

Antonio José Teixeira Guerra

e

Sandra Baptista da Cunha

*Organizadores*

**Geomorfologia**

e

**Meio ambiente**

**Prof<sup>a</sup> Bianca C. Vieira**

FLG 1252 – GEOMORFOLOGIA I

Textc 10 / 37 Cópias

**BB**  
**BERTRAND BRASIL**

CAPÍTULO 3

**MOVIMENTOS DE MASSA: UMA  
ABORDAGEM GEOLÓGICO-  
GEOMORFOLÓGICA**

*Nelson Ferreira Fernandes  
Cláudio Palmeiro do Amaral*

**1. Introdução**

Dentre as várias formas e processos de movimentos de massa, destacam-se os deslizamentos nas encostas em função da sua interferência grande e persistente com as atividades do homem, da extrema variância de sua escala, da complexidade de causas e mecanismos, além da variabilidade de materiais envolvidos. Neste capítulo, dedicado principalmente aos deslizamentos, desenvolve-se uma abordagem que enfatiza as técnicas de investigação e previsão, bem como o papel desempenhado pelos condicionantes geológicos e geomorfológicos na sua deflagração, com base em exemplos vivenciados na região sudeste brasileira.

Os deslizamentos são, assim como os processos de intemperismo e erosão, fenômenos naturais contínuos de dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície terrestre. No entanto, destacam-se pelos grandes danos ao homem, causando prejuízos a propriedades da ordem de dezenas de bilhões de dólares por ano. Em 1993, segundo a Defesa Civil da ONU, os deslizamentos causaram 2517 mortes, situando-se abaixo apenas dos prejuízos causados por terremotos e inundações no elenco dos desastres naturais que afetam a humanidade. Por este motivo, estes constituem objeto de estudo de grande interesse para pesquisadores e planejadores.

Atualmente, existem diversos projetos de pesquisa em todo o mundo abordando as causas e mecanismos dos movimentos de massa nas encostas, a maioria deles integrando diferentes profissionais tais como geólogos, geógrafos, engenheiros civis, biólogos, entre outros. Grande parte destes estudos procura encaixar-se na estrutura do "Decênio para Redução dos Desastres Naturais", um programa das Nações Unidas, iniciado em 1990, que procura desqualificar o fatalismo em relação aos desastres naturais e promover em todos os países a determinação política para se utilizar o conhecimento existente na mitigação dos desastres.

No campo dos movimentos de massa, existem dois projetos específicos patrocinados pela UNESCO dentro do Programa da ONU: o primeiro é o Projeto do Inventário Mundial de Deslizamentos, que procura entender a distribuição dos deslizamentos em escala mundial (WP/WLI, 1990). Dentro do seu contexto inclui-se, também, a proposta do Grupo Internacional de Pesquisas sobre Deslizamentos (Brabb, 1993) de

desenvolvimento de um projeto mundial de documentação e mapeamento destes movimentos durante esta década, sob um custo de 300 milhões de dólares. O segundo projeto, de caráter internacional, procura transferir tecnologia de previsão de deslizamentos em áreas montanhosas, com base em sistemas informatizados (van Westen *et al.*, 1994), aproveitando recursos do sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas.

O Brasil, por suas condições climáticas e grandes extensões de maciços montanhosos, está sujeito aos desastres associados aos movimentos de massa nas encostas. Além da frequência elevada daqueles de origem natural, ocorre no país, também, um grande número de acidentes induzidos pela ação antrópica. As metrópoles brasileiras convivem com acentuada incidência de deslizamentos induzidos por cortes para implantação de moradias e de estradas, desmatamentos, atividades de pedreiras, disposição final do lixo e das águas servidas, com grandes danos associados. A Figura 3.1 mostra uma estatística parcial dos danos provocados por deslizamentos na Cidade do Rio de Janeiro nos últimos 30 anos, com base nos resultados apresentados por Amaral *et al.* (1996).

Apesar de contar com um Comitê para o Decênio da ONU e vários grupos de pesquisa atuando em deslizamentos em centros de excelência acadêmica e órgãos públicos, é interessante notar o pequeno número de programas locais para redução dos acidentes associados aos deslizamentos no Brasil, principalmente se considerarmos que as cidades poderiam se beneficiar muito do intercâmbio de experiências de solução dos problemas e

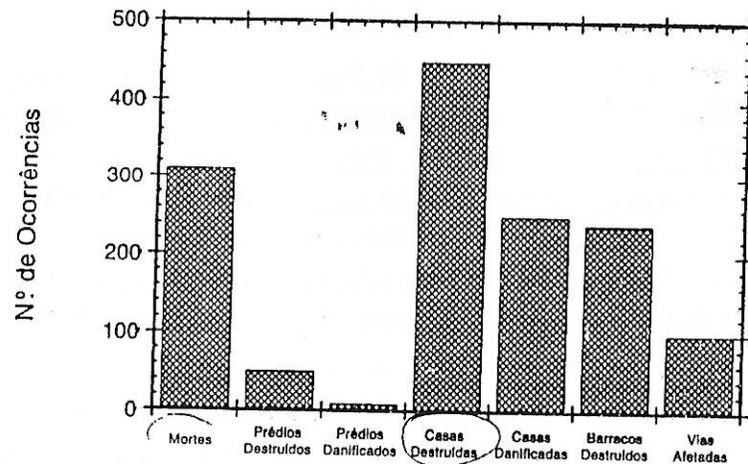


Figura 3.1 — Danos associados a movimentos de massa no Rio de Janeiro (modificado de Amaral et al., 1996).

da discussão sobre as dificuldades encontradas para sua implantação. Para que esta ação seja efetivamente encaminhada, é preciso, primeiro, ampliar o conhecimento sobre as causas e os métodos de prevenção de acidentes.

Neste sentido, o entendimento da fenomenologia destes acidentes é condição mister, uma vez que sem conhecimento da forma e extensão, bem como das causas dos deslizamentos, nunca se chegará a uma medida preventiva ou mesmo corretiva que implique na maior segurança. Nas seções subseqüentes são apresentadas algumas etapas envolvidas no estudo dos deslizamentos e na definição das medidas mitigadoras.

## 2. Classificação e Condicionantes

Existem na natureza vários tipos de movimentos de massa os quais envolvem uma grande variedade de

materiais, processos e fatores condicionantes. Dentre os critérios geralmente utilizados para a diferenciação destes movimentos destacam-se o tipo de material, a velocidade e o mecanismo do movimento, o modo de deformação, a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água (Selby, 1993). Com tantos critérios disponíveis, não é surpresa que existam na literatura várias classificações em uso e muitos conflitos com relação à terminologia, situação esta há muito evidenciada por Terzaghi (1950).

### 2.1. Classificação

Sharpe (1938) desenvolveu a primeira classificação de amplo aceite e esta serviu de base para muitos trabalhos posteriores. Dentre as propostas mais recentes destacam-se os trabalhos de Varnes (1958 e 1978), Hutchinson (1988) e Sassa (1989). O esquema proposto por Varnes (1978), ainda um dos mais utilizados em todo o mundo, é bem simples e baseia-se no tipo de movimento e no tipo de material transportado. Já a classificação proposta por Hutchinson (1988), certamente uma das mais complexas, baseia-se na morfologia da massa em movimento e em critérios associados ao tipo de material, ao mecanismo de ruptura, à velocidade do movimento, às condições de poro-pressão e às características do *fabric do solo*. Devido a sua complexidade este esquema de classificação requer um grande volume de informações dificultando sua utilização no campo.

No glossário multilíngüe (WP/WLI, 1994), proposto pelo Grupo Internacional do Inventário Mundial de Deslizamentos para garantir a homogeneização de con-

ceitos utilizados por pesquisadores de todo mundo, são considerados os seguintes tipos de movimentos: quedas, escorregamentos, corridas, tombamentos e espraia-mentos.

Ao nível de Brasil, destacam-se os trabalhos de Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984) e IPT (1991). A Tabela 3.1 mostra, de forma resumida, as principais classes de movimentos de massa propostas por estes autores.

TABELA 3.1 — COMPARAÇÃO ENTRE ALGUMAS PROPOSTAS BRASILEIRAS DE CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Freire (1965)	Guidicini e Nieble (1984)	IPT (1991)
Escoamentos: Rastejos e Corridas	Escoamentos: Rastejos e Corridas	Rastejos
Escorregamentos: Rotacionais e Translacionais	Escorregamentos: Rotacionais, Transacionais, Quedas de Blocos e Queda de Detritos	Corridas de Massa
Subsidências e Desabamentos	Subsidências: Subsidências, Recalques e Desabamentos	Escorregamentos
	Formas de Transição Movimentos Complexos	Quedas/ Tombamentos

Além das classificações com caráter mais genérico, apresentadas na Tabela 3.1, existem propostas de abrangência mais local. No Rio de Janeiro, por exemplo, Jones (1973) descreveu os deslizamentos com base na experiência acumulada neste mesmo tipo de trabalho de classificação desenvolvido na Califórnia. Os deslizamentos foram, então, divididos em quatro grupos: deslizamentos seguidos de corridas de terra, deslizamentos de detritos, corridas de detritos e quedas ou deslizamentos de rocha. Mais tarde, Costa Nunes *et al.* (1979) dividiram os deslizamentos nas encostas cariocas em: movimentos de lascas e blocos rochosos imersos em solo residual; movimentos envolvendo predominantemente solo residual com plano de ruptura junto à superfície da rocha; movimentos envolvendo rocha alterada e complexos coluviais devido a chuvas excepcionais.

Não é nosso objetivo descrever ou mesmo comparar os diversos sistemas de classificação existentes, mas sim fornecer uma descrição simples e direta de deslizamentos nas encostas. Neste sentido, torna-se preciso limitar os processos que aqui são tratados e distingui-los de outras formas de movimentos de massa. Os processos de erosão laminar, em sulco ou mesmo por voçorocamento (Guerra, 1995), que integram os processos naturais de transporte de massa da dinâmica superficial das encostas (IPT, 1991), não são aqui tratados como deslizamentos porque o impacto da água e a desagregação das partículas não são, em geral, seguidos de movimentos coletivos de massa com arraste de grande volume de partículas liberadas.

As classes de movimentos de massa consideradas, efetivamente, como deslizamentos, neste capítulo, en-

globam, de modo geral, aquelas descritas no esquema simplificado proposto pelo IPT (1991). Sabemos, porém, que qualquer esquema como este possui grandes limitações práticas, uma vez que na natureza os deslizamentos tendem a assumir formas bem mais complexas caracterizadas pela transição de limites rígidos entre as classes ou mesmo pela ocorrência de várias classes em um mesmo movimento.

