e do tipo de terreno em que está fixada, conforme apresentado no item 2.2.4.

Grosseiramente, pode-se classificar as árvores, segundo seu sistema radicular, em três grupos distintos: as de raízes rasas e/ou tabulares, as que possuem raízes fasciculares e as que possuem raízes profundas, também denominadas pivotantes (Figura 49).



fonte: Gray & Sotir (1996).

Figura 49 – Tipos de raízes de árvores.

As árvores com raízes pivotantes são as mais indicadas para a atuação como reforço mecânico, uma vez que promovem uma solidarização mais eficiente dos estratos superficiais do solo com as camadas mais profundas. A Foto 10, apresentada no item 2.2.4.2, mostra o sucesso da estabilização das encostas da Serra de Caraguatatuba, após a catástrofe de março de 1967, com o extensivo plantio de mudas de pinus. Vale

lembrar que hoje, com as rígidas leis ambientais, certamente não seria possível a adoção desse tipo de solução.

Por outro lado, devido a camada de solo presente na região da Serra do Mar ser preferencialmente reduzida, são comumente encontradas espécies arbóreas com raízes rasas, tabulares e de grande abrangência, de modo a dar suporte ao tronco e copa da árvore.

A principal desvantagem do emprego de árvores na estabilização de taludes é o longo tempo necessário para o seu desenvolvimento, o que inevitavelmente obriga a utilização associada de espécies de gramíneas e arbustos.

O Quadro 14 apresenta algumas espécies empregadas na estabilização de taludes, devido a forma favorável de suas raízes ou pelo rápido crescimento.

Quadro 14 – Espécies arbóreas para o uso em estabilização de taludes.

Nome comum	Nome científico
Angico preto	<i>Minosa bimucronata</i>
Aroeira vermelha *	<i>Schinus therebenthifulis</i>
Candiúba *	<i>Trema micrantra</i>
Bracatinga	<i>Minosa scabrela</i>
Maricá	<i>Minosa sepiaria</i>
Manacá da serra	<i>Tibouchina pulchra</i>
Ingá feijão	<i>Inga cylindrica</i>
Pinus	<i>Pinus patula</i>
	<i>Pinus taeda</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus grandis**</i>
	<i>Eucalyptus pilularis</i>
Quaresmeira roxa	<i>Tibouchina granulosa</i>

* espécie pioneira

** estudada por Pugliese (1998)

fontes: Gariglio (1987) e Ferreti *et al.*(1995).

4.3.6 Formas de aplicação

Basicamente existem 5 formas de aplicação de revestimentos vegetais utilizados na revegetação de taludes: a semeadura manual, o plantio de mudas, a hidrossemeadura, plantio de grama em placas e através de sacos de linhagem. A escolha de cada técnica é feita a partir de critérios de eficiência de pega, custo, área de plantio, dificuldade de acesso, etc.

Em qualquer um dos processos deverão ser feitas análises preliminares de fertilidade do solo, principalmente quanto o teores de nitrogênio, potássio, fósforo, acidez e salinidade, além da avaliação do clima (insolação, temperatura, regime pluviométrico anual) e da flora local, de modo a adaptar a solução proposta às condições ecológicas locais, visando não só a máxima eficiência da intervenção, mas também a mínima necessidade de manutenção e interferências negativas com o meio ambiente.

Durante todo o processo de germinação das sementes e fixação das mudas deverão ser tomados cuidados especiais de proteção contra ervas daninhas e irrigação em períodos de estiagem. Ainda assim, deverá ser feito um acompanhamento do desenvolvimento da proteção vegetal de modo a corrigir falhas em porções com pouco sucesso.

4.3.6.1 Semeadura manual

A semeadura manual pode ser feita através de três processos distintos. O primeiro, e mais eficiente, é a abertura de covas com até 15 cm de profundidade, seguida da disposição das sementes e adubos necessários para a germinação e, por fim, o soterramento das covas com pouca compactação (Figura 50). O segundo é feito pelo simples espalhamento das sementes e adubos após uma prévia aração do terreno e, o terceiro, também pela simples disposição de sementes após um coveamento prévio.

Além da vantagem do custo reduzido, proporcionado pela mão de obra não especializada e o baixo custo das sementes, a semeadura manual possibilita o emprego de sementes de diversas espécies associadas, como gramíneas, leguminosas, arbustos e árvores.

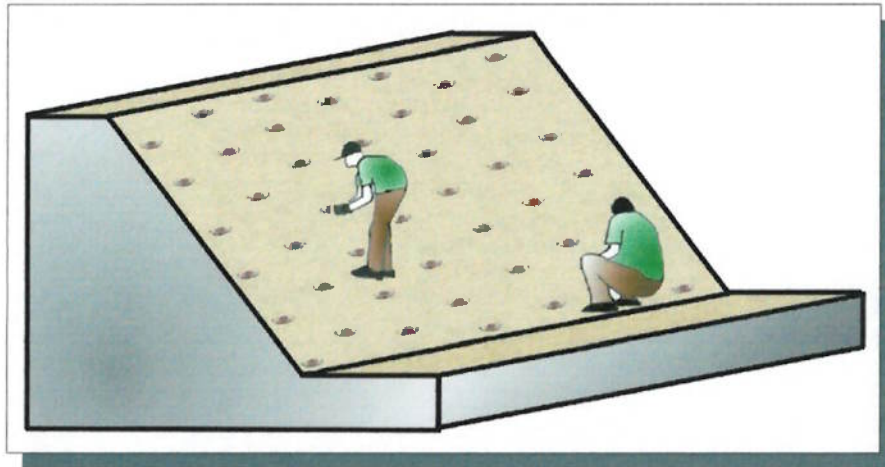


Figura 50 – Semeadura manual.

Apresenta como desvantagens a baixa produção para grandes áreas, a perda de sementes por lixiviação da água de chuva, e a espera do crescimento para a atuação como protetor de superfície.

