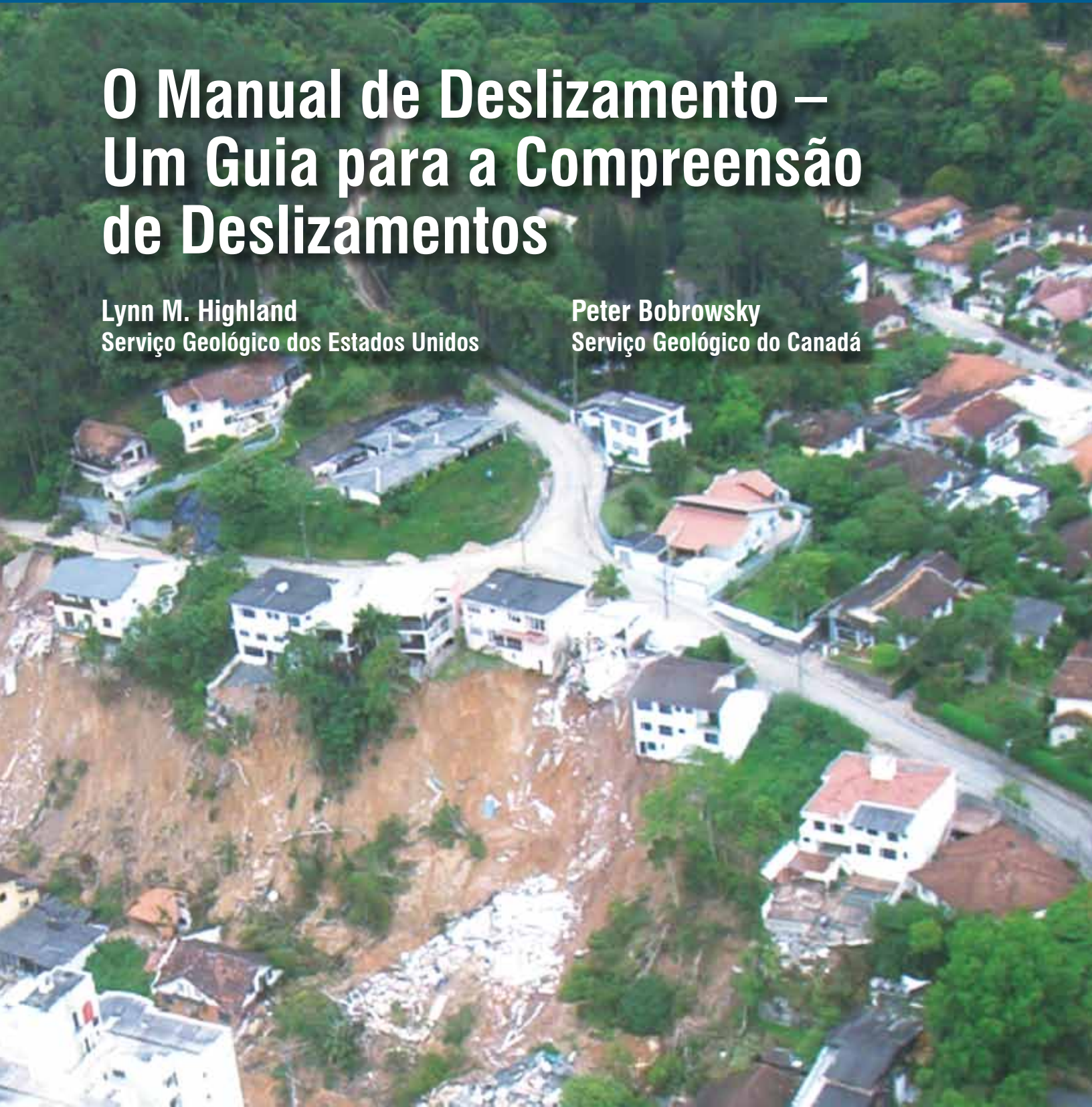


# O Manual de Deslizamento – Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos

Lynn M. Highland  
Serviço Geológico dos Estados Unidos

Peter Bobrowsky  
Serviço Geológico do Canadá





# O Manual de Deslizamento – Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos

Por

Lynn M. Highland, Serviço Geológico dos Estados Unidos e  
Peter Bobrowsky, Serviço Geológico do Canadá.

Contribuição e tradução para o Brasil por  
Paulo R. Rogério, Engenheiro Civil e Geotécnico, MSc em engenharia  
na University of California at Los Angeles e PE (Professional Engineer) licenciado  
nos estados de Washington, Oregon, California e Colorado, E.U.A. e  
Juarês José Aumond, Geólogo/Dr. em Engenharia Civil.



THE WORLD BANK

**U.S. Department of the Interior**  
Dirk Kempthorne, Secretary

**U.S. Geological Survey**  
Mark D. Myers, Director

U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2008

Para informação sobre esse produto:

World Wide Web: <http://www.usgs.gov/pubprod>

Telefone: 1-888-ASK-USGS

Para maiores informações sobre USGS – a fonte federal sobre ciência da terra, recursos naturais, seres vivos, desastres naturais e o meio ambiente:

World Wide Web: <http://www.usgs.gov>

Telefone: 1-888-ASK-USGS

O uso de nomes de produtos, comércio e empresas é somente para propósitos descritivos e não implica endosso do Governo dos E.U.A.

Apesar de este relatório ser de domínio público, deve-se solicitar permissão aos detentores de direitos autorais das publicações mencionadas para reproduzir qualquer material aqui contido.

Citação sugerida:

Highland, L.M., and Bobrowsky, Peter, 2008, The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p.

A publicação da versão em português desse relatório foi possível graças a uma doação da Global Facility for Disaster Reduction and Recovery - GFDRR/World Bank.

## Agradecimentos

Os autores agradecem:

Ao Consórcio Internacional em Deslizamentos pelo patrocínio a este projeto.  
Aos revisores por sua dedicação, esforço e tempo na revisão deste manual.  
A todos que colaboraram dando a permissão para usar seus textos, fotografias, gráficos, previamente publicados, bem como, aos autores da pesquisa e da informação em deslizamentos, pelo trabalho cuidadoso até sua conclusão.

Ao Serviço Geológico do Canadá, em especial a Jam Aylsworth por sua revisão e valiosas sugestões.

Ao serviço geológico dos E.U.A , especialmente a Paula Gori pelo incentivo, estímulo e colaboração na realização deste projeto.

Este é o estudo geológico de contribuição número 20080377 do Canadá.



# Sumário

Agradecimentos .....	iii
Como ler este guia .....	xv
Por favor, observe: .....	xv
Nota da edição brasileira: .....	xv
Introdução .....	1
Para maiores informações .....	2
Introdução à edição brasileira .....	3
<b>Seção I - Informações Básicas Sobre Deslizamentos</b> .....	5
<b>Parte A</b> - O que é um deslizamento? .....	6
<b>Parte B</b> - Tipos Básicos de Deslizamentos .....	7
Quedas .....	8
Queda rochosa .....	8
Ocorrência e tamanho/extensão relativos .....	8
Velocidade de deslocamento .....	8
Mecanismo de desencadeamento .....	9
Efeitos (diretos / indiretos) .....	9
Medidas de correção / mitigadoras .....	9
Previsibilidade .....	9
Tombamento .....	11
Ocorrência .....	11
Velocidade de deslocamento .....	11
Mecanismo de desencadeamento .....	11
Efeitos (diretos / indiretos) .....	11
Medidas de correção / mitigadoras .....	11
Previsibilidade .....	12
Escorregamentos .....	13
Escorregamento rotacional .....	13
Ocorrência .....	13
Tamanho/extensão relativos .....	13
Velocidade de deslocamento (Taxa de movimento) .....	13
Mecanismo de desencadeamento .....	13
Efeitos (diretos / indiretos) .....	14
Medidas de correção / mitigadoras .....	14
Previsibilidade .....	14
Escorregamento Translacional .....	16
Ocorrência .....	16
Tamanho/extensão relativos .....	16
Velocidade de deslocamento .....	16
Mecanismo de desencadeamento .....	16
Efeitos (diretos / indiretos) .....	17
Medidas de correção / mitigadoras .....	17
Previsibilidade .....	17
Espalhamento .....	19
Espalhamento Lateral .....	19
Ocorrência .....	19
Tamanho/extensão relativos .....	19

Velocidade de deslocamento .....	19
Mecanismo de desencadeamento .....	20
Efeitos (diretos / indiretos) .....	20
Medidas de correção / mitigadoras .....	20
Previsibilidade .....	20
Escoamento .....	22
Fluxo de detritos .....	22
Ocorrência .....	22
Tamanho/extensão relativos .....	22
Velocidade de deslocamento .....	22
Mecanismos de desencadeamento .....	23
Efeitos (diretos / indiretos) .....	23
Medidas de correção / mitigadoras .....	23
Previsibilidade .....	23
“Lahars” (Fluxo de Detritos Vulcânicos) .....	25
Ocorrência .....	25
Tamanho/extensão relativos .....	25
Velocidade de deslocamento .....	25
Mecanismo de desencadeamento .....	25
Efeitos (diretos / indiretos) .....	26
Medidas de correção / mitigadoras .....	26
Previsibilidade .....	26
Avalanche de Detritos .....	28
Ocorrência .....	28
Tamanho/extensão relativos .....	28
Velocidade de deslocamento .....	28
Mecanismo de desencadeamento .....	28
Efeitos (diretos / indiretos) .....	28
Medidas de correção / mitigadoras .....	29
Previsibilidade .....	29
Fluxo de Terra .....	30
Ocorrência .....	30
Tamanho/extensão relativos .....	30
Velocidade de deslocamento .....	30
Mecanismos de desencadeamento .....	30
Efeitos (diretos / indiretos) .....	31
Medidas de correção / mitigadoras .....	31
Previsibilidade .....	31
Fluxos Lentos de Terra (Rastejos - Creep) .....	33
Ocorrência .....	33
Tamanho/extensão relativos .....	33
Velocidade de deslocamento .....	33
Mecanismo de desencadeamento .....	33
Efeitos (diretos / indiretos) .....	34
Medidas de correção / mitigadoras .....	34
Previsibilidade .....	34



Escoamentos em Subsolos Permanentemente Gelados .....	36
Ocorrência .....	36
Tamanho/extensão relativos .....	36
Velocidade de deslocamento .....	36
Mecanismos de desencadeamento .....	36
Efeitos (diretos / indiretos) .....	36
Medidas de correção / mitigadoras .....	37
Previsibilidade .....	37
<b>Parte C - Onde Ocorrem os Deslizamentos</b> .....	39
<b>Parte D - O Que Causa Deslizamentos?</b> .....	41
Ocorrências Naturais .....	41
Deslizamentos e Água .....	41
Deslizamentos e Atividade Sísmica .....	43
Deslizamentos e Atividade Vulcânica .....	44
Atividades Humanas .....	45
<b>Parte E. Quais São os Efeitos e Consequências dos Deslizamentos?</b> .....	46
Efeitos de Deslizamentos em Ambientes Construídos .....	46
Efeitos dos Deslizamentos na Natureza .....	48
<b>Parte F. Inter-relação de Deslizamentos com Outros Riscos Naturais -</b>	
Efeitos de Riscos Múltiplos .....	52
<b>Seção II. Avaliação e Comunicação de Risco de Deslizamento</b> .....	55
<b>Parte A. Avaliação de Riscos de Deslizamento</b> .....	56
Observação e (ou) inspeção por peritos locais e (ou) funcionários municipais	
e proprietários .....	56
Características que podem indicar movimento de deslizamento .....	56
Ferramentas Tecnológicas de Avaliação de Deslizamentos -	
Mapeamento, Sensoriamento Remoto e Monitoramento .....	59
Análise de Mapa .....	59
Reconhecimento Aéreo .....	59
Reconhecimento de Campo .....	60
Perfuração .....	60
Instrumentação .....	60
Estudos geofísicos .....	60
Imagem e Perfis Acústicos .....	61
Análise Computadorizada de Deslizamento de Terrenos .....	61
<b>Parte B. Comunicação de Riscos de Deslizamento</b> .....	62
Informações de Segurança .....	62
Informações sobre Edificações .....	62
Programa Sugerido de Prevenção de Risco para Governo Local .....	63
Exemplos de sinais de aviso de perigo .....	64
<b>Seção III. Conceitos e Abordagens de Mitigação</b> .....	65
<b>Parte A. Visão Geral dos Métodos de Mitigação para Vários Tipos de Riscos</b>	
de Deslizamento .....	66
Estabilização do solo de encostas .....	66
Redução de Riscos de Quedas de Rochas .....	67
Redução de Riscos de Fluxo de Detritos .....	67

Redução de Risco de Represamento por Deslizamento .....	67
Métodos Biotecnológicos de Redução de Risco de Deslizamento .....	70
<b>Parte B.</b> Técnicas Simples de Redução de Riscos para Casas e Empresas, Gestores e Cidadãos .....	71
<b>Parte C.</b> Lista de Obras Consultadas / Mencionadas / Citadas Para Leitura Posterior .....	72
<b>Apêndice A. Informações Básicas sobre Deslizamentos de Terra</b> .....	75
<b>Parte 1.</b> Glossário dos Termos Técnicos .....	76
Referências para o Glossário .....	79
<b>Parte 2.</b> Partes de Um Deslizamento Descrição de Características / Glossário .....	80
Fontes de informação sobre a nomenclatura: .....	81
<b>Parte 3.</b> Causas de Deslizamentos e Mecanismos Desencadeadores .....	82
Causas Físicas Desencadeadoras .....	82
Causas Naturais .....	82
Causas Geológicas .....	82
Causas Morfológicas .....	82
Causas Humanas .....	82
<b>Apêndice B. Introdução a Ferramentas de Avaliação de Deslizamentos - Cartografia, Sensoriamento Remoto e Monitoramento</b> .....	83
<b>Parte 1.</b> Cartografia .....	84
Cartografia Regional .....	84
Cartografia em nível comunitário .....	85
Cartografia de localização específica .....	85
Três Critérios Importantes para Mapas de Deslizamentos .....	85
Inventários de deslizamento .....	86
Mapas de Susceptibilidade ao Deslizamento .....	87
Mapas de Risco de Deslizamento .....	88
<b>Parte 2.</b> Sensoriamento Remoto e Outras Ferramentas Que Mostram Características de Atividade de Deslizamento .....	89
<b>Parte 3.</b> Monitoramento de Deslizamentos em Tempo Real e Instrumentação para Deslizamentos .....	94
<b>Apêndice C. Introdução à Estabilização e Atenuação de Deslizamentos</b> .....	95
<b>Parte 1.</b> Estabilização / Mitigação de Encostas de Terra .....	96
Escavação .....	96
Remoção de terra do topo de um deslizamento .....	96
Redução da altura do talude .....	96
Enchimento com material leve .....	99
Terraços .....	100
Achatamento ou redução do ângulo de inclinação, ou outra modificação no talude .....	100
Situação em que a escavação de talude não é recomendada .....	100
Reforço de Declives .....	101
Reforço com geotêxtil .....	101
Contrafortes de Rochas .....	101
Revestimentos de Canais de Fluxo .....	103
Barragens reguladoras .....	104
Para evitar o rompimento da barragem de controle .....	104

Técnicas de Drenagem .....	107
Nivelamento Local .....	107
Valas e drenos .....	107
Tubulações para drenagem .....	109
Feixes ou fardos de palha .....	111
Muros de Contenção .....	112
Grades de Madeira .....	112
Muro de Caixa de Aço .....	114
Muro de Terra Reforçado (Muro de Terra-armada) .....	115
Muros de Gabiões .....	116
Estacas .....	118
Estabilização de Encostas com Uso de Vegetação .....	119
Tipos de sementes .....	119
Húmus .....	120
Proteção Biotécnica de Taludes .....	120
<b>Parte 2. Técnicas de Mitigação / Estabilização de Taludes Rochosos</b> .....	124
Técnicas de Retenção Segura .....	125
Valas de Retenção .....	125
Cabo, Malha, Cerca e Cortinas de Rocha .....	125
Muros de Contenção .....	128
Galpões / Abrigos para Rochas .....	128
Rebordo Reforçado contra Rochas .....	128
Escavação de Rochas .....	130
Terraços .....	130
Escamação e Desbaste .....	131
Reforço das áreas com potencial para quedas de rochas .....	133
Gunita e Concreto Projetado .....	133
Âncoras, parafusos, e buchas .....	134
<b>Parte 3. Mitigação de Fluxo de Detritos</b> .....	135
Reforço de Declives contra Erosão / Fluxos de Detritos .....	135
Reforço do solo para resistência à erosão .....	136
Adequado plantio de vegetação nas encostas pode prevenir a erosão .....	136
Manter encostas livres de combustível para evitar incêndios florestais ....	136
Estruturas Atenuantes Contra Fluxos de Detritos .....	137
Bacias para fluxos de detritos .....	137
Barragens Reguladoras .....	137
Muros de Contenção para Fluxo de Detritos .....	138
Atenuação para Deslizamentos em Barragens .....	149
Desvio do fluxo de água antes de sua chegada ao lago formado pelo deslizamento na barragem .....	149
Drenagem temporária do represamento de bombas ou sifões .....	149
Construção de um vertedouro resistente à erosão .....	150
Drenagem do túnel através de um pilar .....	150
<b>Apêndice D. Exemplo de Informação de Segurança para Deslizamentos/ Fluxo de sedimentos</b> .....	153
O que você pode fazer se vive perto de encostas? .....	154
Antes de tempestades intensas: .....	154

Durante tempestades intensas: .....	154
O que fazer se você suspeita de perigo iminente dedeslizamento: .....	154
Depois dos deslizamentos: .....	155
Index .....	156

## Figuras

Figura 1.	Este deslizamento ocorreu em La Conchita, Califórnia, EUA, em Dezembro de 2005 .....	6
Figura 2.	Uma ilustração simples de um deslizamento por cisalhamento rotacional que evoluiu para um fluxo de terras .....	7
Figura 3.	Esquema de queda rochosa .....	10
Figura 4.	Queda rochosa e deslizamento ocorrido em Clear Creek Canyon, Colorado, EUA, em 2005 .....	10
Figura 5.	Esquema de tombamento .....	12
Figura 6.	Fotografia de um bloco envergando em Fort St. John, British Columbia, Canadá.....	12
Figura 7.	Esquema de escorregamento rotacional .....	14
Figura 8.	Fotografia de um escorregamento rotacional ocorrido na Nova Zelândia .....	15
Figura 9.	Esquema de escorregamento translacional .....	17
Figura 10.	Imagem de um escorregamento translacional que ocorreu em 2001 no Vale do Rio Beatton, British Columbia, Canada .....	18
Figura 11.	Esquema de espalhamento lateral. Uma camada passível de liquefação está abaixo da camada superficial .....	21
Figura 12.	Fotografia de um espalhamento lateral ocorrido em uma rodovia, como resultado do terremoto Loma Prieta, em 1989, na Califórnia, EUA .....	21
Figura 13.	Esquema de fluxo de detritos .....	24
Figura 14.	Danos causados por um fluxo de detritos na cidade de Caraballeda, na base da Cordilheira de La Costan, no litoral norte da Venezuela .....	24
Figura 15.	Esquema de um lahar .....	26
Figura 16.	Imagem de um “lahar” causado pela erupção de 1982 no Monte St. Helens em Washington, EUA .....	27
Figura 17.	Esquema de avalanche de detritos .....	29
Figura 18.	Uma avalanche que sotou o vilarejo de Guinsaigon, ao sul de Leyte, Filipinas, em fevereiro de 2006 .....	29
Figura 19.	Esquema de um fluxo de terra .....	31
Figura 20.	Fluxo de terra de Lemieux, 1993 - um rápido fluxo de terra ocorrido em argila marinha sensível, próximo a Ottawa, Canadá .....	32
Figura 21.	Esquema de um deslizamento lento de terra, geralmente chamado rastejo .....	34
Figura 22.	Esta imagem mostra os efeitos do rastejo, em uma área próxima a East Sussex, no Reino Unido .....	35
Figura 23.	Esquema de um escoamento regressivo no degelo .....	37
Figura 24.	Imagem de um escoamento regressivo no degelo em território do noroeste do Canadá .....	38
Figura 25.	Danos de espalhamento lateral .....	40
Figura 26.	O Mameyes, Porto Rico, deslizamento de terra, 1985 .....	42

Figura 27.	Danos de deslizamento induzido por terremoto a uma casa construída sobre aterro artificial .....	43
Figura 28.	Lateral do Vulcão Casita, na Nicarágua, América Central .....	44
Figura 29.	Deslizamento na autoestrada Pan Americana em El Salvador, América Central, próximo a cidade de San Vicente, em 2001 .....	47
Figura 30.	Vulcão ativo, Monte Shasta, na Califórnia, EUA .....	49
Figura 31.	Vista da jusante, na confluência do Rio Malo .....	50
Figura 32.	O deslizamento de terra Slumgullion, Colorado, EUA .....	51
Figura 33.	Exemplo de um evento de riscos múltiplos .....	53
Figura 34.	Evento de perigos múltiplos de 1999, em Tanaguarena, na costa da Venezuela, América do Sul. As inundações e deslizamentos foram .....	54
Figura 35.	Esta é uma fotografia que mostra o efeito posterior de um evento de riscos múltiplos .....	54
Figura 36.	Rachaduras do solo .....	57
Figura 37.	Calçada afastando-se da casa .....	57
Figura 38.	Rachaduras da fundação de uma estrutura .....	58
Figura 39.	Sinais de aviso .....	64
Figura 40.	Sinais de aviso .....	64
Figura 41.	Sinais de aviso .....	64
Figura 42.	O deslizamento de terra Thistle no Utah, EUA .....	68
Figura 43.	O grande terremoto que atingiu a China em 12 de maio de 2008 causou muitos danos ao terreno montanhoso do distrito de Beichuan .....	69
Figura A1.	Partes de um deslizamento de terra .....	80
Figura B1.	Exemplo de um mapa de inventário de deslizamento .....	86
Figura B2.	Um exemplo de mapa de susceptibilidade ao deslizamento .....	87
Figura B3.	Parte do mapa de risco de deslizamento superficial que mostra parcialmente a área de Magnólia, da cidade de Seattle, Washington, EUA .....	88
Figura B4.	Um exemplo de uma fotografia aérea do deslizamento La Conchita, na Califórnia, EUA, tirada em 2005 .....	90
Figura B5.	Modelo esquemático que mostra satélite passando sobre uma área da superfície da Terra .....	91
Figura B6.	Interferograma do processo de imagem InSAR .....	92
Figura B7.	Imagem LiDAR oblíqua .....	93
Figura B8.	Medição de movimento de deslizamento utilizando um extensômetro .....	94
Figura B9.	Teste de um sistema de radiotelemetria .....	94
Figura B10.	Exemplo de uma rede para medição e transmissão em tempo real de dados do deslizamento .....	94
Figura C1.	Ilustração das diferenças de estabilidade, resultando em escavações no topo e na base de um declive .....	97
Figura C2.	Ilustração da diferença de estabilidade de carga, tanto no topo quanto na base de um declive .....	97
Figura C3.	Ilustração da importância da água na estabilidade de	

	uma encosta .....	98
Figura C4.	Modelo esquemático e fotografia de um aterramento com material leve .....	99
Figura C5.	Modelo esquemático e fotografia de um contraforte de enrocamento no Canadá .....	102
Figura C6.	Exemplo de revestimento de canal com rochas .....	103
Figura C7.	Desenho esquemático e fotografia de uma barragem de controle com parede de toras .....	105
Figura C8.	Vista da barragem de controle de concreto à montante .....	106
Figura C9.	Desenho esquemático e fotografia de uma vala de drenagem .....	108
Figura C10.	Esquema de tubos de drenagem .....	110
Figura C11.	Feixes de palha na lateral de uma estrada .....	111
Figura C12.	Os fardos de palha têm um aplicativo similar e estão amplamente disponíveis .....	111
Figura C13.	Desenho esquemático e fotografia de uma grade de madeira .....	113
Figura C14.	Desenho esquemático e fotografia de um muro de caixa de aço .....	114
Figura C15.	Desenho esquemático e fotografia de uma parede de terra-armada .....	115
Figura C16.	Desenho esquemático e fotografia de um muro de gabião ao longo de uma rodovia .....	117
Figura C17.	Uma parede de estaca preenchida por concreto .....	118
Figura C18.	Um sistema de capim vetiver .....	122
Figura C19.	Distribuição mundial dos programas ativos de capim Vetiver .....	123
Figura C20.	Esta fotografia mostra medidas contra quedas de rochas .....	124
Figura C21.	Exemplo de malha de arame colocada sobre uma encosta rochosa .....	126
Figura C22.	Barreira do tipo cerca de proteção contra rochas .....	126
Figura C23.	Exemplo de uma “cortina para rochas” .....	127
Figura C24.	Galpões contra rochas .....	128
Figura C25.	Exemplo de um galpão aberto .....	129
Figura C26.	Um abrigo contra avalanche de rochas na área de Montenyard da França .....	129
Figura C27.	Exemplo de um rebordo reforçado .....	129
Figura C28.	Desenho esquemático e fotografia de terraços de rocha .....	130
Figura C29.	Rochas deslocadas pela tensão e explosão .....	131
Figura C30.	Martelo hidráulico (britadeira) em ação, derrubando rocha da encosta .....	132
Figura C31.	Operação com concreto projetado .....	133
Figura C32.	Fotografia em close de uma âncora em uma superfície de rocha .....	134
Figura C33.	Operação de aparafusamento de rocha .....	134
Figura C34.	Declives que sofreram queimadas e fluxos de detritos .....	135
Figura C35.	Fotografia aérea de uma bacia de fluxos de detritos .....	137

Figura C36.	É necessário ter cuidado na localização e construção de muros de contenção de fluxos de detritos .....	138
Figura C37.	Um muro de contenção de fluxo de detritos na Bacia Kamikochi, Japão .....	138
Figura C38.	Esquema de uma casa desprotegida .....	139
Figura C39.	Esquema de uma casa com as estruturas de protecção em vigor .....	139
Figura C40.	Esquema de materiais típicos, geralmente disponíveis em muitas regiões do mundo, para ajudar a reduzir os danos de inundação / fluxo de detritos .....	140
Figura C41.	Sacos de areia são basicamente para protecção contra pequenos fluxos .....	141
Figura C42.	Esquema de uma colocação típica de sacos de areia para protecção pessoal .....	142
Figura C43.	Sacos de areia ajudam no direcionamento de detritos para longe de edifícios .....	142
Figura C44.	Controle de fluxos ou tempestade de detritos nas ruas, com sacos de areia .....	143
Figura C45.	Direcionamento de fluxos entre os edifícios, utilizando sacos de areia .....	143
Figura C46.	Isolamento de porta deslizante de vidro .....	144
Figura C47.	Protecção típica de janela e porta, utilizando madeira compensada .....	145
Figura C48.	Pregar se compensado ou madeira para protecção de janelas e portas .....	145
Figura C49.	Este é um defletor de madeira, que é mais permanente do que sacos de areia .....	146
Figura C50.	Esquema em close de uma técnica de instalação de um defletor de madeira .....	146
Figura C51.	Uma alternativa aos defletores de madeira pedações de postes de telefone ou dormentes de ferrovias .....	147
Figura C52.	Barreira removível para garagem .....	147
Figura C53.	O deslizamento Thistle, em Utah, EUA, 1983 .....	151
Figura C54.	Vista em close das medidas de atenuação tomadas para reduzir o impacto da barragem de deslizamento Thistle .....	152
Figura C55.	Fotografia com anotações que mostram a reativação e ampliação da barragem de deslizamento Thistle .....	152



## Como ler este guia

Este guia é composto de três seções básicas, uma série de apêndices detalhados e um índice. Este estilo permite uma maior flexibilidade para usuários com diferenças consideráveis de interesses e de níveis de detalhes. A maioria das informações que foram expandidas e detalhadas de maneira explicativa, pode ser encontrada nos apêndices, que inclui um Glossário de Termos Referentes a Deslizamentos com maiores informações e referências.

### Por favor, observe:

- Para facilitar a leitura, as referências estão numeradas ao final das seções e não estão inseridas ao longo do texto. O usuário pode, também, contactar o Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey) e o Serviço Geológico do Canadá (Geological Survey of Canada), para maiores orientações e assistência.
- Páginas da internet são usadas como referência para este livro; entretanto, endereços de sites (URLs) podem ser modificados ao longo do tempo e os links disponibilizados nesta publicação podem tornar-se inativos ou incorretos. Sugere-se que os usuários consultem um mecanismo de busca na Web por palavras-chave, caso os links não possam mais ser acessados.

### Nota da edição brasileira:

- Chamamos a atenção dos leitores para pequenas diferenças adotadas na nomenclatura inglesa e portuguesa para os tipos de deslizamentos. No Brasil adota-se basicamente quatro tipos de denominações diferentes para os movimentos de massa de acordo com as características do movimento, tipo de material e a sua geometria.
- O **rastejo** corresponde ao “*creep*” da nomenclatura inglesa. Os **escorregamentos** correspondem aos “*slides*”. Os escorregamentos classificam-se em **planar**, **circular** e em **cunha**. As quedas correspondem a “*falls*” da literatura inglesa. No Brasil, além da queda de blocos, ainda se insere nessa categoria o **rolamento de matacão** e o **tombamento**. Na literatura inglesa distingue-se duas categorias: a **queda** e o **tombamento**. As corridas ou escoamentos ou fluxos correspondem a “*flows*” da literatura inglesa. As corridas podem assumir três categorias: de **terra**, de **lama** e de **detritos**.

O deslizamento Donghekou, causado pelo terremoto de maio de 2008, em Sichuan Wenchuan County, China. Este deslizamento extremamente grande soterrou centenas de pessoas e causou um grande aterro formando uma represa no rio He Dong. Fotografia por Lynn Highland, E.U. Geological Survey.



# O Manual de Deslizamento

## Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos

Por Lynn M. Highland, Serviço Geológico dos Estados Unidos e Peter Bobrowsky, Serviço Geológico do Canadá.

Traduzido e adaptado para o Brasil por Paulo R. G. Rogério, Eng.º Civil/Geotécnico e Juarês José Aumond, Geólogo/Dr. em Engenharia civil.

### Introdução

Este manual tem como objetivo servir de fonte de informação para que pessoas afetadas por deslizamentos adquiram maior conhecimento, especialmente a respeito das condições peculiares de suas vizinhanças e comunidades. Muitas pesquisas e literatura estão disponíveis no que concerne a deslizamentos, porém, infelizmente, pouco delas está resumido e integrado, o que possibilitaria a localização geográfica específica das condições climáticas e geológicas ao redor do globo. Deslizamentos ocorrem por todo o planeta, sob todas as condições climáticas e de terreno, custando bilhões em perdas monetárias, e são responsáveis por milhares de mortes a cada ano. Frequentemente causam problemas econômicos de longo prazo, desalojam a população e afetam negativamente o meio ambiente.

Políticas ultrapassadas de uso do solo nem sempre refletem o melhor planejamento para uso da terra que está vulnerável a deslizamentos. As razões para uma escassa, quase inexistente política de uso do solo que minimize o perigo percebido, atual ou potencial, dos desastres geológicos, são muitas e incluem as complexidades políticas, culturais e financeiras e as peculiaridades das comunidades. Deslizamentos de terra são sempre caracterizados como problemas locais, mas seus efeitos e custos frequentemente ultrapassam as jurisdições locais e podem tornar-se problemas estaduais ou mesmo nacionais.

O crescimento populacional pode ser limitado em sua expansão geográfica exceto na ocupação de áreas remotas, íngremes ou instáveis. Geralmente, a estabilização de áreas marcadas por deslizamentos tem custo muito alto e alguns habitantes não têm para onde se mudar. Felizmente, precauções e ações de baixa tecnologia podem ser adotadas para, ao menos, garantir a segurança individual imediata. Este manual apresenta um breve panorama das muitas opções existentes, nesse sentido. Sugere-se, veementemente, que, quando possível, seja buscada a assistência de pessoas com experiência e sucesso na estabilização de taludes instáveis, antes que qualquer ação seja tomada. Este manual auxilia proprietários, pessoas responsáveis pelas comunidades e a defesa civil para assuntos de

emergência, a estimularem o conhecimento das opções e dos recursos disponíveis no que concerne a perigos de deslizamento.

É fornecida uma lista de referências, disponível em formato impresso ou virtual (Internet), que pode ser utilizada para posterior estudo e conhecimento sobre deslizamentos. Recomenda-se este manual a administradores e tomadores de decisões em comunidades, na esperança de que as informações sejam transmitidas por esses indivíduos aos outros membros da comunidade. Em resposta aos diferentes graus de compreensão pelo planeta, deu-se ênfase a informações visuais, pelo uso de gráficos e fotografias. Planeja-se traduzir este livro para outras línguas, tantas quantas forem possíveis.

Críticas e comentários são bem recebidos e as informações de contato para tal, bem como os nomes e endereços das respectivas agências, estão aqui disponibilizados.

## Para maiores informações

Para perguntas sobre o conteúdo deste livro, ou outros questionamentos relativos a deslizamentos, o Centro de Informações do Levantamento Geológico dos Estados Unidos (U.S. Geological Survey — USGS — National Landslide Information Center-NLIC), em Golden, Colorado, EUA, encontra-se disponível como fonte de respostas, auxilia com interpretações e dá apoio a usuários deste material, fornecendo informações adicionais. Por favor, entre em contato por telefone, email ou escreva para:

United States Geological Survey  
Landslide Program and National Landslide Information Center  
Mail Stop 966, Box 25046, Denver Federal Center  
Denver, Colorado, 80225 USA  
Endereço na web: <http://landslides.usgs.gov/>  
Telefones: 1-800-654-4966 ou 1-303-273-8586  
[Highland@usgs.gov](mailto:Highland@usgs.gov)

Geological Survey of Canada  
Landslides and Geotechnic Section  
601 Booth Street  
Ottawa, Ontario, Canadá KIA 0E8.  
Endereço na web: [http://gsc.nrcan.gc.ca/landslides/index\\_e.php](http://gsc.nrcan.gc.ca/landslides/index_e.php)  
Telefone: 1-613-947-0333  
[pbobrows@nrcan-rncan.gc.ca](mailto:pbobrows@nrcan-rncan.gc.ca)

## Introdução à edição brasileira

Os eventos climáticos extremos têm se tornado cada vez mais intensos e frequentes em função das mudanças climáticas no mundo e no Brasil.

Os estados de Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro, Alagoas, entre outros, têm sido intensamente afetados nos últimos anos por eventos climáticos extremos que têm provocado inundações, enxurradas e movimentos de massa de diversas categorias. Esses fenômenos têm apresentado conseqüências catastróficas com elevado número de perdas de vidas humanas e perdas econômicas.

Em Santa Catarina, por exemplo, a catástrofe de novembro de 2008 foi o evento mais intenso desse gênero ocorrido no estado tendo afetado cerca de 1,5 milhões de pessoas, com mais de uma centena de mortes e foi mais um sinal desses novos tempos.

A Academia, jornalistas, pesquisadores e cientistas tem pesquisado estes eventos climáticos extremos e publicado inúmeros artigos, textos científicos e livros numa tentativa de explicar os fenômenos como ciclones, movimento de massa, enxurradas e inundações. A Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB através de seus pesquisadores tem contribuído com suas atividades de pesquisa e extensão para o melhor entendimento desses fenômenos, disponibilizando-as para a comunidade.

Este manual surgiu da oportunidade disponibilizada por Lynn M. Highland, United States Geological Survey, e Peter Bobrowsky, Geological Survey of Canada que sugeriram a tradução e a adaptação para a língua portuguesa do The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides. Nesse sentido este manual apresenta para a comunidade científica, os tomadores de decisão e a sociedade brasileira um texto internacional, que visa esclarecer e orientar a população, órgãos e instituições sobre medidas mitigadoras, causas e conseqüências dos fenômenos de inundações, enxurradas e deslizamentos. Este manual já foi traduzido para o mandarim, e as línguas espanhola e japonesa e agora é apresentado e adaptado para a língua portuguesa. Por gentileza dos autores Lynn M. Highland e Peter Bobrowsky, nos foram permitidos realizar uma adaptação para a língua portuguesa.

Agradecemos a Lynn M. Highland e Peter Bobrowsky pela oportunidade de tradução e adaptação do seu manual. Agradecemos também a todos que colaboraram com a tradução desse livro, em especial ao Sr. Norberto Schaly, da Qualicopy e a EdiFURB na pessoa do Sr. Maicon Tefen.

Dr. Paulo R. G. Rogerio

Dr. Juarês Jose Aumond



An aerial photograph of a mountainous region. The terrain is rugged with numerous ridges and valleys. A large, dark lake is visible in the lower right portion of the image. The slopes are covered with dense green forest. The overall scene is captured from a high angle, showing the topography and the relationship between the land and the water body.

# **Seção I. Informações Básicas Sobre Deslizamentos**

## Parte A. O que é um deslizamento?

Geólogos, engenheiros e outros profissionais sempre se apoiam em definições de deslizamentos específicas e com ligeira diferença entre si. Essa diversidade de definições reflete a complexidade da natureza das muitas disciplinas associadas ao estudo desse fenômeno. Para os propósitos desse manual, deslizamento será um termo genérico, usado para descrever o movimento de descida do solo, de rochas e material orgânico, sob o efeito da gravidade, e também a formação geológica resultante de tal movimento (veja, na figura 1, o exemplo de um tipo de deslizamento).

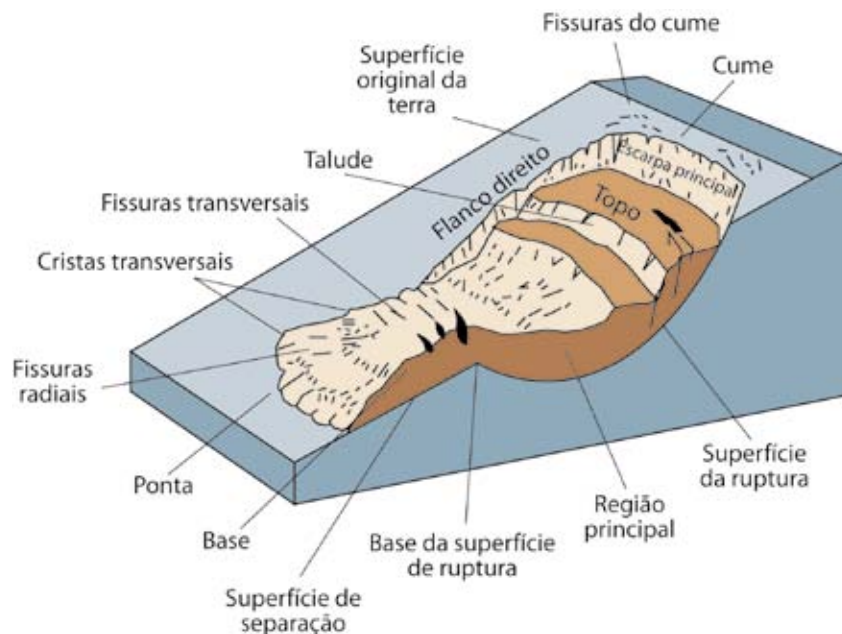
As classificações de diferentes tipos de deslizamentos são associadas a mecanismos específicos de falhas em taludes e às propriedades e características desses tipos de falhas geológicas. Essas serão discutidas adiante, neste manual.

Existem outros termos que são usados alternativamente ao termo “deslizamento”, que incluem movimento de massa, ruptura do talude, etc. É comum ouvi-los aplicados a todos os tipos e tamanhos de deslizamento. Independente da definição exata usada ou do tipo de deslizamento em discussão, é útil que se entenda o básico sobre um deslizamento típico. A figura 2 mostra a posição e os termos mais comuns usados para descrever as partes específicas de um deslizamento. Esses termos e outras denominações relevantes estão definidos no Glossário de Termos Referentes a Deslizamentos, incluído no Apêndice A.



**Figura 1.** Este deslizamento ocorreu em La Conchita, Califórnia, EUA, em Dezembro de 2005, muitas pessoas morreram. (Fotografia de Mark Reid, U.S. Geological Survey).





**Figura 2.** Uma ilustração simples de um deslizamento rotacional que evoluiu para um fluxo de terras. A imagem mostra denominações comumente usadas para as partes de um deslizamento (de Varnes, 1978, Referência 43).

## Parte B. Tipos Básicos de Deslizamentos

Um deslizamento é um movimento de descida de rocha, solo, ou ambos, em declive, que ocorre na ruptura de uma superfície — ruptura curva (escorregamento rotacional) ou ruptura plana (escorregamento translacional) — na qual a maior parte do material move-se como uma massa coerente ou semicoerente, com pequena deformação interna. Deve-se observar que, em alguns casos, os deslizamentos podem envolver outros tipos de movimentos, tanto no desencadeamento da ruptura ou posterior a ele, se as propriedades são alteradas durante o movimento do material.

Esta seção fornece descrições e ilustrações dos vários tipos de deslizamentos. Entender as características do tipo específico de risco de deslizamento em sua área é de vital importância para considerar, planejar, ou adotar ações apropriadas para diminuir o risco de perdas e danos. O tipo de deslizamento determinará a velocidade potencial do movimento, o provável volume de deslocamento, a distância de deslocamento, como os possíveis efeitos do deslizamento e as medidas mitigadoras apropriadas a serem consideradas.

Deslizamentos podem ser classificados em diferentes tipos com base na categoria de movimento e no tipo de material envolvido (veja Referências 9 e 39). Resumidamente, o material em uma massa deslizante é **rocha** ou **solo** (ou ambos); o último é descrito como terra, se composto principalmente de partículas granuladas como areia, ou mais finas, e **detritos**, se composto de partes mais graúdas. O tipo de movimento descreve a mecânica interna de como a massa é deslocada: **queda**, **envergamento**, **escorregamento**, **espalhamento** ou **escoamento**. Assim, os deslizamentos são descritos pelo uso de dois termos que se referem respectivamente, ao tipo de movimento e ao material (ou seja, queda de rocha, de

detritos, etc.). Deslizamentos também podem formar uma ruptura complexa, que pode incluir mais de um tipo de movimento (ou seja, deslizamento de rocha e fluxo de detritos).

Para os objetivos deste manual, considera-se o “tipo de movimento” como sinônimo de “tipo de deslizamento”. Cada tipo de movimento pode ser posteriormente subdividido de acordo com suas propriedades e características específicas, e as principais subcategorias de cada tipo são descritas mais adiante. As categorias menos comuns não são discutidas neste manual, mas são abordadas na fonte de referências.

Evitam-se citações diretas e identificação de fontes e referências textuais no corpo deste manual, porém todas as fontes são devidamente apresentadas na lista de referências que o acompanha.

### Quedas

Uma queda se inicia com a separação do solo ou da rocha, ou de ambos, de um talude íngreme, ao longo de sua superfície, na qual tenha ocorrido pouco ou nenhum deslocamento por cisalhamento. Posteriormente, o material vem abaixo, principalmente por queda, salto ou rolamento.

#### Queda rochosa

São movimentos repentinos para baixo, de rocha ou terra, ou ambas, que se desprendem de taludes íngremes ou de penhascos. O material que desce, geralmente bate nas paredes inferiores do talude num ângulo menor que o ângulo da queda, causando saltos. A massa em queda pode quebrar no impacto, pode iniciar um rolamento em taludes mais íngremes e pode continuar até a cota mais baixa do terreno.