A seguir, faremos uma rápida revisão das principais classes de movimentos de massa seguindo, de maneira geral, a terminologia proposta pelo IPT (1991) e por Guidicini e Nieble (1984). Trataremos de forma mais detalhada dos movimentos de massa conhecidos como escorregamentos por representarem a classe mais importante dentre todas as formas de movimentos de massa. Os movimentos gravitacionais, genericamente chamados de rastejos, embora caracterizem uma transição tênue para os escorregamentos, não são aqui abordados. Tal opção deve-se ao fato destes movimentos serem lentos, contínuos (não limitáveis no tempo) e de menor importância econômica. Além disso, a complexidade dos diversos processos de transporte englobados dentro dos rastejos (movimentos individuais de partículas na superfície do terreno, movimentos descendentes das camadas mais superficiais do solo e da rocha, entre outros) requer um tratamento mais específico, fora dos objetivos deste capítulo.

#### a) Corridas (Flows)

As corridas (ou fluxos) são movimentos rápidos nos quais os materiais se comportam como fluidos altamente viscosos. A distinção entre corridas e escorrega-

mentos nem sempre é fácil de ser feita no campo. Muitas vezes, a origem de uma corrida é representada por um típico escorregamento indicando que, em muitos casos, as corridas são movimentos complexos (WP/WLL, 1994). Um exemplo dessa interação pode ser observado na visão aérea do vale do Soberbo no Alto da Boa Vista (Figura 3.2). O movimento, iniciado sob a forma de um escorregamento na estrada do Soberbo (topo à esquerda), assumiu a forma de uma corrida quando se encaixou na linha de drenagem (parte central da foto), cortando a estrada de Furnas (centro da foto) e indo terminar no rio Cachoeira, o qual drena em direção à Baixada de Jacarepaguá (esquerda da foto). Amaral *et al.* (1992) descrevem de forma detalhada as condicionantes geológicas deste deslizamento.

As corridas simples estão geralmente associadas à concentração excessiva dos fluxos d'água superficiais em algum ponto da encosta e deflagração de um processo de fluxo contínuo de material terroso. A Figura 3.3 mostra uma corrida ao longo de um pequeno vale na Serra de Teresópolis (RJ), a montante do posto de gasolina Garrafão. Este movimento, originado no verão de 1982 pela concentração do fluxo superficial, teve força para carregar tudo que estava ao longo da linha de fluxo (vegetação, solo, blocos) e destruir a estrada Rio-Teresópolis situada na base da encosta (parte do asfalto ainda pode ser visto na foto).

Vários movimentos de massa sob a forma de corridas foram observados na região de Jacarepaguá em decorrência das grandes chuvas (alcançando, em alguns pontos, cerca de 300mm em 24 horas) que atingiram a cidade do Rio de Janeiro em fevereiro de 1996. A Figura



Figura 3.2 — Fotografia aérea vertical (1:5000) do movimento de massa ocorrido na estrada do Soberbo, Alto da Boa Vista, Rio de Janeiro, em 1967 (Prospec, Inst. de Geotécnica).

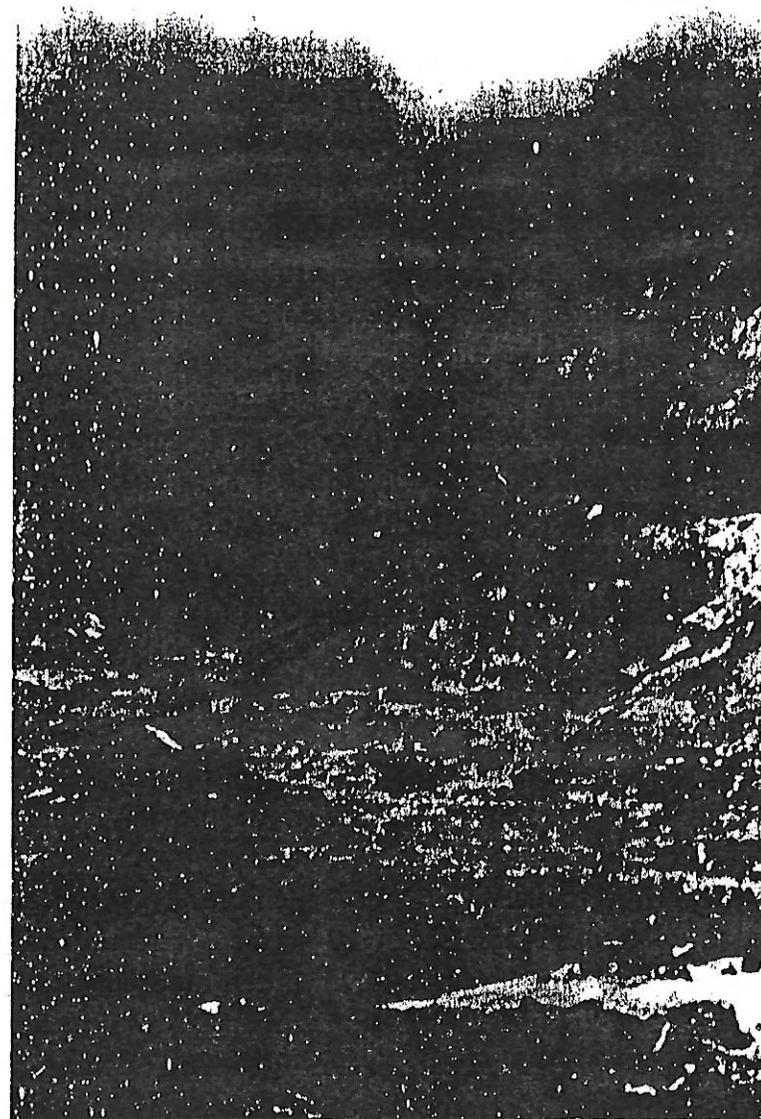


Figura 3.3 — Movimento de massa na forma de corrida (verão de 1982) ao longo de um pequeno vale na serra de Teresópolis (RJ), a montante do posto de gasolina Garrafão.

3.4 mostra os depósitos associados à porção inferior de uma das muitas corridas que se desenvolveram nas encostas a montante do Largo do Anil. A combinação dos efeitos decorrentes de uma série de atuações antrópicas, tais como: construção de residências nas margens dos canais, desvio e bloqueio parcial dos canais naturais para arruamentos, existência de grandes quantidades de material inconsolidado na superfície, decorrentes da atividade de saibreiras (hoje abandonadas), contribuíram para que o poder de destruição dessa corrida atingisse enormes proporções.

#### b) Escorregamentos

Existe na literatura uma enorme confusão decorrente das diversas definições de escorregamentos (*slides*). Termos gerais como queda de barreira, desbarrancamento, deslizamento, ou mesmo seu equivalente na língua inglesa *landslide*, fazem parte do nosso vocabulário diário. Muitos problemas surgem quando se usam termos gerais, como os descritos acima, de forma mais técnica, uma vez que estes referem-se, apenas, ao rápido movimento descendente do material constituinte da encosta, podendo incluir até mesmo movimentos sob a forma de corridas.

O termo escorregamento é aqui utilizado de forma semelhante àquela proposta por Guidicini e Nieble (1984) e refere-se, de modo geral, aos movimentos chamados de *slides* nas classificações de Sharpe (1938), Varnes (1958 e 1978) e WP/WLI (1994), entre outros. Estes se caracterizam como movimentos rápidos, de curta duração, com plano de ruptura bem definido, permitindo a distinção entre o material deslizado e aquele



Figura 3.4 — Porção inferior de um movimento de massa na forma de corrida, ocorrido em fevereiro de 1996, nas proximidades do Largo do Anil, Jacarepaguá (RJ). Vários dias chuvosos, com índices pluviométricos alcançando cerca de 300mm em 24hs, foram suficientes para deflagrar uma série de escorregamentos nas cabeceiras dessa drenagem (veja Figura 3.9), os quais alimentaram o poder de destruição do fluxo.

não movimentado. São feições geralmente longas, podendo apresentar uma relação comprimento-largura de cerca de 10:1 (Summerfield, 1991).

Os escorregamentos são geralmente divididos com base na forma do plano de ruptura e no tipo de material em movimento. Quanto à forma do plano de ruptura os escorregamentos subdividem-se em translacionais e rotacionais. O material movimentado pode ser constituído por solo, rocha, por uma complexa mistura de solo e rocha ou até mesmo por lixo doméstico. O depósito de lixo, especialmente nos grandes centros urbanos, pode ser hoje considerado como unidade geológica do Quaternário (Oliveira, 1995), possuindo comportamento geomecânico bem definido e estando normalmente associado ao alto risco de acidentes. Um exemplo da importância geotécnica dos depósitos de lixo acumulados nas encostas pode ser observado na Figura 3.5, que mostra uma visão aérea do catastrófico movimento de massa ocorrido em janeiro de 1984 na área do Pavão-Pavãozinho (Copacabana, RJ). Este movimento foi originado pela concentração da drenagem superficial em um depósito de lixo situado no topo da encosta. Neste ponto, como pode ser observado na figura, a rocha encontrava-se bem próxima à superfície, coberta apenas por um manto coluvial pouco espesso. Sob condições críticas de umidade, o depósito de lixo deslizou sob a forma de uma corrida, arrastando consigo a cobertura coluvial existente e destruindo várias casas situadas a jusante.

Um aspecto importante na classificação de escorregamentos diz respeito à caracterização e terminologia dos materiais envolvidos, buscando atender a distribui-



Figura 3.5 — Fotografia oblíqua da corrida de colúvio e lixo, ocorrida em dezembro de 1984, na parte alta da favela Pavão-Pavãozinho, Morro do Cantagalo, Copacabana (RJ). Os destroços das casas destruídas aparecem na base da cicatriz do movimento. (Foto Ary Maciel).

ção e as propriedades dos solos tropicais, sem desconsiderar a dificuldade em distingui-los, tais como o solo saprolítico do maduro, o depósito de tálus do material coluvial etc. Com frequência, materiais extremamente heterogêneos tais como: solos residuais com estruturas reliquias, blocos rochosos *in situ* integrantes de formações residuais e coluviais, depósitos de encostas cuja diferenciação dos solos residuais é complexa quando em perfis de intemperismo em estágio avançado de alteração, depósitos de lixo, apresentam-se misturados a aterros e materiais naturais.

#### b.1) *Escorregamentos Rotacionais (slumps)*

Estes movimentos possuem uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá um movimento rotacional da massa de solo. Dentre as condições que mais favorecem à geração desses movimentos destaca-se a existência de solos espessos e homogêneos, sendo comuns em encostas compostas por material de alteração originado de rochas argilosas como argilitos e folhelhos. O início do movimento está muitas vezes associado a cortes na base desses materiais, sejam eles artificiais, como na implantação de uma estrada, ou mesmo naturais, originados, por exemplo, pela erosão fluvial no sopé da encosta.

Escorregamentos rotacionais são comuns em diversas áreas do sudeste brasileiro graças, principalmente, à presença de espessos mantos de alteração. No entanto, devido às características geológicas e geomorfológicas, eles raramente apresentam todas as feições típicas de escorregamentos rotacionais, tais como as escarpas de topo, língua de material acumulado no sopé da encosta,

fendas transversais no material mobilizado, entre outras (Summerfield, 1991). Tal fato pode ser observado no escorregamento rotacional ocorrido na encosta do Parque Licurgo, situado no Morro da Serrinha (Madureira, RJ) e mostrado na Figura 3.6.