4.3.6.2 *Plantio de mudas*

O plantio de mudas, também executado através da abertura de covas para a fixação dos espécimes, apresenta como principais vantagens o menor tempo de espera para sua atuação como elemento protetor, o aumento da porcentagem de área com bons resultados de pega e um melhor aspecto visual.

De modo a se evitar a erosão do terreno enquanto a espécies não se desenvolvem, utiliza-se a técnica do plantio em leiras. Nessa técnica, as mudas são plantadas alinhadas a direção do talude e em mesma cota, tal qual as curvas de nível empregadas na agricultura extensiva. Podem ainda serem dispostos alguns paus ou bambus imediatamente abaixo da linha de plantio, reforçando a proteção contra erosão (Foto 30).

Suas principais desvantagens relacionam-se à baixa produção para grandes áreas; ao custo, sensivelmente maior que o plantio de sementes; a dificuldade de transporte, devido ao volume de material envolvido e o cuidado a se tomar com ele; e a dificuldade de obtenção de grandes quantidades de mudas.



foto: do autor.

Foto 30 – Talude do Instituto de Química da USP revegetado com leiras.

Contudo, vale lembrar que o plantio das milhares de mudas e pinus na Serra de Caraguatatuba (Foto 10) foi totalmente executado manualmente, e seus resultados têm-se mostrado bastante satisfatórios.

4.3.6.3 *Hidrossemeadura*

A hidrossemeadura consiste no lançamento, sob a superfície previamente covada, de uma mistura aquosa composta de nutrientes minerais, fibras ou gel fixadores, corretivos de solo, uma associação de sementes de gramíneas e leguminosas e, eventualmente, polímeros hidrófilos, que fornecem parte da água necessária para a germinação das espécies em condições mais áridas.

A mistura é lançada por meio de aspersão a partir de um caminhão-reservatório munido de bomba (hidro-semeadeira) diretamente sobre o talude, escoando para as covas (Fotos 31 e 32).

Tem como vantagens o recobrimento de grandes áreas em um curto espaço de tempo; o custo significativamente inferior; a aplicação simultânea de vários tipos de sementes, nutrientes e corretivos; aplicável em superfícies bastante íngremes; e a facilidade de repetição da aspersão em áreas de insucesso.



foto: do autor.

Foto 31 – Aplicação de hidrossemeadura em talude rodoviário.



foto: do autor.

Foto 32 – Aspersão da mistura em superfície covada.

Suas desvantagens relacionam-se à possibilidade de lavagem da mistura pelas chuvas; a necessidade de acessos trafegáveis ao caminhão ou, no mínimo, a um reboque; a superfície fica desprotegida enquanto a vegetação não se desenvolve; e é ineficiente em terrenos áridos.

Gariglio (1987) apresenta, como exemplo de mistura utilizada na Ferrovia do Aço, a seguinte composição:

Para 3.000 litros de água (recobrimento médio de 1.000m²):

Capim gordura	6 Kg
Braquiária	4 Kg
Capim chorão	2 Kg
Festuca	2 Kg
Calopogônio	3 Kg
Esterco de galinha	150 Kg
Vermiculita	80 Kg
Celulose	40 Kg
Adubo mineral (N/P/K = 6/30/6)	50 Kg

4.3.6.4 Grama em placas

Consiste na fixação de placas de gramas previamente desenvolvidas em campos de produção das quais são retiradas com cerca de 5 a 10cm de solo em placas irregulares ou, mais comum, em quadrados com 40 cm de lado.

As placas são presas à superfície do talude através da introdução de estacas de madeira, normalmente feitas de bambu, de modo a sustentá-las até o enraizamento da grama no terreno natural (Figura 51).

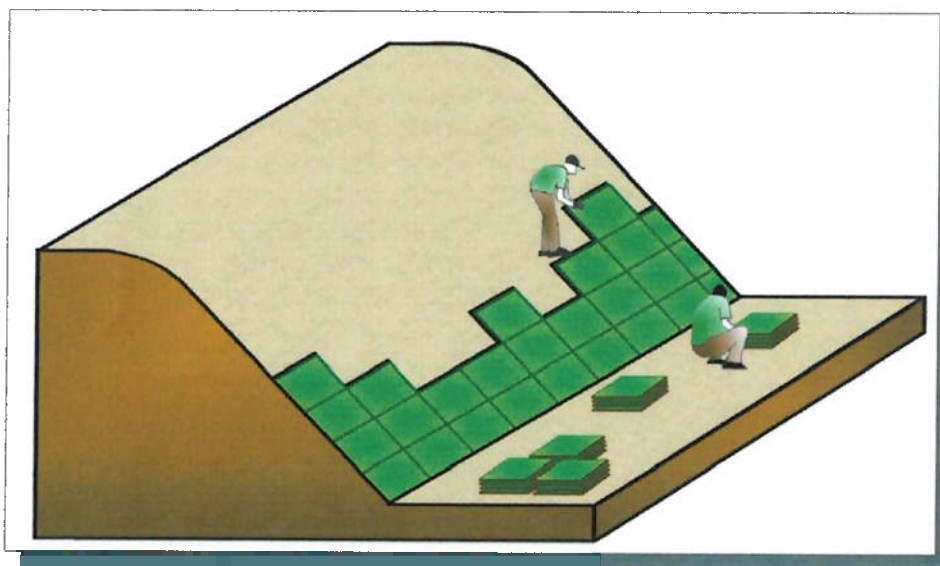


Figura 51 – Aplicação de grama em placas.

As principais vantagens da grama em placas são: o total recobrimento da área; a proteção imediata da superfície através da interceptação e retenção da água de chuva; o enriquecimento do solo em nitrogênio, o que auxilia a instalação de outras espécies nativas; e a estética, uma vez que a superfície torna-se totalmente recoberta pela vegetação.

Suas desvantagens são: dificuldade de se obter grande volume (ou área) de grama desenvolvida; a dificuldade de implantação em locais muito íngremes, o que também reflete no custo final da solução; o enraizamento raso; a dificuldade de enraizamento em solos duros e pouco férteis. Essa última desvantagem, muitas vezes reflete-se na retração da grama em direção ao centro da placa, uma vez que o sistema radicular só encontra condições propícias para seu desenvolvimento no solo trazido junto com a placa.