#### Ocorrência e tamanho/extensão relativos

Ocorre mundialmente em taludes íngremes ou verticais — também em áreas litorâneas e ao longo de taludes rochosos de rios e ribeirões. O volume de material em uma queda pode variar substancialmente, de rochas individuais ou torrões de solo a blocos maciços de milhares de metros cúbicos de volume.

#### Velocidade de deslocamento

Muito rápida ou extremamente rápida, queda livre; salto e rolamento da porção livre de solo, rocha ou matacão. A velocidade de rolamento depende da inclinação do talude.

### Mecanismo de desencadeamento

Erosão regressiva do talude por processos naturais tais como rios, ribeirões ou condições climáticas diferenciadas (como o ciclo de congelamento e degelo); atividades humanas como escavações para construção de estradas e/ou manutenção dessas; terremotos ou outras vibrações intensas.

### Efeitos (diretos /indiretos)

O material em queda pode ameaçar vidas. As quedas podem danificar propriedades abaixo da linha de queda de grandes rochas. Matacões podem saltar ou rolar por grandes distâncias, danificando estruturas e matando pessoas. Danos em rodovias e estradas de ferro são particularmente elevados. Quedas rochosas (pedras) podem causar mortes em veículos atingidos e podem bloquear autoestradas e ferrovias.

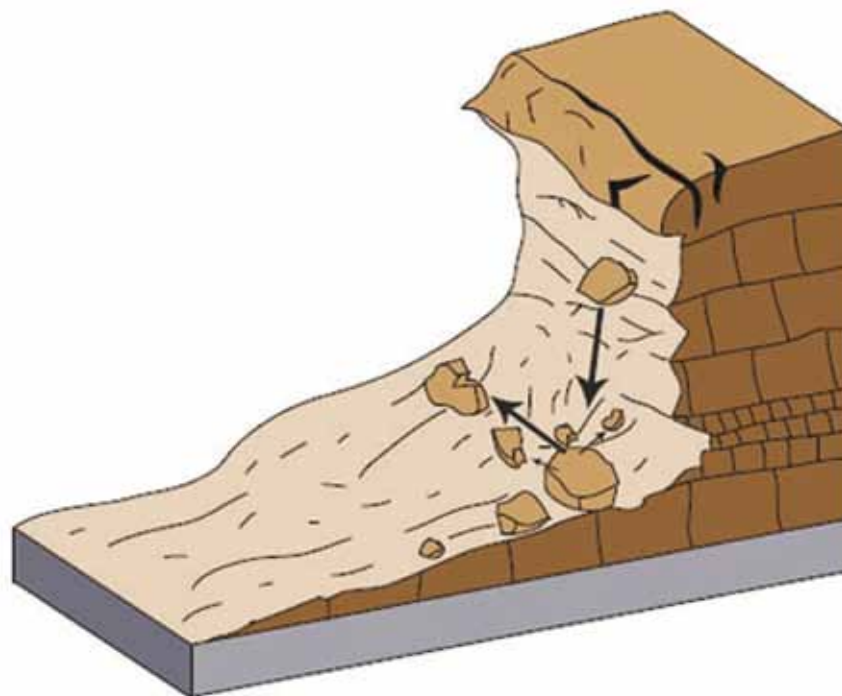
### Medidas de correção / mitigadoras

Paredes de pedras e cortinas ou outras coberturas de taludes, cobertura de proteção por cima de rodovias, muros de contenção para prevenir rolamentos ou saltos, destruição por explosão de áreas de risco para remoção de materiais instáveis, remoção de rochas ou outros materiais que estejam em rodovias ou ferrovias. Ancoragem rochosa ou outros tipos de ancoragem utilizados para estabilização de penhascos, bem como remoção de crostas, podem minimizar os riscos. Sinais de alerta são recomendados em áreas perigosas. Deve-se impedir e sinalizar a parada ou estacionamento sob penhascos de risco.

### Previsibilidade

O mapeamento de áreas de risco de quedas rochosas já foi feito em algumas áreas do planeta. Cálculos de saltos de rochas e métodos de estimativas para delimitação do perímetro de zonas de quedas de rochas também foram determinados e essas informações foram amplamente publicadas. Indicadores de quedas eminentes de rocha incluem regiões com rochas pendentes, partidas ou reincorporadas ao longo de taludes íngremes, particularmente em áreas sujeitas a ciclos frequentes de congelamento e degelo. Também, superfícies de corte em depósitos de cascalho podem estar particularmente sujeitas a quedas. Figuras 3 e 4 mostram um esquema e uma imagem de queda rochosa.

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 39, 43 e 45.*



**Figura 3.** Esquema de queda rochosa. (Esquema modificado a partir da Referência 9).



**Figura 4.** Queda rochosa e deslizamento ocorrido em Clear Creek Canyon, Colorado, EUA, em 2005, fechando o trânsito no canyon por várias semanas. A fotografia também mostra um exemplo de uma parede de pedras (cortina), um tipo de barreira comumente aplicado sobre faces rochosas de risco (centro e direita da foto). (Foto por Colorado Geological Survey).

## Tombamento

Um tombamento é identificado por uma *rotação* frontal de uma massa de solo ou rocha para fora do talude, em torno de um ponto, ou *eixo*, abaixo do *centro de gravidade* da massa deslocada. Tombamentos são, às vezes, causados pela gravidade exercida sobre o peso do material na parte superior da massa deslocada. Tombamentos podem conter rochas, detritos (material mais graúdo) ou terra (material de fina granulação). Também podem ser complexos e compostos. Às vezes, o envergamento se deve a água ou gelo nas fissuras da massa.

### Ocorrência

Ocorre por todo o globo, com predominância em terreno de estrutura colunar vulcânica ou rocha sedimentar interdigitada e fissurada ao longo de cortes de rodovias, cursos de rios e ribeirões com margens íngremes.

### Velocidade de deslocamento

Varia de extremamente lenta a extremamente rápida, às vezes com aceleração durante o movimento, dependendo da distância do deslocamento.

### Mecanismo de desencadeamento

Às vezes é gerado pela gravidade exercida pelo material da parte superior da massa deslocada e, por vezes, por água ou gelo presente em fissuras no interior da massa; também por vibração, erosão regressiva, condições climáticas diferenciadas, escavações ou erosões por cursos d'água.

### Efeitos (diretos / indiretos)

Pode ser extremamente destrutivo, especialmente quando a ruptura é repentina e (ou) a velocidade é alta.

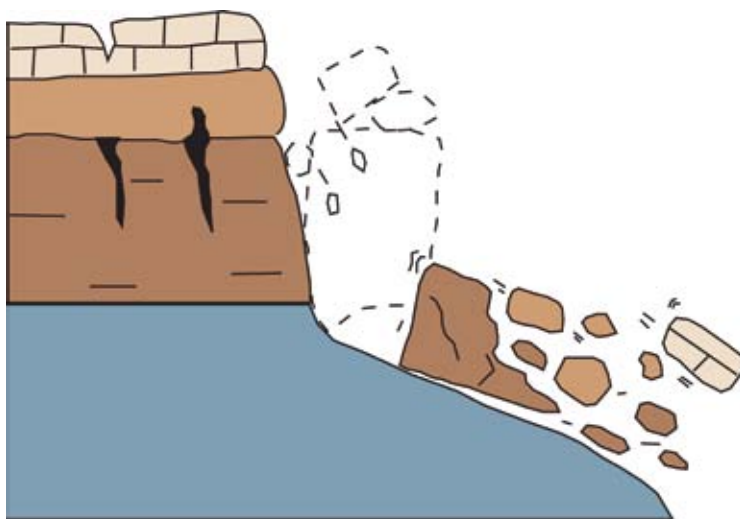
### Medidas de correção / mitigadoras

Em rochas, existem muitas opções de estabilização de áreas com tendência ao tombamento. Alguns exemplos para reforço desses tipos de taludes incluem ancoragem rochosa e mecânica e outros tipos de ancoragem. Infiltração é também um fator que contribui para a instabilidade das rochas e drenagens devem ser consideradas e utilizadas como meio de correção.

Previsibilidade

O mapeamento de áreas de suscetibilidade a tombamentos não é algo muito comum. Alguns inventários existem para certas áreas. O monitoramento de áreas predispostas a tombamentos é útil; como exemplo, tem-se o uso de inclinômetros. Esses são usados para monitoramento de alterações na inclinação de taludes próximos a fissuras e áreas de maior movimentação vertical. Sistemas de alerta são recomendados com base nos movimentos registrados pelos inclinômetros. As figuras 5 e 6 mostram um esquema de tombamento e uma imagem de tombamento.

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 39, 43 45.*



**Figura 5.** Esquema de tombamento. (Esquema da Referência 9).



**Figura 6.** Fotografia de um bloco envergando em Fort St. John, British Columbia, Canadá. (Foto por G. Bianchi Fasani)

## Escorregamentos

Um escorregamento é um movimento de uma massa de solo ou rocha, em declive, que ocorre sobre superfícies em ruptura ou sobre zonas relativamente finas com intensa deformação por cisalhamento. O movimento não ocorre, inicialmente, de maneira simultânea, por toda área que vem a se tornar a superfície da ruptura; o volume de material deslocado aumenta a partir de uma área no local da ruptura.

### Escorregamento rotacional

É um tipo de deslizamento em que a superfície da ruptura é curvada no sentido superior (em forma de colher) e o movimento da queda de barreira é mais ou menos rotatório em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude. A massa deslocada pode, sob certas circunstâncias, mover-se de maneira relativamente coerente, ao longo da superfície de ruptura e com pouca deformação interna. O topo do material deslocado pode mover-se quase que verticalmente para baixo e a parte superior desse material pode inclinar-se para trás em direção ao talude. Se o escorregamento for rotacional e possuir vários planos de movimento paralelos e curvos, é chamado abaixamento (“*slump*”).

#### Ocorrência

Por ocorrer mais frequentemente em materiais homogêneos, o escorregamento rotacional é o tipo mais comum de escorregamento em aterros.

#### Tamanho/extensão relativos

Associa-se a taludes que variam de 20 a 40 graus em inclinação. Em solos, a superfície de ruptura tem geralmente uma relação de profundidade que varia de 0,3 a 0,1.

#### Velocidade de deslocamento (Taxa de movimento)

De extremamente vagarosa (menos de 0,3 metros ou 1 pé a cada 5 anos) a moderadamente rápida (1,5 metros ou 5 pés por mês) e a rápida.

#### Mecanismo de desencadeamento

Chuva intensa e (ou) contínua ou rápido degelo podem levar à saturação dos taludes e aumentar os níveis de água no interior do solo; o escoamento rápido de rios após enchentes, um aumento de água subterrânea devido ao enchimento de represas ou o aumento no nível de ribeirões, lagos e rios, que causam erosão na base dos taludes podendo causar escorregamentos. Esses tipos de escorregamento também podem ser induzidos por terremotos.

#### Efeitos (diretos / indiretos)

Podem ser extremamente danosos para estruturas, rodovias e redes de abastecimento, mas geralmente não oferecem risco a vidas, se o movimento for lento. As estruturas situadas sobre a massa em movimento também podem sofrer danos severos se a massa pende e se deforma. O grande volume de material que é deslocado dificilmente permanece estável. Acidentes desse tipo podem represar rios e causar inundações.

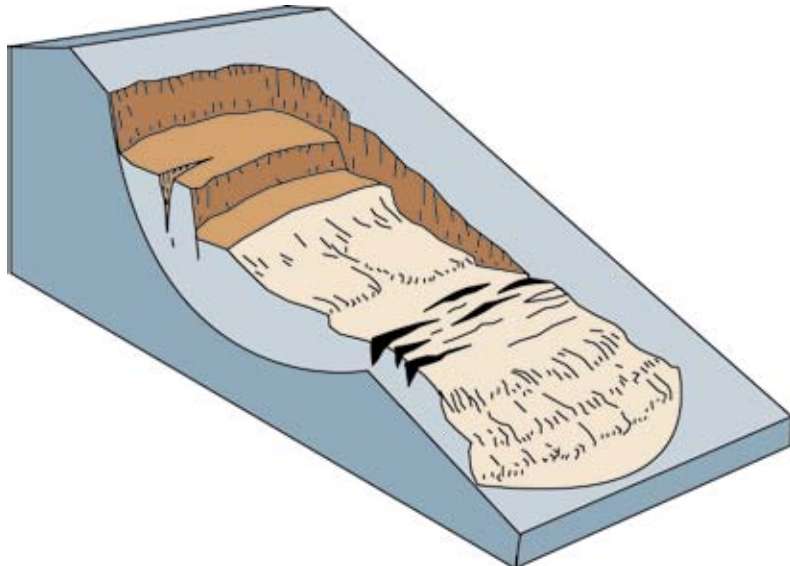
#### Medidas de correção / mitigadoras

Monitoramento instrumental para detectar movimento e definir sua taxa pode ser colocado. Caminhos de drenagem rompidos devem ser restaurados ou refeitos para prevenir futuro acúmulo de água na massa deslizante. Retaludamento apropriado e construção adequada de taludes, quando possível, reduzirão consideravelmente o risco. A construção de muros de arrimo na base pode ser suficiente para diminuir ou desviar o movimento do solo, todavia o escorregamento pode passar por cima de tais estruturas de retenção apesar de sua boa construção.

#### Previsibilidade

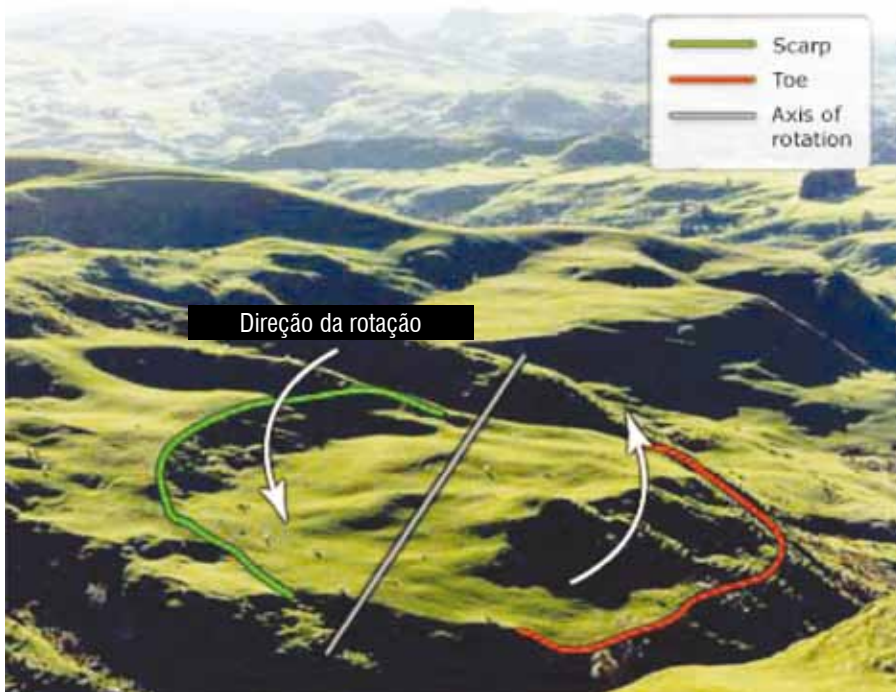
*Para leituras posteriores.  
Referências 9, 39, 43 e 45*

Escorregamentos podem ser reativados; fissuras no topo (cabeça) dos taludes são bons indicadores de início de ruptura. As figuras 7 e 8 mostram um esquema e uma imagem de um escorregamento rotacional.



**Figura 7.** Esquema de escorregamento rotacional. (Esquema modificado a partir da Referência 9)





**Figura 8.** Fotografia de um escorregamento rotacional ocorrido na Nova Zelândia. A curva verde no centro, à esquerda é a escarpa (área onde o solo rompeu). O solo em pequenas elevações na parte inferior, à direita, é a ponta do deslizamento (linha vermelha). Este fenômeno é chamado escorregamento rotacional pela terra ter se movido da esquerda para a direita de modo curvo. A direção e o eixo da rotação também estão ilustrados. (Foto por Michael J. Crozier, Encyclopedia of New Zealand, atualizada em 21 de setembro de 2007).

## Escorregamento Translacional

A massa de um escorregamento translacional move-se para fora, ou para baixo e para fora, ao longo de uma superfície relativamente plana, com pequeno movimento rotacional ou inclinação para trás. Esse tipo de deslizamento pode progredir por distâncias consideráveis, se a superfície da ruptura estiver suficientemente inclinada, ao contrário dos escorregamentos rotacionais, que tendem a restaurar o equilíbrio do deslizamento. O material no escorregamento pode variar de solo solto e não adensado até grandes placas de rochas, ou ambos. Escorregamentos translacionais comumente ocorrem ao longo de discontinuidades geológicas tais como falhas, junções, superfícies, estratificações, ou o ponto de contato entre rocha e solo. Em lugares no hemisfério norte, esse tipo de deslizamento pode também mover-se ao longo de camadas do subsolo permanentemente geladas.

### Ocorrência

É um dos tipos mais comuns de deslizamentos encontrados pelo globo, em todos os tipos de ambientes e em todas as condições.

### Tamanho/extensão relativos

Geralmente são mais rasos que os escorregamentos rotacionais. A superfície de ruptura possui razão entre a distância e a extensão de menos de 0,1 e pode variar de pequena (tamanho de um lote residencial) a muito grande e regional, com quilômetros de extensão.

### Velocidade de deslocamento

O movimento pode ser inicialmente vagaroso (5 pés ou 1,5 metros por mês), mas há muitos em velocidade moderada (5 pés ou 1,5 metros por dia) ou extremamente rápidos. Com o aumento da velocidade, a massa deslizante ou as rupturas translacionais podem desintegrar-se e tornarem-se fluxo de detritos.

### Mecanismo de desencadeamento

Principalmente, chuva intensa, aumento do nível de encharcamento do solo pelas chuvas, degelo, inundações, aumento do nível de água devido a irrigações, vazamentos de tubulações ou distúrbios relacionados à ação do homem, tais como erosão regressiva. Terremotos ou tremores de terra também podem provocar esse fenômeno.

### Efeitos (diretos / indiretos)

O escorregamento translacional pode ser inicialmente vagaroso, danificando propriedades e (ou) redes de abastecimento; em alguns casos pode ganhar velocidade e tornar-se ameaça à vida. Também pode represar rios e causar enchentes.

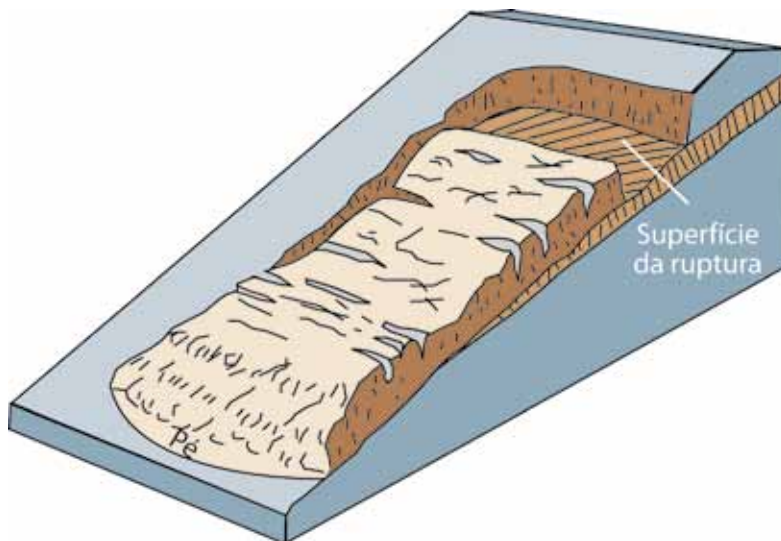
### Medidas de correção / mitigadoras

Faz-se necessária uma drenagem adequada para prevenir a queda ou, no caso de uma ruptura já existente, para prevenir uma reativação do movimento. Medidas de correção comumente usadas incluem nivelamento do solo, terraplenagem, drenagem e muros de arrimo. Ações mais sofisticadas em rochas incluem ancoragens, tirantes e grampos, que em qualquer situação devem ser feitas por profissionais/firmas especializadas. Escorregamento translacional em taludes de moderados a íngremes são muito difíceis de estabilizar de modo permanente.

### Previsibilidade

Alta probabilidade de ocorrerem repetitivamente em áreas anteriormente afetadas, inclusive em áreas sujeitas a terremotos frequentes ou forte agitação do solo. Abertura de fissuras no cume ou na base pode ser um indicativo de ruptura iminente. Figuras 9 e 10 mostram um esquema e uma imagem de um escorregamento translacional.

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 39, 43 e 45*



**Figura 9.** Esquema de escorregamento translacional. (Esquema da Referência 9 modificado).



**Figura 10.** Imagem de um escorregamento translacional que ocorreu em 2001 no Vale do Rio Beatton, British Columbia, Canada. (Fotografia por Réjean Couture, Canada Geological Survey).

## Espalhamento

Uma extensão de uma massa coesiva, formada por solo ou rocha, combinada a um generalizado afundamento da superfície da massa fraturada de material coesivo para uma camada inferior, de material menos rígido. Espalhamentos podem ser o resultado de liquefação ou fluxo (extrusão) do material menos rígido. Tipos de espalhamentos podem ser em blocos, por liquefação e laterais.

### Espalhamento Lateral

Ocorre, geralmente, em taludes de baixa inclinação ou em terrenos planos, especialmente onde exista uma camada superior de rocha ou solo que ao aumentar sua extensão mova-se para cima de uma camada menos rígida e mais fraca. Tais rupturas são comumente acompanhadas de um afundamento generalizado em direção a essa camada inferior. Nos espalhamentos de solos rochosos, a parte sólida se estende e rompe, movendo-se, vagarosamente da posição estável para cima da camada mais fraca, sem que necessariamente se forme uma superfície de ruptura identificável. A camada menos rígida, em determinadas condições, pode ser espremida para cima e para dentro da fissura que divide os blocos rochosos. Em espalhamentos de terra, a camada superior estável estende-se ao longo da camada inferior mais fraca que flui, após uma liquefação ou deformação plástica. Se a camada inferior for relativamente grossa, o bloco partido da camada superior poderá afundar, virar, girar, desintegrar, liquefazer ou até mesmo fluir.

### Ocorrência

Por todo o planeta, em locais onde o solo seja passível de liquefação e em áreas de atividade sísmica e também fora delas.

### Tamanho/extensão relativos

A área afetada pode iniciar em proporções pequenas e ter algumas fissuras que se espalham rapidamente, afetando áreas de centenas de metros em amplitude.

### Velocidade de deslocamento

O movimento pode ser vagaroso a moderado e, algumas vezes, rápido, após certos mecanismos de desencadeamento, tais como terremotos. O solo pode, então, espalhar-se lentamente ao longo do tempo, de poucos milímetros a dezenas de metros quadrados diários.

### Mecanismo de desencadeamento

Mecanismos que desestabilizam a camada menos rígida incluem:

- Liquefação da camada inferior mais fraca devido à agitação por terremoto
- Sobrecarga do solo, acima do terreno instável, por causas naturais ou por atividade antropogênica
- Saturação de uma camada subterrânea mais mole devido a precipitações, degelos e (ou) alterações nos níveis de água do solo
- Liquefação de camada inferior constituída de argila marinha instável após um distúrbio erosivo na base de uma margem ou talude.
- Deformação plástica de material instável e profundo (por exemplo, sal)

### Efeitos (diretos / indiretos)

Pode causar extensos danos a propriedades, como edifícios, estradas, ferrovias e redes de abastecimento. Pode espalhar-se devagar ou de maneira veloz, dependendo da extensão de saturação aquosa das várias camadas do solo. Espalhamentos laterais podem ser um precursor de escoamentos de terra.

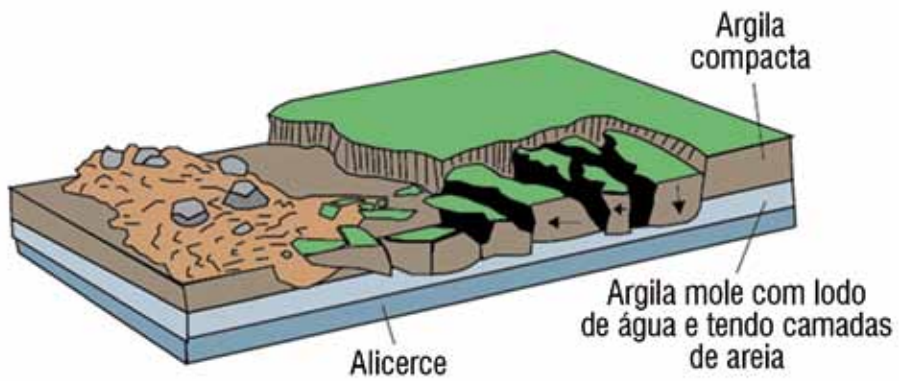
### Medidas de correção / mitigadoras

Mapas de potencial liquefação existem para algumas regiões, mas não são amplamente disponíveis. Áreas com solos potencialmente liquefeitos devem ser evitados como áreas para construções, especialmente em regiões que são conhecidas por terem terremotos. Se houver um alto nível de água no solo, esse deve ser drenado ou outras medidas de remoção ou deslocamento de água devem ser aplicadas.

### Previsibilidade

Alta probabilidade de ocorrerem repetitivamente em áreas anteriormente afetadas. Mais prevalentes em regiões que apresentem perigo extremo de terremoto, bem como solos passíveis de liquefação. Espalhamentos laterais também estão associados à argila marinha, sendo um problema comum em St. Lawrence Lowlands (terras baixas), no leste do Canadá. Figuras 11 e 12 mostram um esquema e uma imagem de um espalhamento lateral.

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 39, 43 e 45*



**Figura 11.** Esquema de espalhamento lateral. Uma camada passível de liquefação está abaixo da camada superficial. (Esquema da Referência 9 modificado)



**Figura 12.** Fotografia de um espalhamento lateral ocorrido em uma rodovia, como resultado do terremoto Loma Prieta, em 1989, na Califórnia, EUA. (Fotografia por Steve Ellen, U.S. Geological Survey).

## Escoamento

Escoamento é um movimento espacialmente contínuo no qual as superfícies de cisalhamento têm vida curta, espaço reduzido entre si e não são preservadas. Os componentes de velocidade na massa que se desloca em um escoamento são semelhantes às de um líquido viscoso. Há, com frequência, uma mudança gradativa de escorregamentos para escoamentos, dependendo da quantidade de água presente, da mobilidade e da evolução do movimento.

### Fluxo de detritos

É uma forma rápida de movimento de massa, em que solo solto e rochas, e por vezes, material orgânico, se misturam à água e formam lama que escoam por talude abaixo. O fluxo de detritos é, informalmente e inapropriadamente, chamado de escorregamento de lama devido à grande quantidade de partículas finas que podem estar ali presentes. Ocasionalmente, quando um escorregamento rotacional ou translacional ganha velocidade, e a massa interna perde a coesão ou ganha água, esse fenômeno pode mudar para um fluxo de detritos. Escoamentos secos podem ocorrer em areias não coesivas (escoamento arenoso). O fluxo de detritos pode causar mortes, pois é extremamente rápido e passível de ocorrer sem qualquer tipo de alerta.

### Ocorrência

No mundo inteiro, principalmente em canyons e ravinas íngremes. Pode ser mais intenso em taludes ou ravinas cuja vegetação tenha sido destruída por queimadas ou extração madeireira. É comum em áreas vulcânicas de solo frágil.

### Tamanho/extensão relativos

Esses tipos de escoamentos podem ser delgados e aquosos ou espessos, com sedimentos e detritos. São geralmente limitados pela dimensão dos taludes em que ocorrem e que facilitam seu movimento descendente. Em geral, o movimento é lento e o escoamento é longo e estreito, estendendo-se por quilômetros em terrenos inclinados. Os detritos e a lama são frequentemente encontrados na base dos taludes e geram depósitos triangulares e cônicos, chamados de cones de detritos, por vezes, também instáveis.

### Velocidade de deslocamento

O movimento pode ser rápido a extremamente rápido (35 milhas ou 56 km por hora), dependendo da consistência e do ângulo de inclinação.



### Mecanismos de desencadeamento

Fluxos de detritos são geralmente desencadeados por um intenso fluxo de água na superfície, devido a chuvas pesadas ou degelo rápido, que causam erosão e movimentam as rochas e o solo solto, nas regiões inclinadas. Os fluxos de detritos são comumente formados a partir de outros tipos de deslizamentos ocorridos em áreas inclinadas e são quase que completamente saturados e contêm uma enorme proporção de material do tamanho de silte e areia.

### Efeitos (diretos / indiretos)

Fluxos de detritos podem ser letais, por ocorrerem de maneira rápida e imediata, com alta velocidade de movimento, podendo incorporar matacões e outros fragmentos. Podem mover objetos do tamanho de residências no ato da descida e podem enterrar estruturas, preenchendo-as com rápido acúmulo de sedimentos e materiais orgânicos. Podem afetar a qualidade da água ao depositarem grande quantidade de silte e fragmentos.

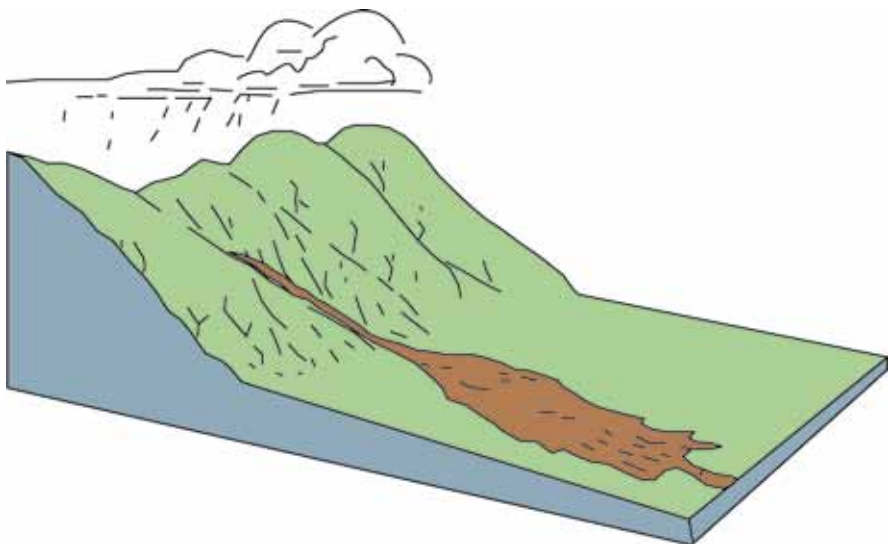
### Medidas de correção / mitigadoras

Geralmente não se pode prever esse tipo de fenômeno, assim, residências não devem ser construídas em áreas próximas a ravinas que possuam histórico de fluxo de detritos ou que estejam sujeitas a esse acidente, por sofrerem queimadas ou pelo tipo de solo ou, ainda, por outros fatores relacionados. Novos fluxos podem ser direcionados para longe das estruturas, através de desvios, bacias podem ser construídas para conter o fluxo e sistemas de alerta podem ser colocados em áreas que são conhecidas por sofrerem escoamento durante chuvas. Evacuação, prevenção e (ou) remoção são os melhores métodos para se prevenir danos e perdas de vida.

### Previsibilidade

Mapas de risco potencial de fluxo de detritos existem para algumas áreas. Fluxos de detritos podem ocorrer com frequência em qualquer área íngreme com precipitação intensa, tanto sazonal quanto intermitente, especialmente em áreas que tenham sido recentemente queimadas ou cuja vegetação tenha sido removida por outros meios. Figuras 13 e 14 apresentam um esquema e uma imagem de um fluxo de detritos.

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 39, 43 e 45*



**Figura 13.** Esquema de fluxo de detritos. (Esquema da Referência 9 modificado).



**Figura 14.** Danos causados por um fluxo de detritos na cidade de Caraballeda, na base da Cordilheira de La Costan, no litoral norte da Venezuela. Em dezembro de 1999, esta área foi atingida pelo pior desastre natural do século 20; muitos dias de chuva torrencial deflagraram o escoamento de lama, torrões de solo, água e árvores que mataram aproximadamente 30.000 pessoas. (Imagem por L. M. Smith, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers).

## “Lahars” (Fluxo de Detritos Vulcânicos)

A palavra “lahar” é um termo Indonésio (da Indonésia) que significa escoamento de lama vulcânica. Esse tipo de escoamento origina-se nos taludes de vulcões e é um tipo de fluxo de detritos. Um “lahar” movimenta o material conhecido por “tefra” ou piroclasto (partículas sólidas expelidas para a atmosfera nas erupções vulcânicas) e outros fragmentos.

### Ocorrência

Ocorre em quase todas as áreas vulcânicas do planeta.

### Tamanho/extensão relativos

“Lahars” podem atingir uma área de centenas de milhas ou quilômetros quadrados e podem crescer com o aumento de velocidade e de acúmulo de fragmentos, conforme descem em seu percurso. Também podem ser pequenos em volume e afetar áreas limitadas do vulcão, dissipando-se ao longo da superfície inclinada.

### Velocidade de deslocamento

O movimento pode ser muito rápido (mais de 35 milhas ou 50 km por hora), especialmente se houver mistura com uma quantidade de água ao longo do percurso, como em regiões de neve ou glaciais. Se os “lahars” forem viscosos e espessos, com mais fragmentos e menos água, o movimento será vagaroso a moderadamente vagaroso.

### Mecanismo de desencadeamento

A água é o mecanismo primário de desencadeamento, podendo originar-se em lagos nas crateras, na condensação de vapores da erupção ou no consequente e rápido derretimento de neve ou gelo existente no cume dos vulcões de maior altura. Alguns dos maiores “lahars” e mais letais originaram-se de erupções ou exalações vulcânicas que derreteram, de maneira repentina, a neve e o gelo presente ao redor da saída vulcânica e causaram liquefação rápida e um escoamento ao longo das paredes externas do vulcão, em velocidade catastrófica.

#### Efeitos (diretos / indiretos)

Os efeitos podem ser enormes e devastadores, especialmente quando desencadeados por uma erupção vulcânica decorrente de derretimento acelerado de neve ou gelo, pois o escoamento pode soterrar assentamentos humanos existentes nos taludes dos vulcões. Alguns escoamentos maiores desse tipo podem represar rios e causar inundações nas cabeceiras. Formação posterior de fendas nessas formações cimentadas e fracamente consolidadas pode causar enchentes catastróficas na jusante. Os “lahars” frequentemente produzem um grande número de vítimas.

#### Medidas de correção / mitigadoras

Não existem medidas de prevenção que possam conter os danos causados pelos “lahars”, exceto abster-se de fazer construções ou habitar no talude dos vulcões. Sistemas de alerta e trabalho subsequente de evacuação podem, por vezes, salvar algumas vidas. Entretanto, esses sistemas requerem ativo monitoramento e é essencial que exista um método de evacuação confiável.

#### Previsibilidade

Mapas de suscetibilidade baseados em ocorrências de “lahars” anteriores podem ser construídos, bem como uma estimativa de extensão e potencial do escoamento. Tais mapas não são encontrados prontamente para a maioria das áreas de risco. As Figuras 15 e 16 apresentam um esquema e uma imagem de um lahar.

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 39, 43 e 45*



**Figura 15.** Esquema de um lahar. (Gráfico do U. S. Geological Survey).



**Figura 16.** Imagem de um “lahar” causado pela erupção de 1982 no Monte St. Helens em Washington, EUA. (Imagem por Tom Casadevall do U. S. Geological Survey).

## Avalanche de Detritos

As avalanches de detritos são essencialmente grandes, extremamente rápidas e frequentemente formam escoamentos em taludes abertos e são formadas quando uma encosta instável se rompe e os fragmentos resultantes são rapidamente transportados para longe. Em alguns casos, a neve e o gelo irão contribuir para o movimento, se houver água suficiente, e o deslizamento poderá tornar-se um fluxo de detritos e (ou) um “lahar”.

### Ocorrência

Por todo o planeta, em terrenos íngremes. Também é comum em vulcões muito íngremes onde possa haver caminhos de drenagem.

### Tamanho/extensão relativos

As avalanches grandes podem transportar blocos de até 3 quilômetros em diâmetro, por vários quilômetros de distância.

### Velocidade de deslocamento

O movimento pode ser rápido a extremamente rápido, podendo chegar a 100 metros/segundo.

### Mecanismo de desencadeamento

Em geral, existem dois tipos de avalanches: “fria” e “quente”. A fria, normalmente, resulta da instabilidade decorrente de um talude, durante uma ruptura devido à ação do tempo em terrenos íngremes ou pela desintegração de uma camada rochosa, durante um deslizamento que se move para baixo, em alta velocidade. Nesse ponto, a massa deslocada pode se transformar em uma avalanche de detritos. Uma avalanche quente é resultante de uma atividade vulcânica, inclusive de terremotos vulcânicos ou injeção de magma, que podem causar instabilidade no talude.

### Efeitos (diretos / indiretos)

As avalanches de detritos podem percorrer vários quilômetros antes de pararem ou podem transformar-se em deslizamentos mais ricos em água, como “lahars” ou escoamentos, percorrendo ainda dezenas de quilômetros adiante. Tais acidentes podem inundar cidades e vilarejos, bem como deteriorar a qualidade da água. As avalanches movem-se muito rapidamente, por isso podem ser fatais, pois há pouca chance de alerta e reação.

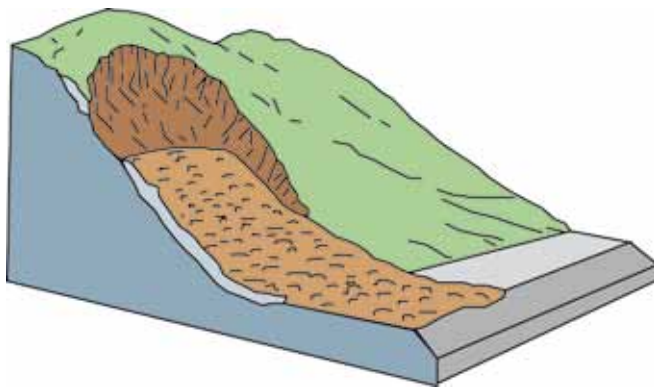
### Medidas de correção / mitigadoras

Evitar qualquer tipo de construção em vales, vulcões ou montanhas íngremes e sistemas de alerta em tempo real podem minimizar as perdas. Entretanto, o uso de sistemas de alerta pode ser difícil devido à velocidade com que esses fenômenos ocorrem — pode não haver tempo suficiente para evacuar as regiões, após o início do movimento. As avalanches não podem ser impedidas ou mesmo contidas por meios de engenharia, pois os mecanismos de desencadeamento não são previsíveis.

### Previsibilidade

Se houver evidências de avalanches anteriores, e essas puderem ser datadas, um período de recorrência provável pode ser estabelecido. Durante as erupções vulcânicas, as chances de avalanches são maiores, portanto ações adequadas de precaução podem ser adotadas. Figuras 17 e 18 apresentam um esquema e uma imagem de uma avalanche de detritos.

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 39, 43 e 45*



**Figura 17.** Esquema de avalanche de detritos. (Esquema da Referência 9 modificado).



**Figura 18.** Uma avalanche que soterrou o vilarejo de Guinsaogon, ao sul de Leyte, Filipinas, em fevereiro de 2006. (Imagem da Equipe Geotécnica da Universidade de Tóquio). Veja também a figura 30, para uma imagem de outra avalanche de detritos.

## Fluxo de Terra

Os fluxos de terra podem ocorrer em inclinações suaves e moderadas, geralmente em solo de granulação fina, como de argila ou silte, mas também em camada de rochas argilosas, sujeitas à ação do tempo. A massa em um fluxo de terra move-se como um fluido plástico e viscoso, com intensa deformação interna. A argila marinha suscetível (argila rápida) quando desestabilizada é muito vulnerável e pode perder toda a resistência de cisalhamento com a mudança de seu teor de umidade e liquefação repentina, destruindo potencialmente enormes áreas e escoando por vários quilômetros. Seu tamanho aumenta com frequência durante a regressão da escarpa. Escorregamentos e espalhamentos laterais também podem evoluir para fluxo de terra. Fluxos de terra podem ser desde muito vagarosos (rastejos) a rápidos e catastróficos. Os fluxos de terra muito vagarosos, bem como formas específicas restritas ao hemisfério norte em ambientes glaciais, são discutidos mais adiante.

### Ocorrência

Ocorrem por todo o planeta, em regiões com camadas subterrâneas de solo de granulação fina, ou camadas rochosas muito suscetíveis à ação do tempo. Fluxos de terra rápidos e catastróficos são comuns em regiões de argila marinha de St. Lawrence Lowlands (terras baixas), na América do Norte, na região litorânea do Alasca, British Columbia e na Escandinávia. Ocorrem também com frequência em áreas com solos argilosos e argilo-arenosos profundos de áreas tropicais como no Brasil.

### Tamanho/extensão relativos

Esses fenômenos podem variar de pequenos, com tamanho de 100 metros quadrados, a grandes, de até vários quilômetros quadrados de área. Os fluxos de terra em argila marinha podem percorrer vários quilômetros. A profundidade pode variar de rasa a dezenas de metros.

### Velocidade de deslocamento

Vagarosa a muito rápida.

### Mecanismos de desencadeamento

Incluem saturação do solo devido à chuva intensa e prolongada ou degelo, baixa repentina de água nas superfícies adjacentes, causando rebaixamento rápido do nível do lençol freático, erosão por curso de água na base do talude, escavações e construções, carga excessiva no barranco, terremotos ou vibrações induzidas pela ação humana.



## Efeitos (diretos / indiretos)

Fluxos de terra, em argila marinha suscetível, podem devastar áreas planas na parte superior do talude e também podem estender-se por distâncias consideráveis, resultando, potencialmente, em fatalidade para a vida humana, destruição de edifícios, construções e infra-estrutura linear, represando rios e gerando inundações nas cabeceiras, bem como causando problemas de turvação da água na jusante. Fluxos de terra mais lentos podem danificar propriedades e romper infra-estruturas lineares.

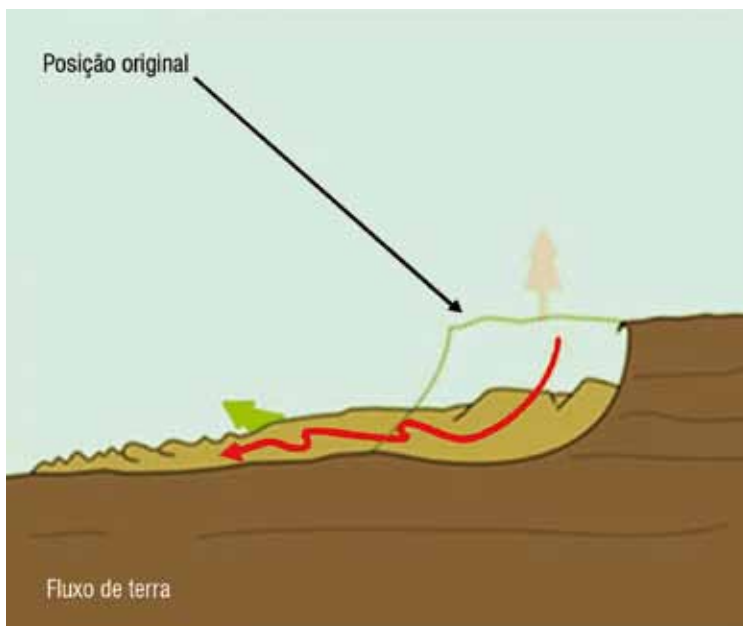
## Medidas de correção / mitigadoras

Melhoria na drenagem é uma importante ação corretiva, assim como o nivelamento do talude e a proteção de suas bases de erosões ou escavações. As resistências de cisalhamento da argila podem ser medidas e a pressão potencial pode ser monitorada em áreas suspeitas. Entretanto a melhor ação mitigadora é evitar o desenvolvimento de atividades próximo a taludes desse tipo.