#### b.2) *Escorregamentos Translacionais*

Estes representam a forma mais freqüente entre todos os tipos de movimentos de massa. Possuem superfície de ruptura com forma planar a qual acompanha, de modo geral, descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existentes no interior do material. Tais planos de fraqueza podem ser resultantes da atividade de processos geológicos (acamamentos, fraturas, entre outros), geomorfológicos (depósitos de encostas) ou pedológicos (contatos entre horizontes, contato solum-saprolito). Os escorregamentos translacionais são, em geral, compridos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se, na grande maioria das vezes, em profundidades que variam entre 0,5m e 5,0m. A Figura 3.7 mostra uma porção da Serra de Teresópolis (RJ), na altura do Dedo de Deus, antes (Figura 3.7a) e depois (Figura 3.7b) da ocorrência de vários escorregamentos translacionais. Estes movimentos foram rasos, com planos de ruptura situados entre 0,5 e 2,0m de profundidade, e mobilizaram a cobertura de solo residual e coluvial ao longo da rocha (Fernandes e Meis, 1982). Conforme pode ser evidenciado na Figura 3.7, os escorregamentos translacionais terminaram no encontro com a Estrada Rio-Teresópolis.

A estabilidade de encostas sujeitas à ocorrência de escorregamentos rasos translacionais pode ser aproxi-



Figura 3.6 — Fotografia oblíqua do escorregamento rotacional na encosta do Parque Licurgo, Morro da Serrinha, bairro de Madureira (RJ), em 20/02/88. A escarpa principal do movimento e os destroços das 20 casas destruídas ocupam o centro da foto. (GEORIO).

mada pelo método do talude infinito (Skempton e De Lory, 1957). Neste método, o fator de segurança ( $F_s$ ), definido pela relação entre as forças de resistência ao cisalhamento e as de tensão cisalhante, ambas caracterizadas ao longo do plano de ruptura, é definido por

$$F_s = \frac{c' + (\gamma z \cos^2 \beta - u) \operatorname{tg} \phi'}{\gamma z \operatorname{sen} \beta \cos \beta} \quad \text{Eq. 3.1}$$

onde:  $c'$  é a coesão efetiva,  $\gamma$  é o peso específico do solo,  $z$  é a espessura do solo,  $\beta$  é o ângulo da encosta,  $u$  é a poro-pressão e  $\phi'$  é o ângulo de atrito interno do material. O desenvolvimento da equação 3.1 pode também ser acompanhado em Carson e Kirkby (1972) e Selby (1993), entre outros. Sabe-se, no entanto, que a análise de estabilidade acima se presta, principalmente, ao questionamento teórico dos fatores condicionantes do movimento. A aplicação desta análise a encostas específicas se torna limitada uma vez que tanto a coesão quanto as condições de poro-pressão são altamente variáveis no espaço e no tempo.

Os escorregamentos translacionais, na grande maioria das vezes, ocorrem durante períodos de intensa precipitação. Muitos deles, tal como pode ser observado na Figura 3.8, se originam ao longo da interface solo-rocha sã, a qual representa uma importante descontinuidade mecânica e hidrológica. A dinâmica hidrológica nestes movimentos possui um caráter mais superficial e as rupturas tendem a ocorrer rapidamente, devido ao aumento da poro-pressão positiva durante eventos pluviométricos de alta intensidade ou duração. A Figura 3.9 mostra uma série de escorregamentos translacionais



Figura 3.7a — Vista de parte da serra dos Órgãos, na altura de Teresópolis (RJ), antes da ocorrência de vários escorregamentos na encosta do Dedo de Deus, no verão de 1982.

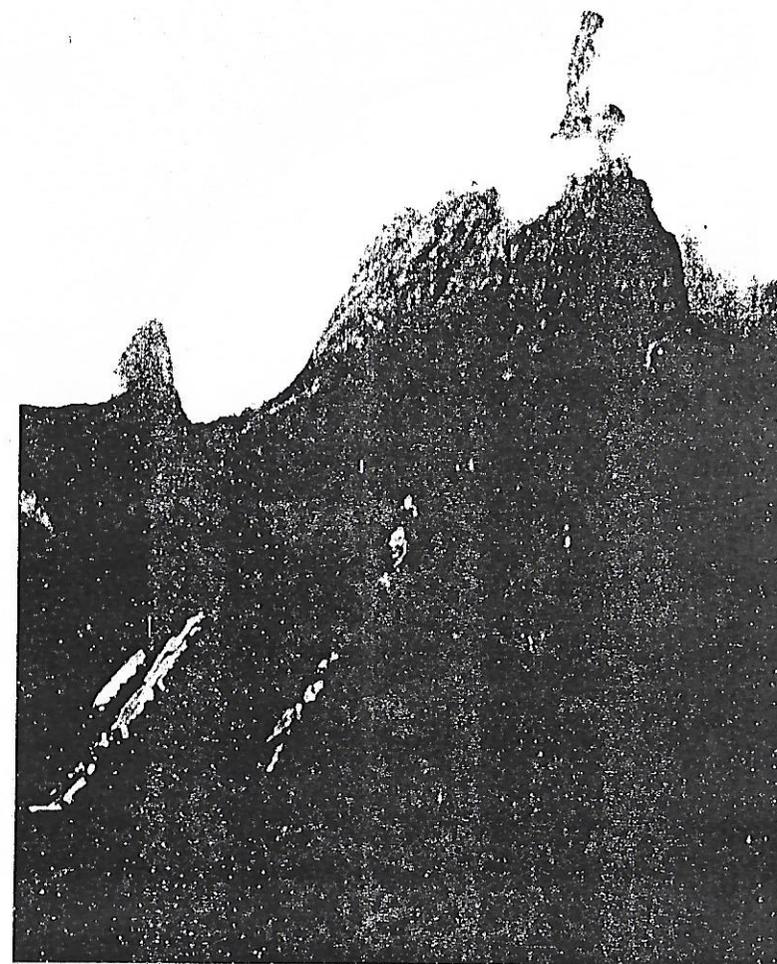


Figura 3.7b — Vista de parte da serra dos Órgãos, na altura de Teresópolis (RJ), depois da ocorrência de vários escorregamentos na encosta do Dedo de Deus, no verão de 1982. A estrada Rio—Teresópolis pode ser vista parcialmente.



Figura 3.8 — Escorregamento translacional com superfície de ruptura na interface solo-rocha. Esta encosta situa-se na estrada Rio—Teresópolis na altura do posto de gasolina Garrafão. O escorregamento, ocorrido no verão de 1982, teve seu início em uma porção superior da estrada (topo da foto), voltando a atingi-la em uma outra porção mais abaixo, após a curva (base da foto).

que varreram as encostas de Jacarepaguá (RJ), em fevereiro de 1996. Estes escorregamentos ocorreram nas cabeceiras das bacias que drenam em direção ao Largo do Anil, e os materiais movimentados por eles alimentaram as corridas observadas neste local são mostrados na Figura 3.4.

Tal comportamento difere daquele associado aos escorregamentos rotacionais, por exemplo, os quais podem resultar de uma percolação mais profunda e lenta. Conseqüentemente, tanto as características morfológicas da encosta quanto as propriedades hidráulicas dos materiais envolvidos assumem papel de destaque como fatores condicionantes da geração dos escorregamentos translacionais. Durante eventos pluviométricos de baixa intensidade, especialmente em encostas retilíneas ou convexas em planta, as taxas de infiltração podem ser balanceadas pela quantidade de água retirada do interior da encosta pelo fluxo subsuperficial, não permitindo o aumento excessivo da poro-pressão positiva. As condições necessárias para a geração desses fluxos subsuperficiais em solos são discutidas em Knapp (1978), Whipkey e Kirkby (1978), Dunne (1990), Fernandes (1990), Coelho Netto (1995), entre outros.

Com base no tipo de material transportado, os escorregamentos translacionais podem ser subdivididos em escorregamentos translacionais de rocha, de solo residual, de tálus/colúvio e de detritos (incluindo o lixo). No entanto, deve-se ter em mente que na natureza tais limites são muito menos rígidos ocorrendo, em muitos casos, uma mistura de materias em movimento.



Figura 3.9 — Vista parcial de uma seqüência de escorregamentos nas proximidades do Largo do Anil, Jacarepaguá (RJ), ocorridos em fevereiro de 1996. O material movimentado por estes escorregamentos se concentrou ao longo da bacia de drenagem, se transformando em uma corrida de proporções catastróficas (veja Figura 3.4).

### c) Quedas de Blocos

São movimentos rápidos de blocos e/ou lascas de rocha caindo pela ação da gravidade sem a presença de uma superfície de deslizamento, na forma de queda livre (Guidicini e Nieble, 1984). Ocorrem nas encostas íngremes de paredões rochosos e contribuem decisivamente para a formação dos depósitos de tálus. A ocorrência de quedas de blocos é favorecida pela presença de descontinuidades na rocha, tais como fraturas e bandamentos composicionais, assim como pelo avanço dos processos de intemperismo físico e químico.

Na cidade do Rio de Janeiro lascas de rochas são formadas, com grande freqüência, pela interseção de fraturas de alívio de tensão com fraturas tectônicas ou com o bandamento composicional dos diversos gnais-ses. A Figura 3.10 mostra um exemplo do processo de queda de blocos no Morro São João (RJ). A previsão de movimentos na forma de queda de blocos não é trivial pois requer um mapeamento geológico detalhado da área, com ênfase em suas feições estruturais.

## 2.2. Condicionantes Geológicas e Geomorfológicas

→ Várias feições podem atuar como fatores condicionantes de escorregamentos, determinando a localização espacial e temporal dos movimentos de massa nas condições de campo. Muitas destas feições possuem sua origem associada a processos geológicos e geomorfológicos que atuaram no passado e que, em muitos casos, ainda atuam naqueles locais. Neste item destacaremos o papel desempenhado por alguns desses fatores condicionantes exemplificando, sempre que possível, casos reais através de fotografias.