Devido à eficiência que a grama em placas apresenta como barreira para o escoamento superficial, as falhas na colocação das placas podem resultar em caminhos preferenciais de escoamento d'água, podendo originar ravinamentos que podem comprometer toda a superfície (Foto 33).

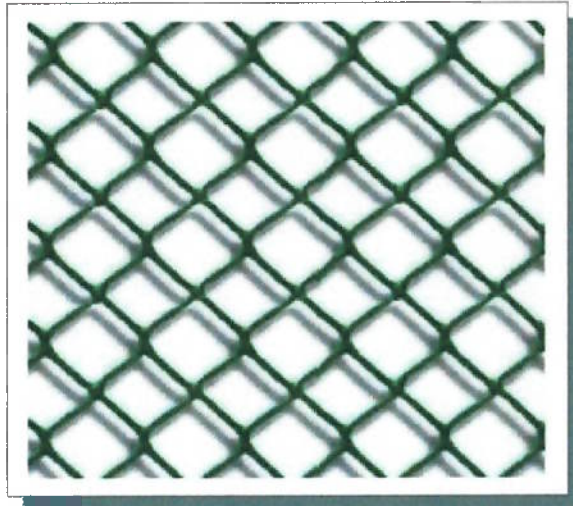


foto: do autor.

Foto 33 – Espaçamento excessivo entre as placas de grama provocando o surgimento de sulcos erosivos.

Em taludes muito íngremes e em regiões de muita chuva, a fixação da placa fica comprometida pelo seu encharcamento e a aderência com a superfície na qual está

apoiada. Nesses casos é usual o emprego de uma tela plástica, tipo geogrelha, fixada através da cravação de barras de aço CA-50 (\varnothing 12,5 mm) com, no mínimo, 30 cm de comprimento. Essa solução é usualmente conhecida como “grama armada” (Figura 52).



fonte: Nortène (2003).

Figura 52 – Tela plástica, tipo geogrelha, para grama armada.

A Foto 34 apresenta um talude íngreme, em solo silto-arenoso, que sofreu uma ruptura localizada do tipo planar, seguida de erosão. Nota-se que havia sido empregada a tela plástica na recomposição vegetal do talude. Apesar de trágica a foto é interessante por dois motivos: o primeiro mostra que a tela, apesar de auxiliar no controle de erosão, não tem função estabilizadora da massa de solo, não impedindo a ocorrência de escorregamentos sob ela; e o segundo porque mostra que ocorreu uma completa sucessão da grama por espécies nativas, comprovando a eficiência da tela em seu objetivo primordial, ou seja, o reforço durante a fixação da grama.

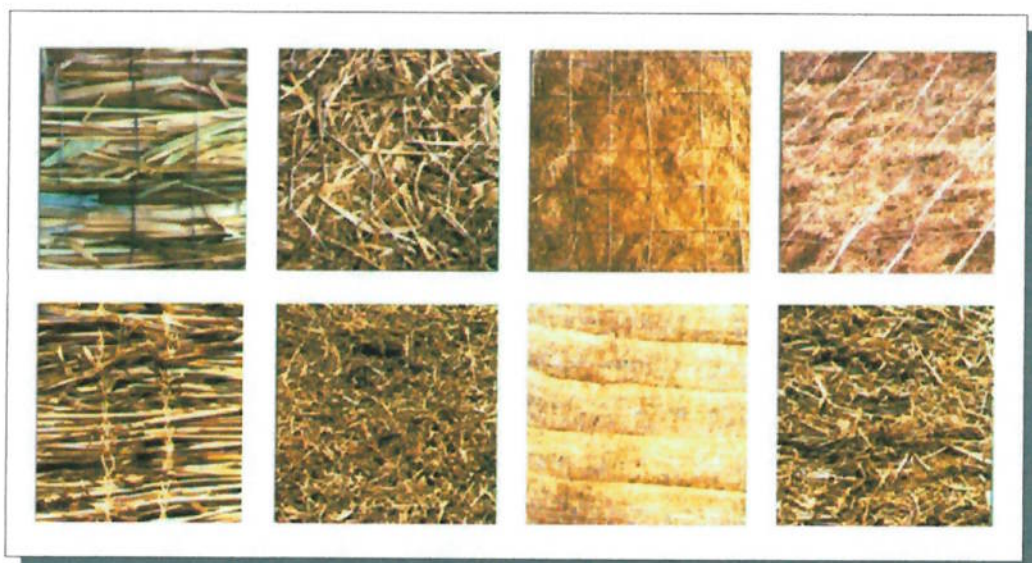


foto: do autor.

Foto 34 – Escorregamento e erosão em talude inicialmente protegido com grama-armada.

4.3.6.5 *Biomantas*

Utilizadas ainda de maneira incipiente no Brasil, as biomantas têm apresentado resultados bastante satisfatórios em suas mais diversas condições de aplicação. São produtos manufacturados através do entrelace de fibras naturais como juta, coco, algodão, trigo, sisal, capim, etc.. As telas são tecidas em fibras naturais (sisal) ou em material sintético como polipropileno, polietileno ou nylon e as mantas são solidarizadas apenas com adesivos naturais (Coelho, 1999). Podem ser encontrados em diversas tramas, densidades e espessuras (Figura 53).



fonte: Deflor (s/ data).

Figura 53 – Tipos de biotelas e biomantas.

Fornecidas em rolos, as biomantas são aplicadas através do recobrimento da superfície a ser revegetada, fixando-as através de estacas de madeira, bambu ou aço (Foto 35), em superfície previamente limpa, semeada e adubada. Algumas telas e mantas podem ser aplicadas já impregnadas de sementes, adubos e corretivos, eliminando boa parte dos serviços na superfície do talude.



foto: Deflor.

Foto 35 – Exemplo de aplicação de biomanta.