## Previsibilidade

Evidência de fluxos de terra anteriores é o melhor indicador de vulnerabilidade. A distribuição da argila que tende a se liquefazer em alguns casos, pode ser mapeada, o que já foi feito em várias partes do leste da América do Norte. A presença de rachaduras próxima ao cume do talude pode indicar potencial de ruptura. Figuras 19 e 20 mostram um esquema e uma imagem de um fluxo de terra.

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 39, 43 e 45*



**Figura 19.** Esquema de um fluxo de terra. (Esquema do Geological Survey of Canada).



**Figura 20.** Fluxo de terra de Lemieux, 1993 — um rápido fluxo de terra ocorrido em argila marinha sensível, próximo a Ottawa, Canadá. O cume da escarpa regrediu 680 metros no nível do solo, passando por cima da margem do rio. Aproximadamente 2,8 milhões de toneladas de argila e silte liquifizeram e escorreram para o vale do rio South Nation, represando o rio. (Imagem de G. R. Brooks do Geological Survey of Canada).

## Fluxos Lentos de Terra (Rastejos - Creep)

Rastejo (creep) é o nome informal dado ao fluxo lento de terra e consiste de um movimento vagaroso, imperceptível e contínuo, para baixo do solo que forma o talude. Esse tipo de deslocamento é causado por tensão de cisalhamento interna suficiente para causar deformação, mas insuficiente para causar rupturas. Geralmente, existem três tipos de rastejo: (1) sazonal, no qual o movimento ocorre no interior e no fundo do solo afetado por alterações sazonais, em sua mistura e temperatura; (2) contínuo, no qual a tensão de cisalhamento contínua excede a resistência do material; e (3) progressivo, no qual os taludes atingem o ponto de ruptura gerando outros tipos de movimentação do terreno.

### Ocorrência

Rastejos estão por todo lugar do planeta e são, provavelmente, o tipo mais comum de deslizamento, frequentemente precedendo outros tipos de deslizamentos, mais rápidos e danosos. Solifluxão, uma forma específica de rastejo, é comum em ambientes permanentemente congelados, ocorre na camada superior de solos congelados e finamente granulados, durante o degelo anual dessa camada.

### Tamanho/extensão relativos

Podem ser regionais (dezenas de quilômetros quadrados) ou simplesmente limitados a áreas pequenas. É difícil definir o limite do rastejo, já que o evento, por si só, é tão lento e faltam frequentemente características de superfície que representem deformações perceptíveis.

### Velocidade de deslocamento

Muito veloz a extremamente lenta. Geralmente menos de 1 metro (0,3 pés) por década.

### Mecanismo de desencadeamento

Para rastejos sazonais, a chuva e o degelo são mecanismos típicos, enquanto que, para outros tipos, podem haver inúmeras causas, tais como condições climáticas, químicas ou físicas, vazamento de tubulações, drenagem ineficiente, tipos de construções desestabilizadoras, etc.

#### Efeitos (diretos / indiretos)

Devido à dificuldade de detecção desse fenômeno em algumas áreas por causa da lentidão do movimento, o rastejo não é frequentemente detectado quando se faz um levantamento de solo para verificar a adequação do mesmo a construções. O rastejo pode, de maneira lenta, afastar tubulações, edifícios, cercas, etc. e pode levar a rupturas de solo mais drásticas que são mais destrutivas e mais aceleradas.

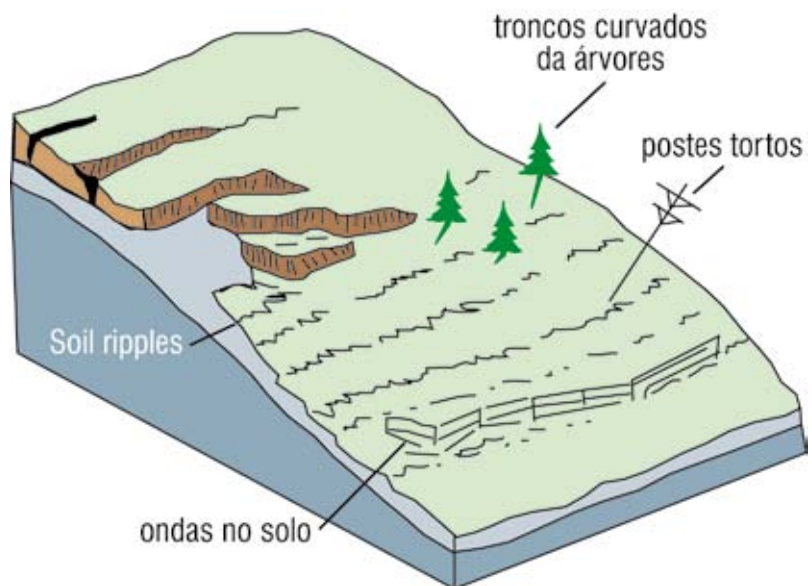
#### Medidas de correção / mitigadoras

A ação mais comum é a de garantir drenagem apropriada, especialmente para os rastejos do tipo sazonal. Modificação dos taludes tais como retaludamento ou remoção de toda ou parte da massa do deslizamento, pode ser adotada assim como a construção de muros de arrimo.

#### Previsibilidade

Esse fenômeno é indicado por curvas nos troncos das árvores (efeito de fototropia) ou por inclinação nas cercas e (ou) nos muros de arrimo, postes e cercas tortos e pequenas ondas ou cristas na superfície do solo. Taxas de rastejo podem ser medidas por inclinômetros instalados em furos de sondagem ou por medidas detalhadas da superfície. As figuras 21 e 22 mostram um esquema e uma imagem de rastejo.

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 39, 43e 45*



**Figura 21.** Esquema de um deslizamento lento de terra, geralmente chamado rastejo. (Esquema da Referência 9 modificado).



**Figura 22.** Esta imagem mostra os efeitos do rastejo, em uma área próxima a East Sussex, no Reino Unido, chamada Chalk Grasslands. Taludes íngremes de depósitos de calcário marinho desenvolvem um padrão estriado, horizontal, com degraus, cobertos por gramado, de 0,3 a 0,6 metros (1 a 2 pés) de altura. Embora, posteriormente, se tornem mais distintos, devido a caminhos do gado ou ovelhas ao longo dessas formações, (comumente conhecidos por caminho de ovelhas), esses terrenos são formados pelo movimento de rastejo, lento e gradual do solo, morro abaixo. (Imagem de Ian Alexander).

## Escoamentos em Subsolos Permanentemente Gelados

Rupturas em condições de subsolo permanentemente gelados envolvem movimentos de solos de granulação fina e anteriormente congelados, podendo ocorrer em inclinações suaves. O degelo sazonal do metro superior de um solo congelado derrete o gelo existente, enfraquecendo a força de cisalhamento e iniciando o escoamento. A solifluxão, uma forma de deslizamento de terra em ambientes frios, envolve uma deformação muito vagarosa da superfície e forma crostas rasas e alongadas para baixo. Camadas deslocadas e ativas, conhecidas como deslizamento superficial, são geradas pelo deslizamento de uma camada rasa de solo saturado e vegetação, formando um escoamento longo e estreito que se movimenta sobre a camada permanentemente congelada. Esse tipo de movimento pode expor placas de gelo enterradas que, quando degeladas, podem formar escoamentos regressivos ou até mesmo um fluxo de detritos. Escoamentos regressivos no degelo são amplos, com forma bimodal de uma parede íngreme e cunha de solo saturado e ângulo baixo. Esse tipo de fenômeno continuará a se expandir por meio de uma regressão do cume da escarpa, até que a vegetação deslocada seja enterrada e a escarpa toda de gelo seja isolada.

### Ocorrência

São comuns em áreas permanentemente congeladas, nas latitudes do hemisfério norte e em grandes altitudes (ambientes frios).

### Tamanho/extensão relativos

Geralmente pequenos, mas podem aumentar em tamanho pela regressão do cume da escarpa. Podem evoluir para fluxos de detritos maiores.

### Velocidade de deslocamento

Muito lenta (solifluxão); lenta (escoamento regressivo no degelo); rápida (deslocamento de camada ativa).

### Mecanismos de desencadeamento

Temperaturas de verão acima da média, cunhas congeladas, fogo, distúrbios antropogênicos que isolem a camada de turfa. Tais fenômenos são mais prováveis em ambientes que tenham temperaturas mais amenas.

### Efeitos (diretos / indiretos)

Danos a tubulações, estradas e outras estruturas podem ser severos.

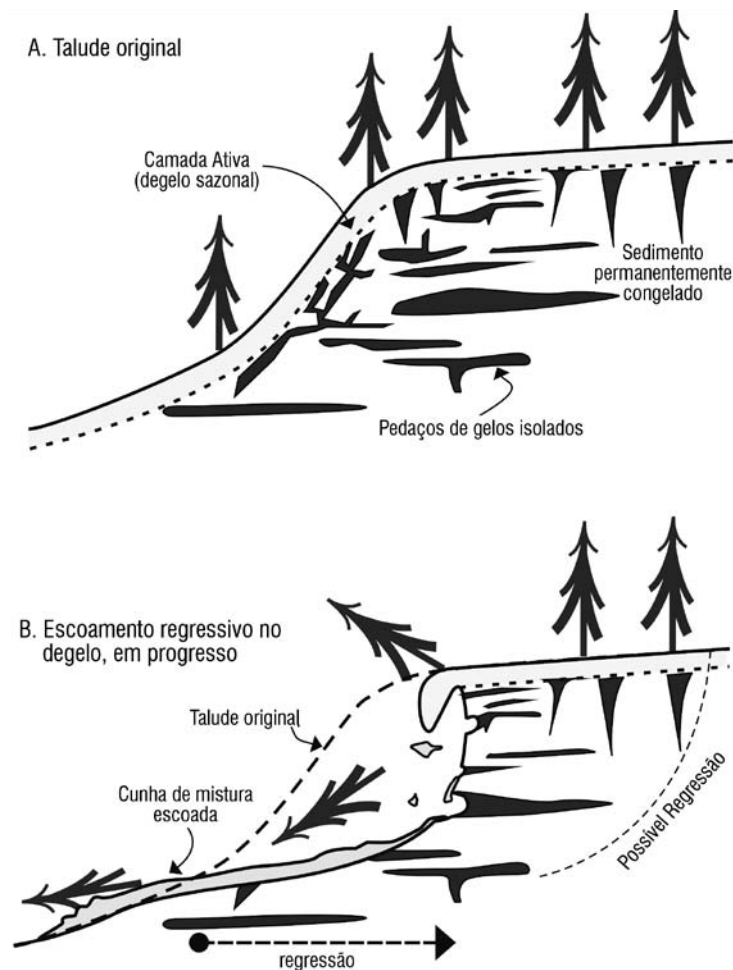
Medidas de correção / mitigadoras

Projetos para infra-estruturas que causem menor efeito na camada de turfa ou na temperatura da camada ativa e evitem, quando possível, atingir solos ricos em gelo, principalmente no que se refere à construção de estradas e outras estruturas, podem reduzir riscos. A quantidade de gelo da camada superior do solo pode ser medida e testada.

Previsibilidade

Se o solo rico em gelo degelar, irá escoar. Em algumas áreas, a quantidade de gelo no solo já foi mapeada; em outras, essa pode ser estimada com base nas unidades mapeadas específicas, disponíveis em mapas geológicos de superfície. As figuras 23 e 24 mostram um esquema e uma imagem de escoamentos em regiões permanentemente congeladas.

*Para leituras posteriores:  
Referências 2, 9, 39, 43 e 45*



**Figura 23.** Esquema de um escoamento regressivo no degelo. (Esquema por Jan Aylsworth, Geological Survey of Canada)

**Nota sobre deslizamentos complexos:**

Esses são deslizamentos que apresentam componentes de dois ou mais tipos básicos de deslizamentos e que podem ocorrer simultaneamente ou em etapas distintas durante o fenômeno de ruptura do talude.



**Figura 24.** Imagem de um escoamento regressivo no degelo em território do noroeste do Canadá. Queimadas provavelmente contribuíram para o tamanho do deslizamento, ao danificar uma camada isolada de musgo, o que gerou um espessamento da camada ativa, a qual está degelando em uma área permanentemente congelada. (Imagem de Marten Geertsema, Ministry of Forests, British Columbia, Canadá).



## Parte C. Onde Ocorrem os Deslizamentos

Um fator surpreendente para muitas pessoas é que deslizamentos podem ocorrer praticamente em qualquer lugar do mundo. O ponto de vista tradicional de que deslizamentos estão restringidos a áreas extremamente íngremes e terrenos inóspitos não reflete adequadamente a natureza real do problema. De alguma maneira, a maioria dos países do planeta já foi afetada por esse tipo de fenômeno. A razão para tal amplitude geográfica está muito relacionada à existência de vários mecanismos desencadeadores.

Chuvas em excesso, terremotos, vulcões, incêndios florestais e outros mecanismos recentes, como certas atividades humanas perigosas, são apenas algumas das causas-chaves que podem provocar um deslizamento. Para informações sobre mecanismos desencadeantes, veja “Parte D. O que Causa Deslizamentos?”. A Figura 25 mostra um exemplo de espalhamento lateral, um tipo de deslizamento frequentemente associado a terremotos.

Similarmente, ocorrências de deslizamentos são conhecidas tanto em solo firme quanto no fundo das águas; podem ocorrer em regiões rochosas ou de terra; áreas de cultivo, taludes improdutivos e florestas naturais também estão sujeitos a deslizamentos. Em muitos casos, taludes suaves e rasos com 1 a 2 graus também podem romper.

Tendo em conta que deslizamentos podem acontecer em praticamente qualquer lugar do mundo, reconhece-se, no entanto, certos padrões em suas ocorrências. Em escala nacional, é clara a associação de terrenos montanhosos, tais como as Montanhas Rochosas, com certos tipos de deslizamentos, em países como o Canadá e os Estados Unidos. Outras tendências geográficas na distribuição de deslizamentos podem ser ligadas a padrões naturais de clima e tempo, incêndios florestais, cursos dos rios / córregos ou padrões humanos que envolvam a destruição da vegetação, a modificação de encostas e outras práticas urbanas e rurais. Em cada um desses casos, é importante reconhecer que os tipos de deslizamentos variam de acordo com condições locais e regionais.

Escoamentos de fragmentos requerem canais e ravinas para que possam ocorrer, enquanto quedas rochosas só acontecerão quando houver exposição de paredes íngremes de rocha ou de depósitos ricos em matacões. A geologia, por si só, aparece em destaque na ocorrência de muitos deslizamentos de terra. A correlação de atividade sísmica e vulcânica a deslizamentos é de importância primordial, e, por isso, especialistas, várias vezes, abordam a avaliação dos perigos de uma perspectiva de muitos riscos que, por definição, leva em conta a maioria dos fatores discutidos anteriormente.

*Para leituras posteriores:  
Referência 2*

*Para leituras posteriores:  
Referências 8, 16, 19, 25, 30 e 45*



**Figura 25.** Danos de espalhamento lateral. A imagem mostra a área de Puget Sound em Washington, E.U.A, após o terremoto Nisqually, em 2001. (Fotografia por cortesia do Seattle Times).

## Parte D. O Que Causa Deslizamentos?

Existem duas categorias principais de causas de deslizamentos: os naturais e os causados pelo homem. As vezes, deslizamentos de terra são causados, ou agravados, por uma combinação dos dois fatores.

### Ocorrências Naturais

Esta categoria possui três mecanismos principais de desencadeamento que podem ocorrer isoladamente ou em combinação - (1) água, (2) atividade sísmica, e (3) atividade vulcânica. Os efeitos de todas essas causas variam muito e dependem de fatores como a declividade da encosta, a morfologia ou a forma do terreno, o tipo de solo, a geologia subjacente e se há pessoas ou estruturas sobre as zonas afetadas. Efeitos de deslizamentos de terra serão discutidos em mais detalhes na parte E.

### Deslizamentos e Água

Saturação de água em declives é a principal causa dos deslizamentos de terra. A saturação pode ocorrer sob a forma de chuvas intensas, degelo, mudanças nos níveis de água no solo, mudanças do nível de água na superfície ao longo da orla costeira, barragens de terra e nas margens dos lagos, reservatórios, canais e rios. Deslizamentos e inundações estão intimamente associados, pois ambos estão relacionados com a precipitação, escoamento e saturação do solo por água. Inundações podem provocar deslizamentos por erosão regressiva das margens de córregos e rios e pela saturação das encostas por águas superficiais (escoamento superficial). Além disso, os fluxos de detritos e de lama ocorrem geralmente em pequenos canais íngremes de córregos e comumente são confundidos com inundações; de fato, esses dois eventos, muitas vezes ocorrem simultaneamente na mesma área. Em contrapartida, deslizamentos também podem causar inundações quando rochas e detritos deslizados bloqueiam canais, córregos e outros cursos de água, permitindo que grandes volumes de água se acumulem por trás dessas represas. Isso causa inundação de remanso e, se a barragem falhar, consequentes inundações a jusante. Além disso, detritos sólidos podem amontoar-se, ou adicionar volume e densidade a vazões normais em outras situações ou, ainda, causar bloqueios de canais e desvios, criando condições de inundação ou erosão localizada.

Deslizamentos de terra também podem causar tsunamis (seiches), exceder a altura dos reservatórios, e (ou) reduzir a capacidade dos reservatórios para armazenagem de água. Encostas íngremes que sofreram queimadas muitas vezes são propensas a deslizamentos, devido a uma combinação resultante da queima e perda da vegetação nos taludes, mudança na química do solo devido à queima, e posterior saturação dos taludes pela água de várias fontes, tais como de precipitações. Fluxos de detritos são o tipo mais comum de deslizamento em encostas queimadas (para uma descrição e imagens de um fluxo de detritos, consulte “Parte B. Tipos Básicos de Deslizamentos” na Seção 1). Queimadas podem, naturalmente, ser o resultado de causas naturais ou humanas. A Figura 26 mostra um deslizamento de terra devastador causado pela chuva e, possivelmente, agravado por uma tubulação em vazamento, que acrescentou ainda mais água ao solo.



**Figura 26.** O Mameyes, Porto Rico, deslizamento de terra, 1985. Este deslizamento de terra destruiu 120 casas e matou pelo menos 129 pessoas. O fenômeno catastrófico foi provocado por uma tempestade tropical que produziu chuvas extremamente pesadas. Os fatores contribuintes também podem ter incluído saturação por esgoto em área densamente povoada, e canalização de água com vazamento bem no cume do deslizamento. (Foto de Randall Jibson, U.S. Geological Survey).

## Deslizamentos e Atividade Sísmica

Muitas áreas montanhosas que são vulneráveis a deslizamentos também experimentaram, pelo menos, taxas moderadas de atividade sísmica em tempos registrados. Terremotos em áreas íngremes, propensas ao deslizamento de terra, aumentam consideravelmente a probabilidade de ocorrência desse fenômeno, devido ao tremor isolado do solo, liquefação dos sedimentos suscetíveis, ou dilatação de materiais do solo causada pela agitação, o que permite infiltração rápida de água. Por exemplo, o grande terremoto de 1964, no Alasca nos Estados Unidos, causou deslizamentos generalizados e outros tipos de rupturas, que levou a maior perda monetária atribuída ao terremoto. Outras áreas na América do Norte, como o Estado da Califórnia, a região de Puget Sound, em Washington, e as planícies de St. Lawrence do leste do Canadá sofreram desabamentos, espalhamentos laterais, e outros tipos de falhas do solo, classificadas como deslizamentos de terras, devido a terremotos moderados a grandes. Quedas rochosas e tombamento também podem ser causados pelo desprendimento dessas formações, como resultado de tremores do solo. A Figura 27 mostra os danos de um deslizamento de terra que foi desencadeado por um terremoto. Há também um grande perigo de terras deslizadas formando represas em riachos e rios na base de encostas íngremes, como resultado de rocha e terra sendo sacudidas por terremotos. Essas barragens resultantes de desmoronamentos muitas vezes bloqueiam o fluxo de água total ou parcialmente, causando acúmulo de água a montante da barragem, enchendo o rio acima. Como essas barragens são instáveis, na maior parte, podem erodir rapidamente ou durante um período maior de tempo e romper catastróficamente, liberando a água represada como um rápido dilúvio descendo a barragem. Esse dilúvio é capaz de causar enormes danos rio abaixo.

*Figuras 32, 42, C53, C54 e C55 mostram exemplos de grandes deslizamentos de terra em barragens ainda existentes.*



**Figura 27.** Danos de deslizamento induzido por terremoto a uma casa construída sobre aterro artificial, após o terremoto de 2004, na Prefeitura de Niigata, Japão. (Fotografia pelo Professor Kamai, Universidade de Quioto, Japão).

## Deslizamentos e Atividade Vulcânica

Deslizamentos devido à atividade vulcânica representam alguns dos tipos mais devastadores de rupturas do solo. A lava vulcânica pode degelar a neve rapidamente, o que pode dar forma a um dilúvio de rochas, solo, cinzas e água que se acelera rapidamente nas encostas íngremes dos vulcões, destruindo tudo em seu caminho. Esses fluxos de detritos vulcânicos (também conhecido como “lahars”, um termo indonésio) podem atingir grandes distâncias, depois que saem os flancos do vulcão e podem danificar estruturas em áreas planas em torno dos vulcões. Formações vulcânicas são estruturas jovens, não consolidadas, geologicamente fracas que, em muitos casos, podem ruir e causar deslizamentos de rochas e deslizamentos e avalanches de detritos. Muitas ilhas de origem vulcânica experimentam rupturas periódicas na área do perímetro (devido aos frágeis depósitos vulcânicos da superfície) e massas de solo e rochas deslizam para o fundo do oceano ou para outras áreas, tais como vãos e entradas de água. Esses colapsos podem criar deslizamentos submarinhos maciços e, também, deslocar água rapidamente, criando, posteriormente, tsunamis mortais que viajam e causam danos tanto a grandes distâncias, como em áreas próximas. A Figura 28 mostra um colapso da lateral de um vulcão e a devastação resultante disso.



**Figura 28.** Lateral do Vulcão Casita, na Nicarágua, América Central, que entrou em colapso em 30 de outubro de 1998, o dia de precipitação mais alta, conforme o furacão Mitch atravessava a América Central. Este “lahar” matou mais de 2.000 pessoas e varreu as cidades de El Porvenir e Rolando Rodriguez. (Fotografia por K.M. Smith, U. S. Geological Survey).

## Atividades Humanas

Populações em expansão para novas terras e criação de bairros, vilas e cidades são o principal meio pelo qual os seres humanos contribuem para a ocorrência de deslizamentos. Perturbação ou alteração dos padrões de drenagem, desestabilização das encostas e remoção da vegetação são fatores comuns, induzidos pelo homem, que podem dar início a deslizamentos de terra. Outros exemplos incluem inclinação excessiva de encostas, por meio de regressão das bases, e aumento de carga no cume de uma encosta, excedendo a capacidade do solo ou de outro componente material. No entanto, deslizamentos também podem ocorrer em áreas outrora estáveis, devido a atividades humanas como irrigação, irrigação de gramado, drenagem de reservatórios (ou criação desses), vazamento de tubulações, escavação ou ocupação imprópria de encostas. Novas construções em áreas propensas a deslizamentos podem ser melhoradas através de engenharia adequada (por exemplo, retaludamento, escavação), primeiramente identificando-se a susceptibilidade do local a falhas em inclinações e a deslizamentos de terra, e criando-se zoneamento adequado.

Veja o Apêndice A para uma lista detalhada das causas / mecanismos desencadeadores de deslizamentos de terra.

*Para leituras posteriores:  
Referências 16, 19, 32, 38, 39, 43,  
e 45*

## **Parte E. Quais São os Efeitos e Consequências dos Deslizamentos?**

Os efeitos de deslizamentos de terra ocorrem em dois ambientes básicos: o ambiente construído e o ambiente natural. As vezes há interação entre os dois, por exemplo, em terras cultivadas e áreas florestais.

### **Efeitos de Deslizamentos em Ambientes Construídos**

Deslizamentos afetam estruturas feitas pelo homem, quer seja diretamente sobre ou perto de um deslizamento de terra. Habitações construídas em encostas instáveis podem sofrer danos parciais ou completa destruição, pois os deslizamentos podem desestabilizar ou destruir as fundações, paredes, propriedades circundantes e instalações subterrâneas ou acima do solo. Deslizamentos de terra podem afetar áreas residenciais, quer em uma grande base regional (em que muitas habitações são afetadas) ou numa base individual local (onde apenas uma estrutura ou parte de uma estrutura é afetada). Além disso, danos causados por deslizamentos em redes de abastecimento de uma propriedade individual (como redes de esgoto, de abastecimento de água ou linhas elétricas e de estradas de uso comum) podem afetar as redes de abastecimento e vias de acesso de outras propriedades vizinhas. Estruturas comerciais são afetadas por deslizamentos de terra da mesma maneira que as estruturas residenciais. Nesse caso, as consequências podem ser grandes se a estrutura comercial for de uso comum, tais como lojas e supermercados, que podem sofrer uma interrupção nos negócios devido a danos na própria estrutura e (ou) nas vias de acesso.

Deslizamentos velozes, como os fluxos de detritos, são os tipos mais destrutivos para estruturas, já que muitas vezes ocorrem sem precursores ou avisos, movendo-se muito rápido para que quaisquer medidas preventivas possam ser decretadas e, devido à velocidade e ao material, são frequentemente muito poderosos e destruidores. Deslizamentos velozes de terra podem destruir completamente uma estrutura, ao passo que um deslizamento lento de terra pode apenas danificá-la um pouco e seu ritmo lento pode permitir que as medidas de mitigação possam ser promulgadas. No entanto, sem monitoramento, até mesmo deslizamentos lentos podem destruir completamente as estruturas ao longo do tempo. Avalanches de detritos e “lahars” em áreas íngremes podem destruir rapidamente, ou danificar, as estruturas e redes de abastecimento das cidades, vilas e (ou) bairros, devido ao fato de serem extremamente velozes e de força poderosa. A natureza do movimento e o fato de que os deslizamentos podem continuar em movimento após dias, semanas ou meses impedem qualquer tipo de reconstrução na área afetada, a menos que medidas mitigadoras sejam tomadas e, mesmo assim, esses esforços nem sempre são uma garantia de estabilidade.

Uma das maiores consequências potenciais de deslizamentos é para a indústria do transporte, afetando um grande número de pessoas ao redor do mundo. Falhas em cortes e aterros ao longo de rodovias e ferrovias, bem como o colapso de estradas devido a bases fracas e de solos e aterros passíveis de desmoronamentos são problemas comuns. Quedas de rochas podem ferir ou matar motoristas e pedestres e danificar estruturas. Todos os tipos de deslizamentos de terra podem levar ao bloqueio temporário, ou de longo prazo, de rotas cruciais para o comércio,



turismo, e atividades de emergência devido à presença de terra, entulho, e (ou) pedras nas rodovias ou ferrovias (fig. 29). Mesmo as deformações lentas podem afetar a infraestrutura linear, criando problemas de manutenção. A Figura 29 mostra um deslizamento de terra bloqueando uma estrada principal. Bloqueios de rodovias por deslizamentos ocorrem muito comumente em todo o mundo e muitos podem, simplesmente ser retirados por máquinas de terraplenagem ou manualmente. Outros, como o mostrado na figura 29, exigirão grandes escavações, desvios temporários de tráfego ou até mesmo o bloqueio da estrada.

As populações do mundo continuam a se expandir e estão cada vez mais vulneráveis a riscos de deslizamentos. As pessoas tendem a ir para novas terras que poderiam ter sido consideradas muito perigosas, no passado, mas agora são as únicas áreas que restam para uma população crescente. Políticas de uso da terra pobres ou inexistentes permitem construções em lugares que poderiam ser deixados para a agricultura, parques abertos ou outras instalações que não sejam habitações ou outros edifícios e estruturas. As comunidades, muitas vezes, não estão preparadas para controlar e regulamentar as práticas de construções inseguras e podem não ter os meios legítimos políticos ou a competência para exercer esse controle.



**Figura 29.** Deslizamento na autoestrada Pan Americana em El Salvador, América Central, próximo à cidade de San Vicente, em 2001. (Imagem por Ed. Harp, U. S. Geological Survey)

## Efeitos dos Deslizamentos na Natureza

Deslizamentos de terra têm efeitos sobre o ambiente natural:

- A morfologia da superfície da Terra - sistemas de montanhas e vales, tanto nos continentes quanto sob os oceanos; morfologias de montanhas e vales são as mais significativamente afetadas pelo movimento descendente de grandes massas de terra em deslizamentos;
- As florestas e as pastagens que cobrem grande parte dos continentes; e
- A fauna nativa que existe na superfície da Terra e nos seus rios, lagos e mares.

As Figuras 30, 31 e 32 mostram a extensão de área muito grande de alguns deslizamentos de terra e como eles podem mudar a face do terreno, afetando rios, fazendas e florestas.

Florestas, pastagens e vida selvagem são frequentemente afetadas por deslizamentos de terra, florestas e habitats de peixes sendo mais facilmente danificados ou, temporariamente, e mesmo raramente, destruídos. Entretanto, por serem os deslizamentos de terra eventos relativamente locais, a flora e a fauna podem recuperar-se com o tempo. Além disso, recentes estudos ecológicos têm mostrado que, sob certas condições, a médio e longo prazo, deslizamentos de terra podem beneficiar os peixes e os habitats dos animais selvagens, quer diretamente, quer através da melhoria do habitat para os organismos dos quais os peixes e os animais selvagens dependem para sua alimentação.

A seguinte lista identifica alguns exemplos de deslizamentos de terra que ocorrem na natureza:

- **Deslizamento submarino** é um termo genérico, usado para descrever o movimento de massa descendente dos materiais geológicos das regiões mais rasas às mais profundas do oceano. Tais eventos podem produzir efeitos graves para a profundidade de encostas, em escalas extremas que afetam ancoragem de barcos e suas navegações. Esses tipos de deslizamentos de terra podem ocorrer em rios, lagos e oceanos. Grandes deslizamentos de terra provocados por terremotos submarinos causaram tsunamis mortais, como os tsunamis Grand Banks de 1929 (ao largo da costa de Newfoundland, Canadá).
- **Recuo costal de falésia**, ou erosão de precipício, é outro efeito comum de deslizamentos de terra sobre o ambiente natural. Quedas de barreiras rochosas e de terra, escorregamentos e avalanches são os tipos mais comuns de deslizamentos de terra que afetam as zonas costeiras, no entanto, também se sabe da ocorrência de tombamentos e escoamentos. Rochas caídas de precipícios erodidos podem ser especialmente perigosas para quaisquer pessoas que ocupem áreas de base, ou nas praias perto das falésias. Grandes quantidades de material de deslizamento também podem ser destrutivas para a vida aquática, como peixes e alga marinha, e a deposição rápida de sedimentos nos corpos d'água muitas vezes muda a qualidade da água em torno de linhas costeiras vulneráveis.
- **Barragens formadas por deslizamento** podem ocorrer naturalmente quando um grande deslizamento de terra bloqueia o fluxo de um rio, formando um lago por trás do bloqueio. A maioria dessas barragens é de curta duração, pois a água acabará por destruir a barragem. Se

o bloqueio não for destruído por processos erosivos naturais, ou modificado pelo homem, ele cria um novo relevo — um lago. Os lagos formados pelas represas decorrentes de deslizamentos podem durar um longo tempo ou podem ser subitamente liberados, causando enormes cheias a jusante. Há muitas maneiras de diminuir os perigos potenciais por barragens formadas pelo deslizamento, e alguns desses métodos são discutidos nas seções de segurança e mitigação, deste volume. A Figura 32 mostra o deslizamento Slumgullion, um dos maiores deslizamentos no mundo — a represa que se formou é tão grande e larga que já dura 700 anos. As Figuras C53, C54 e C55 (no apêndice C) mostram também os aspectos de outra barragem resultante de grandes deslizamentos.

Veja o Apêndice C para obter mais informações sobre a mitigação dos efeitos dos deslizamentos de barragens.

*Para ler mais:  
Referências 4, 11, 14, 16, 19, 31, 35,  
36, 39 e 43*



Figura 30. Vulcão ativo, Monte Shasta, na Califórnia, EUA. Observe a geografia em primeiro plano, causada por uma avalanche de detritos que ocorreu cerca de 300.000 anos atrás. A avalanche de detritos se deslocou para uma grande distância do vulcão e produziu efeitos duradouros na formação da terra, que podem ser vistos ainda hoje.

(Foto por R. Crandall, U.S. Geological Survey).



**Figura 31.** Vista da jusante, na confluência do Rio Malo (no canto inferior esquerdo) e do Rio Coca, no nordeste do Equador, na América do Sul. Ambos os canais dos rios foram preenchidos com sedimentos deixados por fluxos de detritos provocados pelos tremores do terremoto Reventador de 1987. As encostas na área haviam sido saturadas por chuvas fortes nos últimos dias antes do terremoto. Deslizamentos de terra, fluxos e avalanches de detritos, escoamento de lama e conseqüente inundações resultantes destruíram cerca de 40 quilômetros do oleoduto Trans-Equatoriano e a única estrada de acesso a Quito por rodovia. (Fotografia por R.L. Schuster, U. S. Geological Survey; informação da Referência 32).



**Figura 32.** O deslizamento de terra Slumgullion, Colorado, EUA. Este deslizamento (formalmente referido também como um fluxo de terra) danificou o Lago Fork, represado do Rio Gunnison, inundando o vale e formando o Lago Cristobal. (Foto por Jeff Coe, U. S. Geological Survey).

## **Parte F. Inter-relação de Deslizamentos com Outros Riscos Naturais – Efeitos de Riscos Múltiplos**

Perigos naturais, como inundações, terremotos, erupções vulcânicas e deslizamentos podem ocorrer simultaneamente e um ou mais desses fenômenos podem desencadear um ou mais dos outros tipos. Deslizamentos são frequentemente o resultado de terremotos, inundações e atividade vulcânica e podem, por sua vez, causar perigos posteriores como, por exemplo, um sismo induzido por deslizamento gerando um tsunami mortal, se suficiente material do deslizamento entra numa região de água deslocando um grande volume da mesma. Outro exemplo seria uma erupção vulcânica ou terremoto induzido por deslizamento, bloqueando um rio, represando a água por trás da massa de terra e inundando a zona da montante. Caso a barragem se rompa, a água da represa será subitamente liberada, causando inundações na jusante. Esse alagamento pode se juntar à erosão das margens e costas, gerando uma desestabilização devido à rápida saturação dos taludes e erosão regressiva dos penhascos e das margens. É, portanto, imperativo que, ao se avaliar a vulnerabilidade de uma área a deslizamentos, examinem-se todos os outros desastres naturais possíveis. No momento, existem poucos mapas que mostram as susceptibilidades a perigos múltiplos; para a maioria das áreas que tem seus riscos mapeados, apenas um único perigo é levado em conta.

Figuras 33-35 mostram eventos que envolvem riscos múltiplos de deslizamentos.

*Para ler mais:  
Referências 17, 20, 35, 39, 43 e 45*



**Figura 33.** Exemplo de um evento de riscos múltiplos. A fotografia mostra uma vista aérea de Lituya Bay, no Alasca, EUA. Em 9 de julho de 1958, ocorreu um terremoto que causou um deslizamento para dentro da baía. O deslizamento, por sua vez, gerou uma onda tsunami que chegou à distância de 174 metros na margem oposta, e uma onda de 30 metros que ultrapassou Lituya Bay. Foi a maior onda produzida por um deslizamento até hoje documentada. Observe a extensão das áreas de terra sem vegetação que acompanham a encosta da baía, marcando o alcance aproximado do tsunami. (Imagem por D.J. Miller, U.S. Geological Survey).



**Figura 34.** Evento de perigos múltiplos de 1999, em Tanaguarena, na costa da Venezuela, América do Sul. As inundações e deslizamentos foram provocados por fortes chuvas. (Fotografia de Matthew Larsen, U.S. Geological Survey).



**Figura 35.** Esta é uma fotografia que mostra o efeito posterior de um evento de riscos múltiplos. É uma vista aérea mostrando parte da Cordilheira dos Andes e Nevado Huascarán, o pico mais alto do Peru, América do Sul. Uma enorme avalanche de gelo e fragmentos de rochas, desencadeada pelo terremoto de 31 de maio de 1970, enterrou as cidades de Yungay e Ranrahirca, matando mais de 20.000 pessoas, o que equivale a cerca de 40 por cento da taxa de mortalidade total de 67.000 pessoas. A avalanche começou com um deslizamento de uma massa de gelo glacial e rocha de aproximadamente 1.000 metros (3.000 pés) de largura e 1,6 km (uma milha) de comprimento que desceu 5,4 quilômetros (3,3 milhas) para dentro de Yungay a uma velocidade média de mais de 160 km por hora. O gelo carregou material de moraina formado de água, lama e pedras. (Fotografia do Serviço Aerofotográfico Nacional, gráficos de George Plafker, U. S. Geological Survey.) Fotografia e informações do U. S. Geological Survey Photographic Archives (Arquivo Fotográfico): <http://libraryphoto.cr.usgs.gov/>



## Seção II. Avaliação E Comunicação De Risco De Deslizamento

SLIDE AREA AHEAD  
WATCH FOR  
FALLEN ROCKS

Por todo o planeta, as informações sobre deslizamentos variam em quantidade e complexidade, numa gama de qualidade que vai desde relatórios detalhados de deslizamentos no passado, com mapas de suscetibilidade e riscos resultantes, a nenhum tipo de informação. Em algumas regiões do mundo, as pessoas partilham as memórias de fenômenos de deslizamentos passados, sabendo onde os taludes são instáveis e (ou) perigosos. Como resultado disso, conhecem intuitivamente onde é vantajoso construir ou não. Entretanto, muitas áreas não são tão óbvias quanto ao seu perigo de deslizamento potencial, e as rupturas do solo não ocorrem com nenhum tipo de regularidade. Também, alguns mecanismos de desencadeamento de deslizamentos ocorrem esporadicamente e têm um efeito gradual e cumulativo, mas não exatamente tão óbvios.

## Parte A. Avaliação de Riscos de Deslizamento

Existem muitas maneiras diferentes de avaliar os riscos de deslizamento de uma determinada área. É sempre aconselhável consultar um perito para a obtenção de avaliações mais precisas, embora isso nem sempre seja possível. Nesta parte serão discutidos dois tipos de avaliação de risco de deslizamento: um, por observação direta e outro, pelo uso de ferramentas tecnológicas.

### Observação e (ou) inspeção por peritos locais e (ou) funcionários municipais e proprietários.

*Para ler mais:  
Referências 1, 3, 4, 19, 20, 21, 25,  
26, 36, 39, 42 e 44*

*O guia simples, a seguir, pode ajudar as pessoas a observar e avaliar um risco potencial de deslizamento. É importante notar que algumas das características aqui apresentadas também podem ter outras causas que não deslizamentos, como inchaço de solos.*

#### Características que podem indicar movimento de deslizamento:

- Nascentes, infiltrações e solo úmido ou saturado, em áreas previamente secas na base de taludes.
- Rachaduras — na neve, no gelo, no solo, em rochas ou no cume dos taludes.
- Calçadas ou lajes que se distanciam do solo próximo a declives; solo que se afasta de fundações.
- Cercas que se encontram fora de prumo ou se apresentam de forma distinta, quando já foram em linha reta (ver fotografia na figura 22).
- Protuberâncias incomuns ou mudanças de altitude no chão, calçamentos, passeios, ou calçadas.
- Postes, árvores, cercas e muros inclinados.
- Inclinação ou rachaduras excessivas no piso de concreto e fundações.
- Danos em tubulações de água ou em outras estruturas subterrâneas.
- Rápido aumento ou diminuição dos níveis de cursos de água, eventualmente acompanhado de aumento de turbidez (teor de turvação da água pelo solo).
- Emperramento de portas e janelas e espaços abertos visíveis, indicando que paredes e molduras estão mudando e se deformando.
- Rangidos, estalos ou ruídos em casas, edifícios ou bosques (por exemplo, raízes rachando ou quebrando).
- Afundamento ou inclinação para baixo / queda de estradas ou caminhos.

*Nota para os administradores / responsáveis:* É importante que os órgãos diretores forneçam um meio de manutenção de registros, preferencialmente de forma escrita, sobre as ocorrências de deslizamentos, com fotografias e (ou) diagramas sempre que possível. Para as áreas do mundo que ainda não tenham leis ou regulamentos que exijam a divulgação para proprietários, dos perigos associados a deslizamento, é importante que aldeias, municípios, cidades estabeleçam alguma autoridade responsável com a qual se possa obter informações sobre tais riscos. Isso não precisa ser sofisticado ou caro, mas irá fornecer um meio de manter o conhecimento a respeito de deslizamento, ao longo do tempo.

Embora algumas informações, como os direitos de propriedade, possam ser politicamente sensíveis, é importante que as informações sobre deslizamento sejam disponibilizadas, de algum modo, para a população em geral.



**Figura 36.** Rachaduras do solo (Cortesia do Alan Chleborad, U.S. Geological Survey).



**Figura 37.** Calçada afastando-se da casa (Cortesia do Lynn Highland, U.S. Geological Survey).



**Figura 38.** Figura 38. Rachadura na fundação de uma estrutura (Foto por Lynn Highland, U.S. Geological Survey).

## Ferramentas Tecnológicas de Avaliação de Deslizamentos – Mapeamento, Sensoriamento Remoto e Monitoramento

Um dos princípios orientadores da geologia é que *o passado é a chave para o futuro*. Ao avaliar os riscos de deslizamento, conclui-se que as falhas em encostas podem ocorrer no futuro, como resultado das mesmas situações geológicas, geomorfológicas e hidrológicas que causaram acidentes no passado e no presente. Com base nesse pressuposto, é possível estimar os tipos de deslizamentos, a frequência de ocorrência, a extensão e as consequências das falhas que podem ocorrer no futuro. No entanto, a ausência de eventos no passado, em uma área específica, não exclui a possibilidade de existência de acidentes no futuro. Condições induzidas pelo homem, tais como alterações na topografia natural ou condições hidrológicas, podem criar ou aumentar a susceptibilidade de uma zona a deslizamentos.