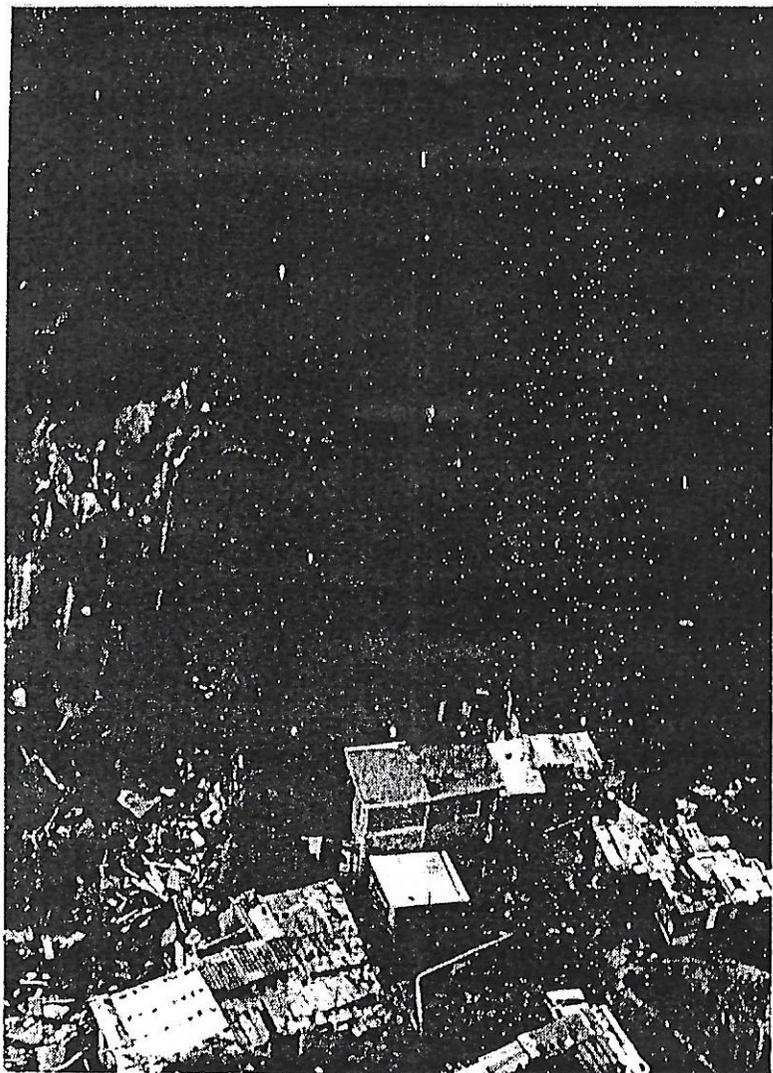


Figura 3.10 — Fotografia da Queda de Blocos ocorrida no Morro São João (RJ).

#### a) Fraturas

As fraturas e falhas representam importantes descontinuidades, tanto em termos mecânicos quanto hidráulicos. Algumas têm sua origem relacionada à atuação de processos geológicos internos (fraturas tectônicas), podendo ter sido originadas durante o resfriamento de um magma ou mesmo durante fases de deformação de caráter rúptil. A direção e o mergulho das fraturas tectônicas são, na escala de afloramento, constantes no espaço e os planos tendem a ser paralelos entre si formando um sistema (set) de fraturas. Quando estas fraturas se apresentam sub-verticais e pouco espaçadas entre si, tendem a gerar movimentos de blocos sob a forma de tombamentos (*toppling*).

Outras fraturas não têm sua origem associada a eventos tectônicos sendo, portanto, chamadas de fraturas atectônicas. Dentre elas, merece destaque a fratura de alívio de tensão originada, principalmente, pela expansão da rocha em direção à superfície, graças à redução da pressão confinante após o soerguimento e/ou erosão das camadas subjacentes (Gilbert, 1904; Ollier, 1984; entre outros). Estas fraturas tendem a acompanhar a topografia do terreno e a mostrar uma diminuição do espaçamento entre os planos quando se aproxima da superfície (Figura 3.11). A geometria e a continuidade das fraturas de alívio de tensão nos afloramentos são condicionadas, em muito, pelas características litológicas da rocha. Em geral, quanto mais homogênea for a rocha mais paralelas à superfície e mais contínuas serão as fraturas de alívio geradas. Sendo assim, rochas com textura granítica tendem a mostrar fraturas de alívio bem paralelas à superfície e de grande conti-

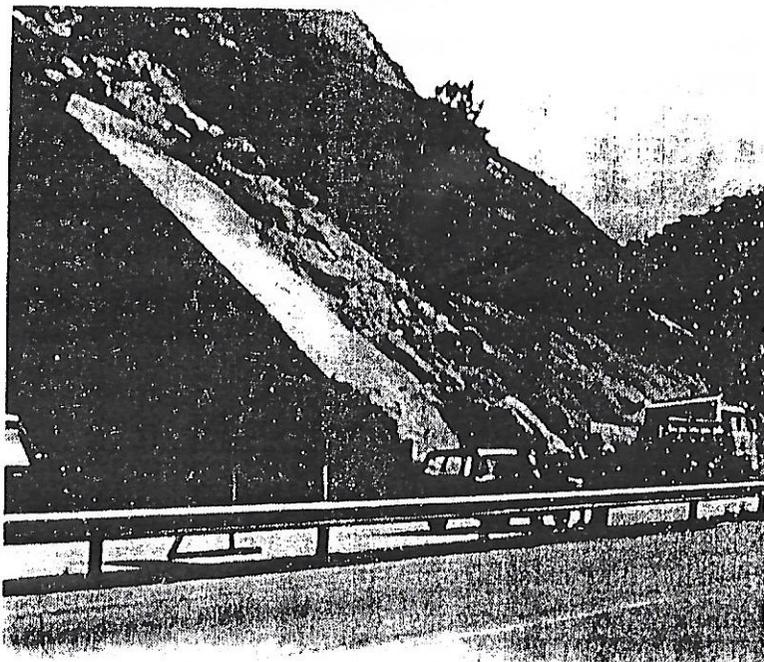


Figura 3.11 — Escorregamento translacional, ocorrido em 1984, com superfície de ruptura situada ao longo de fraturas de alívio de tensão. Rodovia BR-040 (Rio—Juiz de Fora), na altura de Pedro do Rio, Rio de Janeiro.

nuidade. Já nos gnaisses bandados, por exemplo, estas tendem a se apresentar de forma bem mais anômala, condicionada pelos planos de fraqueza existentes na rocha no momento do alívio. Tal relação pode ser facilmente observada ao longo da BR-040, ao norte da cidade de Petrópolis (Ponce, 1984; Fernandes, 1984). Na altura de Itaipava, por exemplo, onde aflora a Unidade Batólito Serra dos Órgãos (Penha *et al.*, 1980), as fraturas de alívio se encontram bem desenvolvidas enquanto ao norte de Pedro do Rio, onde afloram os gnaisses bandados migmatíticos, das Unidades Santo Aleixo e São Fidélis (Penha *et al.*, 1980), as fraturas de alívio são irregulares, descontínuas e de difícil caracterização.

O avanço da frente de intemperismo nos maciços rochosos é influenciado diretamente pela presença de fraturas de alívio de tensão. Com freqüência, a água infiltrada nas porções mais elevadas do maciço percola lateralmente ao longo dos planos gerados pelas fraturas de alívio de tensão condicionando, principalmente em maciços graníticos, o aparecimento de zonas de isointemperismo as quais representarão, em última análise, descontinuidades mecânicas. Logo acima da fratura de alívio o material se encontra em estágio mais avançado de alteração, enquanto abaixo dela, a rocha se apresenta praticamente sã (não alterada). A Figura 3.12 mostra uma encosta no km 56,5 da BR-040, na altura de Itaipava (RJ), descrita em detalhe por Ponce (1984), Fernandes (1984) e Barroso *et al.* (1985), onde aflora a Unidade Batólito Serra dos Órgãos (Penha *et al.*, 1980). Esta foto (Figura 3.12), tirada em 1983, mostra um antigo escorregamento translacional com plano de ruptura ao longo de fratura de alívio de tensão. Na escarpa do

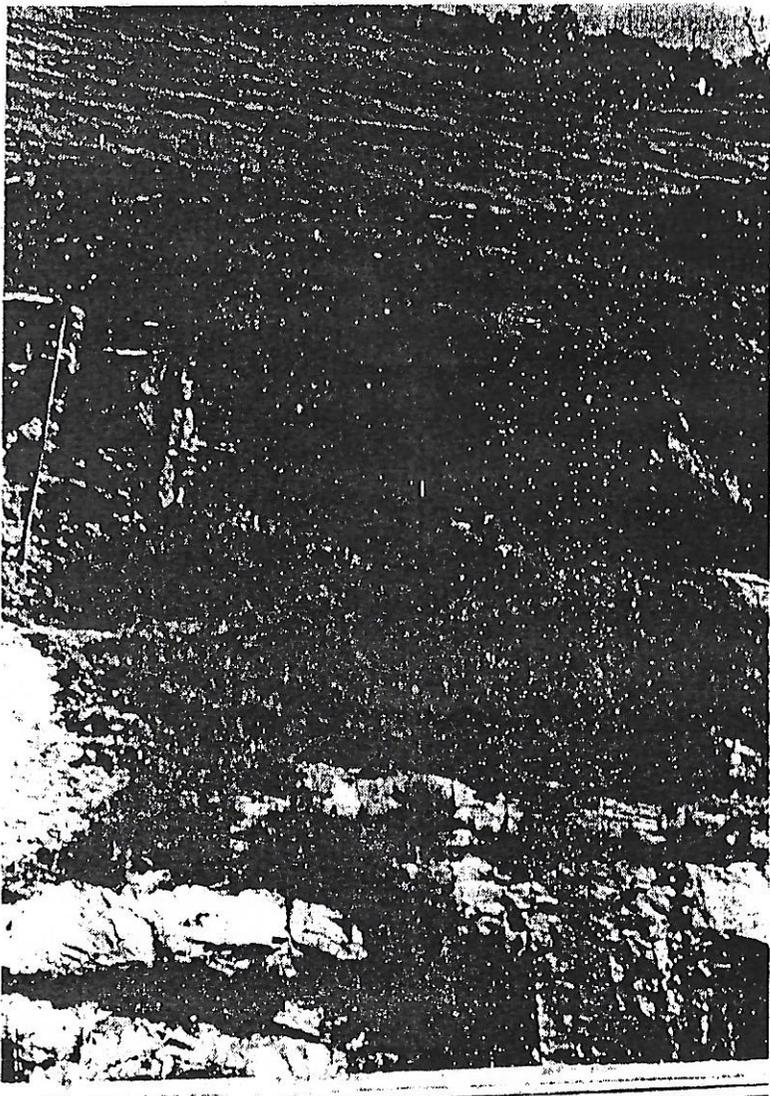


Figura 3.12 — Escorregamento translacional de rocha, ocorrido em 1983, com superfície de ruptura situada ao longo de fratura de alívio de tensão. A encosta situa-se na Rodovia BR-040 (Rio—Juiz de Fora), na altura de Itaipava (RJ). A escarpa superior foi formada por uma fenda de tração desenvolvida ao longo do fluxo magmático do Batólito Serra dos Órgãos.

topo do escorregamento, formada ao longo de uma antiga fenda de tração, pode-se observar que o material mais próximo à fratura de alívio se encontra em estágio bem mais avançado de alteração.