Esses produtos apresentam como principais vantagens:

- o reforço na proteção contra a erosão durante a germinação e fixação da vegetação;

- protegem as sementes da lixiviação pela água de chuva;
- aplicáveis em superfícies irregulares e íngremes;
- funciona como um estufa, retendo a umidade e protegendo os brotos da insolação direta; e
- são foto e biodegradáveis, degradando-se a medida que a vegetação se estabelece, proporcionando nutrientes e integração ambiental.

Contudo, assim como a tela plástica utilizada na grama armada, as biomantas são permeáveis e não atuam diretamente na estabilidade do talude, uma vez que não promovem qualquer reforço nas características geomecânicas do maciço. A Foto 36, por exemplo, mostra um escorregamento rotacional em um talude revegetado com a utilização de uma biomanta.



foto: do autor.

Foto 36 – Ruptura em talude protegido por biomanta.

4.3.6.6 Sacos de linhagem

Nessa técnica são empilhados sacos de linhagem preenchidos com solo vegetal e sementes diversas, na crista de um escorregamento do tipo planar, previamente regularizada para recebê-los (Figura 54).

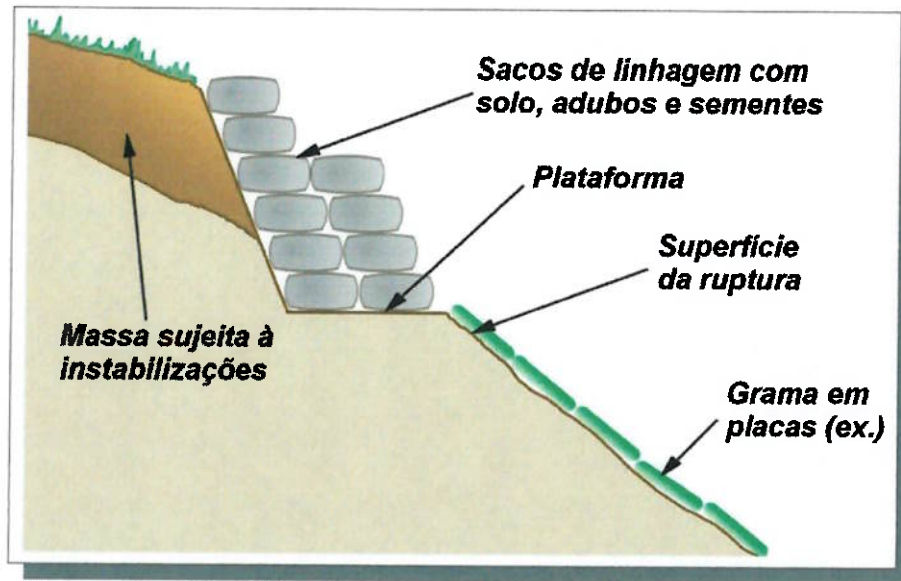


Figura 54 – Estabilização e revegetação com sacos de linhagem.

Os sacos de linhagem exercem duas funções, a primeira, e mais imediata, é a de contenção da crista do talude, normalmente sujeita à instabilizações remontantes, através de seu confinamento lateral. A segunda função é a de revegetação da área, através da germinação das sementes em solo fértil e posterior fixação das mesmas no terreno natural enquanto os sacos apodrecem.

Técnica bastante eficiente, requer uma regularização cuidadosa do terreno e um boa compreensão da fenomenologia envolvida no escorregamento, uma vez que os sacos deverão estar apoiados em plataforma escavada num estrato estável do terreno, ou seja, inferior à superfície de ruptura.

4.4 Geossintéticos

Geossintéticos são produtos industriais, produzidos em polipropileno (PP), polietileno (PE), polietileno de alta densidade (PEAD), nylon e poliéster (PET), de ampla e crescente aplicação em geotecnia. Koerner (1994) cita como seus principais usos a separação de materiais, o reforço de maciços, como filtros, drenos e como barreira de fluídos.

Os geossintéticos podem ser encontrados na forma de geotêxteis, geogrelhas, geomalhas, geomembranas, geocélulas e outros compostos, sendo que, para a

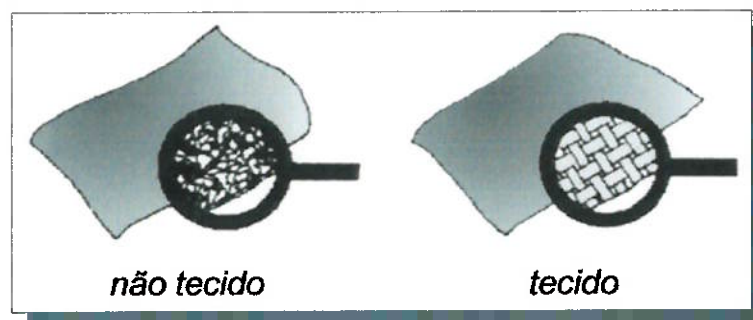
proteção superficial de taludes, são usualmente empregados somente os geotêxteis, geogrelhas e geocélulas.

Cancelli *et al.* (1990) apresenta ensaios de erodibilidade controlada utilizando diversos tipos de geossintéticos e até biomantas na proteção da superfície. Seus resultados demonstram que os materiais apresentam comportamento distintos quanto à proteção obtida pelo impacto da chuva sobre a superfície e o *runoff*. Seus estudos mostram que a escolha de um determinado produto deve ser feita de maneira criteriosa, levando-se em conta todas as condições de contorno envolvidas.

A indústria de geossintéticos já é bastante desenvolvida e busca, diariamente, novas soluções e produtos para os mais variados problemas. Dessa forma, serão aqui descritos os produtos mais usuais, o que certamente deixará de fora muitos produtos interessantes.

4.4.1 Geotêxteis

Segundo Abramento *et al.* (1999), os geotêxteis são produtos têxteis flexíveis, porosos e permeáveis em todas as direções. Compostos por polímeros fundidos e extrudados na forma de filamentos, os geotêxteis podem ser apresentados de duas formas: tecidos e não tecidos (Figura 55).



fonte: Abramento et al. (1999).

Figura 55 – Tipos de geotêxteis.