A fim de prever riscos de deslizamento em uma área, as condições e processos que promovem a instabilidade devem ser identificados e suas contribuições relativas à ruptura do declive, estimadas, se possível. Conclusões úteis relativas ao aumento da probabilidade de deslizamentos podem ser tiradas através da combinação de análises geológicas e conhecimento das condições meteorológicas de curto e longo prazo. A tecnologia atual permite às pessoas monitorando os movimentos de terra, definir as áreas mais suscetíveis a deslizamentos e emitir avisos e “alertas”, abrangendo períodos de tempo de horas a dias, quando se atinge as condições meteorológicas ou limites conhecidos por aumentar ou iniciar certos tipos de deslizamentos.

### Análise de Mapa

A análise de mapa é geralmente um dos primeiros passos em uma investigação de deslizamento de terra. Mapas necessários incluem superfície rochosa e geológica, topografia, solos e, se disponível, mapas de geomorfologia. Usando o conhecimento dos materiais e processos geológicos, uma pessoa treinada pode obter uma idéia geral de susceptibilidade a deslizamentos analisando tais mapas. O apêndice B, ao final desse manual, contém uma seção sobre os diversos tipos de mapas utilizados na análise do deslizamento.

### Reconhecimento Aéreo

A análise de fotografias aéreas é uma técnica rápida e valiosa para identificar deslizamentos, porque fornece uma visão geral de três dimensões do terreno e indica as atividades humanas, bem como possui muitas informações geológicas para uma pessoa treinada. Além disso, a disponibilidade de muitos tipos de imagens aéreas (por satélite, infravermelho, radar, e assim por diante) torna o reconhecimento aéreo muito versátil, embora de custo proibitivo em alguns casos.

## Reconhecimento de Campo

Muitos dos sinais mais sutis de movimento de massa não podem ser identificados nos mapas ou fotografias. Com efeito, se uma área possui floresta densa ou foi urbanizada, mesmo as principais características podem não ser evidentes. Além disso, as características de deslizamento mudam ao longo do tempo em um talude ativo. Assim, o reconhecimento de campo é sempre obrigatório para verificar ou detectar características de deslizamento e para avaliar criticamente o potencial de instabilidade de taludes vulneráveis. Ele identifica as áreas com deslizamentos no passado (o que poderia indicar a probabilidade futura de deslizamentos) utilizando o mapeamento de campo e testes laboratoriais do terreno, através da amostragem de solo e rocha. Mapeamento e análises laboratoriais, por exemplo, podem identificar solos de argila vulneráveis ou outros solos sensíveis e mostrar onde eles existem, seu tamanho e extensão.

## Perfuração

Na maioria dos locais, a perfuração é necessária para determinar os tipos de materiais que constituem o solo do talude, bem como a profundidade em relação à superfície de deslizamento, a espessura e geometria da massa de deslizamento, o nível freático e o grau de perturbação dos materiais presentes. Também pode fornecer amostras adequadas para estimativa de idade do solo e testar as propriedades de engenharia dos materiais presentes no deslizamento. Finalmente, a perfuração é necessária para a instalação de alguns instrumentos de acompanhamento bem como de poços de observação hidrológica. Observe que a perfuração para obtenção de informações sobre a estratigrafia, geologia e níveis freáticos e para a instalação de instrumentos, por exemplo, também é feita para as áreas que nunca tiveram um deslizamento, mas onde a possibilidade existe.

## Instrumentação

Métodos sofisticados, como a medição eletrônica de distância (MED), instrumentos como inclinômetros, extensômetros, medidores de tensão, e piezômetros (ver glossário para definições destes instrumentos), e técnicas simples, como estabelecimento de pontos de controle por estacas podem ser usados para determinar a mecânica do movimento de deslizamento e para monitorar e alertar contra riscos de ruptura iminente da encosta.

## Estudos geofísicos

Técnicas geofísicas (medição de condutividade / resistividade elétrica do solo, ou medição do comportamento sísmico induzido) podem ser usadas para determinar algumas características do subsolo, tais como a profundidade das rochas, as camadas estratigráficas, zonas de saturação, e às vezes o nível do lençol freático do solo. Essas técnicas também podem ser usadas para determinar a textura, porosidade, grau de consolidação de materiais do subsolo e a geometria das unidades envolvidas. Na maioria dos casos, esses métodos de levantamento da superfície podem ser melhor utilizados para complementar as informações de

perfuração, prolongando e interpolando dados espacialmente entre os furos. Eles também podem oferecer uma alternativa no caso da perfuração ser impossível. Métodos geofísicos de perfuração (nuclear, elétrica, térmica, sísmica) também podem ser aplicados para determinar as medidas detalhadas em um poço. Monitoramento das emissões acústicas naturais de movimento de solo ou de rocha também tem sido utilizado em estudos de deslizamento.

## Imagem e Perfis Acústicos

Perfis de leitos de lagos e rios, e do fundo do mar, podem ser obtidos utilizando técnicas acústicas, como sonar de varredura lateral e de perfil sísmico subterrâneo. Levantamento das redes controladas, com uma navegação precisa, pode render perspectivas de três dimensões de fenômenos geológicos subaquáticos. Técnicas modernas e de alta resolução são usadas rotineiramente nas áreas de plataforma marítimas para mapear riscos geológicos para a engenharia de plataforma marítima.

## Análise Computadorizada de Deslizamento de Terrenos

Nos últimos anos, a modelagem computacional de deslizamentos de terra tem sido utilizada para determinar o volume das massas de deslizamento e as alterações na expressão e na seção transversal da superfície ao longo do tempo. Essa informação é útil no cálculo do potencial de bloqueio do fluxo, do custo de remoção de terra deslizada (com base em volume) e do tipo e mecanismo do movimento. Estão sendo desenvolvidos métodos muito promissores que usam modelos digitais de elevação (MDEs) para avaliar rapidamente as áreas e sua suscetibilidade a deslizamentos de terra / fluxo de detritos. Os computadores também vêm sendo usados para realizar análises complexas de estabilidade. Softwares para esses tipos de estudos estão prontamente disponíveis para computadores pessoais.

Consulte o Apêndice B para obter mais informações e imagens de tipos de mapa.

*Para ler mais:  
Referências 4, 15, 18, 24, 25, 39 e 46*

## Parte B. Comunicação de Riscos de Deslizamento

A tradução bem-sucedida de informações sobre desastres naturais para uma forma útil a usuários que não possuam conhecimentos técnicos deve apresentar os três elementos a seguir:

- Probabilidade de ocorrência de um evento, cujo tamanho e localização causariam vítimas, danos ou rompimento de um padrão existente da segurança.
- Localização e extensão esperadas dos efeitos do evento sobre o solo, as estruturas ou as atividades socioeconômicas.
- Estimativa da gravidade dos efeitos sobre o solo, as estruturas ou atividades socioeconômicas.

Esses elementos são necessários porque os engenheiros, planejadores e tomadores de decisão normalmente não irão se preocupar com um perigo potencial de rara probabilidade, localização desconhecida, ou de menor gravidade.

Infelizmente, esses três tipos de informação podem vir de diferentes formas, com muitos nomes diferentes, algumas formas quantitativas e precisas, outras qualitativas e gerais. Para que uma informação de perigo possa ser qualificada como útil, usuários não técnicos devem ser capazes de perceber o risco, a localização e a gravidade do perigo, de modo a tornarem-se conscientes do risco, poder passar tais informações adiante e usá-las diretamente para reduzir a ameaça.

### Informações de Segurança

A segurança é, sem dúvida, a primeira ordem de ação para gestores e funcionários municipais. Pessoas que vivem em áreas propensas a rápidos movimentos de terra e fluxos de detritos precisam de informações sobre a probabilidade do perigo. Por exemplo, quando é mais perigoso estar no caminho dos fluxos de detritos em potencial (como durante chuvas pesadas) e em que ponto deve-se evacuar o local e (ou) interromper o deslocamento a pé ou de veículos, em uma área perigosa. Informações de segurança sobre lentos deslizamentos em movimento são igualmente importantes, pois esses tipos de eventos podem danificar e (ou) romper linhas elétricas e tubulações de gás, criando um risco adicional de incêndio, eletrocussão e vazamentos de gás.

### Informações sobre Edificações

Esse tipo de informação também é valioso para as comunidades, de modo a evitar algumas das causas de deslizamentos de terra. Tal informação é discutida na Seção III, “Conceitos e Abordagens para Mitigação.”

Informações sobre segurança, educação e construção podem ser disponibilizadas aos residentes da comunidade de várias maneiras. Uma lista dos códigos de construção e de processos de inspeção de construção, bem como das áreas onde o potencial de desestabilização pode causar problemas de deslizamento de terra, pode ser disponibilizada da seguinte forma:



## Programa Sugerido de Prevenção de Risco para Governo Local

- Boletins em jornais / propagandas.
- Serviço público de distribuição de folhetos de porta em porta ou em lugares públicos.
- Discussões realizadas nas associações comunitárias.
- Cartazes em prédios públicos e (ou) comércio com informação visual tanto quanto possível.
- Anúncios na mídia através de rádio, televisão, alto-falantes, ou outros meios.
- Palestras públicas por peritos ou outros funcionários.
- Sinais afixados em áreas de perigo imediato, informando as pessoas sobre o tipo de perigo e alertando-as para serem cautelosas. Um exemplo disso seria um sinal de alerta dos perigos associados à queda de rochas ao longo de passagens muito utilizadas.
- Em áreas onde as taxas de alfabetização são baixas, comunicações orais com gráficos, fotografias e ilustrações dos perigos podem ser extremamente eficazes. Fotos podem substituir milhares de palavras!
- Lista telefônica - em áreas onde o serviço de telefone é generalizado ou acessível, disponibilizar lista com os números de serviços municipais de engenharia e defesa civil, da polícia ou de bombeiros.
- Sempre que possível, o site municipal na Internet é uma fonte útil de informações sobre segurança e de números de telefone de contato e e-mails do pessoal de emergência e de engenharia e (ou) departamentos de planejamento.
- Determinar os problemas decorrentes dos riscos locais de deslizamento, através de um comitê de trabalho e (ou) aconselhamento profissional de segurança. Levantamentos geológicos municipais / estaduais / federais, faculdades de geologia, departamentos de engenharia e empresas geotécnicas privadas são fontes de aconselhamento. Fornecer um programa de mapeamento, sempre que possível, tanto pelo governo local quanto por profissionais contratados.
- Conduzir ensino público e programas de informação através de reuniões comunitárias, câmaras de vereadores ou outros conselhos.
- Adotar e aplicar políticas adequadas de uso do terreno, discutindo com os proprietários, empreiteiros, compradores e vendedores. Uma opção é exigir a divulgação dos perigos geológicos durante a venda de propriedades para garantir que o novo comprador tenha conhecimento de quaisquer problemas possíveis.
- Monitorar alterações em encostas instáveis e tomar medidas apropriadas (veja a seção de “Mitigação” neste manual).
- Construir projetos de ruas e de drenagem que atendam portarias e necessidades locais de segurança.
- Realizar programas de subvenção pública, programas de governo para a infra-estrutura e projetos de melhoria de obras públicas.
- Manter-se informado sobre os programas de seguro disponíveis e as questões de responsabilidade e saber em que se baseia a responsabilidade do governo local para a segurança pública e o bem-estar.
- Ter um plano de resposta a emergências para a comunidade. Consulte municípios vizinhos e (ou) as comunidades que possuem planos já utilizados em situações de emergência. Avaliar a eficácia desses planos para a sua própria situação.

## Exemplos de sinais de aviso de perigo

As figuras seguintes (figuras 39, 40 e 41) mostram exemplos de alguns sinais de aviso simples que podem ser colocados em áreas perigosas. Essas informações também podem ser utilizadas em políticas de gestão da defesa civil para os municípios e (ou) comunidades.

Por favor, consulte o Apêndice B para amostras de informações básicas de segurança para fluxo de detritos e outros riscos de deslizamento que são adequados para a publicação e distribuição em lugares públicos.

*Para ler mais:  
Referências 1, 6, 19, 21, 23, 24, 26,  
36 e 41*



Figura 39, 40 e 41. Sinais de aviso

## Seção III. Conceitos e Abordagens de Mitigação

A vulnerabilidade aos perigos de deslizamento é uma função da localização (topografia, geologia, drenagem), do tipo de atividade presente e da frequência de deslizamentos no passado de determinado local. Os efeitos dos deslizamentos de terra nas pessoas e nas estruturas podem ser reduzidos com a evasão total das áreas de risco ou com a restrição, proibição ou imposição de condições sobre as atividades nas zonas de perigo. Os governos locais podem fazer isso através de políticas e regulamentos para o uso da terra. Os indivíduos podem reduzir a sua exposição aos riscos educando-se sobre a história de acidentes no passado de um determinado local e fazendo perguntas aos departamentos de engenharia e planejamento dos governos locais. Também podem ser contratados os serviços profissionais de um engenheiro geotécnico, engenheiro civil ou um geólogo que possam avaliar adequadamente o potencial de risco de um local com área construída ou não.

## **Parte A. Visão Geral dos Métodos de Mitigação para Vários Tipos de Riscos de Deslizamento**

Consultar profissionais é aconselhável sempre que possível, mas os administradores e proprietários de imóveis devem ser educados sobre mitigação, a fim de tomar decisões conscientes relativas à construção e ao uso da terra. Algumas dessas medidas são discutidas nesta seção. Informações mais detalhadas sobre mitigação de deslizamentos estão disponíveis no Apêndice C e em Turner e Schuster (1996) (referência 39).

O meio mais simples de lidar com riscos de deslizamento é evitar a construção em encostas íngremes e com deslizamentos pre-existentes. No entanto, isso nem sempre é prático. Regulamentos no uso da terra e desenvolvimentos para assegurar que a construção não irá reduzir a estabilidade do talude são outros tipos de abordagens. Evasão e regulamentação dependem de mapas e de definições de base das áreas de deslizamento para que se reduza o perigo (Apêndice B). Nos casos em que os deslizamentos afetam as estruturas existentes ou não podem ser evitados, controles físicos podem ser utilizados. Em alguns casos, sistemas de alerta e monitoramento (Apêndice B) permitem que os residentes se ausentem temporariamente durante períodos em que a probabilidade de deslizamento é elevada.

### **Estabilização do solo de encostas**

A estabilidade aumenta quando se impede a subida do nível de água (nível hidrostático) do solo nas massas com potencialidade de deslizamentos através de:

- direcionamento das águas de superfície para longe da área de deslizamento,
- drenagem das águas subterrâneas para longe da área de deslizamento, reduzindo o potencial de crescimento do nível de água no solo,
- cobertura da área em deslizamento com lona impermeável, e (ou)
- minimização da irrigação de superfície. A estabilidade de taludes também aumenta quando o peso ou as estruturas de retenção são colocadas na ponta inferior do deslizamento ou quando a massa (peso) é removida da parte superior da encosta.

Plantar ou encorajar o crescimento natural da vegetação também pode ser um meio eficaz de estabilização de encostas. Isso é discutido na seção sobre métodos biotecnológicos de mitigação e no Apêndice C.

Um exemplo de um método de estabilização de encostas é o uso de muros de contenção (muros de arrimo). Esses são estruturas construídas para suportar uma massa de solo permanentemente. Eles também são usados sempre que os requisitos de espaço tornam impraticável manter a inclinação em um dos lados de uma escavação ou para evitar o desprendimento de solos soltos do alto de um barranco sobre estradas ou propriedades. Muros de contenção também são usados para prevenir ou minimizar a erosão regressiva pela correnteza de rios ou para retardar deslizamentos muito lentos. Eles não podem, no entanto, ser usados para impedir deslizamentos. Vários tipos básicos de estruturas de contenção são montagem de madeira, em forma de fogueira, silo de aço, pilha, balanço ou console, pilha em folhas, malha plástica e terra reforçada. Cada um desses tipos tem vantagens em

determinadas situações, mas o custo é geralmente o que determina o tipo aprovado. Mais informações sobre muros de contenção é dada no Apêndice C.

Veja o Apêndice C para obter mais informações sobre os métodos de estabilização.

## **Redução de Riscos de Quedas de Rochas**

A queda de rochas é comum nas áreas com parede rochosas íngremes e falésias. Geralmente, são montanhosas ou áreas de bordas de planaltos, tanto em zonas costeiras quanto entre formações rochosas isoladas. As quedas de rochas causam mortes e grandes perdas financeiras, as primeiras como vítimas diretas atingidas pelas pedras e as últimas, principalmente, por impedimento de transporte e comércio, devido ao bloqueio de estradas e percursos aquáticos. Desvios de caminhos e estradas em torno de áreas com ocorrência de quedas de rochas são, por vezes, realizados, não sendo sempre a ação mais prática. Muitas comunidades colocam sinais de perigo em torno das áreas de grande risco de queda de rochas. Alguns métodos de redução do risco de queda de rochas incluem valas de captura, bancos, remoção de crostas e corte para estabilização do talude, cabo e rede, concreto projetado, âncoras, parafusos, buchas, e explosão controlada.

Veja o Apêndice C para obter mais informações sobre meios de mitigação para prevenção e desvio de queda de rochas.

## **Redução de Riscos de Fluxo de Detritos**

Devido à velocidade e intensidade da maioria dos fluxos de detritos, eles são muito difíceis de serem interrompidos após seu início. Entretanto, os métodos estão disponíveis para conter e desviar os fluxos de detritos, principalmente através da utilização de muros de contenção e bacias para retenção de detritos. Outros métodos de mitigação incluem a alteração dos taludes (impedindo-os de serem vulneráveis ao início de fluxo de detritos, através do uso de controle de erosão), replantio de vegetação e prevenção de incêndios florestais, os quais são conhecidos por intensificar os fluxos de detritos em encostas íngremes.

Veja o Apêndice C para obter mais informações sobre os métodos de mitigação de risco de fluxo de detritos.

## **Redução de Risco de Represamento por Deslizamento**

Muitos problemas surgem quando as terras provenientes de deslizamentos represam cursos de água. Barragens causadas por deslizamentos são um problema comum em muitas áreas do mundo. Deslizamentos podem ocorrer nas paredes dos vales de córregos e rios. Se material suficiente deslocado (rocha, solo, e (ou) detritos) preencher o curso d'água, o deslizamento age como uma represa natural, barrando o fluxo do rio e causando inundações. Como essas represas naturais são frequentemente compostas de material solto, não consolidado, elas geralmente são inerentemente fracas e logo que cobertas vêm a ruir, devido à erosão. Quando o rompimento acontece rapidamente, a água represada desce para dentro do curso de água, causando inundações potencialmente catastróficas na jusante. Um exemplo de barragem causada por um deslizamento é a barragem Usoi, de 600 metros, no

Tajiquistão, uma das maiores barragens por deslizamento no mundo. Um grande deslizamento, induzido por terremoto, represou o rio Murghab, criando o Lago Sarez. A barragem representa um perigo para as pessoas que vivem na jusante. Além disso, ações sísmicas no futuro podem causar mais deslizamentos para dentro do lago represado, causando um “seiche” (um onda como uma tsunami, em uma baía ou lago), o que pode enfraquecer e (ou) cobrir a barragem. A Figura 42 mostra uma barragem de terra causada pelo deslizamento de encostas saturadas, e a figura 43 mostra uma barragem de terra causada por um terremoto.

Veja o Apêndice C para obter mais detalhes sobre os métodos de redução de risco de barragens por deslizamento.



**Figura 42.** O deslizamento de terra Thistle no Utah, EUA. Este deslizamento de 1983 represou o rio Spanish Fork, represando a água que inundou a cidade de Thistle. Muitas barragens por deslizamento são bem menores que as mostradas aqui e, potencialmente, podem ser cobertas por água represada e sofrerem erosão. Algumas são muito maiores e estradas e ferrovias que são bloqueadas, ou danificadas, devem ser desviadas em torno da massa de terra. O túnel de concreto, na parte inferior da foto, mostra que a linha ferroviária foi desviada em torno do deslizamento tendo sido escavado por dentro de uma montanha adjacente.



**Figura 43.** O grande terremoto que atingiu a China em 12 de maio de 2008 causou muitos danos ao terreno montanhoso do distrito de Beichuan. Em muitos casos, os deslizamentos de terra em vales íngremes formaram barragens, criando novos lagos, em um período de horas. Este par de fotos de alta resolução, com imagens do satélite Formosat-2 de Taiwan, em 14 de maio de 2006 (topo) e 14 de maio de 2008 (abaixo), antes e depois do terremoto, mostram o grande deslizamento que bloqueou o rio Jiangjian, formando um perigoso lago represado.

## Métodos Biotecnológicos de Redução de Risco de Deslizamento

Este tipo de proteção do talude é usado para reduzir as consequências ambientais adversas das medidas mitigadoras para deslizamentos. As estruturas de retenção de terra, utilizadas na redução de riscos de deslizamentos, feitas de aço e concreto, não são agradáveis aos olhos e nem ao meio ambiente. Essas medidas corretivas, tradicionais e severas estão sendo, cada vez mais, superadas por estruturas que levam em sua formação vegetação e solo, tomando-as mais agradáveis ao meio-ambiente. Esses processos ficaram conhecidos como proteção de talude biotecnológica. Sistemas comuns incluem redes e malhas de vários materiais, apoiadas por garras de terra que são colocadas em terra com sementes de mato. Pesquisas foram feitas sobre o uso de plantas para estabilização do solo e prevenção de erosão excessiva, diminuindo os efeitos dos deslizamentos. Um dos tipos de plantas mais promissores é o Vetiver, um tipo de mato que faz uma boa estabilização de taludes contra erosão, em diferentes tipos de ambientes. Veja o Apêndice C para maiores informações sobre o uso de Vetiver e sua viabilidade geográfica.

Veja o Apêndice C para mais informações em técnicas de redução de riscos.



## **Parte B. Técnicas Simples de Redução de Riscos para Casas e Empresas, Gestores e Cidadãos**

Há meios simples e de baixo nível tecnológico para que proprietários e outros cidadãos possam aplicar métodos e técnicas eficazes na diminuição dos efeitos de deslizamentos de terra. Primeiro, é sempre bom consultar um profissional, como um engenheiro geólogo ou um engenheiro civil, pois ele tem a formação e experiência para resolver problemas de instabilidade; uma empresa local ou profissional pode ser ainda melhor, pois pode estar familiarizado com a geologia, tipo de solo e geografia da área em questão. Isso pode não ser sempre o caso, mas é uma base para a realização de investigações. Quando existem jurisdições locais, como municípios e (ou) escritórios municipais, os indivíduos dentro dessas instituições podem ser profissionais como geólogos, urbanistas, e (ou) especialistas em construção que podem responder perguntas, fornecer mapas e explicar regras de construção e procedimentos de inspeção. O acesso a esses funcionários varia muito ao redor do mundo e as situações locais podem ser tratadas de maneira diferente. Entretanto, ao consultar um profissional, é possível que algumas medidas não possam ser tomadas, conforme detalhado nos Apêndices C e D.

Veja Apêndices C e D para obter informações detalhadas sobre as técnicas de redução de riscos para proprietários, cidadãos e gestores.

*Para ler mais:  
Referências 4, 8, 11, 19, 20, 28, 30,  
31, 32 e 37*

## Parte C. Lista de Obras Consultadas / Mencionadas / Citadas Para Leitura Posterior

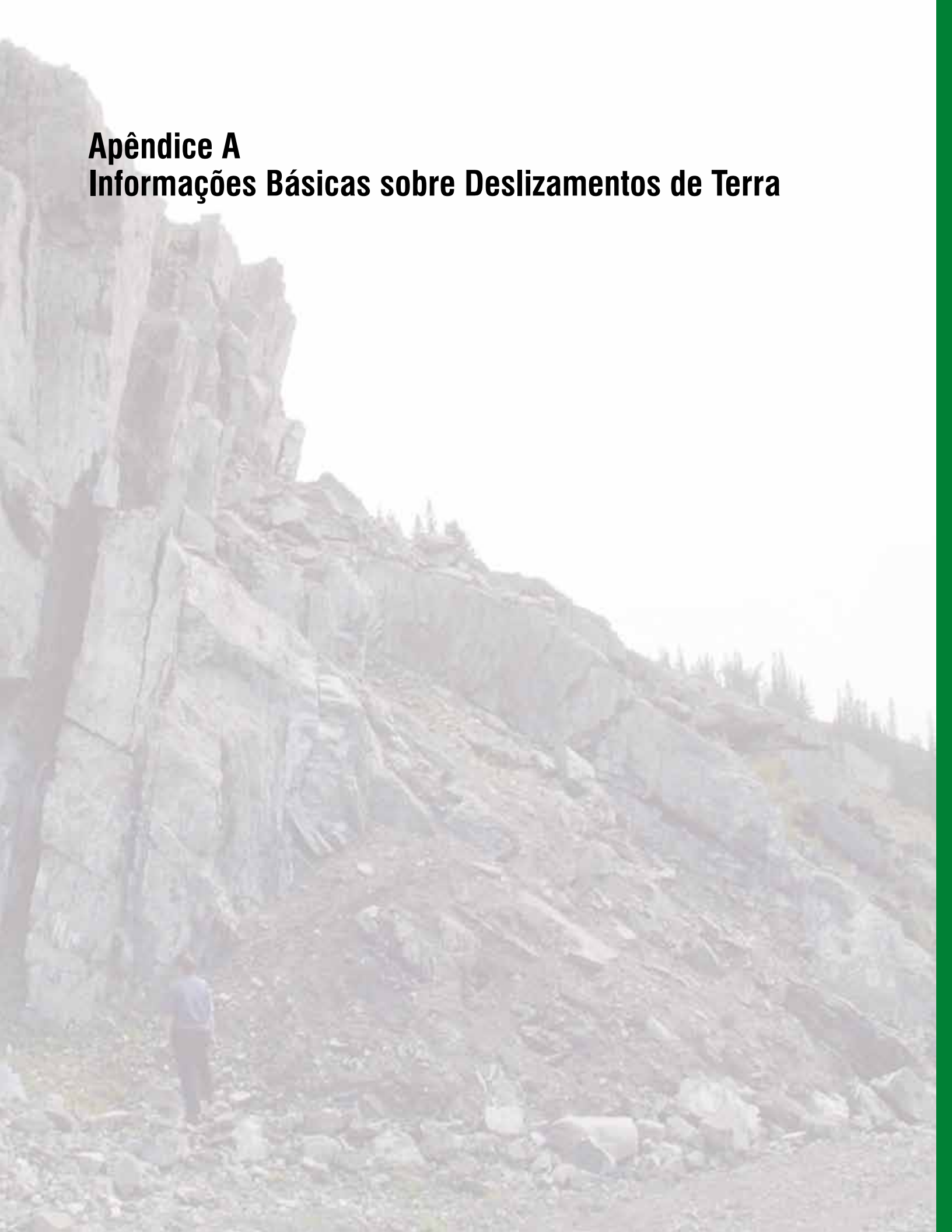
1. Advisory Committee on the International Decade for Natural Hazard Reduction, Commission on Engineering and Technical Systems, 1987, *Confronting natural disasters, an International Decade for Natural Hazard Reduction*, National Research Council: U.S. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
2. Aylsworth, J.M., Duk-Rodkin, A., Robertson, T., and Traynor, J.A., 2000, *Landslides, in the physical environment of the Mackenzie Valley, Northwest Territories—A baseline for the assessment of environmental change*, Dyke, L.D., and Brooks, G.R., eds.: Geological Survey of Canada, Bulletin no. 547, p. 41—48.
3. Barrows, Alan, and Smith, Ted, 2004, *Hazards from “mudslides,” debris avalanches and debris flows in hillside and wildfire areas: California Geological Survey Note 33*. Online: [http://www.consrv.ca.gov/cgs/information/publications/cgs\\_notes/note\\_33/index.htm](http://www.consrv.ca.gov/cgs/information/publications/cgs_notes/note_33/index.htm)
4. Blake, T.F., Holingsworth, R.A., and J.P. Stewart, eds., 2002, *Recommended procedures for implementation of guidelines for analyzing and mitigating landslide hazards in California: Department of Mining and Geology special publication 117* American Society of Civil Engineers (ASCE), Los Angeles Section Geotechnical Group, published by Southern California Earthquake Center (SCEC). Online: <http://www.scec.org/resources/catalog/LandslideProceduresJune02.pdf>
5. California Department of Conservation, Division of Mines and Geology, 1997, *Factors affecting landslides in forested terrain, Note 50*. Online: [http://www.consrv.ca.gov/cgs/information/publications/cgs\\_notes/note\\_50/Documents/note50.pdf](http://www.consrv.ca.gov/cgs/information/publications/cgs_notes/note_50/Documents/note50.pdf)
6. Case, William F., (no date) *Landslides—What they are, why they occur: Utah Geological Survey, Utah Department of Natural Resources, Public Information Series 74*. Online: <http://geology.utah.gov/online/pdf/pi-74.pdf>
7. Case, William F., 2003, *Debris-flow hazards: Utah Geological Survey, Public Information Series 70*. Online: <http://geology.utah.gov/online/pi-70/debrisflow.htm>
8. Case, William F., 2000, *Rock-fall hazards: Utah Geological Survey, Public Information Series 69*. Online: <http://geology.utah.gov/online/pdf/pi-69.pdf>
9. Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996, *Landslide types and processes*, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. *Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247*, National Research Council, National Academy Press, Washington. D.C, p 36—75.
10. Cruden, D.M., 1993, *The multilingual landslide glossary: Richmond, British Columbia, Canada, Bitech Publishers, for the UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1993*.
11. Chatwin, S.C., Howes, D.E., Schwab, J.W., and Swanston, D.N., 1994, *A guide for management of landslide-prone terrain in the Pacific Northwest, second edition: Ministry of Forests, 31 Bastion Square, Victoria, British Columbia V8W3E7, 220 p*. Online: <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/Lmh/Lmh18.htm>
12. Creath, W.B., 1996. *Homebuyers’ guide to geologic hazards—An AIPG issues and answers publication: Department of Natural Resources, Denver, Colorado Geological Survey, Miscellaneous Publication (MI) no. 58, 30 p*.
13. Fleming, Robert W., and Taylor, Fred A., 1980, *Estimating the costs of landslide damage in the United States: U.S. Geological Survey Circular 832, 21p*.

14. Gray, D.H., and Sotir, R.B., 1996, Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization—A practical guide for erosion control: New York, John Wiley, 378 p.
15. Haugerud, Ralph A., Harding, David J., Johnson, Samuel Y., Harless, Jerry L., Weaver, Craig S., and Brian L. Sherrod, 2003, High-resolution LiDAR topography of the Puget Lowland, Washington—A Bonanza for earth science: GSA Today, Geological Society of America, p. 4—10.
16. Highland, Lynn, 2004, Landslide types and processes: U.S. Geological Survey Fact Sheet FS—2004—3072. Online: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>
17. Jackson, Julia A., ed., 1997, Glossary of geology, fourth edition: American Geophysical Institute, Alexandria, Virginia, USA, 769 p.
18. Jibson, Randall W., Harp, Edwin L., and Michael, John A., 1998, A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps— An example from the Los Angeles, California, area: U.S. Geological Survey Open-File Report 98—113, 17 p. Online: <http://pubs.usgs.gov/of/1998/ofr-98-113/>
19. Jochim, Candice, Rogers, William P., Truby, John O., Wold, Jr., Robert L., Weber, George, and Brown, Sally P., 1988, Colorado landslide hazard mitigation plan: Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey, Denver, Colo., USA.
20. Los Angeles County Department of Public Works, Board of Supervisors, 1993, Homeowner’s guide for flood, debris, and erosion control: Alhambra, California, in English and Spanish. Online: <http://dpw.lacounty.gov/wmdlHomeowners/index.cfm>
21. McInnes, Robin, 2000, Managing ground instability in urban areas, a guide to best practice, Centre for the Coastal Environment, Isle of Wight Council: United Kingdom, Cross Publishing, Walpen Manor, Chale, Isle of Wight.
22. National Research Council, 1993, Vetiver grass—A thin green line against erosion: National Academy Press, Washington, D.C. Online: <http://www.vetiver.org>
23. Nichols, Donald R., and Catherine C. Campbell, eds., 1971, Environmental planning and geology: U.S. Department of Housing and Urban Development, U.S. Department of the Interior, U.S. Government Printing Office.
24. Norheim, Robert A., Queija, Vivian R., and Haugerud, Ralph A., 2002, Comparison of LiDAR and InSAR DEMs with dense ground control: Proceedings, Environmental Systems Research Institute 2002 User Conference. Online: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc02/pap0442/p0442.htm>
25. Nuhfer, Edward B., Proctor, Richard J., and Moser, Paul H., 1993. The citizen’s guide to geologic hazards: The American Institute of Professional Geologists, 134 p.
26. Obshansky, Robert B., 1996, Planning for hillside development: American Planning Association (APA), Planning Advisory Service Report n°. 466, 50 p.
27. Pebletiet, B.R., ed., 2000, Environmental atlas of the Beaufort coastlands, supplement to the Marine Science Atlas of the Beaufort Sea: Geological Survey of Canada, Natural Resources Canada. Online: [http://gsc.nrcan.gc.ca/beaufort/index\\_e.php](http://gsc.nrcan.gc.ca/beaufort/index_e.php)
28. Reid, Mark, and Ellis, William L., 1999, Real-time monitoring of active landslides: U.S. Geological Survey Fact Sheet FS—091—99. Online: <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-091-99/>
29. Rickenmann, Dieter, and Cheng-lung Chen, eds., 2003, Debris-flow hazards Mitigation—Mechanics, prediction, and assessment: Millpress, Rotterdam, The Netherlands.
30. Schuster, Robert L., and Highland, Lynn M., 2004, Impact of landslides and innovative landslide-mitigation measures on the natural environment: International Conference on Slope Engineering, Hong Kong, China, December 8-10, 2003, keynote address, Proceedings 29.
31. Schuster, R.L., 2004, Risk-reduction measures for landslide dams, *in* Security of natural and artificial rockslide dams: Extended Abstracts Volume, NATO Advanced research Workshop on Landslide Dams, Bishkek, Kyrgyzstan, June 8-13, p.170—176 [theme keynote paper].

32. Schuster, Robert L., and Highland, Lynn M., 2001, Socioeconomic effects of landslides in the western hemisphere: U.S. Geological Survey Open-File Report 2001-0276. Online: <http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0276/>
33. Schwab, J.C., Gori, P.L., and Jeer, S., eds., 2005, Landslide hazards and planning: American Planning Association Planning Advisory Service Report n°. 533/534.
34. Shelton, David C., and Prouty, Dick, 1979, Nature's building codes, geology and construction in Colorado: Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey Bulletin 48, 72 p.
35. Soeters R., and van Westen, C.J., 1996, Slope instability recognition, analysis, and zonation, in Turner, A.K., and Schuster, R.L. eds., Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board Special Report 247, National Research Council, Washington, D.C., p. 129-177.
36. Solomon, Barry J., 2001, Using geologic hazards information to reduce risks and Losses—A guide for local governments: Utah Geological Survey, Public Information Series 75. Online: <http://geology.utah.gov/online/pdf/pi-75.pdf>
37. Swanston, D., ed., 1985, Proceedings of a workshop on slope stability— Problems and solutions in forest management: USDA Forest Service General Technical Report PNW—180, Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station, Portland, Oregon, 122 p.
38. Swanston, D.N., 1983, Assessment of mass erosion risk from forest operations in steep terrain: International Association of Forestry Research Organizations Congress, Division 3, Forest Operations and Techniques, Munich, Germany, 1982, Proceedings.
39. Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L., 1996, Landslides— Investigation and mitigation: National Research Council, Transportation Research Board Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C., 673 p.
40. United States Agency for International Development, Bureau for Humanitarian Response, Office of Foreign Disaster Assistance, 1998, Field operations guide for disaster assessment and response: U.S. Government Printing Office. Online: [http://www.usaid.gov/our\\_work/humanitarian\\_assistance/disaster\\_assistance/resources/pdf/fog\\_v3.pdf](http://www.usaid.gov/our_work/humanitarian_assistance/disaster_assistance/resources/pdf/fog_v3.pdf)
41. U.S. Geological Survey, 2005, Monitoring ground deformation from space: U.S. Geological Survey Fact Sheet FS—2005—3025. Online: [http://volcanoes.usgs.gov/insar/public\\_files/InSAR\\_Fact\\_Sheet/2005-3025.pdf](http://volcanoes.usgs.gov/insar/public_files/InSAR_Fact_Sheet/2005-3025.pdf)
42. Utah Geological Survey, 2003, Home owner's guide to recognizing and reducing landslide damage on their property: Public Information Series no. 58. Online: <http://geology.utah.gov/online/pi-58/index.htm>
43. Varnes, D.J., 1978, Slope movement types and processes, in Schuster, R.L., and Krizek, R.J., eds., Landslides—Analysis and control: Transportation Research Board Special Report 176, National Research Council, Washington, D.C., p. 11-23.
44. Weber, G., Von Schulez, W., and Czerniak, R., 1983, Flood hazard management plan for the Sheridan watershed area: Sheridan, Wyoming, Geographic Applications and Research Group, Boulder, Colorado.
45. Wiczorek, Gerald F., 1996, Landslide triggering mechanisms, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L., eds., Landslides— Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report n°. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 76—90.
46. Wold, Robert L., and Jochim, Candace L., 1989, Landslide loss reduction—A guide for state and local government planning: Special Publication 33, Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey, Denver, Colo., 50 p.
47. Yoon, P.K., 1994. Important geological considerations in use of *Vetiver* grass hedgerows (VGHR) for slope protection and stabilization, in Vegetation and slopes— Stabilization, protection and ecology: Proceedings, International Conference Institution of Civil Engineers, University Museum, Oxford, September 29-30, 1994, Thomas Telford, London, p. 212-221.

# **Apêndice A**

## **Informações Básicas sobre Deslizamentos de Terra**



## Parte 1. Glossário dos Termos Técnicos

(Referências completas encontram-se ao final da listagem).

**Leque aluvial** – massa de aluvião esparramada, levemente inclinada, depositada por uma corrente, especialmente em uma região árida ou semi-árida, onde o fluxo sai de um desfiladeiro estreito em direção a uma planície ou vale. Visto de cima, tem a forma de um leque aberto, sendo o ápice na boca do vale. (Referência 3)

**Plano de estratificação / acamamento** – em rochas sedimentares ou estratificadas, é a divisão de planos que separa cada camada ou leitos sucessivos, da parte superior para a inferior. É comumente marcado por uma mudança visível na litologia ou cor. (Referência 3)

**Manto rochoso** – rocha sólida que serve de base para camadas de cascalho, areia, argila, e assim por diante; qualquer rocha sólida exposta à superfície da terra, ou coberta por material superficial, não consolidado. (Referência 3)

**Furo de sondagem** – furo circular perfurado na terra, muitas vezes a uma grande profundidade, como um poço potencial para fins exploratórios de petróleo, gás ou água. (Referência 3)

**Barragens reguladoras** – são pequenas barragens para armazenamento de sedimentos, construídas nos canais de barrancos íngremes, para estabilização do leito. Seu uso acontece mais comumente no controle do volume e da frequência do fluxo de resíduos canalizados. Barragens reguladoras são caras e, portanto, são normalmente erguidas em locais onde existam, na região inclinada, instalações importantes ou habitats naturais (como uma área de acampamento ou um leito de desova). (Referência 2)

**Coluvião** – termo geral aplicado a depósitos soltos e incoerentes, geralmente ao pé de encostas ou falésias, transportadas principalmente pela gravidade. (Referência 2)

**Bacia de sedimentos/detritos** – (às vezes chamada de *caixa*, em esgotos pluviais) uma grande bacia escavada para a qual um fluxo de detritos é direcionada ou se dirige e onde rapidamente tem sua energia dissipada e sua carga depositada. Cavas de minas de cascalho ou pedreiras abandonadas são muitas vezes utilizadas como bacias de detritos. (Referência 3)

**Deslizamento em delta frontal** – deltas frontais são regiões onde depósitos são mais ativos – deslizamentos subaquáticos ao longo das regiões costeiras e do delta, devidos à rápida sedimentação de argila fracamente consolidada, que possui baixa força e alta pressão intersticial.

**Modelo Digital de Elevação (MDE)** – modelo de elevação digital (MDE) é um arquivo digital composto de elevações do terreno em intervalos horizontais regularmente espaçados. (definição comercial – tecnologia nova).

**Modelo Digital do Terreno (MDT)** – termo utilizado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e outras organizações para descrever dados de elevação digital. (Referência 3)

**Abaixamento do nível da água** – em rios, lagos, poços ou aquíferos subterrâneos, devido à retirada de água. Pode gerar taludes de pouca sustentação ou com terra mal compactada que podem causar deslizamentos. (Referência 3)

### Medidor Eletrônico de Distância

**(MED)** – dispositivo que emite ondas de ultrassom que refletem em objetos sólidos e retornam para o medidor. O microprocessador do medidor converte o tempo decorrido para uma medida de distância. As ondas sonoras espalham-se em 1 metro de largura para cada 10 metros medidos. Existem vários tipos disponíveis.