#### b) Falhas

O papel desempenhado pelas falhas no condicionamento de movimentos de massa tem recebido grande atenção por parte dos pesquisadores (Deere e Patton, 1970; Guidicini e Nieble, 1984; entre outros), não sendo necessário um maior aprofundamento. De modo geral, as falhas atuam como caminhos preferenciais de alteração, permitindo que a frente de intemperismo avance para o interior do maciço de modo muito mais efetivo. A interseção destes planos de falha com outras descontinuidades (fraturas de alívio, fraturas tectônicas, bandamentos composicionais) resulta na individualização de blocos não alterados no interior de uma massa bem mais intemperizada, gerando um aumento na heterogeneidade do maciço rochoso como um todo.

Com freqüência, as falhas afetam diretamente a dinâmica hidrológica dos fluxos subterrâneos nas encostas (Deere e Patton, 1970). Em certos casos, associados geralmente a falhas não preenchidas, os planos de falha atuam como caminhos preferenciais para o fluxo subterrâneo. No entanto, quando a falha encontra-se preenchida por material originado de soluções percolantes dá-se, em geral, uma impermeabilização do plano de falha, gerando uma barreira ao fluxo d'água. A presença de diques básicos em maciços rochosos granítico-gnáissicos pode influenciar a dinâmica hidrológica de modo semelhante às falhas, podendo mesmo condicio-

nar a ocorrência de escorregamentos, como mostrado por Amaral e Porto Jr. (1989).

*c) Foliação e Bandamento Composicional*

A orientação da foliação e/ou bandamento composicional influenciam diretamente a estabilidade das encostas em áreas onde afloram rochas metamórficas. De modo geral, a literatura ilustra tal fato chamando atenção para a situação desfavorável onde a foliação e/ou bandamento mergulham para fora da encosta em cortes de estrada (IPT, 1991). Um exemplo dessa situação negativa foi observado por Ponce (1984) na Rodovia BR-040, na região do Córrego do Cedro, ao norte de Pedro do Rio (RJ), onde aflora a Unidade Santo Aleixo (Penha *et al.*, 1980), constituída por migmatitos heterogêneos bem diferenciados com estrutura estromática. Naquele local os cortes da estrada são, em geral, paralelos ao *strike* das bandas composicionais, as quais mergulham entre 30° e 50°, para fora do talude. Devido à heterogeneidade desse material as fraturas de alívio de tensão são descontínuas e de difícil reconhecimento. Os escorregamentos ali descritos por Ponce (1984) foram condicionados diretamente pelo mergulho desfavorável do bandamento composicional, aliado ao intemperismo diferencial ao longo das diferentes bandas as quais, invariavelmente, representavam as superfícies de ruptura. Tal situação desfavorável poderia ter sido evitada, pelo menos parcialmente, com um mapeamento geológico detalhado, anterior à definição dos locais onde os cortes seriam realizados.

A situação contrária à descrita acima, onde a foliação ou o bandamento composicional mergulham para o

interior da encosta, é considerada como a mais favorável à estabilidade. No entanto, em certos locais, algumas características litológicas e estruturais do maciço rochoso podem fazer com que tal arranjo se torne negativo. Um exemplo disso foi mostrado por Ponce (1984) e Fernandes (1984) na rodovia BR-040, na altura de Itaipava (RJ), na área de afloramento do Batólito Serra dos Órgãos, descrito anteriormente. O batólito, constituído de um granito sintectônico, apresenta ora um fluxo magmático ora uma foliação tectônica (especialmente nas suas bordas), resultante do fato deste ter tido seu encaixamento durante uma fase de tectonismo e deformação (Penha *et al.*, 1980). Este fluxo magmático comporta-se como uma foliação metamórfica e mergulha neste local, 70°-80°, para o interior dos cortes. O interessante aqui é que o desenvolvimento das fendas de tração é favorecido pela presença deste fluxo magmático. A fenda de tração observada no alto da encosta, mostrada na Figura 3.12, por exemplo, se desenvolveu ao longo do fluxo magmático. Muitos dos escorregamentos translacionais ocorridos na rodovia BR-040, na altura de Itaipava (RJ), foram condicionados pela interseção das fendas de tração com as fraturas de alívio de tensão. Como destacado por Ponce (1984), após o escorregamento da cunha de rocha individualizada pela interseção acima, a solicitação de tração se transfere para montante no corte, tornando o processo contínuo e remontante.

*d) Descontinuidades no Solo*

Várias descontinuidades podem estar presentes dentro do saprolito e do solo residual. Estas incluem,

principalmente, feições estruturais relíquias do embasamento rochoso (fraturas, falhas, bandamentos etc.) e horizontes de solo formados pela atuação de processos pedogenéticos. Essas discontinuidades podem atuar de modo decisivo no condicionamento da distribuição das poro-pressões no interior da encosta e, conseqüentemente, na sua estabilidade (Rulon e Freeze, 1985; Harp *et al.*, 1990; Vargas *et al.*, 1990; Lacerda, 1991; Gerscovich *et al.*, 1992b). A presença de fraturas relíquias, por exemplo, pode gerar planos preferenciais ao longo dos quais o intemperismo avança mais rapidamente do que na massa saprolítica não fraturada. De acordo com Selby (1993), estas fraturas relíquias podem condicionar escorregamentos, principalmente, em encostas que apresentam: um ou mais desses sistemas mergulhando para fora da encosta; juntas relíquias preenchidas por material argiloso formando barreiras ao fluxo e níveis d'água suspensos; juntas relíquias que tiveram uma redução no ângulo de atrito devido às mudanças mineralógicas decorrentes do avanço do intemperismo ao longo da fratura.

O tipo de movimento de massa a ser gerado em encostas constituídas por solos saprolíticos pode estar diretamente relacionado às características das fraturas relíquias. Escorregamentos rotacionais podem predominar em encostas onde as fraturas no embasamento rochoso se encontram pouco espaçadas, fazendo com que o saprolito se comporte como um material granular. Escorregamentos translacionais podem predominar em encostas com juntas relíquias originadas a partir da alteração de fraturas de alívio de tensão ou mesmo a partir da alteração de bandas composicionais.

Muitas vezes, movimentos de massa podem ter o plano de ruptura condicionado por discontinuidades hidráulicas existentes no interior do solo saprolítico, do solo residual, ou mesmo no contato entre os dois. Tal fato pode também ocorrer em encostas onde o solo saprolítico encontra-se recoberto por um manto coluvial pouco espesso. Em geral, como evidenciado por Wolle e Hachich (1989) em encostas do sudeste brasileiro, há um aumento da condutividade hidráulica com a profundidade. Ou seja, a condutividade hidráulica no saprolito tende a ser maior do que aquela no manto coluvial sobrejacente. Conseqüentemente, podem se desenvolver verdadeiras discontinuidades hidráulicas na passagem, manto coluvial-saprolito, ou mesmo dentro do saprolito, o qual atua como um dreno para os horizontes mais superficiais.

#### e) Morfologia da Encosta

A morfologia de uma encosta, em perfil e em planta, pode condicionar tanto de forma direta quanto indireta, a geração de movimentos de massa. A atuação direta, dada pela tendência de correlação entre a declividade da encosta e a freqüência de movimentos, já há longo tempo foi reconhecida e pode ser compreendida através da equação de Coulomb (Guidicini e Nieble, 1984), quando esta descreve que o aumento do ângulo da encosta implica em uma diminuição do fator de segurança.

Mapeamentos de campo revelam, no entanto, que o maior número de movimentos de massa não ocorre, necessariamente, nas encostas mais íngremes. Salter *et al.* (1981), estudando a distribuição de deslizamentos na

Nova Zelândia após chuvas intensas observaram que 97% dos deslizamentos ocorreram em encostas com declividade acima de 20°. No entanto, a maior densidade de movimentos não se deu nas encostas mais íngremes (>35°) mas sim nas encostas com declividades entre 21°-25°. Tal comportamento foi atribuído a variações no tipo de cobertura vegetal e ao fato de que nas encostas mais íngreme os solos já teriam sido removidos por movimentos anteriores.

A atuação indireta está relacionada ao papel que a forma da encosta, principalmente em planta, exerce na geração de zonas de convergência e divergência dos fluxos d'água superficiais e subsuperficiais. Neste aspecto merece destaque o papel desempenhado pelas porções côncavas do relevo (*hollows*) na concentração dos fluxos d'água e de sedimentos (Dunne, 1970; Anderson e Burt, 1978; Pierson, 1980; Coelho Netto, 1985 e 1995; O'Loughlin, 1986; Wilson e Dietrich, 1987; Fernandes, 1990; Avelar e Coelho Netto, 1992; Gerscovich *et al.*, 1992a; Fernandes *et al.*, 1994; Onda, 1994). Vários estudos mostram que tais condições de convergência tornam os *hollows* segmentos preferenciais da paisagem para a ocorrência de deslizamentos (Dietrich e Dunne, 1978; Tsukamoto *et al.*, 1982; Reneau *et al.*, 1984; Lacerda e Sandroni, 1985; Dietrich *et al.*, 1986; Crozier *et al.*, 1990; Montgomery *et al.*, 1991; Montgomery e Dietrich, 1995). Reneau e Dietrich (1987), por exemplo, mapeando 61 deslizamentos na Califórnia, mostram que 62% das cicatrizes em número e 77% em volume se localizavam no interior dos *hollows*.

Estudos voltados para a caracterização do papel desempenhado pela forma da encosta no condiciona-

mento da localização espacial e temporal de zonas de saturação e de deslizamentos na paisagem ganharam um novo impulso recentemente devido ao crescente uso de modelos digitais de terreno e de sistemas geográficos de informação. Vários trabalhos modelam a geração de zonas de saturação em paisagens naturais a partir da combinação de alguns parâmetros morfológicos, extraídos de modelos digitais de terreno, com equações matemáticas do fluxo d'água nos solos (Beven e Kirkby, 1979; O'Loughlin, 1986; Moore *et al.*, 1988; Grayson e Moore, 1992; Dietrich *et al.*, 1993). Alguns autores acoplam análises de estabilidade das encostas aos modelos hidrológicos descritos acima visando a previsão dos locais na paisagem onde deslizamentos ocorrerão, em resposta a um evento pluviométrico de magnitude definida (Okimura e Ichikawa, 1985; Okimura e Kawatani, 1987; Okimura e Nakagawa, 1988; Dietrich *et al.*, 1993; Montgomery e Dietrich, 1994). Embora a linha de atuação descrita acima ainda se encontre em estágio embrionário, esta possui um grande potencial de uso no futuro próximo.

#### f) Depósitos de Encosta

Os depósitos de encosta, tanto na forma de *tálus* como de *colúvio*, estão diretamente associados às zonas de convergência na morfologia descrita acima. A combinação forma-material faz com que os depósitos de encosta assumam grande importância como condicionantes de movimentos de massa (Reneau *et al.*, 1984; Meis *et al.*, 1985; Lacerda e Sandroni, 1985; Dietrich *et al.*, 1986; Crozier *et al.*, 1990; Montgomery *et al.*, 1991; Fernandes *et al.*, 1994). Em geral, uma das principais características desses materiais é a grande heterogeneidade interna, a

qual é resultante direta da descontinuidade espacial e temporal dos processos formadores desses depósitos. Os talus são, geralmente, mal selecionados e se formam em ambientes de alta energia, tal como na base de paredes rochosas. Os colúvios são, em geral, melhor selecionados e recobrem muitas das encostas de ambientes de menor energia. Em ambos os casos, há a tendência de um aumento da espessura do depósito em direção à base da encosta e ao eixo do vale.