Sua aplicação na proteção superficial de taludes normalmente restringe-se na atuação como parte de dispositivos de drenagem e como agente de contenção contra a ocorrência de *piping*. Entretanto, Ferreira *et al.* (1982) testam o emprego do geotêxtil, associado à uma tela metálica, na contenção de talude com fenômeno de empastilhamento na Estrada de Ferro Central do Paraná. A intenção dos autores foi a de conter a descida das pastilhas através de seu confinamento sob o geotêxtil e a tela.

A principal dificuldade relatada pelo autores foi a exposição intensa da manta à radiação solar, uma vez que os polímeros constituintes são sensíveis aos raios ultravioletas, o que acabaria comprometendo sua vida útil.

4.4.2 Geogrelhas

Fabricadas em polipropileno (PP), poliéster (PET) e polietileno de alta densidade (PEAD), as geogrelhas são estruturas planas em forma de grelhas, utilizadas preferencialmente como elemento de reforço em obras de terra (Figura 52).

As geogrelhas, também conhecidas como telas plásticas, são usualmente empregadas no revestimento de taludes como um elemento de contenção, seja do material desagregado do maciço ou de um revestimento granular, seja como auxílio na fixação de outro tipo de revestimento, como na grama armada anteriormente apresentada.

4.4.3 Geocélulas

Geocélulas são um tipo de geossintético produzido em PEAD na forma uma placa de até 28 m², composta por tiras soldadas que formam células de até 20 cm de profundidade (Figura 56).

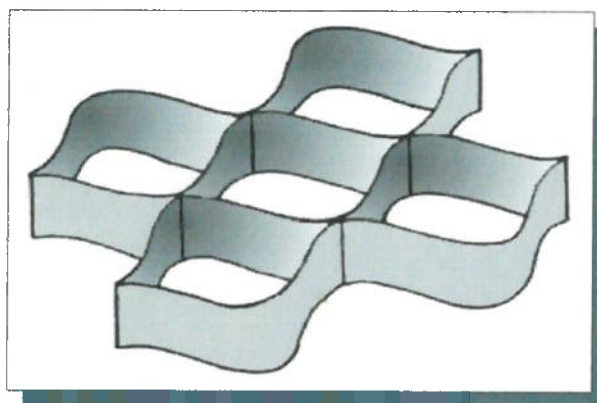


Figura 56 – Geocélula.

As geocélulas são empregadas como confinantes de materiais em obras viárias, muros de contenção, revestimento de canais e também no revestimento de taludes. São aplicadas diretamente na superfície do talude, fixadas a este por meio de grampos, amarradas entre si e preenchidas por material granular ou terroso.

O emprego da geocélula com o preenchimento de material terroso fértil permite o desenvolvimento de vegetação entre as células, mesmo sobre um terreno de baixa fertilidade (Figura 57).



fonte: Geoweb (s/ data).

Figura 57 – Geocélula aplicada com vegetação.

4.5 Telas metálicas

A telas metálicas são um tipo de revestimento empregado em taludes rochosos ou terrosos com blocos que apresentem risco de queda ou rolamento. Sua função básica é de agir como elemento passivo na contenção de eventuais quedas de blocos. São confeccionadas em aço galvanizado, revestido ou não com PVC, na forma de rolos e aplicados na superfície do talude fixando-os com barras de aço cravadas ou chumbadas no maciço (Foto 37).



foto: Maccaferri (1983).

Foto 37 – Aplicação de tela metálica.

São proteções de difícil execução, uma vez que os rolos de tela são pesados e devem ser transportados até a crista do talude, para então serem aplicados concomitantemente à instalação das barras fixadoras.

Seu uso é mais comum em taludes íngremes e muito fraturados, com risco freqüente de queda de blocos, podendo serem aplicadas associadas à outros elementos de contenção, como tirantes e chumbadores.

Como dito, é um tipo de revestimento empregado somente para a contenção de blocos, não impedindo ou dificultando a entrada de água no maciço ou melhorando suas características geomecânicas.

COSIDERAÇÕES FINAIS

A solução de problemas de estabilidade de taludes passa, primordialmente, na correta compreensão da fenomenologia da instabilização, incluindo a geometria da ruptura e identificação de todos os condicionantes envolvidos. Nessa tarefa, um sistema classificatório é muito útil ao proporcionar uma padronização de diagnóstico e, sobretudo, auxiliar na identificação de feições e características não visíveis a partir das visíveis. Trincas de tração verticalizadas na crista de um talude de encosta, por exemplo, são indicativas de movimento translacional, o que sugere a existência de um plano de fraqueza na massa subparalelo à superfície da encosta e possivelmente influenciado pela saturação do maciço, características importantes que não podem ser diretamente visualizadas.

A identificação dos agentes causadores da instabilização é imprescindível para a definição de uma solução estabilizadora eficiente, uma vez que, a partir desse conhecimento, é possível atuar diretamente sobre a causa, mitigando-a ou eliminando-a.

Apesar da água ser, sem dúvida, o principal agente instabilizador, sua atuação é estreitamente dependente de outros condicionantes, sobretudo da geologia e da geomorfologia.

Os benefícios causados imediatamente após o desmatamento podem ser considerados ínfimos e duvidosos, devendo-se sempre considerar a supressão de vegetação como uma forma de predispor o maciço a instabilizações, além, é claro, das conseqüências erosivas na superfície da massa.

Assim, pode-se considerar que a estabilidade de um talude é dependente de quatro fatores básicos: a geometria externa, o maciço componente, o sistema de drenagem e a existência e tipo do revestimento, sendo que cada um desses fatores tem um peso relativo sobre os demais, variando de caso a caso.

O revestimento de um talude atua diretamente na proteção contra erosão e indiretamente, mas com grande eficiência, na estabilidade da massa como um todo, seja como elemento atenuador da saturação do maciço, seja como reforço mecânico, barreira de proteção, elemento de transição ou como sobrecarga vertical.

Os revestimentos impermeabilizantes, devido à sua estética ruim, só devem ser utilizados nos casos onde a infiltração de água seja demasiado comprometedor a estabilidade, em locais muito íngremes, de difícil implantação e desenvolvimento de vegetação ou em solos extremamente erodíveis, que necessitem de proteção imediata.