**Epicentro** – ponto sobre a superfície da Terra diretamente acima do foco de um terremoto. (Referência 3)

**Solo expansivo** – tipo de solo que encolhe ou expande com o aumento ou redução do teor de umidade. As estruturas construídas sobre esse tipo de solo podem se deslocar, rachar e quebrar quando houver encolhimento ou expansão. Também conhecido como solos incháveis. (Referência 5)

**Extensômetro** – um instrumento para medir pequenas deformações, como nos testes de tensão do solo. (Referência 3)

**Fator de segurança** – é usado para fornecer uma margem de incerteza acima da capacidade teórica do solo durante a execução do projeto. A incerteza pode ser qualquer um de uma série de componentes do processo, incluindo cálculos e forças materiais, por exemplo. Geralmente, um fator de segurança inferior a 1, por exemplo, na engenharia de um talude indica falha potencial, enquanto um fator de segurança maior que 1, indica estabilidade. (Referência 6)

**Medição geodésica** – investigação de qualquer questão científica relacionada à forma e dimensão da Terra. (Referência 3)

**Fratura** – deformação quebradiça devido à perda momentânea de coesão ou perda de resistência à tensão diferencial com liberação da energia elástica armazenada. Tanto as diaclases quanto as paráclases são fraturas. (Referência 3)

**Sistema de Informação Geográfica (SIG)** – um programa de computador e base de dados associada que permitem que as informações cartográficas (incluindo a informação geológica) sejam consultadas pelas coordenadas geográficas das características. Geralmente os dados são organizados em “camadas”, representando diferentes entidades geográficas como a hidrologia, a cultura, topografia e assim por diante. Um sistema de informação geográfica, ou SIG, permite que informações de diferentes camadas sejam facilmente integradas e analisadas. (Referência 3)

**Risco geológico** – qualquer condição geológica, natural ou provocada pelo homem, que representa um perigo potencial para a vida e a propriedade. Exemplos: terremotos, deslizamentos, inundações, rachaduras do solo, erosão na praia, afundamento da superfície, poluição, saneamento básico, falhas em bases ou fundações. (Referência 3)

**Mapa geológico** – mapa no qual estão gravadas a distribuição, a natureza e as relações de idade das unidades rochosas, bem como a ocorrência de características estruturais. (Referência 3)

**Geomorfologia** – ciência que trata da configuração geral da superfície da Terra; mais especificamente, o estudo da classificação, descrição, natureza, origem e evolução das formas do solo e suas relações com as estruturas subjacentes, e da história das mudanças geológicas conforme registradas por essas características de superfície. (Referência 3)

**Estudos geofísicos** – a ciência da Terra, por métodos físicos quantitativos, no que diz respeito à sua estrutura, composição e desenvolvimento. Incluem as ciências da geologia dinâmica e da geografia física, fazendo uso da geodésia, geologia, sismologia, meteorologia, oceanografia, magnetismo, e outras ciências da Terra para recolher e interpretar dados da Terra. (Referência 3)

**Hidráulico** – referente a fluidos em movimento; transporte ou ação da água; operado ou movido por meio de água, como na mineração hidráulica. (Referência 3)

**Hidrologia** – ciência relacionada à água da Terra. (Referência 3)

**Inclinômetro** – instrumento usado para medir inclinação horizontal. (Referência 3)

**Represa por deslizamento** – barragem de terra criada quando um deslizamento de terra bloqueia um córrego ou rio. (Referência 3)

**“Lahar”** – deslizamento, fluxo de sedimentos ou de aluvião, de material piroclástico no flanco de um vulcão; depósito produzido por um fluxo de sedimentos. “Lahars” são descritos como úmidos, se forem misturados com águas provenientes de chuvas pesadas, escapando de um lago de cratera, ou produzidos pelo derretimento da neve. “Lahars” secas podem resultar de tremores de um cone ou do acúmulo de material que se torna instável em um solo íngreme. Se o material retém muito calor, é chamado “lahar” quente. (Referência 3)

**Liquefação** – transformação de solos saturados, pouco compactados, de granulação grossa de um estado sólido para líquido. Os grãos do solo temporariamente perdem o contato uns com os outros, e o peso das partículas é transferido para a água intersticial. (Referência 4)

### **Mapa de inventários de deslizamento**

– inventários identificam áreas que sofreram processos de deslizamento, incluindo os fluxos de sedimentos e áreas rachadas e preenchidas novamente. (Referência 4)

**Mapa de suscetibilidade ao deslizamento** – vai além do mapa de inventários e descreve as áreas que têm potencial para deslizamentos. Estas áreas são determinadas pela correlação de alguns dos principais fatores que contribuem para os deslizamentos, como encostas íngremes, unidades geológicas frágeis que perdem força quando saturadas, e rocha ou solo mal drenados, com localização de deslizamentos de terra no passado. (Referência 5)

**Mapas de ameaça de deslizamento** – mostram a extensão de áreas que ameaçam processos: onde os processos de deslizamento de terra ocorreram no passado, onde ocorrem agora e a probabilidade, em diversas áreas, de um deslizamento de terra ocorrer no futuro. (Referência 5)

**Mapas de risco de deslizamento** – mostram ameaças de deslizamentos e a probabilidade de que ocorram, expressos em taxas de recorrência estatística; mapas de risco podem mostrar as relações custo / benefício, potencial de perda e de outros efeitos sócio-econômico potenciais em uma área e (ou) comunidade.

**Litologia** – caráter físico de uma rocha, geralmente, determinado em nível microscópico, ou com o auxílio de uma lupa de baixa magnitude; estudo microscópico e descrição de rochas. (Referência 3)

**Loess** – depósito generalizado, homogêneo, geralmente não estratificado, poroso, quebradiço, pouco coeso, geralmente com muito calcário, de cobertura fina (geralmente inferior a 30 m de espessura), constituído predominantemente de silte, com grãos secundários cujos tamanhos variam entre a argila e a areia fina. (Referência 3)

**Mitigação** – atividades que reduzem ou eliminam a probabilidade de ocorrência de um desastre e (ou) atividades que dissipam ou diminuem os efeitos emergenciais dos desastres, quando realmente ocorrerem. (Referência 5)

**Deslizamento de lama (mudslide)** – termo impreciso, mas popular, cunhado na Califórnia, E.U.A., frequentemente utilizado pelo público em geral e pela mídia para descrever um vasto escopo de eventos, incluindo desde as cheias carregadas de sedimentos aos deslizamentos. Não é tecnicamente correto. Por favor, consulte “fluxo de lama”, na entrada seguinte. (Referência 5)

**Fluxo de lama (mudflow)** – termo geral para uma massa de relevo em movimento e processos caracterizados por um fluxo de massa contendo terra e grãos predominantemente finos que possuem um alto grau de fluidez durante o movimento. O teor de água pode chegar até 60 por cento. (Referência 3)

**Lençol freático empoleirado** – águas subterrâneas do aquífero separadas do corpo da base principal de água subterrânea por uma zona não saturada. (Referência 3)

**Piezômetro** – instrumento para medir a altura da pressão (pressão piezométrica) de canalizações, tanques ou solo – é um poço de diâmetro bem pequeno, utilizado para medir a carga hidráulica de água subterrânea em aquíferos. (Referência 3)

**Pressão de água intersticial** – medida de pressão produzida pela altura de água em um solo saturado e transferida para a base do solo através da água contida nos poros. Esta é quantificável no campo por meio da medição da água livre na superfície do solo ou por medição direta da pressão por meio de piezômetros. A pressão de água intersticial é um fator chave nas falhas de solo em encostas íngremes e opera principalmente através da redução do peso da componente de resistência ao cisalhamento do solo. (Referência 2)

**Água dos poros ou água intersticial** – água subsuperficial nos interstícios ou poros. (Referência 3)

**Argila rápida** – É a argila que perde quase toda a sua força de cisalhamento após ser perturbada; material que não mostra nenhum ganho significativo na força depois da remodelagem. (Referência 3)

**Geologia / cartografia de reconhecimento** – análise geral, exploratória ou levantamento das principais características de uma região, geralmente preliminar a um levantamento mais detalhado. Pode ser feito em campo ou no escritório, dependendo do grau de informação disponível. (Referência 2)

**Relevo** – diferença de altitude entre os pontos altos e baixos de uma superfície da terra. (Referência 3)

**Risco** – probabilidade de ocorrência ou grau esperado de perda, como resultado da exposição a um perigo. (Referência 4)

**Mecânica das rochas** – ciência teórica e aplicada do comportamento mecânico das rochas, que representa um “ramo da mecânica preocupado com a resposta de rochas aos campos de força de seu ambiente físico.” (Referência 3).

**Sifão** – pequeno corpo de água que ocupa uma depressão fechada ou “bolsa” formada onde uma falha atual ou recente ou um deslizamento de terra tenha impossibilitado a drenagem. (Referência 3)

**Infiltração** – drenagem subterrânea concentrada, indicada por fontes, sifões (bolsas d’água), lagoas ou áreas úmidas nas encostas abertas, e locais de escoamento ao longo de cortes de estrada. As localizações destas áreas de concentrado fluxo subsuperficial devem ser anotadas em mapas e perfis como locais potenciais de solo ativo e instável. (Referência 2)

**Falésia** – escarpa/penhasco formado pela ação das ondas, corroendo a parede costeira em direção à terra. (Referência 3)

**Cisalhamento** – deformação resultante de tensões que causam partes contíguas de um corpo a deslizarem um sobre o outro, em direção paralela ao seu plano de contato. (Referência 3)

**Lodo** – mistura altamente fluida de água e material finamente dividido, por exemplo, o carvão pulverizado e a água por movimento de tubulações ou de cimento e água usados em fundações. (Referência 3)

**Mecânica de solos** – aplicação dos princípios da mecânica e hidráulica para problemas de engenharia que lidam com o comportamento e a natureza dos solos, sedimentos e outros acúmulos não consolidados; o estudo das propriedades físicas e da utilização dos solos, especialmente em relação à engenharia de estradas e fundações. (Referência 3)

**Extensômetro** – sismógrafo projetado para detectar a deformação do terreno, medindo o deslocamento relativo entre dois pontos. (Referência 3)



**Tensão** – no sólido, força por unidade de área, atuando em qualquer superfície desta, expressa em quilos ou toneladas por polegada quadrada, ou dinas ou quilogramas por centímetro quadrado; por extensão, a pressão externa que cria a força interna. (Referência 3)

**“Sturzstroms”** (termo alemão para avalanches rochosas) – uma enorme massa de movimento rápido de sedimentos de rocha e poeira, decorrentes da queda de um precipício ou montanha, descendo encostas íngremes e em terrenos baixos, muitas vezes por vários quilômetros em velocidades de mais de 100 km/h. “Sturzstroms” são as mais raras e catastróficas de todas as formas de movimento de massa. (Referência 3)

**Deslizamento subaquático (submarino)** – condições e processos ou aspectos de depósitos existentes ou situados no interior ou abaixo da água. Termo geralmente utilizado para especificar um processo que ocorre tanto em terra (quando o deslizamento se estende sob a água) ou com início subaquático, por exemplo, em afundamentos ou deslizamentos gravitacionais. (Referência 3)

**Subsidência** – afundamento ou porção descendente da superfície da terra, sem restrição de taxa, magnitude ou área envolvida. A subsidência pode ser causada por processos naturais geológicos, como dissolução, compactação, ou retirada de lava fluida abaixo de uma crosta sólida ou por atividades humanas como a mineração de subsolos ou o bombeamento de óleo ou água subterrânea. (Referência 3)

**Geologia superficial** – de depósitos superficiais, incluindo solos; o termo é por vezes aplicado ao estudo de camadas de rochas sobre ou próximas à superfície da Terra. (Referência 3)

**Solos expansivos** – são solos ou camadas macias de rocha que aumentam de volume à medida que se

molham e encolhem a medida que se secam. São comumente conhecidos por bentonita, ou solos de montmorinollita. (Referência 1)

**Tensão de tração** – tensão normal que tende a separar o material em lados opostos do plano em que atua. (Referência 3)

**Intemperismo** – processo destrutivo pelo qual a terra e materiais de rochas expostos à atmosfera sofrem desintegração física e decomposição química, resultando em alterações na cor, textura, composição ou forma. Esses processos podem ser físicos, químicos ou biológicos. (Referência 4)

**Intemperismo, diferencial** – quando o desgaste de um lado a outro de uma rocha ou da superfície exposta ocorre em ritmos diferentes, principalmente devido a variações na composição e na resistência da rocha. Isso resulta em uma superfície irregular com saliência de material mais resistente. (Referência 4)

**Intemperismo, mecânico** – processos físicos pelos quais as rochas expostas à mudança do tempo desintegram-se mecanicamente em solo. Esses processos incluem a mudança de temperatura (expansão e retração), ciclo gelo-degelo, e a atividade animal de construção de tocas. (Referência 4)

**Zoneamento** – termo usado em geral, mesmo vagamente, para uma região de caráter mais ou menos latitudinal, diferenciada de regiões vizinhas por alguma característica distintiva; por exemplo, a zona tórrida da Terra, duas zonas temperadas e duas zonas frias. Para estudos de risco, as zonas são regiões geográficas ou denominações diferenciadas por uma variedade de diferentes critérios; por exemplo, zonas residenciais, zonas de baixo risco, zonas de alto risco. (Referência 3)

## Referências para o Glossário

1. Creath, W.B., 1996, Homebuyers’ guide to geologic hazards: An AIPG issues and answers publication: Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey, Miscellaneous Publication (MI) no. 58, 30 p.
2. Chatwin, S.C., Howes, D.E., Schwab, J.W., and Swanston, D.N., 1994, A guide for management of landslide-prone terrain in the Pacific Northwest, 2d edition: Research Branch, Ministry of Forests, Province of British Columbia, Victoria, British Columbia, Crown Publications.
3. Jackson, Julia A., ed., 1997, Glossary of geology, fourth edition: Prepared by the American Geological Institute, Alexandria, Virginia, USA, Doubleday.
4. Jochim, Candice L., Rogers, William P., Truby, John O., Wold, Robert L., Jr., Weber, George, and Brown, Sally P., 1988, Colorado landslide hazard mitigation plan: Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey, Bulletin 48.
5. Shelton, David C., and Prouty, Dick, 1979, Nature’s building codes, geology and construction in Colorado: Department of Natural Resources, Colorado Geological Survey Special Publication No. 48, 72 p.
6. Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L., 1996, Landslides— Investigation and mitigation: National Research Council, Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C., 673 p.

## Parte 2. Partes de Um Deslizamento - Descrição de Características / Glossário

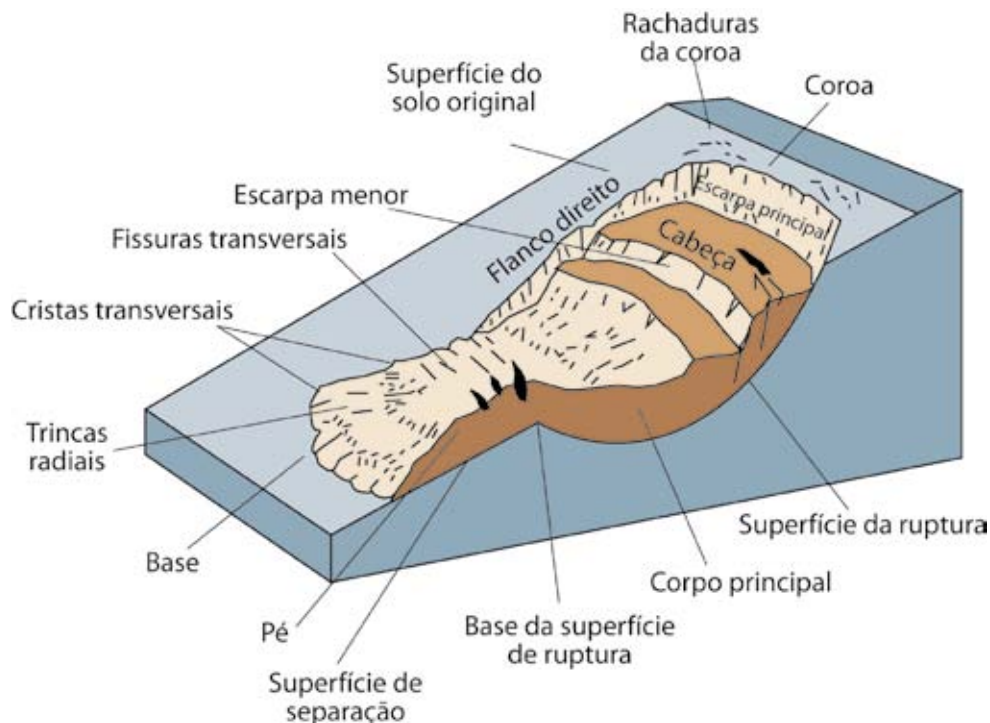


Figura A1. Partes de um deslizamento de terra. (Modificado de Varnes, 1978, referência 43).

**Acúmulo** - volume de material deslocado, que se encontra acima da superfície do terreno original.

**Coroa** - material praticamente deslocado ainda em vigor e ao lado das partes mais elevadas da escarpa principal

**Depleção** - volume delimitado pela escarpa principal, massa empobrecida e a superfície original do solo.

**Massa empobrecida, desestruturada** - volume de material deslocado que recobre a superfície de ruptura, mas subjaz à superfície do terreno original.

**Material deslocado** - que se encontra fora de sua posição original na encosta, devido ao movimento de deslizamento. Forma tanto a massa empobrecida quanto o acúmulo.

**Flanco** - material deslocado adjacente à lateral da superfície de ruptura. Direções de bússola são preferíveis para descrever os flancos, mas se *esquerda* e *direita* forem utilizadas, se referem aos flancos vistos a partir da coroa.

**Pé / Base** - parte do deslizamento de terra que tenha ultrapassado a ponta da superfície de ruptura e recobre a superfície do terreno original.

**Topo / cabeça** - parte superior do deslizamento de terra ao longo do contato entre o material deslocado e a escarpa principal.

**Corpo principal** - parte do material deslocado pelo deslizamento de terra que recobre a superfície de ruptura entre a escarpa principal e a ponta da superfície de ruptura.

**Escarpa principal** - superfície íngreme do solo estável, na borda superior do deslizamento, causada pelo movimento do material deslocado para longe da área estável. É a parte visível da superfície de ruptura.

**Escarpa menor** - superfície íngreme do material deslocado pelo deslizamento de terra, produzida por movimento diferencial dentro da parte deslocada.

**Superfície original do terreno** - superfície do talude que existia antes da ocorrência do deslizamento.

**Superfície de separação** - parte da superfície do terreno original recoberta pela base do deslizamento.

**Superfície de ruptura** - superfície que forma (ou que formou) o limite inferior do material deslocado, abaixo da superfície do terreno original.

**Ponta** - a ponta da base mais distante do topo do deslizamento de terra.

**Pé / Base** - parte menor, geralmente mais curvada na margem do material deslocado por um deslizamento de terra; é o ponto mais distante da escarpa principal.

**Topo** - ponto mais alto de contato entre o material deslocado e a escarpa principal.

**Topo da superfície de ruptura** - interseção (geralmente enterrada) entre a parte inferior da superfície de ruptura de um deslizamento de terra e a superfície do terreno original.

**Zona de acúmulo** - área do deslizamento na qual o material deslocado fica acima da superfície do terreno original.

**Zona de depleção** - área do deslizamento na qual o material deslocado fica abaixo da superfície do solo original.

### Fontes de informação sobre a nomenclatura:

1. CRUDEN, D.M., 1993, The multilingual landslide glossary: Richmond, British Columbia, Bitech Publishers, for the IUGS Working Party on World Landslide Inventory in 1993.
2. VARNES, D.J., 1978, Slope movement types and processes, in Schuster, R.L., and Krizek, R. J. eds., Landslides-Analysis and control: Transportation Research Board Special Report 176, National Research Council, Washington, D.C., p. 11-23.

## Parte 3. Causas de Deslizamentos e Mecanismos Desencadeadores

### Causas Físicas - Desencadeadoras

- Precipitação intensa
- Degelo rápido
- Precipitação intensa e prolongada
- Escoamento ou enchimento rápido (de inundações e marés)
- Terremoto
- Erupção vulcânica
- Descongelamento
- Intemperismo gelo/degelo
- Intemperismo redução/inchaço
- Inundação

*Para leituras posteriores:  
Referências 9, 3 e 45*

### Causas Naturais

#### Causas Geológicas

- Materiais frágeis, tais como algumas encostas vulcânicas ou sedimentos marinhos não consolidados.
- Materiais sensíveis
- Materiais intemperizados
- Materiais cisalhados
- Materiais em diáclastos ou fissurados
- Descontinuidade de massa negativamente orientada (estratificação, xistossidade, etc.).
- Descontinuidade estrutural orientada em contraste (falha, inconformidade, contato etc.).
- Contraste de permeabilidade
- Contraste de rigidez (material denso e rígido, sobre material plástico).

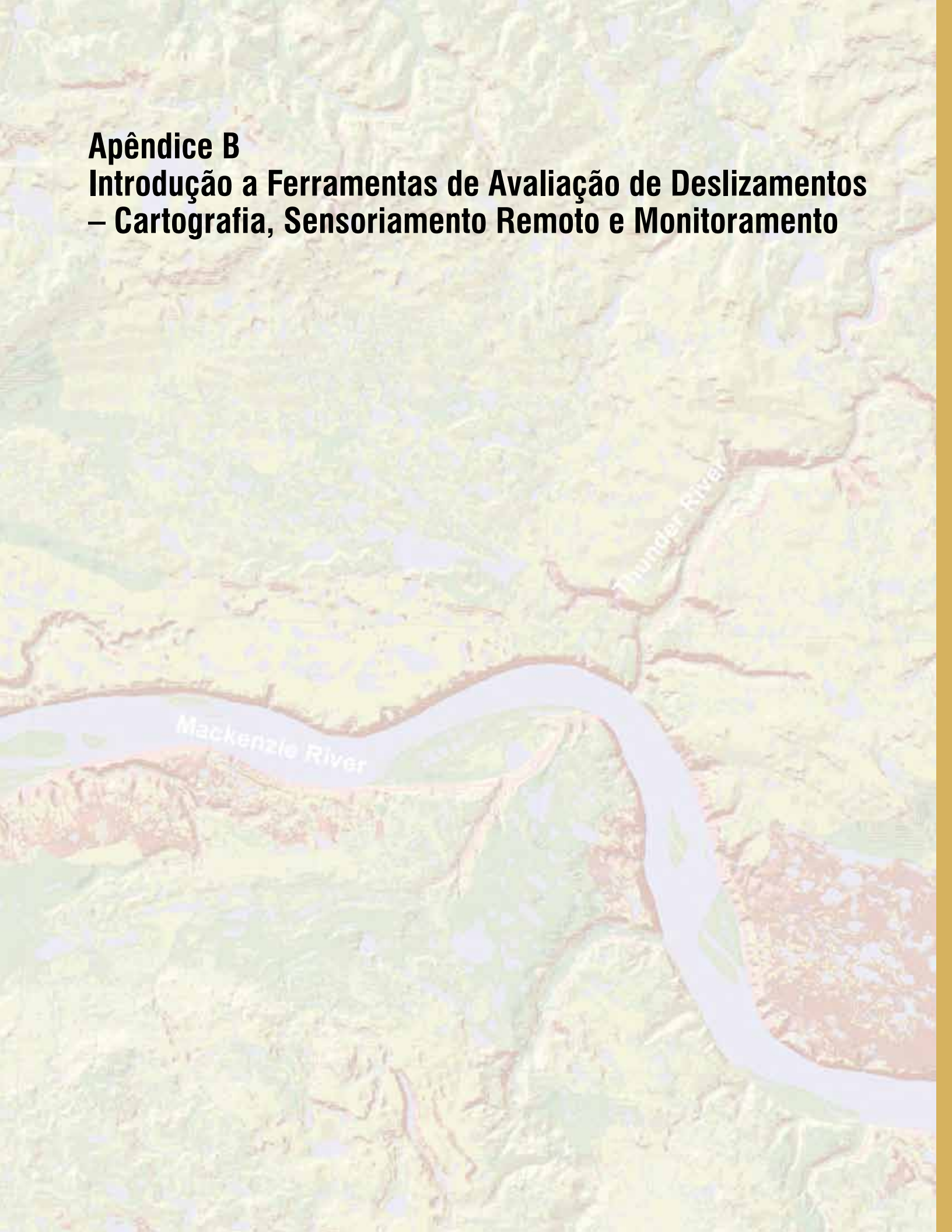
#### Causas Morfológicas

- Levantamento tectônico ou vulcânico
- Ressalto glacial
- Explosão de degelo glacial
- Erosão fluvial na base da inclinação
- Erosão causada por ondas na base da encosta
- Erosão glacial na base da encosta
- Erosão das margens laterais
- Erosão subterrânea (dissolução, canalização) :
- Deposição da carga no talude ou na sua crista.
- Remoção de vegetação (por incêndios florestais, seca).

### Causas Humanas

- Escavação do talude ou de sua base
- Uso de aterros instáveis para construções
- Carregamento sobre o declive ou sua crista, tais como aterros no topo de uma encosta.
- Escoamento e enchimento (de reservatórios)
- Desmatamento, corte de árvores / extração de madeira e (ou) desmatamento para cultivo; estradas instáveis de acesso a florestas.
- Irrigação de gramado
- Retenção de resíduos de mineração / minas
- Vibração artificial como cravação de estacas, explosões, ou outras vibrações fortes no solo.
- Vazamento de água de infraestruturas, tais como tubulações de água ou esgoto.
- Desvios (planejados ou não) de um rio, córrego ou corrente litorânea através da construção de pilares, diques, barragens, etc.

**Apêndice B**  
**Introdução a Ferramentas de Avaliação de Deslizamentos**  
**– Cartografia, Sensoriamento Remoto e Monitoramento**



## Parte 1. Cartografia

Os mapas são ferramentas úteis e convenientes para a apresentação de informações sobre riscos de deslizamentos. Eles podem apresentar vários tipos e combinações de informações em diferentes níveis de detalhe. Mapas de risco usados em conjunto com mapas de uso da terra são valiosos instrumentos de planejamento. Geralmente, há uma abordagem em três etapas para cartografia de risco de deslizamento. A primeira fase é a regional, ou cartografia de reconhecimento, que sintetiza os dados disponíveis e identifica áreas problemáticas em geral. Nesta escala regional (às vezes chamada de “pequena escala”), a cartografia é normalmente realizada por uma Pesquisa Geológica Municipal, Estadual ou Federal. A próxima etapa é a cartografia em nível comunitário, um programa mais detalhado de cartografia da superfície e do subsolo, para áreas problemáticas complexas. Por fim, são preparados mapas detalhados em grande escala para localizações específicas. Se os recursos são limitados, pode ser mais prudente ignorar a cartografia regional e se concentrar em algumas áreas preocupantes e conhecidas. Discutiremos três tipos de cartografia geral; (1) Regional (2), em nível comunitário, e (3) para local específico.

### Cartografia Regional

A cartografia regional de reconhecimento fornece dados básicos para o planejamento regional por meio de informações de base para a realização de estudos comunitários mais detalhados em níveis e locais específicos, para definição de prioridades para uma futura cartografia.

Tais mapas são geralmente simples inventários ou mapas de susceptibilidade, direcionados, principalmente, para a identificação e delimitação de áreas regionais com problemas de deslizamentos e as condições em que eles ocorrem. Eles se concentram nessas unidades geológicas ou em ambientes nos quais movimentos adicionais são mais prováveis. A extensão geográfica da cartografia regional pode variar de municipal ou estadual a nacional, delineando um país inteiro. Esta atividade depende muito da fotogeologia (a interpretação geológica de fotografia aérea), do mapeamento para reconhecimento de campo, bem como do acervo de informações e síntese de todos os dados geológicos pertinentes disponíveis. As escalas de mapa nesse nível variam, geralmente, de 1:10.000 a 1:4.000.000 ou mesmo escalas menores.

## **Cartografia em nível comunitário**

Esse tipo de mapeamento identifica o potencial tri-dimensional de deslizamento e considera as suas causas. Também são feitas, nesta fase, a orientação para o uso adequado do solo, seu zoneamento e realização de construções, bem como recomendações para futuras investigações em local específico. As investigações devem incluir trabalhos exploratórios do subsolo, a fim de produzir um mapa com seções transversais. As escalas, neste nível, normalmente variam de 1:1.000 a 1: 10.000.

## **Cartografia de localização específica**

Esse tipo de cartografia preocupa-se com a identificação, análise e solução de problemas reais, específicos do local, muitas vezes do tamanho de um lote residencial. Geralmente é realizada por consultores privados, para proprietários que propõem desenvolvimento local e envolve, normalmente, um programa detalhado de perfuração e estaqueamento, amostragem e análise laboratorial a fim de se obterem as informações necessárias para planejamentos e construções. As escalas de mapa variam, mas geralmente são de 1:600 ou 25 mm (1 polegada) igual a 16 m (50 pés).

## **Três Critérios Importantes para Mapas de Deslizamentos**

Os três tipos de mapas de deslizamento mais úteis para os planejadores e o público em geral são (1) os inventários de deslizamento de terra, (2) os mapas de susceptibilidade ao deslizamento de terra, e (3) os mapas de risco de deslizamento de terra.

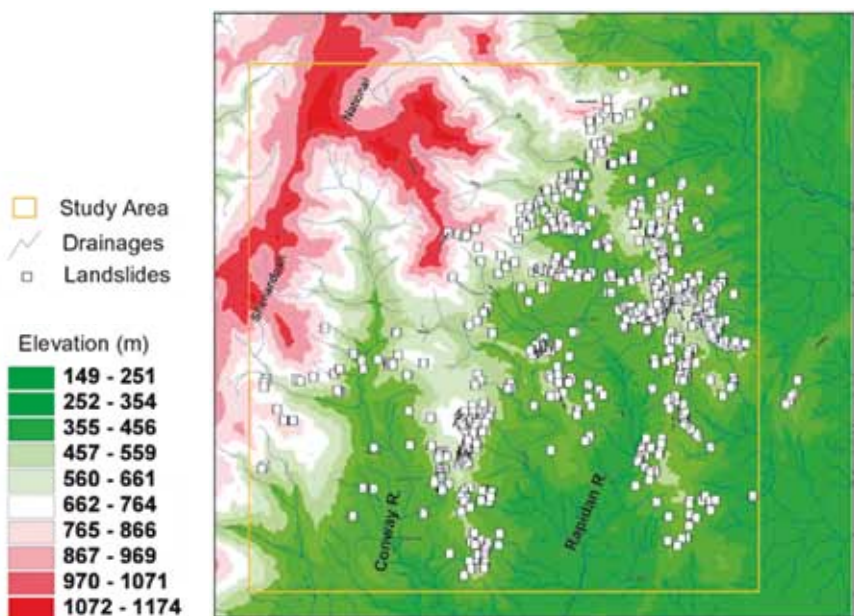
## Inventários de deslizamento

Os inventários indicam as áreas identificadas como tendo problemas por processos de deslizamento (fig. B1). O nível de detalhe desses mapas varia entre inventários de reconhecimento simples, que apenas delineiam grandes áreas onde os deslizamentos parecem ter ocorrido, a inventários complexos, que retratam e classificam cada um dos deslizamentos e mostram as escarpas, as zonas de empobrecimento do solo e de acúmulo, os deslizamentos ativos e inativos, a idade geológica, a taxa de movimento, e (ou) outros dados relevantes sobre a profundidade e natureza dos materiais envolvidos no deslizamento.

Inventários simples dão uma visão geral da extensão de área da ocorrência de deslizamentos e identificam áreas onde estudos mais detalhados devem ser conduzidos. Inventários detalhados fornecem uma melhor compreensão dos diferentes processos de deslizamento em uma área e podem ser usados para regulamentar ou impedir o desenvolvimento em áreas sujeitas a deslizamento e para ajudar na concepção de medidas corretivas. Eles também fornecem uma boa base para a elaboração de mapas derivados, tais como aqueles que indicam estabilidade de taludes, para classificação do perigo de deslizamento e para a identificação de uso do solo. Uma maneira é utilizar a fotografia aérea com verificação de campo seletivo, para detectar áreas de deslizamento e, em seguida, apresentar as informações em forma de mapa, utilizando um formato codificado. Os mapas mostram uma ou todas as seguintes características: estado de atividade, certeza da identificação, tipos dominantes de movimento dos taludes, espessura estimada do material no deslizamento, tipo de material e as datas ou períodos de atividade.

Nos Estados Unidos, os mapas regionais são mais frequentemente preparados em uma escala de 1:24.000 (1:50.000 no Canadá) porque os mapas topográficos de base, de alta qualidade, da U.S. Geological Survey, estão amplamente disponíveis nessa escala e as fotografias aéreas têm, normalmente, dimensões comparáveis. Outras escalas comumente utilizadas nos Estados Unidos, por exemplo, incluem 1:50.000 (série County), 1:100.000 (série 30 x 60 minutos) e 1:250.000 (série 1 x 2 graus).

**Figura B1.** Exemplo de um mapa de inventário de deslizamento, mostrando os locais de deslizamentos anteriores e incluindo informações topográficas que consistem de elevação (medida em metros) e cursos de drenagem (mapa da U.S. Geological Survey).

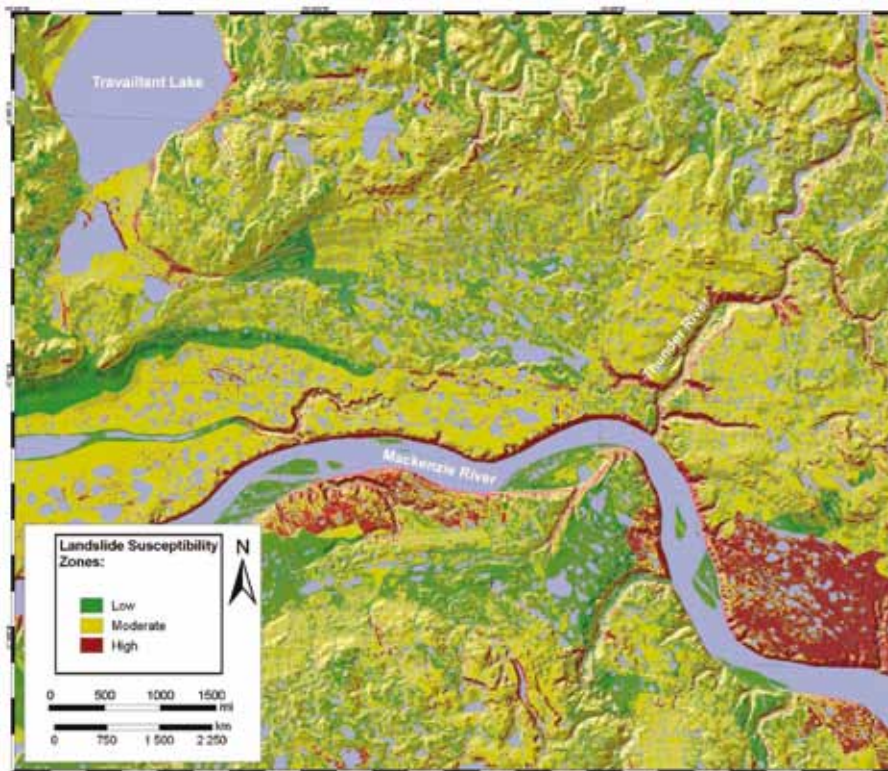




## Mapas de Susceptibilidade ao Deslizamento

Um mapa de susceptibilidade ao deslizamento vai além de um mapa de inventário e descreve as áreas que têm o potencial para deslizamentos (fig. B2). Estas áreas são determinadas por correlação de alguns dos principais fatores que contribuem para os deslizamentos (como encostas íngremes, unidades geológicas frágeis, que perdem a força quando saturadas ou perturbadas, e rocha ou solo mal drenados) com a distribuição de deslizamentos de terra no passado. Esses mapas indicam apenas a relativa estabilidade dos taludes; eles não fazem previsões absolutas.

Os mapas de susceptibilidade ao deslizamento podem ser considerados derivados de mapas de inventário, porque um inventário é essencial para a preparação de um mapa de susceptibilidade. Por exemplo, a sobreposição de um mapa geológico a um mapa de inventário, que mostre deslizamentos existentes, pode identificar unidades geológicas específicas propensas ao deslizamento. Esta informação pode, então, ser extrapolada para prever outras áreas potenciais de deslizamento. Mapas mais complexos podem incluir informações adicionais, tais como ângulo de inclinação e drenagem.

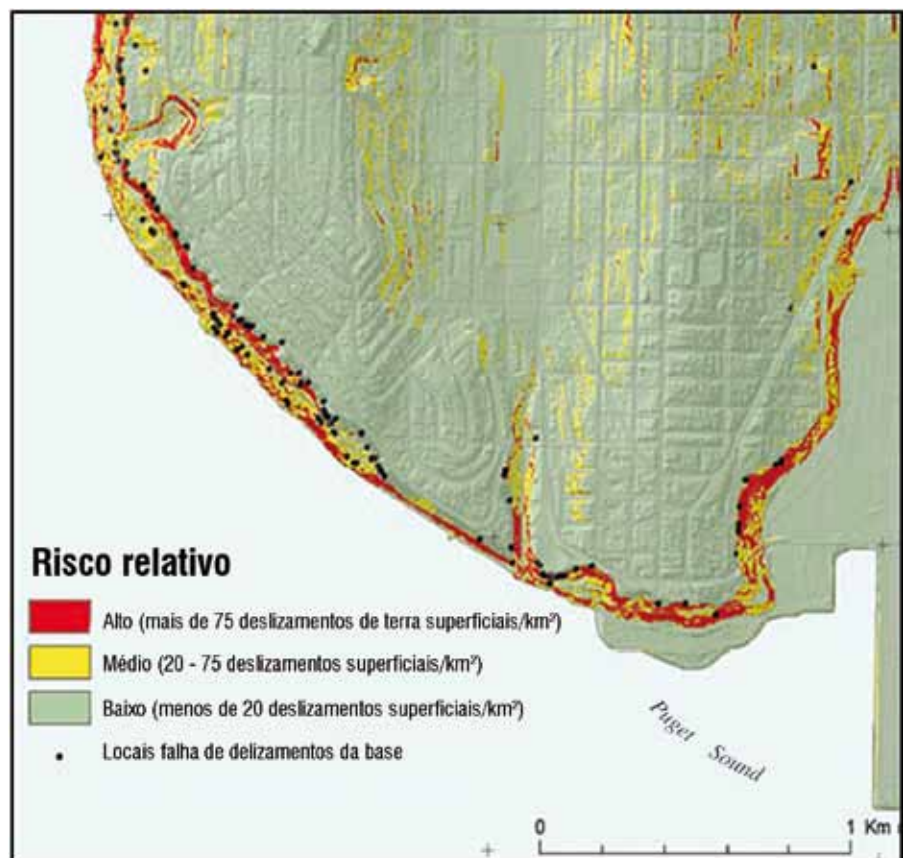


**Figura B2.** Um exemplo de mapa de susceptibilidade ao deslizamento. Este mapa mostra uma área no Canadá, o Vale do Rio Mackenzie, nos Territórios do Noroeste. Gráfico por Réjean Couture, Canada Geological Survey.

## Mapas de Risco de Deslizamento

Mapas de risco mostram a extensão de área de processos ameaçadores (fig. B3): onde os processos de deslizamento tenham ocorrido no passado, as ocorrências recentes e, mais importante, a probabilidade em diversas áreas de que um deslizamento de terra irá ocorrer no futuro. Para uma determinada área, mapas de risco contêm informações detalhadas sobre os tipos de deslizamentos, extensão da inclinação sujeita ao fracasso, e a provável extensão máxima do movimento do solo. Estes mapas podem ser usados para prever o grau relativo de perigo em uma área de deslizamento. Áreas podem ser classificadas em uma hierarquia, tal como de áreas de risco baixo, moderado e alto.

*Para referências de cartografia e outras leituras:  
4, 12, 18, 19, 21, 25, 29, 33, 34, 35,  
41 e 46.*



**Figura B3.** Parte do mapa de risco de deslizamento superficial que mostra parcialmente a área de Magnólia, da cidade de Seattle, Washington, EUA.

## Parte 2. Sensoriamento Remoto e Outras Ferramentas que Mostram Características de Atividade de Deslizamento

Mapas e outras formas de informação são, por vezes, sobrepostos uns sobre os outros por meio de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) para que os diferentes tipos de informação possam ser vistas de uma só vez. Na ausência de um sistema SIG computadorizado, transparências de cada mapa podem ser feitas e, então, sobrepostas em conjunto. É importante que os mapas e os dados estejam na mesma escala. A seguinte lista descreve vários tipos de informações que podem ser úteis na construção de camadas para uma análise do potencial de deslizamento pelo SIG.

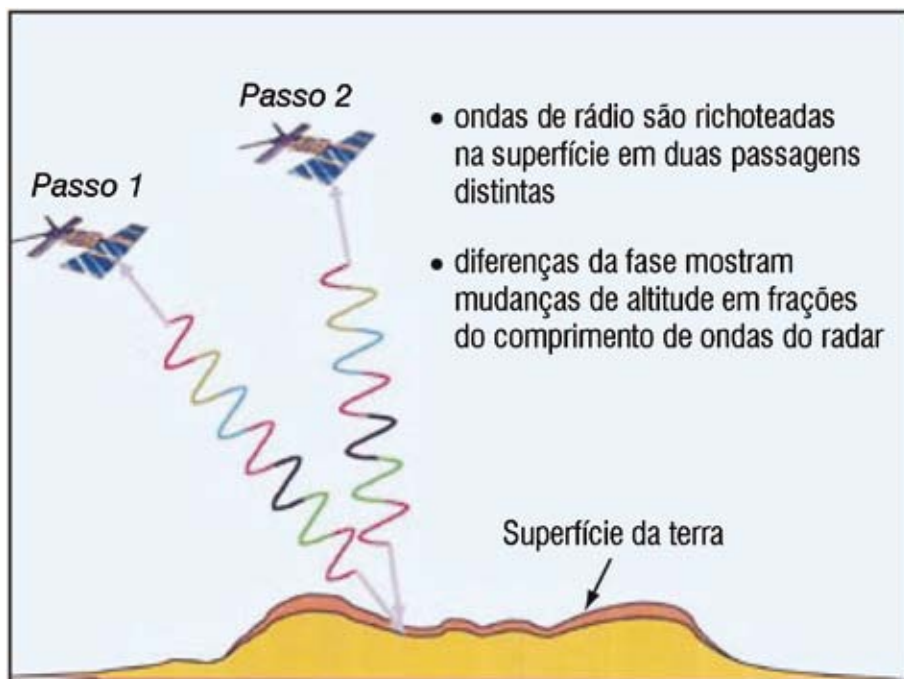
- **Mapa Topográfico:** Indica declividade, a configuração do terreno e drenagem padrão.
- **Mapa do Terreno:** Identifica o material, a profundidade, processos geológicos, configuração do terreno, drenagem superficial e subterrânea, declividade (também chamado de geologia superficial ou mapas de Geologia do Quaternário).
- **Mapa de Alicerce:** Identifica o tipo de alicerce rochoso, estrutura de superfície e subsuperfície, cobertura superficial (sobrecarga), e idade da rocha sobre uma base de mapa topográfico.
- **Mapa de Engenharia de Solos:** Identifica o tipo de material superficial, drenagem, características limitadas de engenharia, características dos solos e cobertura vegetal.
- **Mapa de Cobertura Florestal:** Identifica vegetação superficial, características topográficas, padrão de drenagem da superfície e, em alguns casos, alguma característica de drenagem do solo.
- **Estudos de pesquisa:** Podem fornecer informações sobre todas as opções acima, mais os dados quantitativos sobre fatores de controle e, possivelmente, avaliação de risco da estabilidade local.
- **Sensoriamento Remoto de Fotografia Aérea:** (Exemplos mostrados nas Figs. B4 a B7). Podem ser feitas identificações de cobertura vegetal, topografia, padrão de drenagem, características de drenagem, geologia do substrato rochoso, geologia superficial, tipo de deslizamento e sua relação com outros fatores. Estudo cuidadoso de uma determinada área do terreno, com a ajuda de pares estereoscópicos de fotografias aéreas oblíquas e verticais, pode fornecer informações importantes sobre o tipo e frequência de deslizamento e os efeitos das práticas de gestão. Uma revisão de fotografias aéreas da área, recentes e passadas, deve ser realizada sempre que possível, pois deslizamentos mais antigos podem não ser evidentes nas fotografias mais recentes. Características perceptíveis nas fotografias aéreas podem ajudar os usuários a identificar o tipo de deslizamento de terra e desenvolver uma avaliação adequada

das características de sobrecarga. Estas, por sua vez, fornecem um meio para estimar-se o risco de deslizamento de terra em um local.