Muitos depósitos de encosta repousam diretamente sobre a rocha sã, gerando uma descontinuidade mecânica e hidrológica ao longo desse contato. A drástica diminuição da condutividade hidráulica nesse contato favorece a geração de fluxos d'água subsuperficiais, com forte componente lateral. Ao longo desse contato, condições críticas de poro-pressão positiva podem ser alcançadas durante eventos pluviométricos de alta intensidade, favorecendo a geração de escorregamentos translacionais. Muito da recarga de água para o lençol freático em depósitos de talus se dá ao longo do contato entre o depósito e o paredão rochoso, situado à montante. Canaletas de captação são, com frequência, instaladas ao longo desse contato visando coletar o escoamento superficial gerado pelo paredão rochoso, resultando em uma diminuição dos gradientes de poro-pressão positiva no interior do depósito.

Descontinuidades são, também, frequentes dentro de depósitos coluviais (Meis e Monteiro, 1979; Meis e Moura, 1984; Fernandes et al., 1994). A espessura desses depósitos varia muito em função da posição na encosta, da morfologia do terreno e dos processos que controlaram a evolução geomorfológica da região, podendo

alcançar mais de 10 metros em certos locais. Quando situados no eixo dos vales, sob condições de nível d'água próximo à superfície, os depósitos coluviais podem se movimentar rapidamente, como mostrado por Pedrosa et al. (1988). Nestes locais, sob condições de intensa precipitação pode haver uma migração de processos de rastejo para processos de corridas.

Alguns autores têm-se preocupado em caracterizar o papel desempenhado por essas descontinuidades no condicionamento da hidrologia subsuperficial no interior desses mantos coluviais (Fernandes, 1990; Avelar e Coelho Netto, 1992; Rocha et al., 1992; Fernandes et al., 1994; Montgomery e Dietrich, 1995). Estes trabalhos mostram que, sob certas condições, essas descontinuidades podem assumir papel relevante, tanto em termos mecânicos quanto hidrológicos, para geração de movimentos de massa. Este tema merece, certamente, mais atenção por parte dos pesquisadores do que aquela que tem sido dada até o momento.

### 3. Documentação e Investigação dos Deslizamentos

Documentação e investigação de deslizamentos são etapas fundamentais para a definição do modelo fenomenológico destes acidentes, única maneira de aplicar soluções adequadas para redução de suas consequências. A documentação procura garantir o registro dos processos ocorridos no passado e no presente para, assim, gerar dados de análise visando a previsão de deslizamentos no futuro, bem como servir de base para a modelagem física dos processos, facilitando o avanço

do conhecimento sobre os mecanismos dos movimentos. Apesar de caracterizada como uma atividade simples, a documentação de deslizamentos não é feita através de catálogos específicos em muitos países. Muitas vezes, os danos associados são mascarados ou confundidos com acidentes associados a outros desastres (Brabb, 1993).

Um Cadastro de Deslizamentos tem as seguintes funções:

- permitir o entendimento da distribuição dos deslizamentos;
- integrar estudos já realizados, permitindo a análise da presença de processos interativos sobre uma determinada área geográfica;
- permitir a análise da influência dos fatores deflagradores, em separado ou em conjunto;
- registrar os custos sócio-econômicos dos acidentes;
- avaliar o custo-benefício das medidas administrativas adotadas para a redução de sua ocorrência ou consequência.

O inventário local de deslizamentos significativos do Rio de Janeiro (Amaral, 1992) é um exemplo de cadastro técnico de deslizamentos. Desenvolvido a partir do modelo proposto pelo Grupo de Trabalho do Inventário Mundial de Deslizamentos (WP/WLI, 1990), ao qual já está incorporado, este cadastro permite o acesso automatizado a 591 deslizamentos históricos reportados no Rio de Janeiro, ou seja, todos aqueles acidentes que causaram danos consideráveis ou tiveram volumes de massa escorregadas acima de  $10\text{m}^3$ . O inventário está

dividido em 2 módulos: Boletim de Deslizamentos (Figura 3.13) e Programa de Gerenciamento de Dados, denominado IDRARJ. Além da descrição dos acidentes, o inventário local exibe fotografias dos deslizamentos, bem como recortes de jornais e as referências de trabalhos técnicos nos quais se discutem suas causas e consequências.

Após a documentação precisa do deslizamento é necessário alcançar um conhecimento detalhado de seus condicionantes, ou seja, dos agentes que levaram à sua deflagração. Este conhecimento é obtido a partir da investigação dos deslizamentos que, em geral, envolvem os seguintes métodos e técnicas:

- a) Imagens de Satélites e Radars: são apropriadas para coleta rápida de dados visando a preparação de mapas temáticos de geologia, geomorfologia etc., e análise das condições gerais do arcabouço tectônico da região onde está localizado o deslizamento, importantes em análises regionais. São ainda pouco utilizadas em estudos mais objetivos e detalhados porque a resolução máxima dos sensores multiespectrais, de 10m, impede a identificação de feições de deslizamentos menores que 100m em largura, e isto em condições de bom contraste entre a área escorregada e o seu entorno. Função, contudo, do aprimoramento na resolução dos sensores e da potência atual dos computadores, espera-se um rápido desenvolvimento na utilização destes instrumentos, particularmente no mapeamento e inventário de escorregamentos de uma região geográfica ampla.

Boletim de Deslizamentos		
Boletim Número:	Data:	
Logradouro:	Autor:	
Número:	Bairro:	R.A.:
Latitude:		
Longitude:		
Mapa(s):		
Data da Ocorrência: Hora:		
Tipo de Ocorrência:		
Início do Movimento:		
(1) Rocha (2) Terra (3) Lixo/Entulho (4) Detritos (A) Queda Blocos/Lascas (B) Escorregamento (C) Corridas		
Segundo Movimento:		
(1) Rocha (2) Terra (3) Lixo/Entulho (4) Detritos (A) Queda Blocos/Lascas (B) Escorregamento (C) Corridas		
Volumes de Material Deslizado:	Vidas Humanas:	
Prejuízos:	Valores Aproximados:	
Causas Prováveis:		
Providências: (1) Obras Públicas (2) Obras Particulares (3) Interdição de Moradias (4) Remoção de Moradias (5) Embargo de Atividades		

Figura 3.13 — Modelo de boletim de descrição de deslizamentos (Amaral, 1992).

b) Fotografias Aéreas: caracterizam-se como instrumentos fundamentais para o mapeamento detalhado das feições e das condicionantes dos deslizamentos, bem como para análise da sua evolução ao longo do tempo e mapeamento de sua distribuição numa ampla área geográfica. Sua importância deve-se à possibilidade de identificar deslizamentos com pequenos volumes (acima de 10m<sup>3</sup>) e ao seu baixo custo de produção e reprodução. Dentre os fatores que limitam a sua utilização, incluem-se o crescimento da vegetação, o uso desordenado do solo, a proliferação de feições erosivas e, finalmente, o fator tempo, uma vez que o mapa de deslizamentos, numa região geográfica ampla, implica no manuseio de muitas fotografias e a necessidade de manutenção de critérios de interpretação. Segundo Brabb (1993), a preparação do mapa inventário de deslizamentos para uma área de 2000km<sup>2</sup> na Califórnia, utilizou 8000 fotografias e 20 profissionais, durante um período de 2 anos.

c) Fotografias de Helicópteros: são muito importantes para mapeamento e análise das feições dos deslizamentos, pois fornecem uma visão clara e detalhada das áreas atingidas e do seu entorno, e, mesmo a cores, são produzidas a baixo custo. Como a realização constante de sobrevôos de helicóptero é muito difícil, são raros os casos de utilização dessas fotografias para formação de um cadastro de deslizamentos numa região mais ampla. Por outro lado, grandes oportunidades vêm sendo abertas neste setor com a implementação do método de fotogrametria em modelos múltiplos (Dueholm et al., 1993), uma técnica fotogramétrica

nova e elegante que ultrapassa as dificuldades normalmente encontradas para ilustrar e quantificar observações de campo através de fotos tomadas de ângulos diversos em três dimensões.

- d) Mapeamento de Campo: as investigações no campo são fundamentais tanto para a observação das feições e geometria dos deslizamentos, como para a definição dos seus condicionantes locais. Estas atividades são extremamente facilitadas pelo uso de computadores portáteis, que garantem a checagem e o preenchimento de todas as informações exigidas nos estudos e contidas numa ficha de campo que o profissional de geociências carrega consigo. Como estas investigações envolvem sempre uma grande dificuldade no que tange à extensão da área a ser mapeada e o tempo disponível para sua realização, elas ficam restritas a uma atividade de verificação e ratificação da fotointerpretação executada anteriormente. A partir deste ponto, seleciona-se um número razoável de deslizamentos, baseado na complexidade de características e conseqüências apontadas na área de estudo, para execução de investigações laboratoriais e de campo mais detalhadas.
- e) Métodos Indiretos: a utilização destes métodos é cada vez mais freqüente nos estudos de deslizamentos, principalmente naqueles de grandes dimensões, no sentido de gerar dados sobre a geometria da massa escorregada, nível do lençol freático e presença de descontinuidades em subsuperfície. Dentre as vantagens dos métodos geofísicos estão o custo reduzido (10% do valor das sondagens mecânicas) e o fato de

poderem ser aplicados em terrenos íngremes e rupturados, onde mantêm suas características de continuidade e não perturbação do terreno. Dentre as suas limitações estão os problemas enfrentados na interpretação dos resultados, particularmente em situações de elevado ruído ambiental (acústicos, sísmicos, elétricos, eletromagnéticos etc.), como é o caso das áreas ocupadas, e de situações em que estão presentes solos não saturados e grande variação das propriedades dos materiais que se encontram nos perfis de alteração.