Os revestimentos granulares são preferencialmente utilizados em superfícies expostas a erosão hidráulica (externa ou interna), sendo os outros usos mais raros e específicos. Sua adequabilidade técnico-econômica é dependente da disponibilidade do material e da facilidade de obtenção, podendo ter uso condicionado à um desses fatores.

Os revestimentos vegetais são os mais utilizados por serem esteticamente agradáveis e pelos benefícios hidrológicos e mecânicos que oferecem. Sua escolha deve ser precedida de uma boa compreensão de sua forma de atuação e dinâmica evolutiva. A proteção superficial proporcionada por um revestimento vegetal nem sempre é imediata e é condicionada sobretudo pelo tipo de espécies empregadas. Por outro lado, a proteção vegetal é dinâmica, podendo ter conseqüências adversas ao meio de entorno, o que condiciona o apoio de um profissional qualificado no processo de escolha e forma de implantação dos vegetais.

Cada tipo de vegetal, gramíneas, leguminosas, arbustos e árvores interage na proteção de maneira distinta e, na definição das espécies, deverão ser considerados esses modos de interação de modo a maximizar seus efeitos benéficos na estabilidade. Nesse aspecto, a bioengenharia, técnica ainda incipiente no Brasil, surge como uma importante aliada na proposição de técnicas de proteção.

Os geossintéticos são produtos desenvolvidos principalmente para o uso em reforço de maciços, drenagens, transições, etc., de maneira a aumentar a eficiência ou substituir materiais naturais usualmente empregados. Esses produtos têm seu uso ainda restrito na forma de revestimento de taludes e estão quase sempre associados a outros tipos de revestimento, como os vegetais e os granulares.

Não foi possível estabelecer uma relação segura de custos de aplicação de revestimento pelos seguintes motivos:

- o custo de um determinado revestimento depende, sobretudo de sua disponibilidade local ou nos arredores do local de aplicação. Grama em placas, por exemplo, dificilmente são encontradas em regiões áridas, assim como os revestimento granulares adequados serão proporcionalmente mais caros em regiões de bacias de rochas sedimentares brandas, uma vez que deverão sofrer grandes distâncias de transporte, o que, muitas vezes, inviabiliza sua utilização;
- o custo final de implantação de um determinado tipo de revestimento dependerá do grau de dificuldade de implantação, tais como inclinação, acessos, regularização da superfície, dificuldade de cravação de estacas, espessura de concreto necessário à estabilização, etc.;
- existe grande variação regional de preços para os revestimentos mais comuns. As tabelas do DER de São Paulo e de Pernambuco, por exemplo, apresentam variação de aproximadamente 100% no custo da grama em placas e de 40% no do enrocamento lançado.

Assim, a determinação da viabilidade econômica dos revestimentos deve ser feita caso a caso, avaliando-se os diversos fatores envolvidos, priorizando sempre a adequabilidade técnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramento, M.; Koshima, A. Zirlis, A.C. Reforço do terreno. In: **Fundações: teoria e prática** (Editores: Hachich, W. *et al.*), 2 ed. São Paulo: ABMS/ABEF, 1999. p. 641-690.
- Alonso, U.R. **Rebaixamento temporário de aquíferos**. São Paulo: Tecnogeo/Geofix, 1999. 131p.
- Augusto Filho, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992a, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ, 1992a. Vol. 2, p.721-733.
- Augusto Filho, O. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. In: **Curso de Geologia de engenharia aplicada a problemas ambientais**, 1992b. São Paulo: IPT (DIGEO/AGAMA), p.96-115.
- Augusto Filho, O. **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP**. 1994. 168p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Augusto Filho, O.; Virgili, J.C. Estabilidade de Taludes. In: **Geologia de Engenharia** (Editores: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.). São Paulo: ABGE, 1998. p.243-269.
- Ávila, I.G.; Pedrosa, J.A.B.A.; Prandini, F.L.; Noffs, P.S.; Carvalho, P.A.S. Obras de contenção para escorregamentos marginais do reservatório de Paraibuna/Paraitinga, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, 1984, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: ABGE. Vol. 3, p. 223-240.
- Azevedo, A.A.; Albuquerque Filho, J.L. Águas subterrâneas. In: **Geologia de Engenharia** (Editores: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.). São Paulo: ABGE, 1998. p.111-130.

- BBC News. **In pictures: Venezuela's flood chaos**. London, 1999. Disponível em <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/americas/571928.stm> (acessado em 06/01/2003).
- Barata, F.E. Landslides in the tropical region of Rio de Janeiro. In: ICSMFE, 7, 1969, México. **Proceedings**. México: SMMS. Vol.2, p. 507-516.
- Barton, N.; Lien, R.; Lunde, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. **Rock Mechanics**, v.6, n.4, p.189-236. 1974.
- Bieniawski, Z.T. **Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering**. New York: J. Wiley, 1989. 251p.
- Cancelli, A.; Monti, R.; Rimoldi, P. Comparative study of geosynthetics for erosion control. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOTEXTILES, GEOMEMBRANES AND RELATED PRODUCTS, 4, 1990, Netherlands. **Proceedings**. (Ed. Den Hoedt, G.), Rotterdam: Balkema. Vol. 1, p. 403-408.
- Canholi, A.P. **Soluções estruturais não-convencionais em drenagem urbana**. 1995. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Carregã, D.L. Estudo de movimentações de encostas aplicado ao perfil de intemperismo em ambientes tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996, Rio de Janeiro. **Anais**. São Paulo: ABGE. Vol.2, p.415-427.
- Carvalho, P.A.S. (Coord.) **Taludes de Rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas**. São Paulo: IPT, 1991. 410p. (IPT Publicação n.º 1843).
- Cerri, L.E.S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes**. 1993. 197p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, SP.