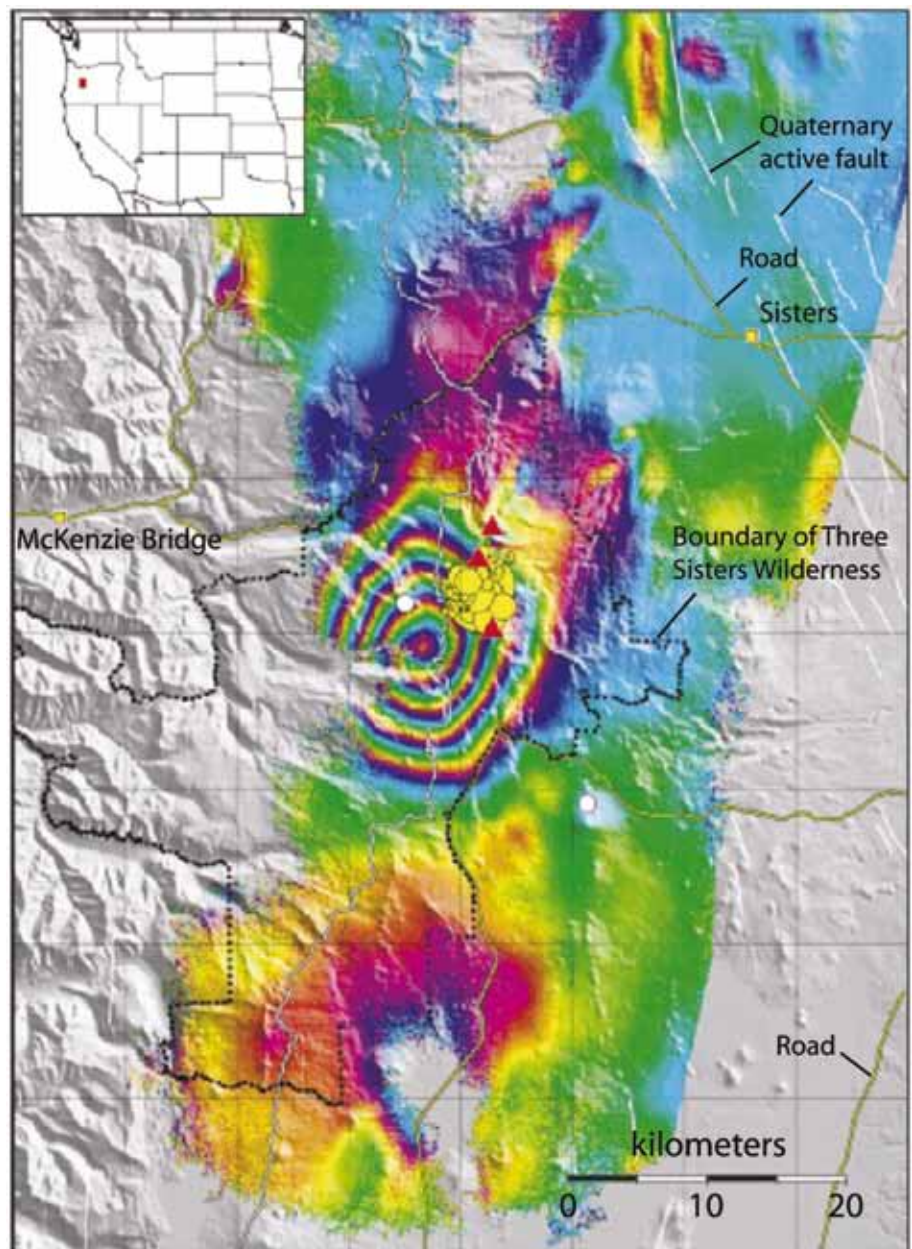
- **Imagem InSAR:** InSAR é um acrônimo para Radar Interferométrico de Abertura Sintética (Interferometric Synthetic Aperture Radar). Ambos o InSAR e o LiDAR (segue descrição) utilizam sensores ativos que emitem um pulso de energia (a partir de um satélite) e gravam, no sensor, seu eco a partir do solo. A maioria dos equipamentos InSAR é capaz de atravessar nevoeiro e chuva e pode ser utilizada em áreas de difícil acesso. Pelo eco de sinais do satélite para o radar, a partir do solo, mapas de modelo digital de elevação (MDE) podem ser produzidos, o que irá mostrar o terreno. Duas imagens do mesmo local são tomadas em momentos diferentes, em seguida, fundidas, formando um mapa chamado de interferograma. A fusão das duas imagens mostra o deslocamento do solo (se houver) o que indicaria qualquer movimento ocorrido entre o momento no qual as duas imagens foram tiradas. Desta forma, é possível determinar se uma colina, por exemplo, se moveu. Um radar comum de um satélite em órbita típica ao redor da Terra tem uma resolução muito pobre do solo, de cerca de 3 a 4 milhas, devido ao tamanho limitado da antena do satélite. Um Radar de Abertura Sintética (SAR) aproveita o movimento da nave espacial ao longo de sua trajetória orbital para matematicamente reconstruir (sintetizar) uma antena de maior operacionalidade e de alto rendimento espacial, com capacidade de resolução de imagem na ordem de centenas de metros.



**Figura B4.** Um exemplo de uma fotografia aérea do deslizamento La Conchita, na Califórnia, EUA, tirada em 2005. A linha azul delinea um deslizamento mais antigo e a amarela, um deslizamento mais recente. (Foto cedida por AirPhoto USA e Condado de Ventura, Califórnia, e Randy Jibson, U.S. Geological Survey).



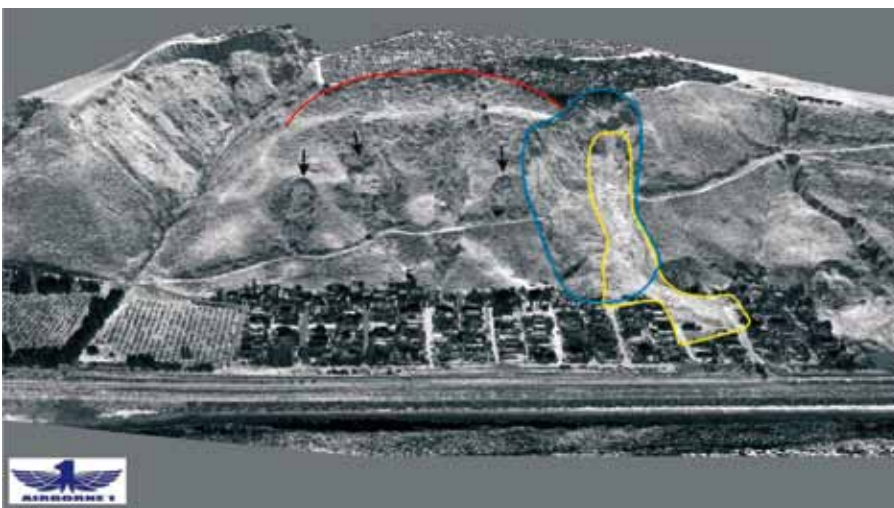
**Figura B5.** Modelo esquemático que mostra satélite passando sobre uma área da superfície da Terra (gráfico modificado a partir da Referência 41)



**Figura B6.** Interferograma do processo de imagem InSAR mostrando a área de elevação (1997-2001) nos vulcões Three Sisters (triângulos vermelhos) na Cascade Range, no Oregon central, USA (círculos mostram locais de terremotos). (Imagem modificada a partir da Referência 41)

- Imagem LiDAR:** LiDAR é um acrônimo para Light Detection and Ranging (Detecção e Mensuramento por Laser), também conhecido como ALSM ou Airborne Laser Swath Mapping. Usando um feixe de laser estreito para sondagem através de densa cobertura do solo, tais como árvores, LiDAR pode produzir mapas precisos do terreno, mesmo quando a cobertura florestal fica no caminho da fotografia tradicional. A técnica produz um mapa muito preciso do modelo digital de elevação (MDE) (fig. B7). MDEs precisos, apenas do solo, podem ser produzidos quando as imagens são adquiridas durante a época de outono em áreas cobertas por florestas decíduas (que perderam suas folhagens). Os elementos essenciais de um sistema de mapeamento LiDAR são um telêmetro de digitalização a laser montado em um avião, um Sistema de Posicionamento Global (GPS) diferencial para localizar o avião, e uma unidade de medida interna (UMI) para medir a orientação de aeronaves. LiDAR é uma ferramenta útil de mapeamento topográfico, por três razões. A primeira é a precisão, a segunda é a produtividade; as medições são feitas em taxas de 10.000 a 80.000 pulsos laser por segundo. Em terceiro lugar, LiDAR é monoscópico e fornece sua própria iluminação. Estas características superam as maiores deficiências da fotogrametria em terrenos florestais. Os mapas produzidos pelo LiDAR são muito claros e precisos e, em muitos casos, revelam evidências de deslizamentos passados, praticamente invisíveis por outros meios devido à cobertura vegetal fechada. LiDAR é caro e altamente técnico e é utilizado principalmente por agências governamentais, universidades e algumas entidades privadas. Um inconveniente é que muitos dos sistemas LiDAR usam um laser próximo ao infravermelho, que não penetra a neblina ou a chuva.

*Para Sensoriamento Remoto,  
outros mapas de referência e outras  
leituras:  
4, 12, 14, 15, 18, 19, 21, 24, 35, 39,  
e 41.*



**Figura B7.** Imagem LiDAR oblíqua do deslizamento de terra La Conchita, Califórnia, EUA, tirada em 2005. São mostrados os esboços dos deslizamentos de 1995 (azul) e 2005 (amarelo); as setas mostram exemplos de outros deslizamentos na área; a linha vermelha contorna a escarpa principal de um deslizamento antigo que envolveu todo o barranco. (Foto cedida por Airborne 1, El Segundo, Califórnia, USA, e Randy Jibson, U.S. Geological Survey.)

### Parte 3. Monitoramento de Deslizamentos em Tempo Real e Instrumentação para Deslizamentos

A detecção imediata da atividade de deslizamento fornecida por sistemas em tempo real pode ser crucial para salvar vidas humanas e proteger a propriedade. Observações de campo tradicionais, mesmo quando realizadas regularmente, não são capazes de detectar alterações no momento em que deslizamentos ocorrem. Além disso, deslizamentos ativos podem ser perigosos para trabalho em campo e, muitas vezes, ocorrem durante grandes tempestades quando a visibilidade é ruim. O fornecimento contínuo de dados pelo monitoramento em tempo real remoto leva a uma melhor compreensão do comportamento dinâmico dos deslizamentos que, por sua vez, permite aos engenheiros criar modelos mais eficazes para prevenir ou impedir os deslizamentos. O monitoramento de deslizamentos pode ser caro, e a maioria dos sistemas de vigilância exige a instalação por especialistas. A vantagem é que os sistemas que detectam movimento de deslizamento podem ser coordenados com os sistemas de alerta.

*Para mais informações:  
Referências 4, 21, 25, 28, 35, 38, 39  
e 46*



**Figura B8.** Medição de movimento de deslizamento utilizando um extensômetro, instrumento que pode detectar o movimento da superfície do solo entre o solo estável e solo em deslizamento. (Fotografia por Richard LaHusen, U.S. Geological Survey.)



**Figura B9.** Teste de um sistema de radiotelemetria movido a energia solar para a transmissão remota em tempo real de dados do deslizamento. (Fotografia por Mark Reid, U.S. Geological Survey.)



**Figura B10.** Exemplo de uma rede para medição e transmissão em tempo real de dados do deslizamento. (Modelo esquemático da U.S. Geological Survey.)



# Apêndice C

## Introdução à Estabilização e Atenuação de Deslizamentos

Nota: Muito do material seguinte sobre métodos de estabilização de declives foi reproduzido diretamente do “A Guide for Management of Landslide-Prone Terrain in the Pacific Northwest”, publicado pelo setor de investigação (Research Branch.) do Ministério de Florestas, Columbia Britânica, Canadá. No entanto, este volume contém uma visão muito mais abrangente de atenuação (ou mitigação) e é muito recomendado pelos autores para aqueles que desejam obter informações mais detalhadas sobre as medidas de mitigação. Por favor, veja referência 11, Chatwin and others, para publicação completa da citação.

## Parte 1. Estabilização / Mitigação de Encostas de Terra

Algumas das técnicas de estabilização que estão atualmente disponíveis na América do Norte são ilustradas nesta discussão. Destacamos métodos simples que podem ser utilizados com segurança na ausência de análise detalhada do alicerce ou do solo rochoso, ou em situações de baixo risco. Alguns métodos de estabilização são muito caros e exigem um tempo significativo para serem implementados. Esta é uma visão geral dos métodos de estabilização; muitos outros métodos estão em uso ao redor do mundo. Aconselhamento profissional é essencial antes, durante e depois da implementação (quando possível), assim como maior consulta à literatura.

A estabilidade de qualquer talude será melhorada se determinadas ações forem tomadas. Para uma boa eficácia, deve-se, primeiro, identificar o processo de controle mais importante que afeta a estabilidade da encosta; em segundo lugar, é necessário determinar a técnica apropriada que precisa ser suficientemente aplicada para reduzir a influência desse processo. O procedimento atenuante deve ser desenvolvido para ajustar-se às condições específicas do talude em análise. Por exemplo, a instalação de tubos de drenagem em uma inclinação que tem pouca água subterrânea é inútil. Os esforços de estabilização de encostas devem ter lugar durante a construção ou quando problemas de estabilidade surgirem de forma inesperada após a construção. A maioria das técnicas de engenharia para declives exige uma análise detalhada das propriedades do solo e um bom conhecimento do solo e da mecânica das rochas subjacentes.

***Em qualquer situação de alto risco, onde um deslizamento pode por em perigo vidas ou prejudicar a propriedade, um profissional especialista em deslizamento, como engenheiro geotécnico ou civil, deve ser sempre consultado antes que qualquer trabalho de estabilização seja realizado.***

As seções seguintes fornecem uma introdução geral às técnicas que podem ser usadas para aumentar a estabilidade de taludes.

### Escavação

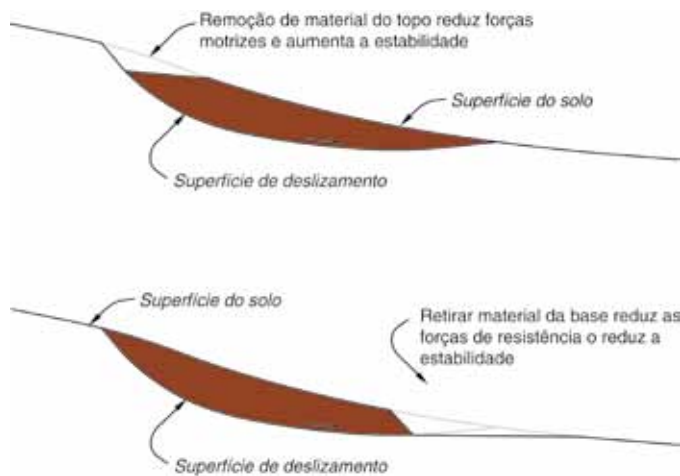
As Figuras C1, C2 e C3 fornecem uma visão transversal, de forma esquemática, dos princípios gerais de escavação de declive, mostrando os efeitos e consequências no local onde ocorre uma escavação da encosta. Estes gráficos são de natureza geral e um engenheiro geotécnico ou outros profissionais especializados devem ser sempre consultados, se possível.

### Remoção de terra do topo de um deslizamento

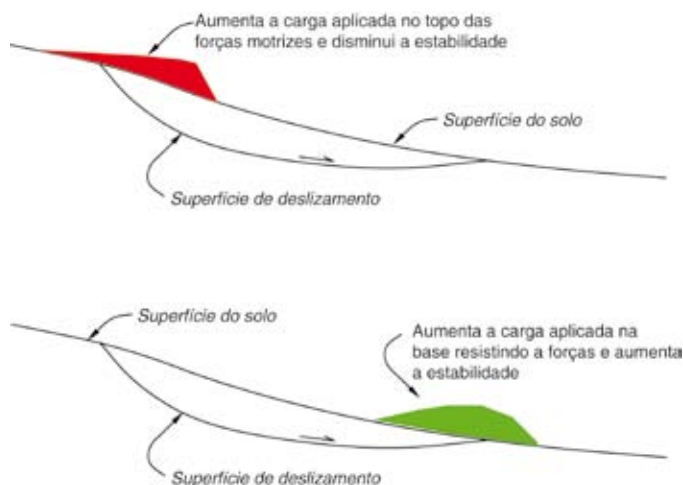
Este método reduz a força motriz e, conseqüentemente, melhora a estabilidade. Este método é apropriado apenas para cortes em solos profundos, onde podem ocorrer escorregamentos rotacionais (ver “Tipos Básicos de Deslizamentos” na Seção I). É ineficaz em falhas translacionais nos declives longos, uniformes ou planos, ou nos deslizamentos com qualquer tipo de fluxo.

## Redução da altura do talude

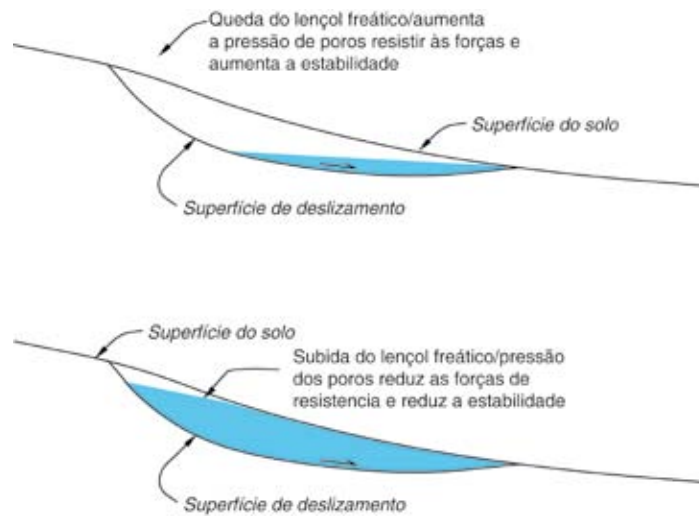
Reduzir a altura de corte de um barranco reduz a força motriz no plano de ruptura, reduzindo o peso da massa de solo e geralmente envolvendo a criação de uma estrada de acesso acima da estrada principal e da formação de uma menor inclinação por escavação. Além disso, é possível escavar profundamente e mais abaixo da superfície da estrada principal, se o trecho de passagem atravessa a parte superior do deslizamento. Este método é apenas moderadamente eficiente no aumento da estabilidade e uma solução completa do problema pode envolver outras modificações do terreno. De acordo com Chatwin (referência 11), normalmente o fator de segurança aumenta em apenas 10 ou 15 por cento. (“Fator de segurança” em sua definição mais simples é a relação entre a força máxima de um material, ou de uma parte do material, e a carga máxima provável de ser aplicada sobre ele.



**Figura C1.** Ilustração das diferenças de estabilidade, resultando em escavações no topo e na base de um declive. (Gráfico por Rex Baum, U. S. Geological Survey)



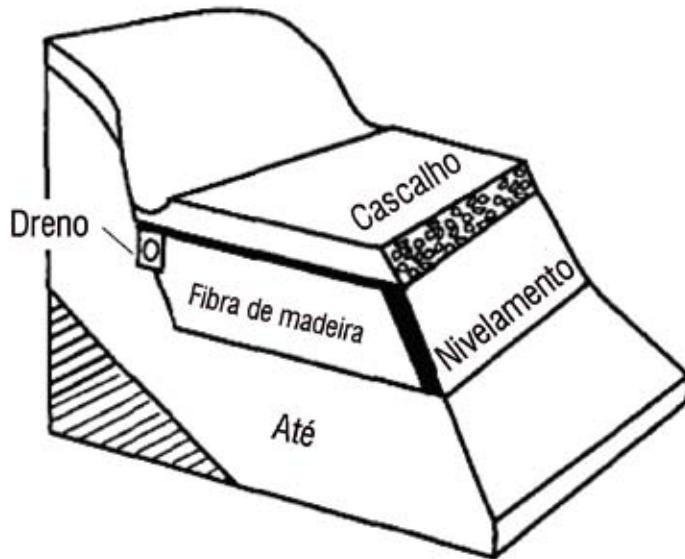
**Figura C2.** Ilustração da diferença de estabilidade de carga, tanto no topo quanto na base de um declive. (Gráfico por Rex Baum, U.S. Geological Survey)



**Figura C3.** Ilustração da importância da água na estabilidade de uma encosta. (Gráfico por Rex Baum, U.S. Geological Survey.)

## Enchimento com material leve

Uma técnica relacionada à redução da altura é a escavação do solo superior e substituição deste por um material leve de enchimento como serragem ou restos de madeira. Em seguida, coberto por uma fina camada de agregados graúdos, o material de enchimento pode formar uma base para um tráfego limitado, (fig. C4.)



**Figura C4.** Modelo esquemático e fotografia de um aterramento com material leve. Houve maior crescimento no uso de pedaços de pneus reciclados em aplicações de engenharia civil. Aplicações em autoestradas incluem o uso de pneus picados como preenchimento leve sobre solos fracos de taludes de pontes e reforços de muro de contenção, ou, em climas muito frios, como o isolamento da base da estrada para resistência a elevações do solo devido a geadas e como um material de elevado índice de permeabilidade para as bordas de drenos. (Gráfico da referência 11, fotografia do U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration).

## Terraços

Terraços são uma série de cortes em “degraus” em solo profundo ou parede de rocha, com o propósito de reduzir as forças motrizes. São principalmente eficazes na redução da incidência de falhas superficiais, mas geralmente não são muito eficientes na melhoria da estabilidade global de taludes, para os quais outros métodos são recomendados. Terraços são úteis no fornecimento de estruturas de proteção sob penhascos propensos a quedas de rochas, no controle de drenagem superficial ou no fornecimento de áreas de trabalho para a instalação de tubulações e outras estruturas.

Por favor, veja Figura C12 para uma foto de terraços cortados em um talude.

## Achatamento ou redução do ângulo de inclinação, ou outra modificação no talude

Reduz o peso de material e a possibilidade de erosão de córregos / rios ou formação de cargas.

## Situação em que a escavação de talude não é recomendada

Em algumas situações, a remoção completa da massa de declive é uma solução eficaz e econômica. Geralmente, no entanto, só é prática em pequenas rupturas ou pequenas falhas rotacionais. Escavação em larga escala de áreas maiores geralmente não é recomendada por vários motivos:

- A escavação nem sempre é eficaz - para grandes falhas planares, a escavação pode não causar o impedimento do movimento e pode permitir a expansão do deslizamento.
- A escavação pode *desencadear um maior deslizamento*, pela remoção do apoio fornecido pela base.
- A escavação pode, de fato, *desestabilizar* o terreno superior mais distante, através de erosão, o que enfraquece o declive.
- *Em solos mais profundos*, especialmente de argilas moles, onde existam duas superfícies com potencial de falha, uma profunda e uma superficial, escavar até a primeira superfície poderá desencadear um deslizamento súbito sobre a superfície mais profunda. É aconselhada, e quase sempre necessária, a análise de estabilidade utilizando-se dados de resistência do solo para qualquer projeto de grande escavação em solos argilosos profundos.

## Reforço de Declives

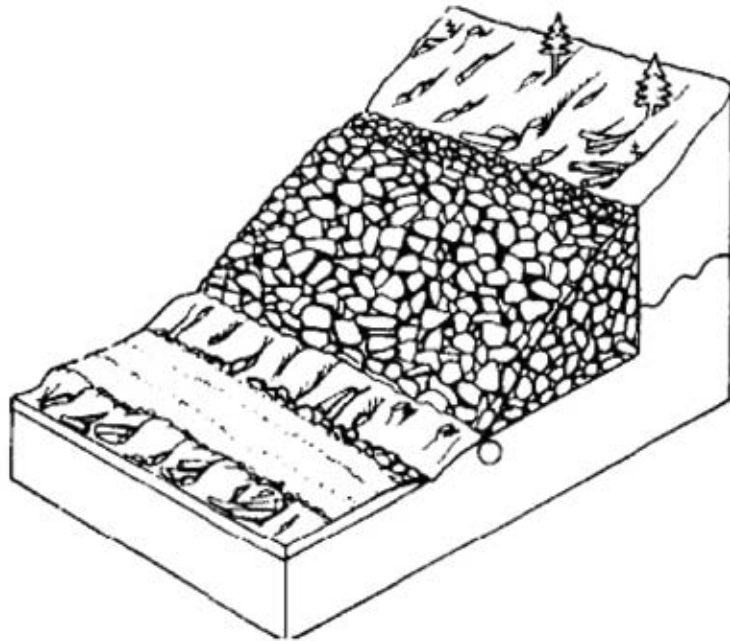
### Reforço com geotêxtil

Existem inúmeros materiais sintéticos para reforço do solo no mercado e um exemplo é certo material de reforço de polímero plástico esticado para formar uma leve grade, de alta resistência à tração. A grade age de maneira semelhante ao reforço de malha de concreto, somando forças para a resistência ao cisalhamento do solo.

Esses tipos de materiais têm sido utilizados para reduzir a quantidade de lastro necessário em um terreno mole, aumentando a capacidade de carga do subsolo. Esses tipos de redes também têm um número de possíveis aplicações na estabilização de encostas, incluindo o reforço da tensão do solo, a melhora da drenagem do solo e construção de muros de contenção.

### Contrafortes de Rochas

Um método simples para aumentar a estabilidade de taludes é aumentar o peso do material na ponta da base, o que gera uma força contrária que resiste ao deslizamento (fig. C5). Uma berma ou contraforte de terra pode facilmente ser despejado na base de um declive. No entanto, o uso de rochas partidas ou enrocamento, em vez de solo, é preferível, pois gera uma maior resistência de atrito às forças de cisalhamento e também permite drenagem livre, o que reduz o problema de impedimento do fluxo de águas subterrâneas.



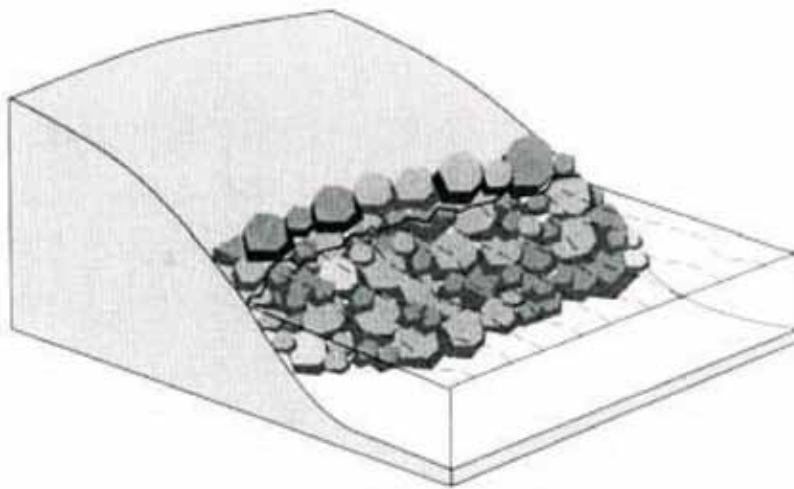
**Figura C5.** Modelo esquemático e fotografia de um contraforte de enrocamento no Canadá. (Gráfico da Referência 11).



## Revestimentos de Canais de Fluxo

Os revestimentos de canais são outra maneira de estabilizar uma rachadura ou canal de fluxo e suas laterais. O revestimento é geralmente de lama cimentada com concreto de alta qualidade, de preferência reforçado por um tapete de fibra de aço para resistir à abrasão. Pedregulhos salientes são fixados no concreto para dissipar a energia do fluxo de água.

Os revestimentos de canais podem reduzir a incidência e o volume dos fluxos de sedimentos (fig. C6). Eles também são eficazes para manter o alinhamento do canal a montante de uma ponte e para proteger os pilares. Revestimentos de canais são mais eficazes se aplicados sobre toda a extensão de um canal instável. Geralmente, os revestimentos são bem menos onerosos que, por exemplo, as barragens reguladoras, especialmente se um longo alcance deve ser estabilizado. Barragens reguladoras são preferíveis, se os declives estão muito instáveis, porque uma barragem pode ser fixada na margem, fornecendo suporte à base e, assim, reforçando a estabilidade.



**Figura C6.** Exemplo de revestimento de canal com rochas, Dickson Creek, Montana, E.U.A (Fotografia e gráfico, U. S. Department of Agriculture).

## Barragens reguladoras

Barragens reguladoras são pequenas barragens para depósito de sedimentos, construídas nos canais de barrancos íngremes para estabilizar o leito do canal. Elas são comumente usadas na Europa e Japão para controle de frequência e volume de fluxo canalizado de sedimentos. Uma utilização menos comum de barragens reguladoras é o controle de desmoronamento e deslizamento superficiais na área de origem do deslizamento de sedimentos. Barragens reguladoras são caras e, portanto, são geralmente construídas apenas quando instalações importantes ou habitats de animais selvagens, como acampamentos ou áreas de desova, encontram-se em declives. Fluxos canalizados de detritos estão associados a inclinações maiores que 25 graus e a maior parte do seu volume provem da raspagem do leito do canal. Barragens reguladoras servem a três propósitos, quando instaladas nos canais (seguindo informações citadas na Referência 11).

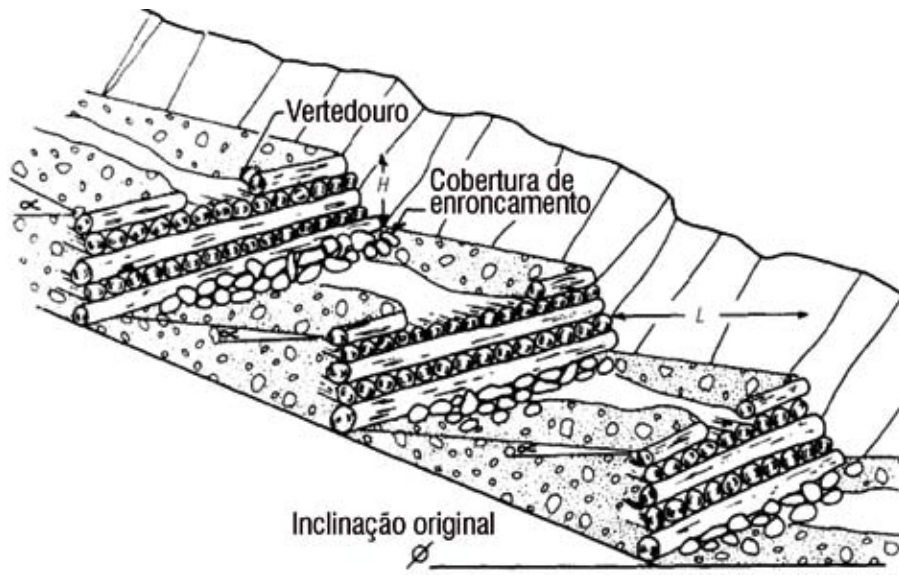
1. Atenuar a incidência de falha, reduzindo a inclinação do canal em sua parte superior.
2. Reduzir o volume de material armazenado no canal, impedindo a erosão da base, com posterior desestabilização das paredes laterais, e fornecendo apoio para a base das margens inclinadas.
3. Armazenar os sedimentos vindos em fluxo, quando instaladas na parte inferior dos canais.

Quando instaladas em deslizamentos de sedimentos, as barragens acomodam material de desmoronamento do solo, formando pequenos aterros sobre o deslizamento, e reduzindo a inclinação da superfície. Barragens reguladoras podem ser feitas de concreto armado ou pedaços de toras (figs. C7 e C8). Barragens de concreto armado, geralmente não ultrapassam 8 m de altura, enquanto represas de toras não devem exceder 2 m (6 pés). O espaçamento das barragens depende da inclinação do canal e da altura da barragem. Por exemplo, uma barragem de 2 m (6 pés) de altura em um canal de 20 graus, com 10 graus de preenchimento da inclinação, será espaçada a cada 12 m (36 pés). Erosão lateral e superficial pela água do vertedouro são, as principais desvantagens.

### Para evitar o rompimento da barragem de controle

Durante a construção, os muros de ala de concreto e as extremidades das estruturas de toras devem ser fixados firmemente na parede do cânion no leito do canal para resistir a pressões de preenchimento e erosão lateral por raspagem. Os muros de ala devem inclinar-se em cerca de 70 por cento e estender-se por um mínimo de 1-2 metros (3 a 6 pés) para o interior das margens. A fundação da barragem deverá ter uma largura mínima de um terço da altura total da barragem e ser mais profunda do que qualquer cavidade propensa a se desenvolver devido à erosão.

Aterro da barragem, em vez de permitir o enchimento natural, reduz o carregamento dinâmico sobre a estrutura e resulta em projeto mais estável. O declive do aterro deve ser inferior a metade do gradiente do canal. Barragens que foram preenchidas com aterro geralmente resistem a um fluxo de detritos.



**Figura C7.** Desenho esquemático e fotografia de uma barragem de controle com parede de toras. (Gráfico de Referência 11, fotografia tirada em Trafoi, Itália, cortesia de “Erosion Control,” Forester Communications, Santa Bárbara, Califórnia, EUA.)



**Figura C8.** Vista da barragem de controle de concreto à montante, com seção central de baixo fluxo, no sul da Califórnia, EUA. (Fotografia por Controle de Inundações de Los Angeles County District.)

## Técnicas de Drenagem

A água no solo é provavelmente o contribuinte mais importante para o início de um deslizamento. Não surpreende, portanto, que uma drenagem adequada seja o elemento mais importante de um sistema de estabilização de encostas para deslizamentos de terra existentes e potenciais. A drenagem é eficaz, pois aumenta a estabilidade do solo e reduz o peso da massa de deslizamento. A drenagem pode ser superficial ou subterrânea. Medidas de drenagem superficial requerem projetos e custos mínimos e possuem benefícios substanciais para a estabilidade. São recomendadas em qualquer tipo de deslizamento, potencial ou existente.

Os dois objetivos da drenagem superficial são: evitar a erosão da face, reduzindo o potencial de queda da superfície, e evitar a infiltração de água no solo, diminuindo a pressão da água subterrânea. A drenagem subterrânea também é eficaz, mas pode ser relativamente cara. Assim, é essencial que a água do solo seja identificada como uma causa do deslizamento antes que os métodos de drenagem subterrânea sejam utilizados.

São os seguintes os vários métodos de drenagem:

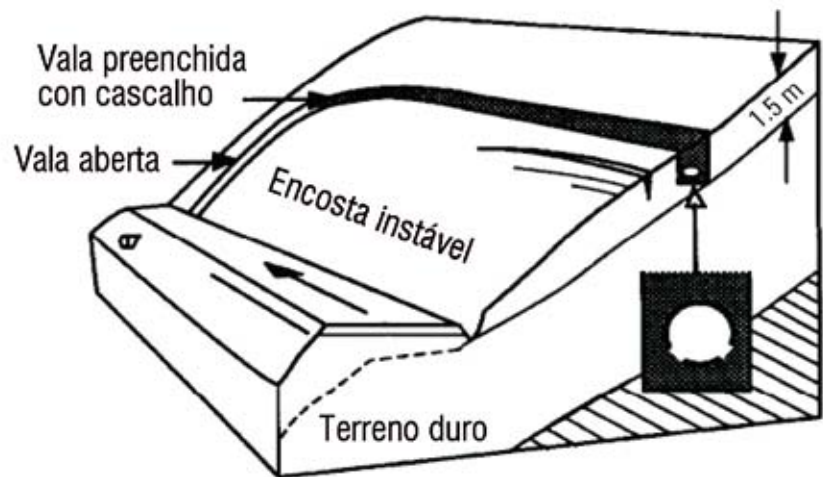
### Nivelamento Local

Suavização da topografia da superfície de deslizamento pode impedir que a água da superfície acumule em poças ou conecte-se com as águas subterrâneas. Quaisquer depressões nas encostas que possam reter água parada devem ser removidas. Preenchimento e vedação de grandes fendas na superfície por terraplenagem do solo são técnicas benéficas que evitam que a água da superfície atinja a superfície de deslizamento.

### Valas e drenos

A drenagem superficial pode ser feita através de valas na superfície ou drenos subterrâneos rasos (fig. C9). A drenagem de superfície é especialmente importante na cabeça do deslizamento, onde um sistema de corte de valas que atravessam o muro de cabeceira, e drenos laterais para condução do escoamento em torno da borda do deslizamento é eficaz. A inclinação da vala deverá ser de pelo menos 2%, para garantir fluxo rápido distante da área instável.

O tipo mais simples de drenagem subterrânea é a trincheira lateral construída acima de uma encosta instável. Valas de drenagem são econômicas somente para solos rasos sobre rochas ou sobre terreno impermeável. As valas devem ser escavadas até a base do solo superficial para interceptar qualquer fluxo de água subterrânea ao longo do plano de falha. Elas devem ser preenchidas com cascalho grosso para evitar desprendimento dos fiancos da vala. Um melhoramento é utilizar um tubo de drenagem e aterrar a área, em seguida, com cascalho grosso.

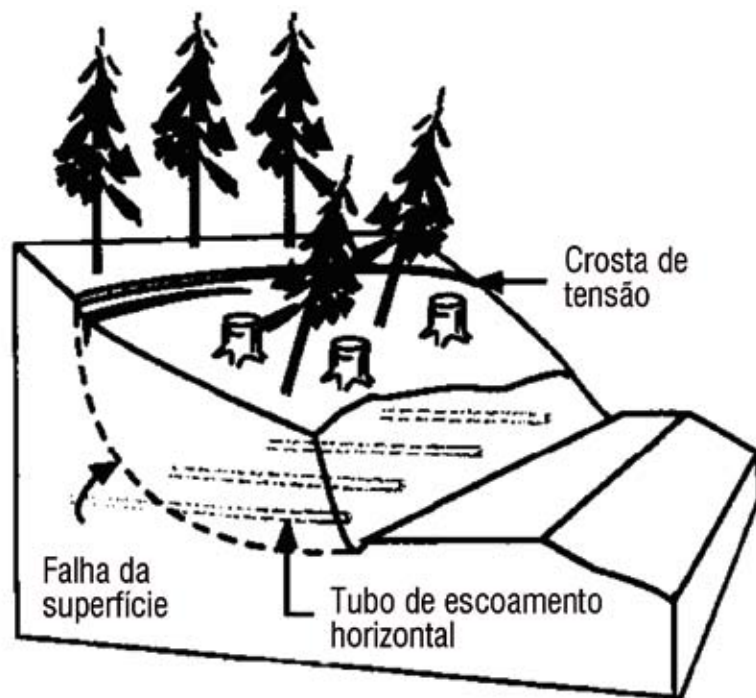


**Figura C9.** Desenho esquemático e fotografia de uma vala de drenagem. (Gráfico da Referência 11, fotografia pelo Departamento de Transportes, Energia e Infraestrutura, Sul da Austrália.)

## Tubulações para drenagem

Tubulações horizontais para drenagem são dispositivos usados para a prevenção de deslizamento na construção de estradas (fig. C10). São mais eficazes quando instaladas durante as escavações iniciais. Devido aos longos atrasos para diminuir os lençóis d'água subterrâneos, os drenos são eficazes apenas se os tubos são cuidadosamente instalados, a superfície de ruptura é interceptada, e os encanamentos realmente drenam o solo. Como a maioria das encostas tem diferentes solos e diferentes condições hidráulicas e geométricas, os sistemas de drenagem devem ser concebidos individualmente. Após a perfuração ter sido realizada até a profundidade desejada e as camisas instaladas, estas são limpas de todo resíduo de solo e os segmentos de tubo de PVC para drenagem são encaixados, cobertos com um filtro e, em seguida, empurrados para dentro das camisas e acoplados. As camisas são, então, retiradas e telas são instaladas nas extremidades dos tubos de drenagem. Os orifícios de drenagem devem ser cuidadosamente limpos de cascalhos e lama. Os orifícios com resíduos podem ter apenas 25 por cento de eficácia.

Em solos argilosos, uma mudança completa nos lençóis de água subterrânea pode levar até 5 anos, com 50% de melhoria ocorrendo ao longo do primeiro ano. Uma vez que os lençóis freáticos são reduzidos em solos argilosos, a mudança é bastante estável; no entanto, flutuações sazonais podem ocorrer: chuvas não irão alterar o nível de água do solo nas encostas desde que os tubos não estejam obstruídos. Em solos arenosos, o lençol freático irá diminuir em poucos meses, mas também irá varar com as chuvas.



**Figura C10.** Esquema de tubos de drenagem. (Esquema da Referência 11.) Fotografia de canos de drenagem em um deslizamento de terra na Califórnia, EUA, por Andrew Alden.



## Feixes ou fardos de palha

Feixes de palha, também conhecidos como serpentinas de palha, bio-toras, bermalonga ou tubos de palha, são cilindros manufacturados de palha seca (de trigo ou de arroz), com 20 a 30 centímetros (8 a 12 polegadas) de diâmetro e 7 a 9 metros (20 a 25 pés) de comprimento (fig. C11). São encapsulados em juta, nylon, ou outros materiais fotodegradáveis, com peso médio de 16 kg (35 libras), instalados em uma trincheira rasa, formando uma barreira contínua pelo contorno (de um lado ao outro da encosta), para interceptar a água que escorre ao longo da descida. Feixes de palha são eficazes por um período de 1 a 2 anos, e podem ser instalados em inclinações de até 70 por cento; no entanto, o seu efeito diminui consideravelmente, em declives mais íngremes que 50%. Solos podem ser rasos, mas não inferiores a 8 polegadas. Feixes de palha aumentam a infiltração, adicionam rugosidade, reduzem erosão e adicionam proteção a curto prazo nas encostas onde a vegetação permanente será estabelecida para o controle da erosão de longo prazo. Os fardos de palha são facilmente obtidos na maioria das áreas do mundo, são facilmente portáteis e têm uma aplicação modular para controle de drenagem e erosão da ecosta (fig. C12).



**Figura C11.** Feixes de palha na lateral de uma estrada capturam os sedimentos e os mantêm no local, permitindo, que sementes se estabeleçam e germinem, auxiliando o processo de revegetação. (Fotografia por Lynn Highland, U. S. Geological Survey)



**Figura C12.** Os fardos de palha têm um aplicativo similar e estão amplamente disponíveis. O tamanho individual do fardo pode ser visto na pilha de fardos, no centro, à direita da fotografia. (Fotografia de encosta, no Novo México, EUA, Departamento de Mineração e de Recursos Minerais e Naturais do Novo México)

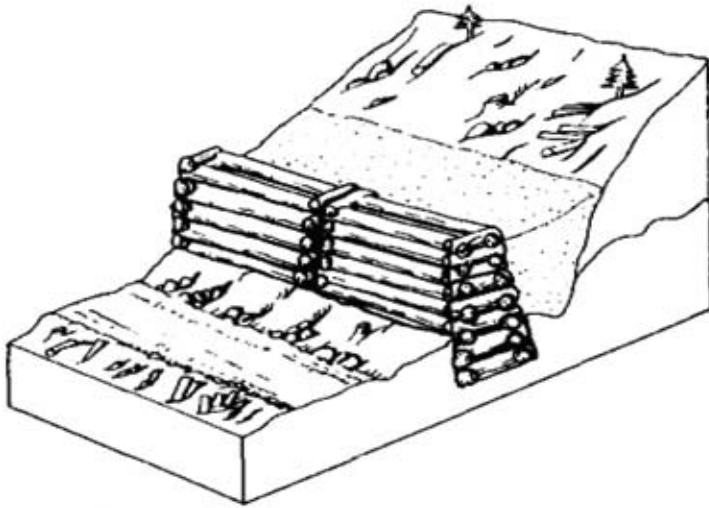
## Muros de Contenção

Para todos os tipos de muros de contenção, é essencial uma drenagem adequada ao longo de toda a estrutura, pois pressão muito alta da água do solo pode acumular-se por trás da parede, levando ao seu fracasso. A drenagem pode ser assegurada apenas por meio de preenchimento de material graúdo e material de fundação.