- f) Métodos Diretos: a investigação direta de subsuperfície em zonas de deslizamentos envolve basicamente as sondagens a percussão, rotativas e mistas. Na Europa e América do Norte faz-se uso de sondas e piezômetros, os quais, devido às propriedades dos solos residuais e coluviais, têm pouca utilidade no Brasil. Tão importantes quanto a realização das sondagens diretas que respeitem as normas e diretrizes técnicas para descrição correta dos materiais em subsuperfície, são a incorporação nestes serviços da capacidade de interpretação dos seus resultados em conexão com uma proposta de entendimento das condicionantes dos acidentes, e a estruturação de banco de dados, para reunião dos logs de sondagens realizadas no passado, de modo a permitir a execução de perfis geológicos. Estes procedimentos podem reduzir em muito os custos das investigações dos deslizamentos.
- g) Instrumentação e Ensaios: a instrumentação de encostas escorregadas envolve basicamente o monitoramento dos deslocamentos através de marcos superficiais e

inclinômetros, e a medição do nível d'água e das poro-pressões, através de piezômetros e tensiômetros. Os ensaios *in situ* englobam o SPT (ensaio de penetração), e, mais raramente, ensaios de infiltração e de perda d'água nas sondagens rotativas. Os ensaios de laboratório quantificam os parâmetros de resistência, enquanto as técnicas de retroanálise fazem a avaliação da sua confiabilidade. Grandes esforços são feitos nas universidades e centros de pesquisa do Brasil para o desenvolvimento de instrumentos adaptados às condições dos solos tropicais, como os piezômetros de máxima, o sistema tensiométrico automático, o permeâmetro de Guelph, o ensaio de perfil instantâneo, e para o desenvolvimento de sistemas de aquisição remota de dados com observação contínua, em tempo real, do comportamento quanto a deslocamentos e poro-pressões durante chuvas intensas. Além de ampliar o conhecimento sobre as dimensões dos deslizamentos, os dados gerados com estes procedimentos permitem consolidar hipóteses sobre os agentes deflagradores dos acidentes.

*h) Tecnologia de Processamento e Tratamento de Dados:* grande parte dos estudos visando a execução de análises conclusivas sobre o potencial de instabilização de encostas, desenvolvidos no mundo, faz uso de técnicas objetivas e subjetivas de tratamento de dados, baseados em digitalização, informatização e tratamento de dados.

*h.1) Sistemas Computacionais Cartográficos e de Projeto:* a computação gráfica, referenciada nos sistemas CCS (*Computer Cartographic System*) e CAD (*Computer*

*Assistant Design*), oferece opções para realização de trabalhos simples de visualização de distribuição dos deslizamentos e seus fatores deflagradores, em escalas variadas. Embora limitados ao aspecto gráfico, uma vez que não oferecem possibilidades de cruzamento das informações de mapas diversos, estes sistemas têm ampla aceitação devido a sua simplicidade e baixo custo.

*h.2) Sistemas de Informações Geográficas (SIG):* funcionam como um conjunto de facilidades e instrumentos computacionais para arquivo, recuperação, transformação e apresentação de dados espaciais para atingir a análise de um determinado processo. A utilização de um SIG implica em vantagens e desvantagens:

- variedade de técnicas de análises disponíveis, que facilitam a combinação de mapas e tabelas;
- maior capacidade de aperfeiçoamento dos modelos, com avaliação dos resultados, correção dos dados básicos e alcance dos melhores resultados num processo de tentativa e erro;
- maior capacidade de atualização;
- maior consumo de tempo, devido ao demorado processo de digitalização dos dados de entrada;
- maior margem de erro, devido à incerteza quanto à qualidade dos dados, o que exige maior controle por parte dos profissionais envolvidos.

Alguns dos trabalhos sobre o uso de SIG's em estudos de deslizamentos (Dikau, 1993; Carrara *et al.*, 1991; van Westen, 1993; Brabb, 1993; Miller, 1995) revelam que a sua aplicação, iniciada no final da década de 70 e

ampliada na década de 80 devido ao desenvolvimento dos sistemas comerciais (ARC/ INFO, INTERGRAPH, SPANS, IDRISI; entre outros) e à crescente disponibilidade de PC's, vive hoje um *boom* extraordinário e tende a se ampliar ainda mais. Atualmente, no Brasil, são utilizados vários SIG's, com destaque para o SPRING, o IDRISI, o ARC-INFO e o SAGA (Xavier da Silva, 1993), mas ainda são raras as aplicações no campo específico dos deslizamentos. Amaral (1996) mostra a utilização do SAGA para estabelecer correlações geologia-deslizamentos, em escala média, no Rio de Janeiro, que podem ser assim resumidas:

- com exceção da zona oeste do município, praticamente todas as encostas ocupadas no limite da cidade já sofreram algum tipo de escorregamento considerado significativo;
- os escorregamentos têm uma orientação preferencial na direção NE/SW, que é a direção marcante da estrutura geológica regional;
- uma característica marcante na distribuição dos deslizamentos é a sua recorrência, ou seja, grande parte dos deslizamentos ocorrem em áreas já anteriormente afetadas, em especial, no interior das favelas.

*h.3) Sistemas Especialistas:* um *Expert System* é um conjunto de regras subjetivas para avaliação de fatores deflagradores, e do seu respectivo peso, no desencadeamento de um determinado processo natural. Este conjunto de regras está baseado numa série de procedimentos subjetivos de calibração e correção de correlações a partir do conhecimento de especialistas reco-

nhecidos no tema. No caso dos deslizamentos, em geral um processo complexo cuja análise está repleta de inconformidades e incertezas, um sistema especialista pode ser muito útil para incorporar todas as análises de campo ao conhecimento dos especialistas no assunto. Rogers e Sitar (1994), por exemplo, produzem um mapa de risco a deslizamentos a partir da combinação de um sistema especialista com dados de campo.

#### ***4. Previsão de Deslizamentos e Medidas para Redução dos Riscos Associados***

A previsão de deslizamentos e a redução das suas conseqüências podem ser alcançadas quando se obtém conhecimento detalhado da freqüência, características e magnitude dos deslizamentos numa área geográfica. Em geral, este conhecimento depende da qualidade da descrição e da caracterização dos condicionantes dos deslizamentos passados, bem como da análise de risco de movimentos futuros, o que exige a participação de profissionais especialistas e a constituição de equipes multidisciplinares. Outro aspecto importante é o estabelecimento de planos de redução dos acidentes calcados em capacidade de intervenção e tomada de decisões administrativas destacando-se, neste caso, a melhoria da atuação dos profissionais para implantar medidas voltadas à redução das suas conseqüências.

##### ***4.1. Mapas de Susceptibilidade a Deslizamentos***

A previsão de ocorrência de deslizamentos é uma tarefa complexa uma vez que muitos fatores exercem

influência na sua deflagração. Um dos objetivos do zoneamento da susceptibilidade a deslizamentos objetiva subdividir uma área de estudo em zonas de igual susceptibilidade, não funcionando, portanto, como instrumento de determinação da estabilidade de taludes individuais. Um mapa de susceptibilidade a deslizamentos, por conseguinte, deve providenciar informações sobre probabilidade espacial, probabilidade temporal, tipos, magnitudes e velocidades de avanço dos deslizamentos numa determinada área geográfica.

Os mapas de susceptibilidade a deslizamentos constituem-se em instrumentos técnico-científicos indispensáveis no sentido de reduzir as conseqüências destes acidentes, justificando não só o acúmulo de uma larga quantidade de exemplos destes mapas em todo mundo, como também o esforço das sociedades geotécnicas internacionais como a Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG) e Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações (ISS-MFE), na publicação de manuais de preparação de Hazard Maps (Varnes, 1984) e de um guia para mapeamento de risco (IAEG, 1993). No entanto, o início da preparação destes mapas de previsão não foi nada fácil.

Os primeiros trabalhos de previsão de deslizamentos começaram orientados para situações locais, utilizando métodos determinísticos de análise, tal como normalmente adotado por engenheiros geotécnicos. Logo percebeu-se que as diferenças regionais das variáveis geotécnicas (coesão, ângulo de atrito interno, espessura de camadas, profundidade do nível d'água, efeitos de sucção, entre outras) eram incompatíveis com a homogeneidade exigida pelos modelos determinísticos, e assim várias outras técnicas foram desenvolvidas.

O modelo mais simples de zoneamento de susceptibilidade é um mapa inventário de deslizamentos que mostre os deslizamentos já ocorridos e os ainda ativos. Esta técnica segue a filosofia de que o local que já sofreu um deslizamento estará sempre sujeito, com algumas exceções, a novos movimentos. A determinação da susceptibilidade em áreas sem ocorrência passada exige contudo métodos mais criteriosos. De qualquer forma, o mapa inventário continua representando o instrumento mais simples na previsão de deslizamentos futuros.

Entre os diferentes métodos para se elaborar tais zoneamentos, incluem-se aqueles que se utilizam das facilidades oferecidas por SIG's e aqueles baseados em tratamentos estatísticos e qualitativos (De Graff e Romesburg, 1984; Juang *et al.*, 1992). Gee (1992) mostrou que o resultado encontrado nos produtos finais obtidos com nove diferentes métodos de zoneamento é praticamente semelhante. Os mapas de susceptibilidade e risco mais conhecidos são aqueles preparados para a região da baía de São Francisco, Califórnia, pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos, nas décadas de 70 e 80 (Brabb, 1987).

A maior parte dos métodos de zoneamento propostos na literatura envolve a combinação e a integração de uma série de mapas temáticos daqueles fatores deflagradores dos deslizamentos. O mapa de susceptibilidade a deslizamentos do Rio de Janeiro (Barros *et al.*, 1992) foi descrito pelo Grupo Internacional de Pesquisa em Deslizamentos (ILGR, 1992) como o primeiro mapa deste tipo produzido na América do Sul. A sua preparação, na escala 1:25000, envolveu a definição dos principais fatores que influenciam a distribuição dos deslizamentos nas encostas cariocas — uso do solo, geologia,

distribuição dos depósitos superficiais e declividade — e a composição de 700 matrizes indicativas de risco que, lidas por um programa de cruzamento de dados, identificaram graus de susceptibilidade a deslizamentos para unidades de terreno com dimensões de 125m x 125m, variando de muito baixo (0) a alto (3).

O mapa final sofreu ainda cruzamento de dados gerados a partir de extensivo reconhecimento de campo, com utilização de fotografias aéreas de épocas diferentes e bases topográficas na escala 1:10000. As 4 classes de risco que caracterizam o mapa final são apresentadas a cores e com informações mais diretas:

- Áreas de Muito Baixa Susceptibilidade (branco): são áreas muito pouco sujeitas a deslizamentos, onde nenhum movimento significativo foi detectado nas últimas duas décadas. Em geral, envolvem as áreas com declividade menor que 10%;
- Áreas de Baixa Susceptibilidade (verde): são áreas pouco susceptíveis a deslizamentos; um número muito reduzido de movimentos anteriores ocorreu nestes locais. Em geral, envolvem as áreas de encosta com cobertura vegetal ainda preservada e caracterizadas pela presença de solo residual desenvolvido sobre granitos;
- Áreas de Moderada Susceptibilidade (amarelo): são áreas susceptíveis a deslizamentos; um número razoável de acidentes anteriores ocorreu nestes locais. Em geral, envolvem áreas de declividade acima de 20%, compostas de solo residual desenvolvido sobre gnaisse;
- Áreas de Alta Susceptibilidade (vermelho): são áreas

muito susceptíveis a deslizamentos. Correspondem às áreas críticas conhecidas, seja pela frequência de acidentes, seja pelo elevado número de obras de contenção executadas nas encostas. Em geral, envolvem áreas com favelas, caracterizadas por depósitos de tálus, blocos rochosos e lascas instáveis.