- Coelho, A.T. **Avaliação dos efeitos do recobrimento orgânico nos processos erosivos laminares em talude de corte rodoviário na região de Ribeirão das Neves, MG.** 1999. 92p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Costa Nunes, A.J. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: ICSMFE, 7, 1969, México. **Proceedings**. México: SMMS. Vol.2, p. 547-554.
- Costa Nunes, A.J. Fatores geomorfológicos e climáticos na estabilidade de taludes de estradas. **Revista Latino-Americana de Geotecnia**, v.1, n.3, p.191-211, outubro-dezembro 1971.
- Costa Nunes, A.J. Estabilização de taludes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, 1978, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABGE. Vol. 1, p. 81-92.
- Cruz, P.T. Estabilidade de taludes naturais – Premissas. **Encontro Técnico: estabilidade de encostas**. São Paulo: ABMS, 1988, p.01-02.
- Cruz, P.T. **100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto**. São Paulo: Oficina de Textos, 1996. 648p.
- DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Controle da erosão**. 2 ed. 1990, 92p. São Paulo: DAEE/IPT.
- Deflor – Defesa Florestal. **Folder institucional**. Belo Horizonte, sem data.
- De Jorge, F.N. **Mecanismos de escorregamentos em encostas marginais de reservatórios**. 1984. 146p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- Dobereiner, L.; Vaz, L.F. Tratamento de maciços naturais. In: **Geologia de Engenharia** (Editores: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.). São Paulo: ABGE, 1998. p.361-380.
- Duffy, D.M.; Hatzell, H.H. Environmental testing of rock used as erosion protection in arid environments. In: **Rock for Erosion Control** (Editors McElroy,

- C.H.; Lienhart, D.A.). Philadelphia, USA: ASTM, 1993 (STP n.1177). p.69-76.
- Ferreira, R.R.; Román Filho, C.A.; Aguiar, P.R.; Galter, O.A. Desagregação superficial de rochas: solução de contenção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 8, 1982, Olinda/Recife. **Anais**. Olinda/Recife: ABMS. Vol. 1, p. 24-40.
- Ferreti, A.R.; Kageyama, P.Y.; Arbocz, G.F.; Santos, J.D.; Barros, M.I.A.; Lorza, R.F.; Oliveira, C. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no Estado de São Paulo. In: **Florestar Estatístico**. São Paulo: Fundação Florestal/Fundo Florestar. Vol. 3, n.7, p. 73-77.
- Frazão, E.B.; Miotto, J.A.; Santos, A.R. O fenômeno de desagregação superficial em rochas argilosas – sua implicação na estabilidade de taludes viários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1, 1976, Rio de Janeiro. **Anais**. São Paulo: ABGE. Vol. 1, p. 211-228.
- Gariglio, M.A. **Utilização de revestimento vegetal na proteção contra as erosões**. São Paulo: ABGE, 1987. 91p. (Artigo Técnico n.º 13).
- GEORIO. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro. **Manual Técnico de Encostas**. 2a ed. Rio de Janeiro, 2000. 4vol.
- Geoweb. BBA Nonwovens Group. **Geoweb®: catálogo comercial**. São Paulo, sem data.
- Gramani, M.F. **Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos ("debris flows") no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. 2001. 372p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Gray, D.H.; Leiser, A.T. **Biotechnical slope protection and erosion control**. New York: Robert E. Krieger Pub., 1982. 271p.
- Gray, D.H.; Sotir, R.B. **Slope stabilization – a practical guide for erosion control**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996. 378p.

- Guidicini, G.; Nieble, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. 194p.
- Guidicini, G.; Iwasa, O.Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo: IPT, 1976. 48p. (IPT Publicação n.º 1080).
- Hoek, E. **Rock engineering – the application of modern techniques to underground design**. São Paulo: CBMR, CBT, ABMS, 1998. 268p.
- Infanti Jr., N.; Fornasari Filho, N. Processos de dinâmica superficial. In: **Geologia de Engenharia** (Editores: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.). São Paulo: ABGE, 1998. p.131-152.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Obras de contenção para os escorregamentos nas encostas marginais do reservatório de Paraibuna/Paraitinga, SP**. 1986a. São Paulo: IPT, Publicação n.º 1672. 18p.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Escorregamentos nas encostas marginais do reservatório de Paraibuna/Paraitinga, SP**. 1986b. São Paulo: IPT, Publicação n.º 1674. 16p.
- Kanji, M.A.; Cruz, P.T.; Massad, F.; Araújo Filho, H.A. Basic and common characteristics of debris flows. In: Panamerican Symposium on Landslides e Congresso Brasileiro de Estabilidade de Encostas, 2, 1997, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/ISSMGE. Vol.1, p.232-240.
- Kanji, M.A.; Cruz, P.T.; Massad, F.; Uehara, K.; Ishitani, H.; Araújo Filho, H.A. "Debris flows" em Cubatão, São Paulo: obras de controle e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11, 1998, Brasília. **Anais**. Brasília : ABMS, 1998. v.2, p.1265-1272.
- Keller, E. A. **Environmental geology**. 7 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 569p.
- Koerner, R.M. **Designing with geosynthetics**. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994. 783p.

- La Torre, C.; Barroso, J.A. Condicionantes geológico-estruturais na estabilidade de taludes de corte da BR-040, Município de Petrópolis, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, 1984, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: ABGE. Vol. 3, p. 433-449.
- Leme, R.A.S. **Métodos atuais de estabilização de taludes**. São Paulo: ABMS, 1987. 93p.
- Leventhal, A.R.; Mostyn, G.R. Slope stabilization techniques and their application. In: **Soil slope instability and stabilization** (Eds.: Walker, B.; Fell, R.). Rotterdam: Balkema, 1987. p.183-230.
- Macedo, E.S., Santoro, J. Avaliação dos resultados do Plano Preventivo de Defesa Civil para escorregamentos no litoral paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10, 2002, Ouro Preto. **Anais**. Ouro Preto: ABGE. CD-ROM.
- Maccaferri do Brasil Ltda. **Revestimento de encostas com redes de alta resistência**. Catálogo comercial. Brasil, 1983.
- Maccaferri do Brasil Ltda. **Filtração, separação e proteção**. Catálogo comercial. Brasil, 1999.
- Martinez, O.C. **Importância dos aspectos geológico-geotécnicos em obras implantadas na Serra do Mar – uma metodologia de manutenção preventiva**. 1999. 197p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Michaelis. **Moderno dicionário da língua portuguesa**. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1998. 2267p.
- Morgan, R.P.C; Rickson, R.J. (Eds). **Slope stabilization and erosion control – a bioengineering approach**. London: Chapman & Hall, 1995. 274p.
- NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration). **NGDC Natural Hazards Slide Sets**. Landslides, set 2. Boulder, USA, 2002. Disponível em http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/slideset/39/39_slides.html (acessado em 06/01/2003).