## Grades de Madeira

Muros de grades de madeira são estruturas de caixas construídas com troncos entrelaçados e preenchidas com agregado graúdo (fig. C13). Eles funcionam pela intersecção da superfície crítica de deslizamento, forçando assim a superfície com potencial de ruptura para uma profundidade maior, menos crítica. A estrutura deve ser capaz de suportar, (1) cisalhamento, (2) capotamento e (3) deslizamento na base. Deve, portanto, ser fortemente construída, enterrada a uma profundidade suficiente para além do plano crítico de ruptura. Grades de madeira só são eficazes quando o volume de solo a ser estabilizado é relativamente pequeno. São mais eficientes onde uma fina camada de solo instável recobre uma camada mais profunda, mais estável do solo. O volume dos muros de grades de madeira deve estar entre 10 a 15% do volume de solo a ser estabilizado. Este volume relativamente pequeno fornece pouco suporte de contrapeso na ponta da base; portanto, praticamente toda a resistência ao deslizamento vem da força da grade.

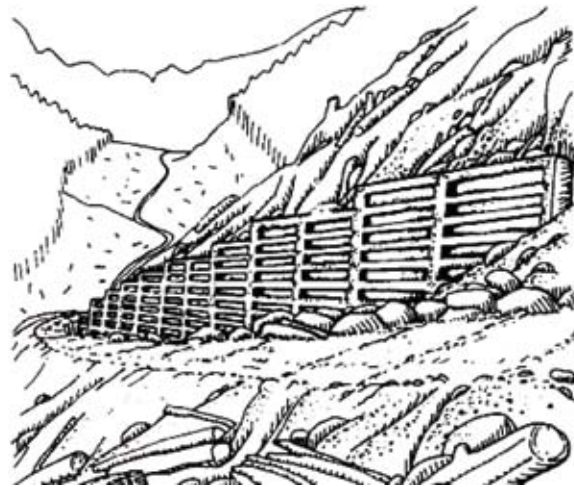
*Nota: O parecer de um engenheiro civil é necessário para todas as paredes superiores a 3 metros (9 pés), ou para aquelas em solos de fundação complexa.*



**Figura C13.** Desenho esquemático e fotografia de uma grade de madeira. (Esquema da Referência 11, fotografia é cortesia do PHI Group, Reino Unido).

## Muro de Caixa de Aço

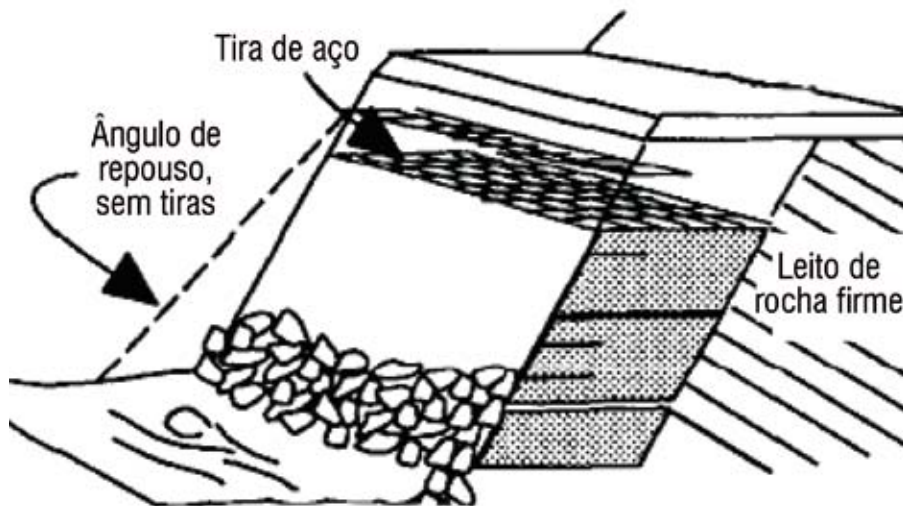
Uma parede de caixa de aço é formada a partir de componentes de aço corrugado galvanizado aparafusados juntos para formar uma caixa e, em seguida, preenchido com terra (fig. C14). A estabilidade de uma parede à gravidade é devido ao peso da própria parede, talvez auxiliada pelo peso do solo na sua frente. A maior parte do peso provém do solo contido, não do aço, e deve-se ter isso em mente no preparo da fundação. Grandes paredes devem ser projetadas individualmente, com requisitos calculados de carga e fundação. Existem gráficos de engenharia estrutural que fornecem as especificações para a fundação e relação altura/largura para diversas condições de carregamento. A largura das paredes varia de 2 a 5 metros (6 a 15 pés) e mede um meio a três quintos da altura da parede. Para fornecer resistência deslizante adicional, a base da parede está geralmente a 0,5-1,0 metro (1,5 a 3 pés) abaixo do degrau, embora o projeto não deva contar com o apoio adicional da ponta da base, pois ela pode erodir ou ser removida inadvertidamente. O fator de segurança é reforçado quando a parede está em uma inclinação 1:6. O material de preenchimento deve ser bem drenado e compactado, preferencialmente em 20 centímetros (7,8 polegadas). O material por trás da parede também deve ser bem drenado e moderadamente compactado.



**Figura C14.** Desenho esquemático e fotografia de um muro de caixa de aço. (Esquema da Referência 11.)

### Muro de Terra Reforçado (Muro de Terra-armada)

Reforço de Terra é um sistema patenteado para a construção de aterros, em ângulos muito íngremes a verticais, sem o uso de estruturas de apoio na face do aterramento (fig. C15). O sistema utiliza camadas horizontais de tiras de metal flexíveis no interior do aterramento, para formar um sistema de alta resistência, composto de metal e terra.



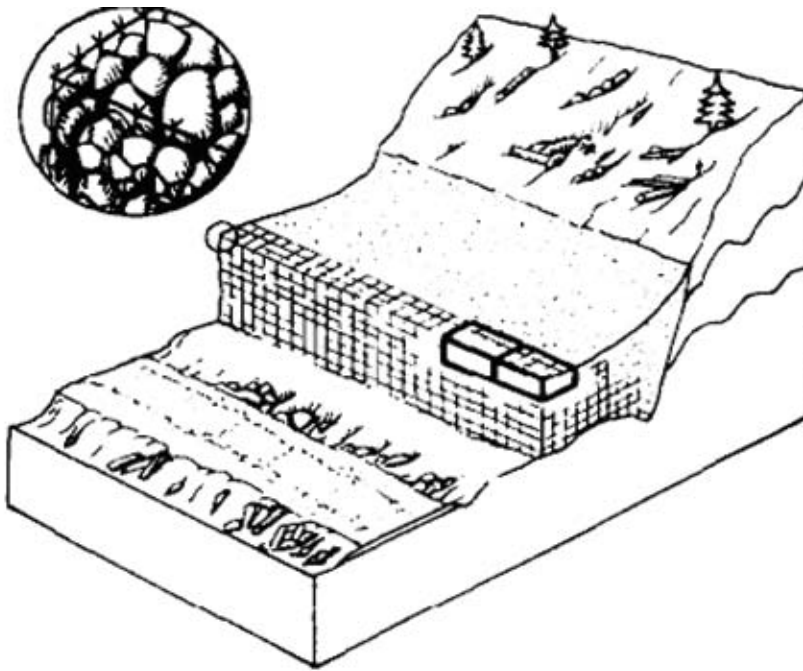
**Figura C15.** Desenho esquemático e fotografia de uma parede de terra-armada. (Esquema da Referência 11).

## Muros de Gabiões

Gabiões são recipientes de malha de arame, em forma de caixas, cheios de paralelepípedos que medem 10 a 20 centímetros (4 a 8 polegadas) (fig. C16). Um muro de gabião também pode ser construído a partir de gabiões empilhados. As paredes em gabião geralmente são baratas, simples e rápidas de construir. Devido à sua flexibilidade, podem suportar o movimento da fundação e não exigem preparação elaborada desta última. Devido ao seu preenchimento graúdo, elas são muito permeáveis e, assim, proporcionam uma excelente drenagem.

As paredes em gabião funcionam porque o atrito entre os gabiões individuais é muito grande, assim como o atrito entre a linha basal e a terra por baixo desta. Quando a falha ocorre, é quase sempre no próprio solo da fundação. Paredes de três camadas de até 2,5 metros (8 pés) de altura geralmente podem ser construídas sem consulta a qualquer análise técnica detalhada de engenharia. Paredes mais altas são muito pesadas, devido à natureza de sua massa adicionada e têm necessidade de maiores fundamentos na base e, possivelmente, contrafortes para suporte da parede. (Um contraforte é um esteio fixado na parte traseira da parede, concebido para melhorar a estabilidade). As paredes em gabião construídas em solos argilosos requerem contrafortes, que podem ser construídos como travessões que se estendem desde a frente da parede, para além do círculo de deslizamento. Os contrafortes servem tanto como componentes estruturais quanto de drenagem.

Existem esquemas que estão disponíveis para várias combinações de ângulo da encosta e altura do muro de contenção (vide Maccaferri spa).



**Figura C16.** Desenho esquemático e fotografia de um muro de gabião ao longo de uma rodovia. (Esquema da Referência 11). (Fotografia de gabiões localizados nas montanhas de Pocono, Pensilvânia, EUA, por Lynn Highland, U.S. Geological Survey).

## Estacas

Estacas de grande diâmetro podem ser colocadas na ponta da base de uma encosta para formar uma parede vertical (fig. C17). Paredes de estacas são normalmente usadas como um sistema de retenção preescavação - o corte de escavação ocorre em frente ao talude. Enquanto paredes de estacas e de tubulações de concreto de grande diâmetro têm sido utilizadas com sucesso em rodovias, o mesmo não ocorre para estacas de madeira ou de aço que são menores em diâmetro. Para a maioria dos movimentos de terra ou rocha, as estacas de madeira não são adequadas para fornecer suficiente resistência ao cisalhamento. Elas são apropriadas apenas quando o volume de solo a ser estabilizado é pequeno. Em média, é necessária uma estaca de madeira para cada 50 metros cúbicos de solo (65,3 jardas cúbicas), o que não é suficiente para grandes projetos de estabilização. O uso de poucas estacas pode resultar em derrubada e (ou quebra) pela massa do solo em movimento, bem como pela movimentação do solo por entre as estacas.

Uma maior limitação quando as estacas de toras são utilizadas é a profundidade, pois muitas das superfícies de fratura estão abaixo da altura das estacas. Estacas de madeira são melhores para fraturas de solo superficial sobre solos estáveis mais profundos. As estacas devem prolongar-se bastante abaixo da superfície de ruptura com potencial de fratura e estar firmemente enterrada em subsolo firme. Se a profundidade de posicionamento não é suficiente para permitir que as estacas funcionem como um sistema de vigas, então as estacas devem ser apoiadas por um sistema de ancoragem adicional



**Figura C17.** Uma parede de estaca preenchida por concreto. Uma rede de reforço foi colocada sobre a superfície das estacas, preparando-as para pulverização de concreto. A localização é Brighton, em Melbourne, Austrália. (Foto por cortesia de Basement Construction Services, Victoria, Austrália).



## Estabilização de Encostas com Uso de Vegetação

A semeadura de gramíneas e leguminosas reduz a erosão da superfície que pode em certas condições conduzir a deslizamentos. Plantação de arbustos aumenta a cobertura vegetal e gera um sistema mais forte de raízes, que por sua vez, irão reforçar a estabilidade de taludes. Se não forem controlados, a erosão superficial e deslizamentos pequenos e rasos em encostas podem levar a problemas maiores de impossível controle. Erosão em grande escala requer aplicação de tecnologia em engenharia para correção e controle. Os termos bioengenharia e proteção biotecnológica de encostas referem-se à utilização da vegetação como proteção de taludes para segurar e impedir o rompimento da encosta e a erosão da superfície. A Bioengenharia é discutida em detalhe na Seção III deste manual.

O planejamento é necessário para o êxito da implementação de um programa de revegetação. Antes de se proceder a semeadura, uma pessoa com experiência local deve ser consultada para orientação. O conhecimento local com base em êxitos e fracassos de projetos é de valor inestimável. A semeadura deve começar imediatamente após uma perturbação, no mínimo aproximadamente 6 semanas antes dos períodos de seca ou geadas.

Uma inclinação tão estável quanto possível antes da semeadura será beneficiada no sentido de tornar o talude resistente a erosões e fraturas futuras. Controle da drenagem da água de superfície, remoção das saliências do barranco, redução dos ângulos de inclinação e assentamentos, tudo deve ser feito antes do começo da semeadura.

Existem dois tipos básicos de semeadura: semeadura a seco e hidráulica, também conhecida como hidrossemeadura:

**Semeadura a seco** Semeadura a seco é feita com semeadores pneumáticos e discos giratórios. Esses métodos são menos onerosos do que a semeadura hidráulica, mas estão limitados a superfícies brutas de solo e declives suaves. Semeadores de disco giratório espalham sementes e fertilizantes pela força centrífuga. O mais simples é o do tipo ciclone, manual. Semeadores pneumáticos utilizam o ar para jogar sementes e fertilizantes a uma distância de 5 a 8 metros (15 a 24 pés). O equipamento pode ser adaptado para veículos motorizados.

**Semeadura Hidráulica ou Hidrossemeadura** Este tipo de semeadura é a aplicação de sementes em uma pasta aquosa que contém fertilizante, aglutinante de solo, e (ou) cobertura. O sistema requer um tanque de mistura com agitação mecânica hidráulica e capacidade de bombeamento de volume. A semeadura hidráulica é eficaz para encostas mais íngremes 1:1, onde é necessária a aderência das sementes à superfície do talude.

### Tipos de sementes

A combinação de 2-5 espécies é a mistura normal de gramíneas e leguminosas utilizada para controle de erosão. A adequação das sementes depende do tipo de solo, das condições climáticas, do grau de compatibilidade e da substituição de espécies. As condições locais podem variar, e nenhum tipo universal de gramíneas ou leguminosas pode ser recomendado. Os tipos de vegetação podem variar de localidade para localidade, e é melhor que se busque aconselhar-se com os moradores que estão familiarizados com as condições locais de crescimento.

## Húmus

O húmus é uma propagação de material inerte sobre a superfície do solo para fornecer proteção contra a erosão superficial pela chuva e pela retenção de umidade do solo. Vários tipos de húmus irão funcionar: de palha, fibras de grama, fibras de madeira, algas e produtos de papel.

## Proteção Biotécnica de Taludes

Este tipo de proteção de taludes é utilizado para reduzir as conseqüências ambientais das medidas de mitigação de deslizamentos. Quando usada para os fins de correção ou mitigação, as estruturas convencionais de retenção de terra, feitas de aço ou betões, normalmente não são ecológicas nem visualmente agradáveis. Estas medidas corretivas “duras” e tradicionais estão, cada vez mais, sendo suplantadas pela utilização de solos / estruturas com vegetação composta, que são mais ecológicos. Este processo veio a ser conhecido como proteção biotecnológica de taludes. Sistemas comuns de biotecnologia incluem georredes ancoradas por estacas, as quais seguram no local o solo semeado com relva, e geocélulas, com solo semeado em seus entremeios. Pesquisas foram feitas sobre o uso de plantas para estabilização do solo de modo a evitar a erosão excessiva e também para atenuar o efeito dos deslizamentos. Um dos tipos mais promissores de plantas é o Vetiver, um tipo de grama que funciona muito bem em muitos ambientes diferentes, estabilizando encostas contra a erosão. Veja Apêndice C para obter mais informações sobre esta planta, seus usos e sua adequação geográfica.

A proteção biotécnica de taludes consiste de dois elementos: *a estabilização biotécnica* e *a estabilização do solo por bioengenharia*, o que implica o uso de matéria viva. Mais especificamente, a estabilização biotécnica da vegetação utiliza elementos mecânicos (estruturas) em combinação com elementos biológicos (plantas) para prevenir e evitar a erosão e os rompimentos nas encostas. Os elementos mecânicos e biológicos devem funcionar em conjunto, de maneira complementar. Por outro lado, a estabilização do solo por bioengenharia pode ser considerada como um subconjunto especializado da estabilização biotécnica no qual as partes vivas das plantas, ou seja, as raízes, os caules e ramos, servem como principais elementos estruturais/mecânicos no sistema de proteção de taludes. Sistemas biotécnicos para a proteção de taludes misturam-se com a paisagem. Eles enfatizam a utilização de recursos naturais, disponíveis no local, tais como terra, pedra, madeira e vegetação, em contraste com materiais fabricados, tais como aço e concreto. Os componentes estruturais ou mecânicos não interferem tanto sobre o meio ambiente quanto as estruturas convencionais de retenção do solo, no que se refere ao aspecto visual. Exemplos de estruturas biotecnológicas, que comumente incorporam vegetação à própria estrutura, incluem grades de tábuas e troncos, gabiões, paredes de frente rochosa, paredes de arame soldado e terra armada. Reforços internos contra a tração através dos princípios da bioengenharia permitem a construção de encostas extremamente íngremes com até 70 graus de inclinação. Um guia geral para os diferentes métodos de estabilização por bioengenharia e informações mais detalhadas podem ser encontradas na referência 30.

Como observado anteriormente, a bioengenharia de solos baseia-se principalmente no uso de materiais nativos, como caules de plantas ou galhos, pedras, madeira ou solo. A vegetação adequada à bioengenharia pode ser obtida a partir de fontes locais de salgueiros, amieiros e outras variedades, facilmente propagadas. Além disso, os sistemas de bioengenharia de solos geralmente são compatíveis com o meio ambiente durante seu processo de construção, por geralmente necessitarem de acesso mínimo para equipamentos e trabalhadores, causando perturbação menor. Com o tempo, os sistemas de bioengenharia tornam-se visualmente não estranhos e misturam-se à paisagem natural. Esse é um atributo favorável em áreas ambientalmente sensíveis, como parques, matas ciliares e os corredores cênicos onde o habitat dos animais selvagens, a qualidade estética e a restauração ecológica são importantes. Como as estruturas de bioengenharia que utilizam espécies de árvores envelhecem com o tempo, têm a vantagem adicional de tornarem-se mais estáveis e, ao final, contribuir para a sucessão natural e a colonização, a longo prazo, de espécies florestais.

Na maioria dos casos, as gramíneas nativas, arbustos e árvores são usados como vegetação na estabilização da bioengenharia. O uso do salgueiro vem sendo muito bem sucedido em várias partes do mundo. Em áreas tropicais e subtropicais, sebes de capim-vetiver (VGHR = Vetiver Grass hedgerows) se tornaram muito populares para a estabilização, devido ao rápido crescimento e penetração profunda das raízes desse capim. No entanto, se as espécies exóticas de plantas ou árvores são introduzidas, há um perigo real de que entrem em conflito com a vida das plantas nativas.

*Sugere-se que os potenciais  
utilizadores do capim-vetiver  
consultem o site da internet:  
<http://www.vetiver.org>*



**Figura C18.** Um sistema de capim-vetiver vem sendo usado na República Democrática do Congo para o controle de voçorocas em áreas urbanas e para a estabilização da estrada. Esses sulcos (voçorocas) são um grande problema nesta área e em outros países do Oeste Africano (imagem ao alto); a mesma inclinação agora melhorou a drenagem, e a grama Vetiver foi plantada no talude (do meio), aqui o plantio de capim-vetiver tem cerca de 3 meses de idade (imagem inferior).



Embora as avaliações detalhadas de estabilidade de taludes venham sendo, normalmente, realizadas por engenheiros geotécnicos e geólogos de engenharia, as interações orgânicas entre a vegetação, o solo e as estruturas que devam ser avaliadas durante a aplicação das técnicas de estabilização por bioengenharia são, talvez, compreendidas de melhor maneira pelos cientistas do solo, agricultores, silvicultores e hidrólogos. Assim, a abordagem da bioengenharia para estabilização das encostas exige a cooperação das disciplinas geotécnicas e das ciências das plantas trabalhando em paralelo e uníssono.

Estão disponíveis publicações que indicam o quanto o Vetiver é eficaz em diferentes regiões do mundo. Uma boa visão inicial do capim-vetiver é o livro “Vetiver Grass: A Thin Green Line Against Erosion.” (Capim Vetiver: Uma Linha Verde e Fina Contra a Erosão). Referência completa do livro está na referência 22. (Veja também referência 47.



**Figura C19.** Distribuição mundial dos programas ativos de capim Vetiver. Gráfico do site da internet sobre capim-vetiver (<http://www.vetiver.org>).

**Notas adicionais sobre a grama Vetiver:** Para as nações em desenvolvimento a erosão do solo, que compreende, em sua forma extrema, os deslizamentos de terras, é um dos processos naturais mais prejudiciais que devem ser tratados. Pouco foi feito para lidar com a erosão e que possa ser amplamente aplicado, a baixo custo, vida longa e aplicações atraentes. A vetiver, uma gramínea tropical, oferece uma maneira prática e barata para evitar a erosão. Plantadas em curvas de níveis nas terras em declive, o vetiver rapidamente forma sebes estreitos, mas muito densos. Sua folhagem dura, em seguida, bloqueia a passagem de terra e detritos. Esta gramínea, profundamente enraizada e persistente, tem contido solos erodíveis por décadas em Fiji, na Índia e em algumas nações do Caribe. A Figura C18 mostra fotografias de um projeto de capim-vetiver na República Democrática do Congo e como ela é usada para a estabilização de voçorocas e estradas. O projeto é patrocinado por várias agências do governo. Estas fotografias e outras, adicionais, estão no site da internet sobre o capim-vetiver (vide [www.vetiver.org](http://www.vetiver.org)).

## Parte 2. Técnicas de Mitigação / Estabilização de Taludes Rochosos

As quedas de rochas podem variar desde algumas pedras do tamanho de um punho até pedregulhos e seções do penhasco que, dependendo do tamanho e formato, podem rolar, saltar, tombar e descer encostas, atingindo áreas a grandes distâncias das linhas de queda. As áreas de recreação, tais como praias, parques e espaços abertos próximos a penhascos, são afetadas por quedas de rochas e as pessoas são frequentemente expostas a esses riscos. As pessoas que se aventuram muito perto das bordas de penhascos e encostas rochosas podem acrescentar pressão a áreas fracamente suspensas, fazendo com que as rochas entrem em colapso e atinjam o solo e as pessoas abaixo, ou provocando ferimentos. Seja caminhando, acampando, andando, ou mesmo trabalhando em torno de falésias ou paredes rochosas, as pessoas se expõem ao perigo, muitas vezes sem aviso prévio. Uma variedade de técnicas de engenharia pode ser implementada para mitigar os efeitos das quedas de rochas e algumas delas são aqui discutidas. Em alguns casos, o melhor é que haja mais de um tipo de solução de engenharia e, na Figura C20, mostra-se uma combinação dessas medidas de remediação aplicadas a uma área de risco de quedas de rochas.



**Figura C20.** Esta fotografia mostra medidas contra quedas de rochas que incluem muros de contenção de concreto maciço, paredes de gabião (ambos os tipos de muro estão no topo da fotografia), cercas de seleção, tratamento de pedregulhos e pilares. (Foto é o túnel de Pen-y-Clip em uma rodovia no Norte do País de Gales, Reino Unido. Fotografia por Dave Giles, Grupo de Consultoria em Geologia de Engenharia, da Universidade de Portsmouth, Reino Unido).

## Técnicas de Retenção Segura

### Valas de Retenção

Amplas valas de captura são eficazes na contenção de quedas de rochas, mas as valas devem ser concebidas considerando a geometria da encosta, sendo melhor consultar um profissional sobre as especificações. O fundo da vala de captação deverá ser coberto com terra solta para evitar que as rochas saltem ou se quebrem em pedaços ou fragmentos. Se não houver espaço suficiente para a construção de uma vala grande, conforme especificado, então uma combinação de valas menores, com um gabião ou um muro de rocha ao longo de suas bordas descendentes, pode ser usada.

### Cabo, Malha, Cerca e Cortinas de Rocha

Amarração de cabos e redes de arame são métodos simples e de baixo custo para proteger uma estrada ou caminho contra uma queda rochosa. Para grandes blocos instáveis, cordões de cabo metálico são enrolados em torno dos blocos e ancorados na encosta. Sempre que a rocha é muito fragmentada para ser retida por cabos individuais, redes de cabo são utilizadas. Uma malha de arame (fios entrelaçados em curtos espaços) pode ser usada para evitar que as pedras menores, ou seja, com menos de 0,75m (2,4 pés) de tamanho, caiam. (Ver Figura C21: fotografia de um exemplo de malha de arame). A malha padrão é o gabião de arame de fio duplo trançado ou de elos metálicos de alto calibre. A malha é envolta afrouxadamente em uma superfície uniforme da rocha, ou aparafusada/fixada com firmeza na face irregular do penhasco e as malhas não podem estar em contato com a rocha. Aparafusar a malha na face da rocha pode impedir o seu desprendimento e fornece estabilidade geral da encosta ou parede de rocha. A malha de arame também é útil em cortes íngremes do solo, principalmente em encostas abaixo do talude.

Redes de captura de cabos e malha de arame podem ser construídas para impedir a queda de rochas no fundo de ravinas e encostas. Quando suspensas por um cabo ancorado, a malha forma uma barreira flexível para dissipar a energia da rocha em queda e geralmente consegue conter pedregulhos de até 1 m de diâmetro, desde que devidamente fixadas. Além disso, as redes de captação podem ser usadas em conjunto com as valas de captação ao longo de estradas.

Cercas para rochas, como aquelas mostradas na Figura C22 são bastante fáceis de instalar e podem segurar pequenas pedras que ao caírem sobre estradas, não param e saltam por cima da barreira de cercas. Cortinas de rochas, como aquela mostrada na Figura C23 são mais eficientes no direcionamento das rochas até uma vala ou qualquer instalação de captura, impedindo-as de saltar sobre a estrada ou outras estruturas abaixo.

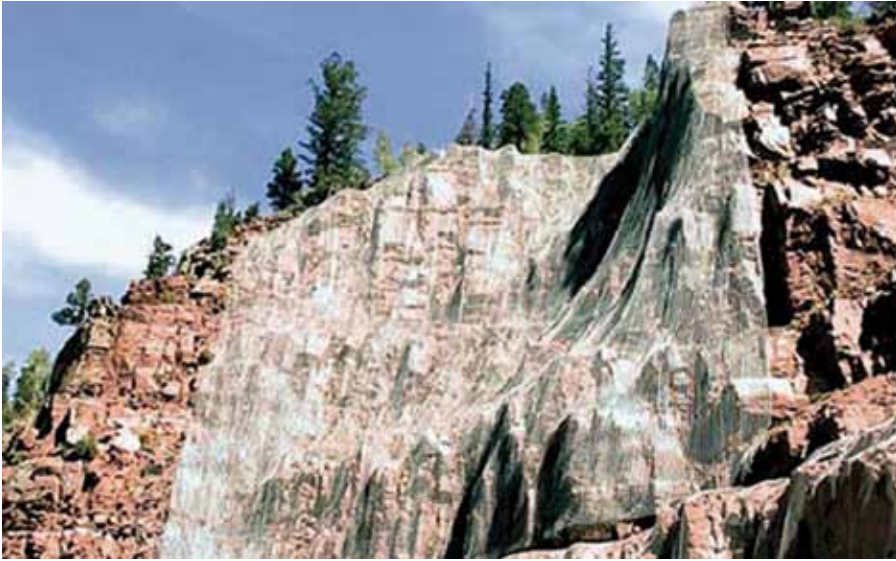


**Figura C21.** Exemplo de malha de arame colocada sobre uma encosta rochosa para conter as rochas que possam vir abaixo.



**Figura C22.** Barreira do tipo cerca de proteção contra rochas, ao longo de (A) uma trilha de lama na Pensilvânia, EUA, e (B) uma estrada na costa da Califórnia, EUA. (Fotografia da trilha, Lynn Highland, US Geological Survey e fotografia da estrada, Administração de Rodovias Federais, EUA).





**Figura C23.** Exemplo de uma “cortina para rochas” que controla as quedas rochosas em áreas problemáticas. (Fotografia por Doug Hansen, High Angle Technologies, Inc).

## Muros de Contenção

Os muros de contenção podem trabalhar de forma muito parecida com as descritas para as técnicas de estabilização de taludes de terra para manter os fragmentos de rochas fora de determinada área. Eles são semelhantes às cercas contra quedas de rochas, mas, na maioria dos casos, são mais robustos e fortes. Os muros de contenção podem ser feitos de aço, concreto, madeiras ou outros materiais e devem ser ancorados de maneira apropriada para não tombarem durante as quedas de rochas.

## Galpões / Abrigos para Rochas

Estes são construídos ao longo das estradas, ferrovias e, por vezes, estruturas, para proteger a área contra quedas e avalanches de rochas. Galpões são estruturas abertas nas extremidades ou não, envolvendo completamente a área de queda de rochas, feitos em concreto, aço ou outro material, formando uma estrutura que irá desviar as rochas para longe da rodovia, ferrovia ou estrutura. As Figuras C24 a C27 mostram exemplos de galpões / abrigos contra rochas.

## Rebordo Reforçado contra Rochas

Não são estruturas comumente usadas por funcionarem apenas para situações específicas e devem ser cuidadosamente projetadas e estruturalmente fortes. A Figura C27 é um exemplo.



**Figura C24.** Galpões contra rochas em Pitquah, British Columbia, Canadá. Estes galpões cercam seções de uma estrada de ferro, protegendo-a contra quedas e avalanches de rocha. (Foto por John Carter, [www.trainet.org](http://www.trainet.org)).



**Figura C25.** Exemplo de um galpão aberto, na Nova Zelândia (Foto por cortesia de Richard Wright, alpinista).



**Figura C26.** Um abrigo contra avalanche de rochas na área de Montenyard da França. O tamanho do abrigo parece ser insuficiente, pois um fluxo de detritos danificou a estrada, o que é mostrado à direita do abrigo. (Foto por Dave Giles, Group Consultoria de Geologia em Engenharia, da Universidade de Portsmouth, Reino Unido).



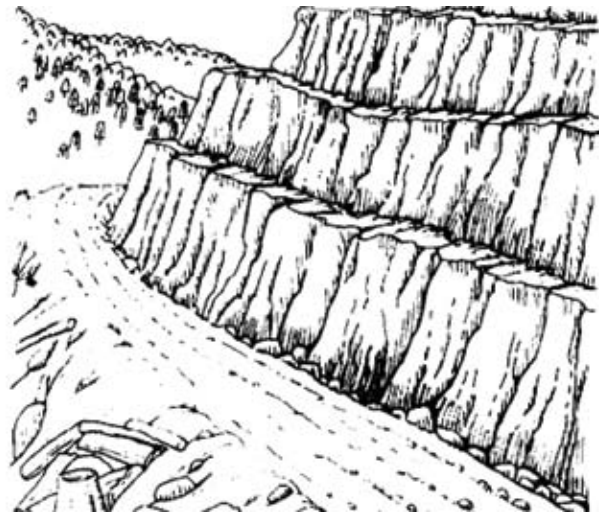
**Figura C27.** Exemplo de um rebordo reforçado, Chapmans Peak Drive, Cape Town, África do Sul. Fotografia: atribuição a [http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Chapmans\\_peak\\_dr.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Chapmans_peak_dr.jpg).

## Escavação de Rochas

### Terraços

Terraços horizontais escavados na superfície de rochas estão entre os tipos mais eficazes de proteção contra quedas. Além de interceptar a queda, os terraços reduzem as forças tensionais na superfície da rocha e reduzem as taxas de erosão superficial, reduzindo, também, as taxas de ocorrência de quedas. No entanto, têm pouco ou nenhum efeito em caso de falha potencial profunda da rocha.

Terraços podem ser construídos em ângulos mais acentuados do que a inclinação geral do talude, pois as rochas que caírem permanecerão, provavelmente, na bancada (fig. C28). Devem-se evitar bancos em ângulos verticais, pois podem resultar em rachaduras por tensão, saliências perigosas e quedas excessivas. A colocação de terraços nas faces deve ser evitada na base onde as camadas sejam formadas de rochas mais fracas, nas zonas de rochas fraturadas ou nas zonas que vertem água. É recomendada a largura mínima de 4 m para as bancadas e todos os bancos devem ter valas de drenagem para desviar a água para longe da encosta.



**Figura C28.** Desenho esquemático e fotografia de terraços de rocha. (Esquema de Referência 11, a fotografia de uma mina em Tucson, Arizona, EUA, por Steve Dutch, University de Wisconsin, EUA).

## Escamação e Desbaste

Blocos de rocha soltos, instáveis e (ou) pendentes, que representam um perigo a passagem do tráfego e (ou) de pedestres, podem ser removidos por redução ou corte. Escamação é a remoção de blocos soltos pelo uso de barras de alavanca de mão (pés de cabra) e pequenas cargas explosivas. Desbaste envolve algumas perfurações e detonação de explosivos leves, seguidas de raspagem, para remover as áreas de maior perigo ou rochas pendentes potencialmente perigosas. As necessidades de raspagem e limpeza podem ser reduzidas com o uso de detonação controlada, mas explodir nem sempre é viável. As rochas pendentes podem ser removidas ou desbastadas até atingirem a parte estável da face rochosa. Operações de escamação são geralmente realizadas por trabalhadores suspensos por cabos ou outros meios, utilizando barras de alavanca (pés de cabra), macacos, e explosivos. Estas operações podem ser demoradas e caras (às vezes perigosas) e nas encostas ativas poderá ter necessidade de repetição de poucos em poucos anos, ou conforme necessário. A escamação e o desbaste são trabalhos altamente qualificados, podendo ser perigosos; as equipes devem ser treinadas e os trabalhos, realizados por profissionais.

Fotografias C29 e C30 mostram operações de escamação e desbaste de rocha.



**Figura C29.** Rochas deslocadas pela tensão e explosão. (Fotografia do Departamento de Transportes de Washington, EUA)



**Figura C30.** Martelo hidráulico (britadeira) em ação, derrubando rocha da encosta. Esta é uma alternativa para por rochas abaixo. (Fotografia do Departamento de Transportes de Washington, EUA).

## Reforço das áreas com potencial para quedas de rochas

### Gunita e Concreto Projetado

Concreto projetado e gunita são tipos de concreto que são aplicados por jato de ar diretamente sobre uma superfície de rocha instável. Concreto projetado é um termo abrangente para descrever a pulverização de betão ou argamassa, quer por um processo a seco ou uma mistura molhada. Gunita se refere apenas ao processo com mistura seca no qual esta é soprada através de bocal de uma mangueira, onde a água é injetada imediatamente antes da aplicação. Este é um método rápido e relativamente simples usado para proporcionar um reforço de superfície entre blocos de rocha e também para reduzir o desgaste e a descamação superficial. O concreto projetado contém agregados de até 2 cm em tamanho e é mais comumente usado do que a gunita, que tem menor agregação. Ambos os materiais podem ser aplicados rapidamente por jato de ar de modo que grandes áreas podem ser cobertas em um curto espaço de tempo. A Figura C31 mostra uma operação de concreto projetado na lateral de uma estrada.



**Figura C31.** Operação com concreto projetado para estabilização de uma área de quedas de rochas em Wolf Creek Pass, Rocky Mountains, Colorado, EUA. (Fotografia do Departamento de Transportes do Colorado).

## Âncoras, parafusos, e buchas

São ferramentas compostas por hastes e cabos de aço que reforçam e unem um corpo de rocha para melhorar sua estabilidade. Âncoras são instrumentos pós-tensionados utilizado para apoiar grandes blocos de rocha, enquanto que os parafusos são mais curtos e apoiam superfícies de rocha. Buchas são semelhantes aos parafusos, mas não são pós-tensionados. Reforçar uma inclinação rochosa com aço requer o conhecimento de um especialista em análise de estabilidade de rocha, de técnicas de rejuntamento e de procedimentos de teste. A determinação da orientação das superfícies com potencial de falha é fundamental para uma ancoragem do sistema e exige uma quantidade considerável de experiência em engenharia. As Figuras C32 e C33 mostram parafusos e sua instalação em parede de rocha ao longo de uma rodovia.



**Figura C32.** Fotografia em close de uma âncora em uma superfície de rocha, com malha sobre ela para maior proteção. A âncora é fincada na rocha a cerca de 5 metros (15 pés) de profundidade.



**Figura C33.** Operação de aparafusamento de rocha; perceba a natureza de despedaçamento (esfarelenta) da rocha. (Fotografia do Departamento de Transporte de Washington, EUA).



### Parte 3. Mitigação de Fluxo de Detritos

Esta seção descreve alguns métodos simples para redução dos riscos de fluxos de detritos para proprietários, empresários e outros. Uma seção curta sobre erosão e controle de incêndio está incluída, pois erosão e incêndio, com subsequentes fluxos de detritos e enchentes, são perigos interrelacionados.

#### Reforço de Declives contra Erosão / Fluxos de Detritos

A erosão pode causar o aumento da curvatura e alongamento de voçorocas, ocorrendo o desprendimento do solo, de resíduos vegetais, rochas e pedras, o que pode intensificar os efeitos dos fluxos de detritos. Manter uma área livre de excesso de materiais combustíveis para incêndios pode também ajudar na redução dos fluxos de detritos, pois encostas queimadas se tornam mais vulneráveis aos efeitos de início de fluxo de detritos e erosão (fig. C34). A perda da vegetação que mantém fixo o solo e as alterações físicas e químicas que resultam da queima e do calor intenso do fogo fazem essas áreas mais propensas aos fluxos de detritos.



**Figura C34.** Declives que sofreram queimadas e fluxos de detritos que ocorreram logo após o incêndio em Lytle Creek, Califórnia, EUA. (Fotografia por Sue Carmon, U.S. Geological Survey).

**Erosão** – São os processos nos quais os materiais da crosta terrestre são afrouxados, dissolvidos ou desgastados e depois transferidos de um lugar para outro. O processo inclui ações do vento, chuva, congelamento e descongelamento, ação do tempo e abrasão física.

## Reforço do solo para resistência à erosão

A erosão é um processo que deve ser levado em conta quando se protege uma área e algumas medidas simples podem ser tomadas para diminuir os efeitos da erosão. A erosão pode levar a rupturas de encostas e problemas de drenagem. Tentar impedi-la é algo que um proprietário poderá fazer proativamente, antes que problemas maiores de rupturas do talude sejam encontrados. Lascas de palha ou madeira são eficazes para manter o solo no local. Elas têm o valor adicional de aumentar o teor de matéria orgânica do solo. Coloque uma cobertura de palha ou lascas de meio centímetro (um quarto de polegada) de espessura, conforme a inclinação e as condições de solo indicarem. Fertilizantes podem ser adicionados. Misture o material com uma camada de poucos centímetros (ou polegadas) do solo de superfície.

Tecidos de juta (um tecido flexível, de material fibroso com custo geralmente baixo) podem ser colocados na encosta e amarrados com estacas para evitar o levantamento pelo vento ou pela água. Procedimentos regulares de plantio podem ser seguidos antes da colocação da juta, pois o tecido não irá interferir no crescimento de vegetação na encosta. A juta se decompõe, mas permanece tempo suficiente para que a vegetação se torne bem estabelecida.

## Adequado plantio de vegetação nas encostas pode prevenir a erosão.

Mantenha as plantas irrigadas, mas não encharcadas. Replante as áreas secas ou áreas que tenham sido queimadas. Efetue inspeções durante as chuvas. Preste atenção às valas. Corrija problemas o mais rapidamente possível.

## Manter encostas livres de combustível para evitar incêndios florestais

Queimadas de encostas em áreas propensas a fluxo de detritos podem tornar-se perigosas porque aumentam a probabilidade e intensidade dos fluxos quando as encostas ficam saturadas pela chuva. Proprietários e empresários podem agir para manter as propriedades livres de excesso de combustível para evitar incêndios florestais, com ações que podem evitar esses incêndios ou queimas que afetam grandes áreas. Os incêndios podem desmatar as encostas e alterar a composição química do solo, resultando na intensificação do risco de fluxos de detritos. Pilhas de madeiras ou vegetação morta, e outros tipos de combustíveis que podem se acumular nas propriedades devem ser mantidos ao mínimo para evitar o início ou propagação de incêndios florestais. Muitas comunidades têm protocolos locais para o controle do excesso de combustível e apresentam conselhos práticos sobre a limpeza da propriedade. Os municípios podem agir junto à comunidade penalizando a queima não autorizada de lixo, por exemplo, através de decretos. Incêndios causados por raios são naturais, mas podem ser tomadas medidas que impeçam sua propagação, através de manutenção de combustível disponível ao mínimo. Para qualquer queima necessária em propriedades, por exemplo, é recomendado que os moradores que vivem em áreas de encostas íngremes estejam vigilantes para que o incêndio não se descontrole, espalhando-se para outras áreas.

**Nota:** Deve-se lembrar que as inundações, fluxos de terra e fluxos de detritos (alguns destes vulgarmente conhecidos como “deslizamentos de lama”) têm muitas das mesmas características e geralmente podem ser tratados de maneira similar. Inundações, deslizamentos de lama e fluxos de detritos, por vezes, podem acompanhar uns aos outros, mas nem sempre.

## Estruturas Atenuantes Contra Fluxos de Detritos

### Bacias para fluxos de detritos

Estas bacias de captação são geralmente construídas na base da encosta, onde são frequentes os fluxos de detritos (fig. C35). Elas são usadas especialmente em áreas onde os detritos devem ser contidos para que o solo e os detritos sejam impedidos de fluir para o oceano ou para áreas sensíveis às margens de rios ou, ainda, onde existam estruturas na base do talude vulneráveis a danos causados por fluxos de detritos. Estas bacias acabarão por encher-se com os depósitos de fluxos de detritos e devem ser esvaziadas periodicamente ou irão transbordar. Geralmente, grandes equipamentos, como caminhões basculantes e máquinas escavadoras são necessários para esvaziar os destroços e levá-los embora. No entanto, pequenas bacias podem ser esvaziadas manualmente. Elas devem ser projetadas para serem capazes de conter o volume máximo de fluxo de uma área, evitando sobrelevação durante esse tipo de evento.



**Figura C35.** Fotografia aérea de uma bacia de fluxos de detritos, construída no fundo de uma encosta, em San Bernardino, Califórnia, EUA. (Fotografia por Doug Morton, US Geological Survey).

### Barragens Reguladoras

Veja Apêndice C, “Parte 1. Estabilização / Mitigação de encostas de terra”, para uma explicação de como as barragens reguladoras também podem ser usadas para reduzir os riscos de fluxos de detritos.

## Muros de Contenção para Fluxo de Detritos

São estruturas que podem ser construídas com vários tipos de materiais. São projetadas para impedir o progresso do fluxo de detritos, para bloqueá-lo ou desviá-lo de uma área vulnerável. Essas estruturas devem ser cuidadosamente concebidas, pois qualquer desvio de material pode ser redirecionado inadvertidamente para zonas vulneráveis adicionais (figuras C36 e C37).



**Figura C36.** É necessário ter cuidado na localização e construção de muros de contenção de fluxos de detritos. Esta é uma fotografia da ruptura parcial de um muro de contenção, causada por um deslizamento em Iztapalapa, um subúrbio da Cidade do México, México. O deslizamento caiu sobre uma casa no pé da encosta, matando duas pessoas, e foi provocado pelas fortes chuvas na região. A casa estava abaixo do muro de 5 metros de altura (15 pés), mas a parede não pode suportar a massa de rochas e terra. (Fotografia por Chinagate / Xinhua).