- Nortène Plásticos Ltda. Disponível em <http://www.nortene.com.br> (acessado em 06/01/2003).
- Oyo Corporation. **Folder Institucional**. Tokyo, 1996.
- Pereira, A.R.; Coelho, A.T. Utilização de RECP's (*Rolled Erosion Control Products*) degradáveis no controle de processos erosivos. In: **2º Curso Técnico de Recuperação de Áreas Degradadas**, 1998. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais/Universidade Federal de Viçosa.
- Prandini, F.L.; Guidicini, G.; Bottura, J.A.; Ponçano, W.L.; Santos, A.R. **Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica**. São Paulo: IPT, 1976. 9p. (IPT Publicação n.º 1074).
- Pugliese, P.B. **Influência de sistemas radiculares de absorção na resistência ao cisalhamento do solo**. 1998. 368p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rahardjo, H.; Li, X.W.; Toll, D.G.; Leong, E.C. **The effect of antecedent rainfall on slope stability**. In: *Geotechnical and Geological Engineering*, 2002. v.19, p.371-399.
- Rodrigues, B.B. **Inventário e análise de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais e erosões na região de Águas de Lindóia/SP – escala 1:10.000**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- Rodrigues, R.; Lopes, J.A.U. **Rodovias**. In: **Geologia de Engenharia** (Editores: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.). São Paulo: ABGE, 1998. p.419-430.
- Santos, A.R. Dois registros: Dinâmica externa da Serra do Mar e Cal-Jet: desenvolvimento de uma técnica de baixo custo para a proteção de superfícies de solo contra a erosão. In: **Geologia de Engenharia – conceitos, método e prática** (Relator: Santos, A.R.). São Paulo: ABGE e IPT, 2002. p.130-138.
- Serra Jr, L.; Ojima, L.M. Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: **Geologia de Engenharia** (Editores: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.). São Paulo: ABGE, 1998. p.211-226.

- Soares, L.; Guidicini, G.; Lima Verde, J.A. **Considerações sobre os movimentos de massa ocorridos na Serra de Maranguape, CE.** São Paulo: IPT, 1976. 9p. (IPT Publicação n.º 1073).
- Stream projects. Disponível em <http://www.tostreams.org/RipRap.htm> (acessado em 06/01/2003).
- Styczen, M.E; Morgan, R.P.C. Engineering proprieties of vegetation. In: **Slope stabilization and erosion control – a bioengineering approach.** (Eds. Morgan, R.P.C; Rickson, R.J.). London: Chapman & Hall, 1995. p.5-58.
- Tatizana, C.; Ogura, A.T.; Cerri, L.E.S.; Rocha, M.C.M. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987a, São Paulo. **Anais.** São Paulo: ABGE. Vol.2, p.225-236.
- Tatizana, C.; Ogura, A.T.; Cerri, L.E.S.; Rocha, M.C.M. Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987b, São Paulo. **Anais.** São Paulo: ABGE. Vol.2, p.237-238.
- Teixeira, A.H. Discussão sobre o tema: estabilidade de taludes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 3, 1966, Belo Horizonte. **Anais.** Belo Horizonte: ABMS. Vol. 3, p. 220-223.
- Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 558p.
- Terzaghi, K. **Mecanismos de escorregamentos de terra.** Tradução de E. Pichler, 1950. São Paulo: Departamento de livros e publicações do Grêmio Politécnico, Universidade de São Paulo. 41p.
- Vargas, M. Discussão sobre o tema: estabilidade de taludes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 3, 1966, Belo Horizonte. **Anais.** Belo Horizonte: ABMS. Vol. 3, p.191-199 e 222-223.

- Varnes, D.J. **Slope movement types and processes**. In: *Landslides analysis and control*, 1978. Washington: National Academy of Sciences. p.11-33.
- Vaz, L.F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração. **Revista Solos e Rochas**, São Paulo, v.19, n.2, p.117-136, agosto 1996.
- Wieczorek, G.F., Larsen, M.C., Eaton, L.S., Morgan, B.A. and Blair, J.L. **Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation**. U.S. Geological Survey. Open File Report 01-0144, julho 2001. Disponível em <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/open-file-reports/ofr-01-0144/> (acessado em 06/01/2003).
- Wolle, C.M. **Taludes naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança**. 1980. 345p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Wolle, C.M. Considerações de caráter metodológico sobre estabilização de taludes. In: **Encontro Técnico: estabilização de taludes**. São Paulo: ABMS, 1981. p.18-48.
- Wolle, C.M. Poluição e escorregamentos – causa e efeito na Serra do Mar, em Cubatão, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 8, 1986, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: ABMS. Vol. 7, p. 100 – 110.
- Wolle, C.M. **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas**. 1988a. 406p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Wolle, C.M. Mecanismos de instabilização de encostas na Serra do Mar. **Encontro Técnico: estabilidade de encostas**. São Paulo: ABMS, 1988b, p.16-40.
- Wolle, C.M.; Pedrosa, J.A.B.A. Horizontes de transição condicionam mecanismo de instabilização de encostas na Serra do Mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1981, Itapema. **Anais**. Itapema: ABGE. Vol. 2, p. 121-135.

Wu, T.H. Slope stabilization. In: **Slope stabilization and erosion control – a bioengineering approach**. (Eds. Morgan, R.P.C; Rickson, R.J.). London: Chapman & Hall, 1995. p.221-262.