**Figura C37.** Um muro de contenção de fluxo de detritos na Bacia Kamikochi, Japão. (Foto cortesia de Gonçalo Vieira).

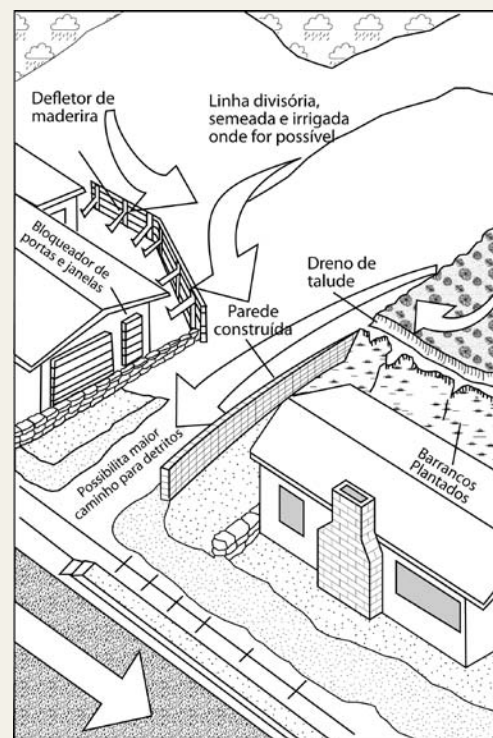
## Atenuação de Fluxos de Detritos para o Proprietário

Esta seção fornece alguns passos simples que um proprietário pode tomar, ou um gestor de emergência pode recomendar para ajudar os indivíduos a atenuar os efeitos da erosão, que em muitos casos pode levar a fluxos de detritos e alguns deslizamentos.

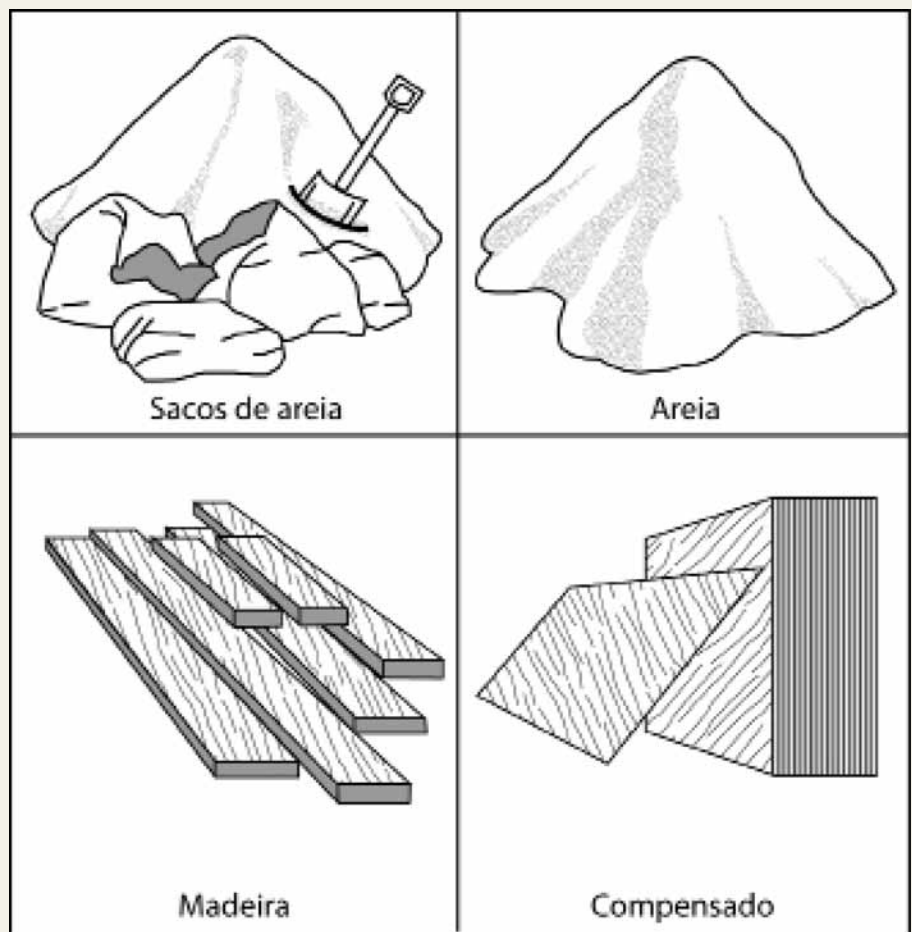
As figuras a seguir, C38 a C52, mostram esquemas de técnicas de redução de fluxos de detritos que podem ser de ajuda na proteção de estruturas. As figuras estão modificadas em relação àquelas encontradas na Referência 20, e extraídas de um folheto publicado para proprietários em Los Angeles, Califórnia, EUA, pelo Departamento de Obras Públicas de Los Angeles County, mostrando metodologia simples para reduzir os riscos de inundações, erosão e fluxos de detritos.



**Figura C38.** Esquema de uma casa desprotegida, no caminho de um fluxo de detritos e (ou) deslizamento de lama. Métodos sugeridos para reduzir os riscos de fluxos de detritos são mostrados na Figura C39.



**Figura C39.** Esquema de uma casa com as estruturas de proteção em vigor. Mostra a construção de cercas e de retenção de detritos. Devido à força extrema de impacto associado a alguns fluxos de detritos, estas e outras estruturas devem ser cuidadosamente projetadas e construídas.

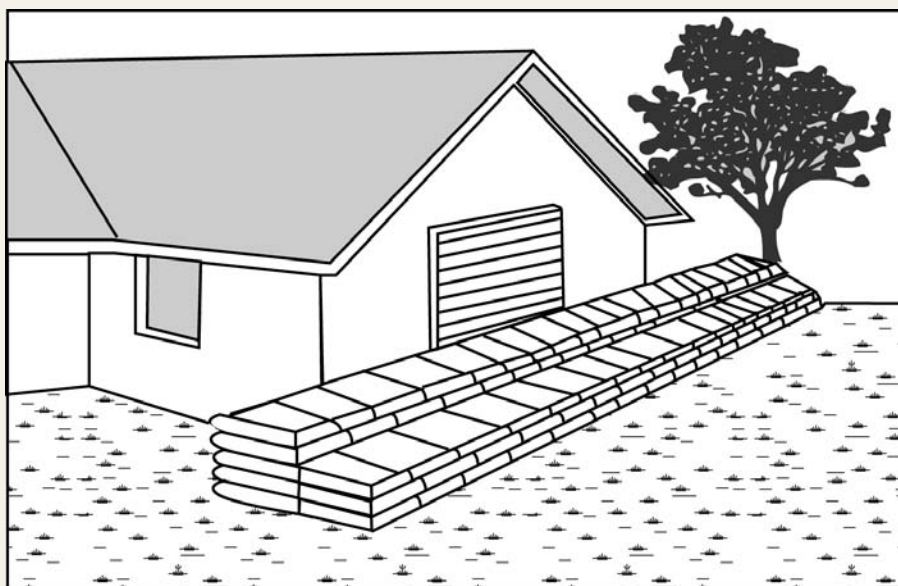


**Figura C40.** Esquema de materiais típicos, geralmente disponíveis em muitas regiões do mundo, para ajudar a reduzir os danos de inundação / fluxo de detritos.

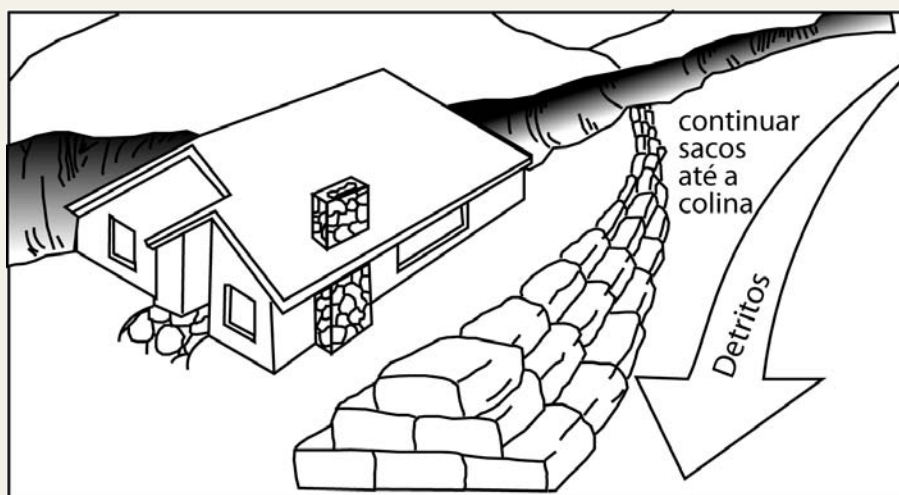


**Figura C41.** Sacos de areia são basicamente para proteção contra pequenos fluxos, de 0 até 0,6 metros (2 pés). Proteção para maiores fluxos requer um tipo mais permanente da estrutura. Note-se que sacos de areia não irão isolar a água.

**Nota:** O material ideal para os sacos é areia e estes não devem ser preenchidos com aparatos de madeira, papel, lixo ou outros materiais. Os sacos de juta deterioram-se quando expostos durante vários meses ao processo contínuo de molhagem e secagem. Se os sacos são colocados muito cedo, podem não ser eficazes quando necessário.



**Figura C42.** Esquema de uma colocação típica de sacos de areia para proteção pessoal (situações individuais podem variar em “layout” e orientação).



**Figura C43.** Sacos de areia ajudam no direcionamento de detritos para longe de edifícios.

**Atenção:** Não é aconselhável a utilização de fardos de palha ou feno em vez de sacos de areia. Eles não atuam tão bem como sacos de areia e podem ser carregados.



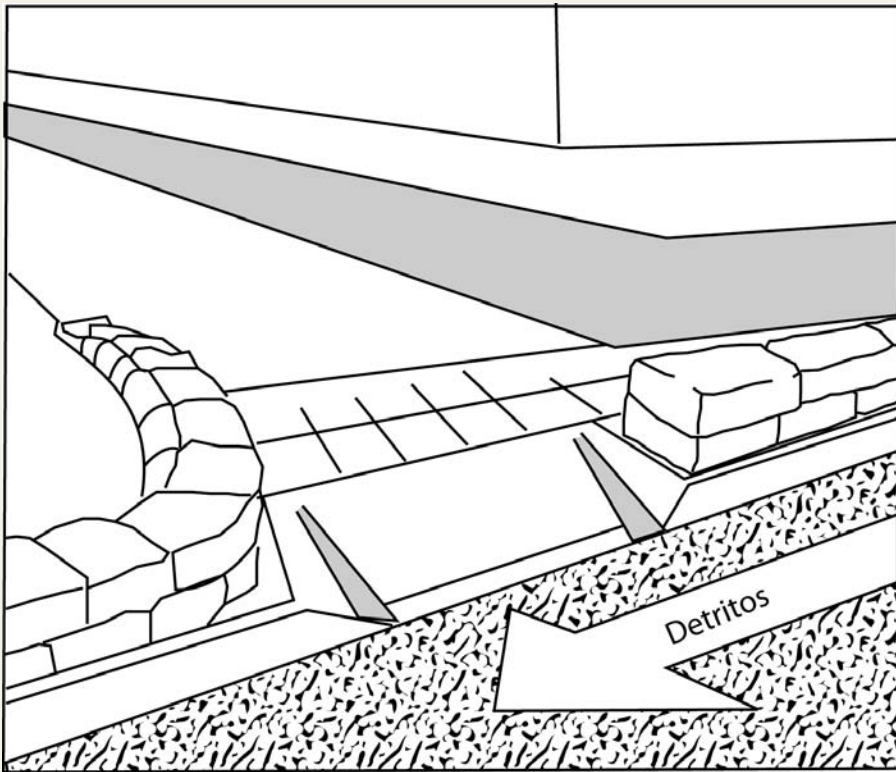


Figura C44. Controle de fluxos ou tempestade de detritos nas ruas, com sacos de areia.

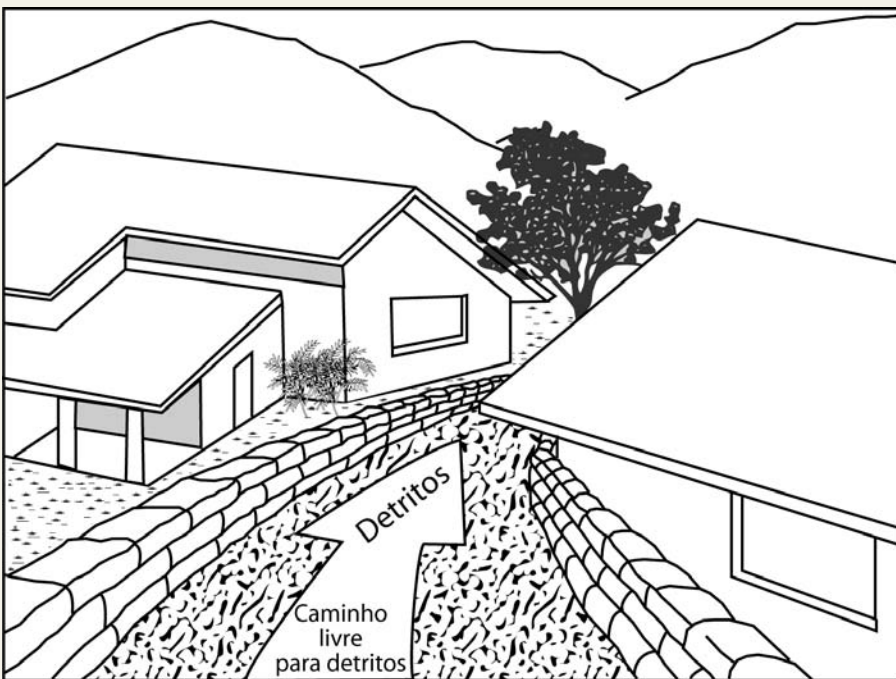
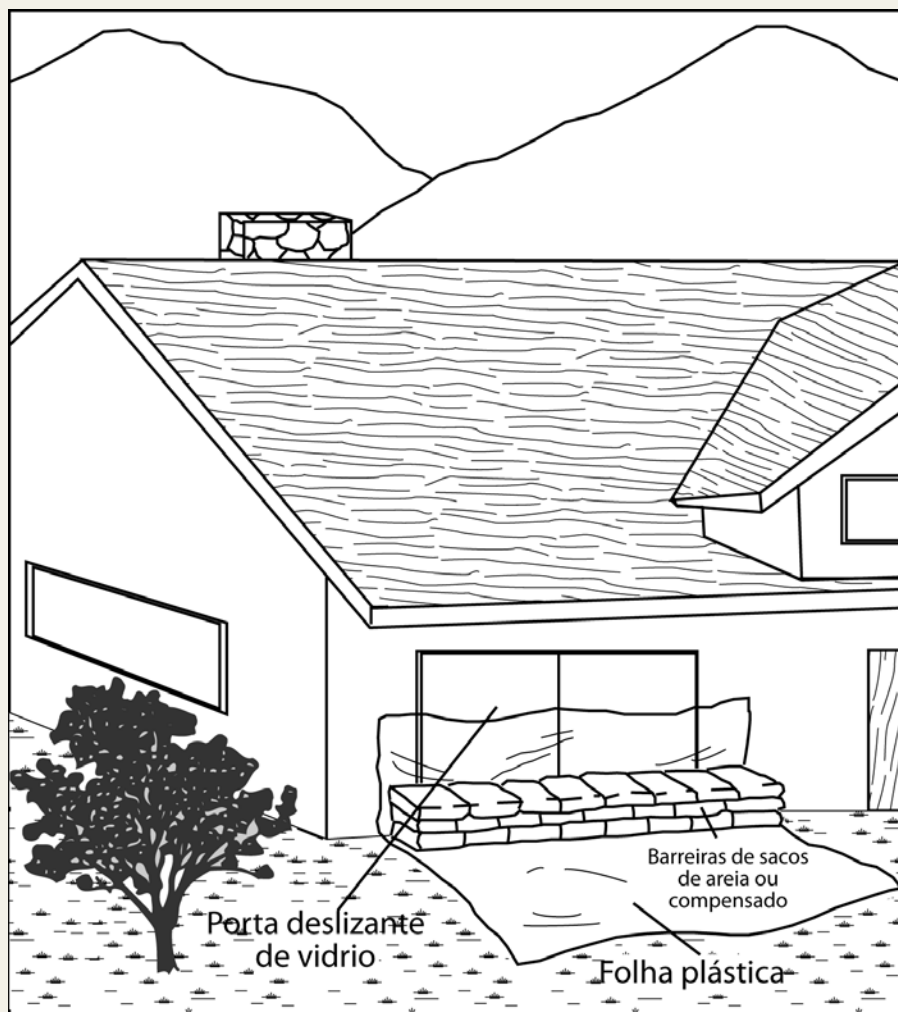


Figura C45. Direcionamento de fluxos entre os edifícios, utilizando sacos de areia.  
grafico



**Figura C46.** Isolamento de porta deslizante de vidro - Controle do fluxo para evitar que escoe pela porta deslizante de vidro, usando sacos de areia e lonas plásticas.

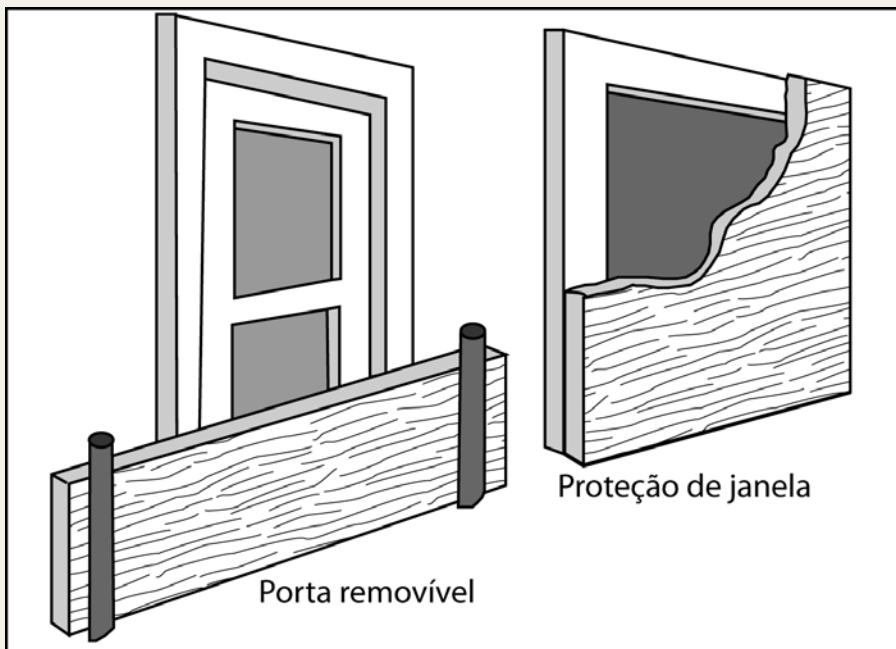


Figura C47. Proteção típica de janela e porta, utilizando madeira compensada.

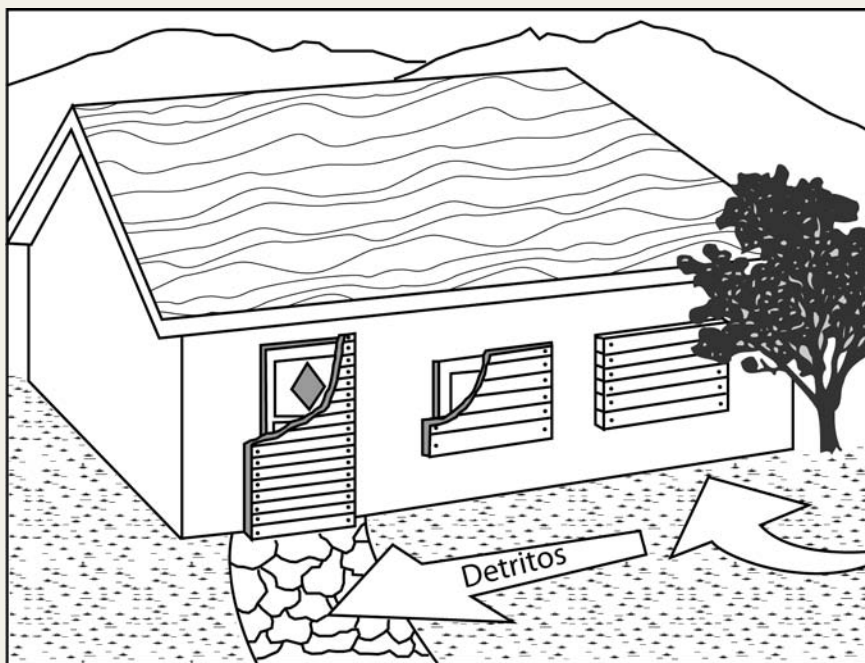


Figura C48. Pregar-se compensado ou madeira para proteção de janelas e portas.

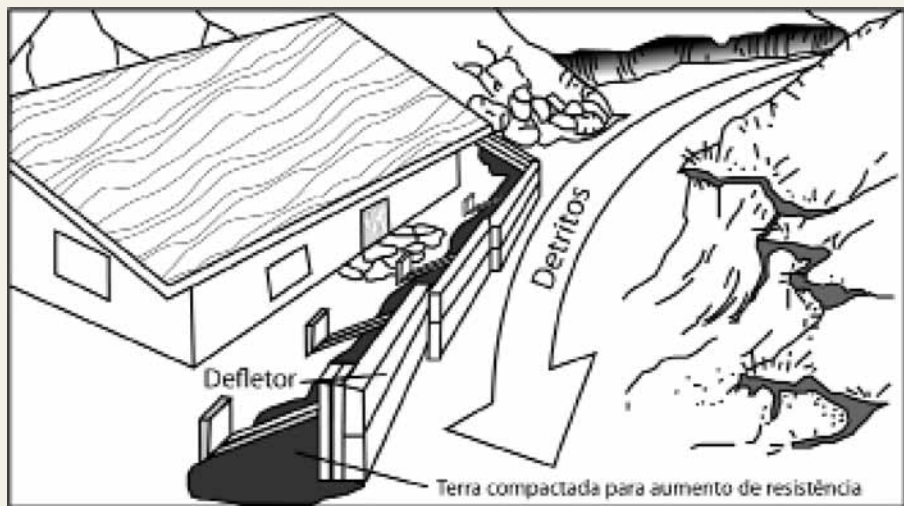


Figura C49. Este é um defletor de madeira, que é mais permanente do que sacos de areia.

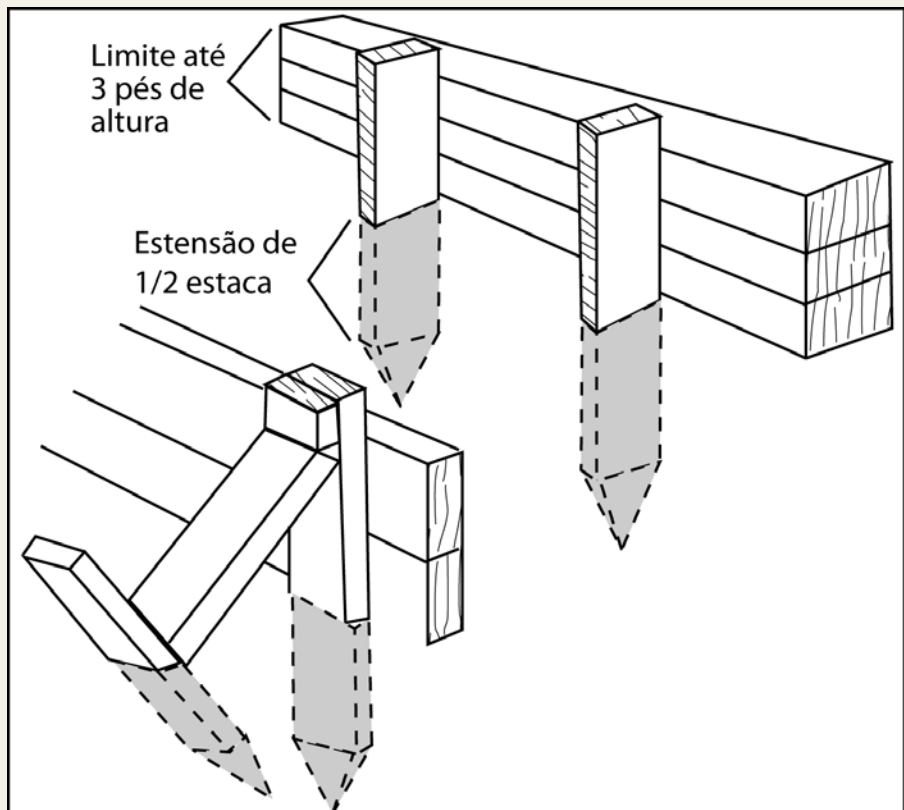
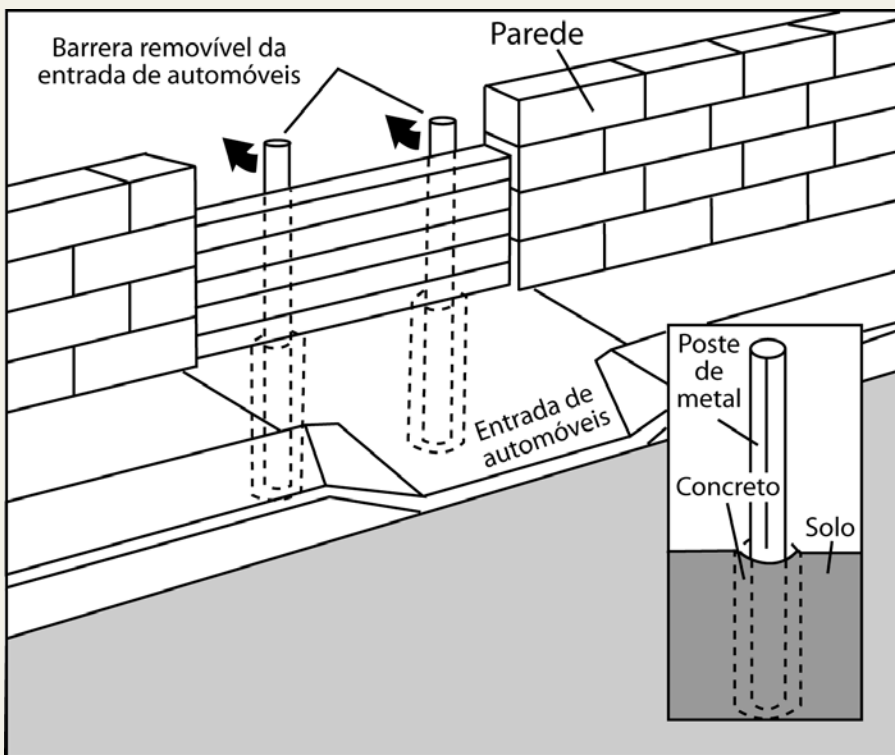


Figura C50. Esquema em close de uma técnica de instalação de um defletor de madeira.



**Figura C51.** Uma alternativa aos defletores de madeira - pedaços de postes de telefone ou dormentes de ferrovias.



**Figura C52.** Barreira removível para garagem. Os postes de metal podem ser removidos e repostos conforme necessário, uma vez que se encaixam e deslizam em tubos de concreto, no chão.

## **Coisas básicas para lembrar com referência à Atenuação e Reação a Fluxos de Detritos e Outras Reações a Perigos/Emergências de Deslizamentos**

Sacos de areia, ferramentas e folhas de plástico podem ser úteis durante chuvas fortes (o plástico pode ser usado para proteger e impermeabilizar alguns itens). Mantenha-os disponíveis, sempre que possível. Ajude os outros na comunidade que podem não ser capazes de reforçar as suas habitações, tais como os deficientes ou idosos. Eduque as crianças em técnicas de mitigação. As técnicas de mitigação são mais eficazes quando usadas por tantos membros quanto possível de uma comunidade.

- Se rachaduras incomuns, acumulação, ou deslizamentos de terra começam, é recomendado que se consulte as pessoas responsáveis ou agentes municipais (como um gestor de situações de emergência) e (ou) um engenheiro civil ou geólogo, logo que possível.
- Sugere-se que encostas ou áreas de drenagem não sejam alteradas sem aconselhamento de peritos. É sempre melhor consultar um profissional ou alguém com experiência neste tipo de trabalho.
- Drenagem normal de propriedade geralmente segue para a rua ou para um dispositivo de drenagem aprovado. Quando fizerem reformas, os proprietários ou outros devem evitar prejudicar os padrões de fluxo criados quando a propriedade foi originalmente classificada. Obstruções, tais como pátios, calçadas e pavimentos, não devem ser colocadas em valas laterais a menos que um método alternativo de drenagem seja fornecido.
- Exponha ilustrações na forma de diagramas esquemáticos simples em lugares públicos, para ajudar as pessoas a melhorar suas técnicas de mitigação.
- É aconselhável ter um plano de emergência para a evacuação e reassentamento das populações que são ameaçadas por riscos de deslizamento. Em geral, é melhor ter a certeza que todos têm conhecimento destes procedimentos.

## Atenuação para Deslizamentos em Barragens

Conforme mencionado anteriormente, o principal risco de deslizamento em barragens são as inundações que podem ocorrer quando um deslizamento rompe, ou quando a represa está abarrotada pelo fluxo contínuo de água que se acumula por trás da barragem. As seguintes medidas podem ser implementadas quando as comunidades são confrontadas com riscos potenciais de deslizamento em barragens:

### Desvio do fluxo de água antes de sua chegada ao lago formado pelo deslizamento na barragem

Isso pode ser feito mediante o desvio de água proveniente de correntes para reservatórios a montante ou para sistemas de irrigação. Embora geralmente seja apenas uma medida temporária, o desvio pode reduzir o enchimento do lago, o suficiente para permitir a aplicação de uma solução em mais longo prazo.

### Drenagem temporária do represamento de bombas ou sifões

A subida do nível da água pode ser controlada temporariamente por meio de bombas ou sifões, fazendo com que a água flua sobre o ponto mais baixo da barragem. Essa é geralmente uma medida de curto prazo (menos de 1-2 anos) que fornece tempo para as soluções mais amplas, em longo prazo.

*Para mais informações e leitura posterior:  
Referências 11, 12, 13, 20, 25, 26, 39, 42 e 46*

## Construção de um vertedouro resistente à erosão

O método mais comum de estabilizar uma barragem de deslizamento é a construção de um vertedouro de canal aberto resistente à erosão que atravesse a barragem ou um pilar adjacente. Quando ocorre o aumento da altura de água, o fluxo é controlado pelo caminho do derrame, muito parecidamente à maneira com que vertedouros de emergência são construídos sobre barragens projetadas para controle do nível da água. Uma vantagem adicional deste tipo de vertedor é que ele permite a redução do nível de água por trás da barragem, o que ajuda a diminuir as enchentes a montante que barragens podem causar quando ocorre deslizamento.

Vertedouros nem sempre são bem sucedidos na prevenção da ruptura de barragens e das inundações; eles às vezes falham devido à erosão regressiva (erosão da saída do vertedouro em direção a sua entrada), causada pela alta velocidade do fluxo de saída. Para prevenir essa erosão, minimizando a velocidade de fluxo, o vertedouro deve ser largo e raso. Se possível, deve ser revestido com materiais resistentes à erosão (comumente enrocamento), especialmente na entrada. Muitas vezes, as barragens reguladoras são instaladas ao longo de lados mais íngremes do vertedouro para evitar a erosão. Vertedouros que falham devido à erosão podem ter sido parcialmente bem sucedidos, porque limitam o volume total da água por atrás da represa, reduzindo assim o volume de descarga total, mesmo se a barragem rompe inteiramente.

Vertedouros de canais abertos cruzando toda a barragem são geralmente escavados por escavadeiras, no entanto, guindastes, retroescavadeiras, explosivos e mão de obra têm sido utilizados. A escavação pode ser perigosa em terrenos acidentados, por isso uma estrada de acesso tem de ser construída.

## Drenagem do túnel através de um pilar

Um método de longo prazo para prevenir a cheia e o rompimento de uma barragem é a construção de um túnel de desvio através de um pilar adjacente a esta. Como grandes barragens de deslizamento ocorrem comumente nos canyons (gargantas) de montanhas, elas geralmente têm pilares nas camadas de rocha, assim métodos para perfuração de rochas são comumente utilizados. A Figura C53 mostra o deslizamento, Thistle, em Utah nos Estados Unidos, desencadeado pelas condições do El Niño de 1983. As fortes chuvas do outono anterior e o rápido degelo causaram o enorme acidente. Para ler mais, consulte Referência 31.

O deslizamento Thistle destruiu também parte de uma grande rodovia e de uma linha principal da ferrovia. Depois que um túnel foi escavado por entre a montanha, os trens puderam continuar o percurso. A autoestrada (rodovia) foi redistribuída ao longo de um rebaixamento, longe do depósito do deslizamento (fig. 54).

O deslizamento vai ficar como está, porque é demasiado grande para ser removido. O deslizamento ainda está sendo monitorado, com instrumentação pelo Estado do Utah, e foi recentemente reativado. A reativação é outro perigo de deslizamento em barragens como a Thistle (fig. C55)





**Figura C53.** O deslizamento Thistle, em Utah, EUA, 1983. Este deslizamento represou um rio, que formou um lago (chamado de “Thistle Lake”) por trás da represa, inundando a cidade de Thistle. (Fotografia por Robert L. Schuster, US Geological Survey)



**Figura C54.** Vista em close das medidas de atenuação tomadas para reduzir o impacto da barragem de deslizamento Thistle, mostrando o túnel para o rio e o túnel para desvio da cheia. (Fotografia em cortesia do Utah Geological Survey)



**Figura C55.** Fotografia com anotações que mostram a reativação e ampliação da barragem de deslizamento Thistle. (Fotografia em cortesia do Utah Geological Survey).

**Apêndice D**  
**Exemplo de Informação de Segurança para**  
**Deslizamentos/Fluxo de sedimentos**



## O que você pode fazer se vive perto de encostas?

### Antes de tempestades intensas:

- Familiarize-se com a terra em torno de você. Contate os funcionários locais, os de gestão de emergência e assistência, das entidades geológicas governamentais ou dos departamentos de recursos naturais e departamentos universitários de geologia e saiba se os fluxos de sedimentos têm ocorrido na sua área. Encostas onde os fluxos de sedimentos tenham ocorrido no passado estão propensas a passarem por outros, no futuro.
- Apoie o governo local em seus esforços para desenvolver e controlar o uso da terra e estabelecer decretos que regulam a construção em áreas suscetíveis a deslizamentos de terra e detritos. Os edifícios devem estar localizados longe de encostas íngremes, riachos e rios, canais de fluxo intermitente e as saídas dos canais de montanha.
- Observe os padrões de drenagem de águas pluviais nas encostas próximas à sua casa e observe especialmente os locais para onde converge o escoamento da água, aumentando o fluxo sobre declives encobertos pelo solo. Cuide de observar as encostas ao redor de sua casa para qualquer sinal de movimento de terra, como deslizamentos, fluxos de sedimentos ou inclinação progressiva de árvores.
- Contate as autoridades locais para aprender sobre reações em casos de emergência e planos de evacuação para a sua área, desenvolvendo planos próprios para sua família e seus negócios.

### Durante tempestades intensas:

- Fique atento e permaneça acordado! Muitas mortes por fluxos de sedimentos ocorrem quando as pessoas estão dormindo. Ouça a rádio para avisos de chuva intensa. Esteja ciente de que intensas rajadas de chuva podem ser particularmente perigosas, especialmente após longos períodos de chuvas e tempo úmido.
- Se você estiver em uma área susceptível a deslizamentos de terra e detritos, considere deixá-la se for seguro fazê-lo. Lembre-se que viajar durante uma intensa tempestade é perigoso.
- Perceba qualquer som que possa indicar deslocamento de sedimentos, como árvores rachando ou pedras batendo juntas. Um fluxo menor de lama ou queda de fragmentos pode preceder os fluxos maiores. Se você estiver perto de um rio ou canal, esteja alerta para qualquer aumento súbito ou diminuição do fluxo de água e para uma mudança de cor ou transparência da água, de clara a lamacenta. Tais alterações podem indicar atividade de fluxo de sedimentos a montante, portanto esteja preparado para agir rapidamente. Não demore! Salve-se, não os seus pertences.
- Tenha atenção especial ao dirigir. Diques ao longo das rodovias são particularmente suscetíveis a deslizamentos de terra. Observe se a estrada de asfalto ruiu, se há lama, rochas caídas e outras indicações de possíveis fluxos de sedimentos.

### O que fazer se você suspeita de perigo iminente de deslizamento:

- Evacuar a área, se possível.
- Contatar o corpo de bombeiros local, a polícia ou o departamento de obras públicas.
- Informar os vizinhos afetados.

## Depois dos deslizamentos:

- É melhor ficar longe da área de perigo, pois pode haver risco de deslizamentos adicionais; no entanto, isto nem sempre é possível ou desejável.
- Verifique se há feridos e pessoas presas perto da área do deslizamento. Atenda com os primeiros socorros se treinado para isso, e chame por ajuda.
- Lembre-se de ajudar os seus vizinhos que podem necessitar de assistência especial como crianças, idosos e pessoas com deficiência.
- Ouça um rádio de pilha ou assista a uma televisão a bateria para obter as últimas informações de emergência.
- Lembre-se que as inundações podem ocorrer após um fluxo de lama ou um deslizamento de terra.
- Verifique se há linhas e tubulações de serviço público danificadas. Relate os casos para as empresas de serviço público.
- Verifique danos na fundação do edifício, chaminé, e ao redor do terreno.
- Replante no solo danificado o mais rapidamente possível porque a erosão causada pela perda da cobertura do solo pode levar a enchentes.
- Procure o conselho de peritos geotécnicos para avaliar os riscos de deslizamento ou desenvolver técnicas corretivas para reduzi-los.

## Índice

### A

abaixamento, 13  
 água intersticial, 77, 78  
 alicerce, 89, 96  
 Atenuação, viii, ix, 95, 139, 148, 149, 152  
 Avalanche de Detritos, vi, xi, 28, 29, 49

### B

Bacia de sedimentos/detritos, 76  
 Barragens reguladoras, viii, ix, 76, 103, 104, 137, 150

### C

cartografia, viii, 78, 83, 84, 85, 88  
 cisalhamento, xi, 8, 13, 22, 30, 31, 33, 36, 78, 101, 112, 118  
 Coluvião, 76

### D

Deslizamento de lama, 78, 139  
 Deslizamento em delta frontal, 76  
 drenos, ix, 99, 107, 109

### E

emergência, 2, 47, 63, 139, 148, 150, 154, 155  
 Enchimento com material leve, viii, 99  
 Epicentro, 76  
 Escavação, viii, ix, 45, 66, 82, 96, 97, 99, 100, 118, 130, 150  
 Escorregamento rotacional, v, xi, 7, 13, 14, 15, 22  
 Escorregamento Translacional, v, xi, 7, 16, 17, 18  
 Espalhamento Lateral, v, xi, 19, 20, 21, 39, 40  
 Estudos geofísicos, vii, 60, 77

### F

falésia, 48, 67, 76, 78, 124  
 fator de segurança, 76, 97, 114  
 Fluxo de detritos, vi, viii, ix, xi, xiv, 8, 16, 22, 23, 24, 25, 36, 41, 61, 64, 67, 76, 105, 129, 135, 136, 138, 139, 140  
 Fluxo de lama, 78, 155

Fluxo de Terra, vi, xi, 7, 30, 31, 32, 51  
 Fratura, 19, 77, 118, 119, 130  
 furos de sondagem, 34

### G

Geologia superficial, 79, 89  
 Geomorfologia, 59, 77  
 Glossário, viii, xv, 6, 60, 76, 80  
 Grades de Madeira, ix, 112

### H

Hidráulico, xiii, 77, 132  
 Hidrologia, 77

### I

Imagem e Perfis Acústicos, vii, 61  
 infiltração, 11, 43, 78, 107, 111  
 InSAR, xii, 73, 74, 90, 92  
 Instrumentação, vii, viii, 60, 94, 150  
 Intemperismo, 79, 82  
 Inventários de deslizamento, viii, 77, 85, 86

### L

*Lahar*, vi, xi, 25, 26, 27, 28, 44, 46, 77  
 Lençol freático empoleirado, 78  
 Leque aluvial, 76  
 liquefação, xi, 19, 20, 21, 25, 30, 43, 77  
 litologia, 76, 77  
 Lodo, 78  
 Loess, 78

### M

Mapa geológico, 77, 87  
 Mapas de Risco de Deslizamento, viii, 77, 85, 88  
 Mapas de Susceptibilidade ao Deslizamento, viii, 85, 87  
 Mecânica das rochas, 78, 96  
 Mecânica de solos, 78  
 Medição geodésica, 76  
 Medidor eletrônico de distância, 76  
 Modelo Digital de Elevação, 76, 90, 93  
 monitoramento, vii, viii, 12, 14, 26, 46, 59, 61, 66, 83, 94  
 muro de contenção, xiv, 99, 116, 138

### P

Perfuração, vii, 60, 61, 85, 109, 150  
 Plano de estratificação / acamamento, 76

### Q

queda rochosa, v, xi, 8, 9, 10, 125  
 queimadas, xiv, 22, 23, 38, 41, 135, 136

### R

Reconhecimento Aéreo, vii, 59  
 Reconhecimento de Campo, vii, 60, 84  
 Relevo, 49, 78  
 risco, vii, viii, xii, 7, 9, 10, 14, 23, 26, 37, 39, 47, 52-57, 59-68, 70, 71, 78, 79, 84, 85, 88-90, 124, 135-137, 139, 148, 149, 155  
 Risco geológico, 77

### S

segurança, 1, 49, 62-64, 76, 96, 97, 114, 153  
 Semeadura Hidráulica, 119  
 Sensoriamento Remoto, vii, viii, 59, 83, 89, 93  
 Sifão, 78  
 sistema de informação geográfica, 77, 89  
 Solo expansivo, 78  
 Solos expansivos, 79  
 Sturzstroms, 79

### T

Tensão de tração, 79  
 Terraços, viii, ix, xiii, 100, 130  
 tombamento, v, xi, xv, 11, 12, 43, 48

### Z

zoneamento, 45, 79, 85

Manuscrito aprovado para publicação em 5 de maio de 2008.

Editado por Mary Kidd.

Projetado e elaborado por Margo VanAlstine com a ajuda de Carol Quesenberry

Para mais informações sobre esta publicação, contatar: Team Chief Scientist, USGS

Geologic Hazards

Box 25046, Mail Stop 966

Denver, CO 80225

(303) 273-8579

Ou visite o Geologic Hazards Team Web site em:

<http://geohazards.cr.usgs.gov/>

Traduzido e adaptado para o Brasil por Paulo R. G. Rogério, Eng.º Civil/Geotécnico e Juarês José Aumond, Geólogo/Dr. em Engenharia Civil.

Foto da capa por Juarês José Aumond

Digitalizado e formatado por Qualicopy Serviços e Comércio Ltda.

(47) 3387-1242

89107-000 - Pomerode – SC – Brasil

Design por [miki@ultradesigns.com](mailto:miki@ultradesigns.com)



Casa destruída em Pomerode, SC (Novembro, 2008). Foto por Eng. Geotecnico Paulo R. Rogério