#### 4.2. *Cartas de Risco de Acidentes Associados a Deslizamentos*

Após a identificação das áreas onde a possibilidade de ocorrência de deslizamentos é maior, são necessários estudos detalhados, com a utilização de técnicas específicas apropriadas à cartografia de risco de acidentes, naturais ou induzidos, que podem estar associados a situações de perigo, perda ou dano ao homem e suas propriedades.

O risco geológico de deslizamentos pode ser atual, quando instalado em áreas já ocupadas, ou potencial, quando envolve a susceptibilidade de ocorrência em áreas ainda desocupadas (IPT, 1991). O risco pode ser descrito matematicamente como o resultado da combinação entre a probabilidade de ocorrência do deslizamento e as conseqüências sociais e econômicas potenciais, de acordo com a equação 3.2:

$$R = P \times C \quad \text{Eq. 3.2}$$

onde: R é o risco de deslizamento, P a susceptibilidade e C as conseqüências do acidente.

Os instrumentos cartográficos técnico-científicos que demonstram a distribuição, os tipos, a frequência, as características, o grau e a hierarquização do risco associado aos deslizamentos, são conhecidos como cartas de risco geológico. Estas cartas são produzidas em diversas escalas, mas o seu uso é mais apropriado para estudos de larga escala ou detalhados ( $> 1:5000$ ), quando atendem, por exemplo, a planejadores de infra-estrutura para uma área habitada ou a concessionárias responsáveis pela instalação de redes de água, esgoto e luz.

No Brasil, as experiências de elaboração de cartas de risco associadas a deslizamentos ampliaram-se na última década como resultado da consolidação de seus critérios e conceitos através da publicação de diversos casos estudados e, também, como reflexo da sua aceitação por parte de órgãos de planejamento e comunidades envolvidas no assunto. Os serviços de cartografia de riscos a deslizamentos em encostas já se incluem como atividades permanentes de órgãos públicos municipais em cidades como Rio de Janeiro, Petrópolis, Niterói, São Gonçalo, Vitória, São Paulo. Na Figura 3.14 é mostrado o exemplo da carta de risco de parte da favela do Morro do Pau Bandeira, em Vila Isabel, zona norte da cidade do Rio de Janeiro.

A metodologia de preparação das cartas de risco a deslizamentos envolve a identificação e análise do risco; a identificação envolve a definição, a caracterização, a delimitação e a determinação dos condicionantes dos escorregamentos, bem como da sua área de influência. A análise do risco, voltada para a priorização das medidas para sua eliminação, trata da qualificação e quantificação do risco, estabelecendo diferentes graus de risco

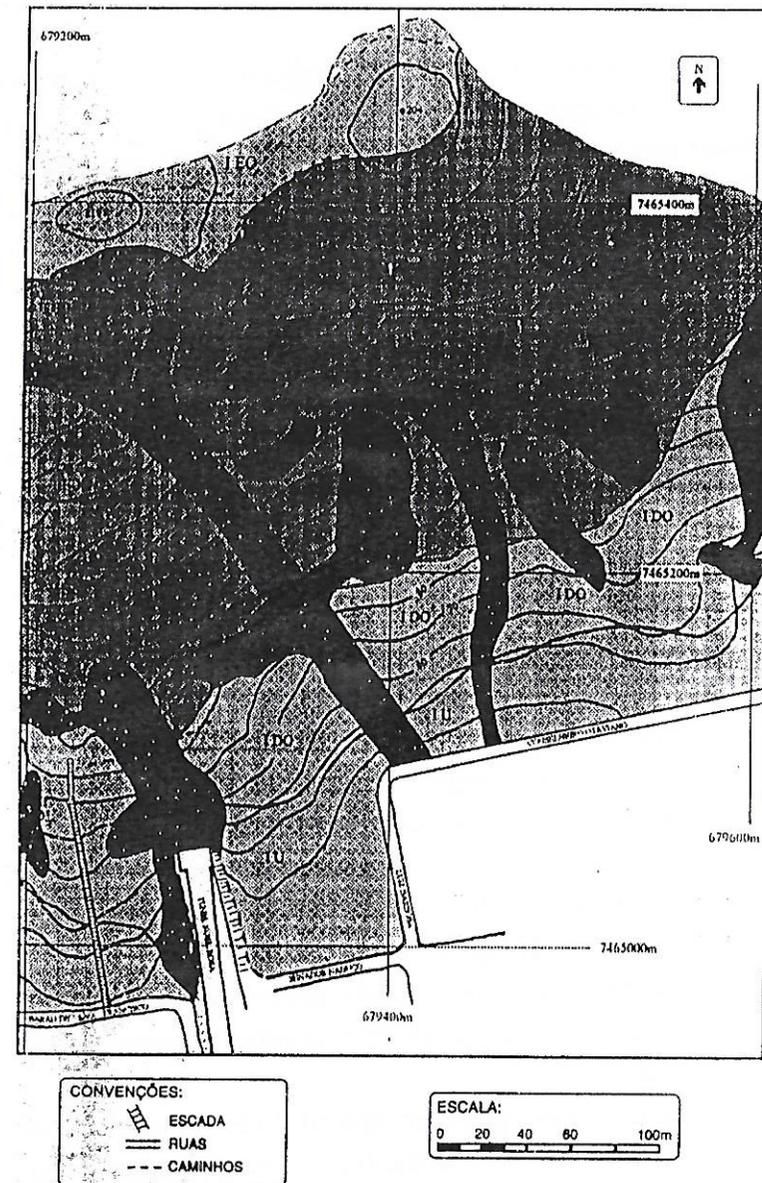


Figura 3.14 — Carta de risco a deslizamentos de parte da favela do morro do Pau Bandeira, em Vila Isabel, zona norte da cidade do Rio de Janeiro (Fonte: mapa da favela do Morro dos Macacos e Pau da Bandeira/GEORIO).

## LEGENDA:

RISCO GEOTÉCNICO	SIMBOLOGIA	CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES	CONDIÇÕES PARA USO
BAIXO	IDO	Área densamente ocupada com pequenos lotes e potencial de acidentes associados a pequenos cortes e depósitos de lixo/entulho	Passível de ocupação, porém, requer melhorias de estrutura urbana, principalmente relativa à acesso e drenagem.
	IEO	Área esparsamente não ocupada, com boas características geotécnicas (declividade e solo) à ocupação	Favorável à ocupação, indicada como área para assentamento das casas nas áreas de alto risco. Requer completa implantação de infra-estrutura urbana (acesso, drenagem, abastecimento de água/ esgoto etc) antes de sua utilização.
	IU	Área densamente ocupada com razoável infra-estrutura urbana e baixo potencial de acidentes	Passível à ocupação, não devendo ser adensada, somente melhorados os equipamentos urbanos já existentes
MÉDIO		Áreas ocupadas, constituídas por taludes naturais com declividade moderada e/ou pequeno número de cortes	Imprópria à ocupação nas atuais condições, caso à ocupação se adense, o grau de risco agravará. A mitigação do risco atual está condicionada, principalmente a melhorias de acesso, drenagem pluvial, rede de esgoto e coleta de lixo/entulho
		Áreas esparsamente ocupadas com características geotécnicas (declividade, hidrologia e solo) desfavoráveis à ocupação	Imprópria à ocupação. Devem ser utilizadas para reflorestamento
ALTO		Talvegues naturais sujeitos a grandes vazões durante chuvas intensas. Grande potencial de acidentes (corrida de detritos/blocos de rochas)	Impróprias à ocupação. Necessidade de limpeza dos eixos dos talvegues e da remoção das moradias nestas áreas
		Áreas constituídas por taludes naturais em solo com declividade acentuada	Impróprias à ocupação. Necessidade de remoção das moradias nestas áreas, seguida por reflorestamento
		Áreas de grande potencial de acidentes associados, principalmente, a ocupação desordenada com execução de cortes e aterros instáveis e formação de depósitos de lixo/entulho	Exigem a adoção de medidas para a eliminação do risco. Até a execução das medidas recomendadas, as moradias devem ficar interditas
		Taludes rochosos naturais ou de pedreiras e suas áreas de influência, com grande potencial de acidentes (queda de lascas e/ou blocos)	As áreas de escarpa são impróprias à ocupação. A ocupação na base das escarpas está condicionada à execução de obras de contenção nos taludes

para pontos, trechos ou áreas geográficas maiores. Estas duas etapas são desenvolvidas em três fases:

- 1 — *Levantamento de Dados*: engloba a coleta de dados sobre as características físicas e de uso do solo, bem como sobre escorregamentos anteriores, a partir de bases cadastrais de diversas escalas, fotografias aéreas e de helicóptero, mapas geocientíficos, relatórios técnicos de concessionárias de obras civis, sondagens do subsolo, trabalhos técnico-científicos etc.;
- 2 — *Mapeamento de Campo*: a investigação de campo se inicia com um levantamento expedito, voltado para o reconhecimento dos materiais geológicos presentes, para a checagem das informações derivadas no levantamento de dados, e para contactar moradores das áreas envolvidas, visando a melhor operacionalização dos trabalhos de campo. Após a preparação do mapa expedito, que apresenta unidades geomorfológicas homogêneas quanto ao potencial de ocorrência de um deslizamento, define-se a escala de trabalho necessária à representação gráfica do risco. Em geral, são aproveitadas as bases cadastrais existentes, e mais raramente, mosaicos de fotos aéreas verticais ou oblíquas. Na carta são descritos:

- áreas afetadas por deslizamentos no passado, com descrição dos materiais, extensão dos prejuízos acumulados, e medidas técnicas de estabilização;
- feições de atividade de deslizamentos, tais como trincas no terreno, degraus de abatimento, pos-

tes/árvores, distribuição de aterros e lixões e muros inclinados;

- elementos cadastrais em risco com base em limites geográficos claros, tais como o número e identificação das pessoas e propriedades ameaçadas, bem como a proximidade de moradias;
- pontos e trechos sujeitos à ocorrência de deslizamentos no presente e no futuro, descrevendo-se os tipos de deslizamentos e o potencial de destruição imposto por eles;
- grau de risco de acidentes em cada ponto ou trecho de risco, baseado no conhecimento sobre a susceptibilidade e vulnerabilidade das habitações;
- medidas futuras de investigação e/ou solução para estabilização do deslizamento.

3 — *Representação Cartográfica: a finalização da carta de risco corresponde à organização dos dados coletados nas etapas anteriores.* A representação do risco pode ser feita sob a forma de cadastramento de risco (mapa de pontos de risco e sua descrição) ou sob a forma de zoneamento de risco, onde domínios homogêneos, em relação ao grau de risco, são mapeados. No Brasil, em geral, as cartas de risco a deslizamentos estão divididas em 4 zonas de risco: alto, moderado, baixo e muito baixo. É praxe apresentar as cartas com zonas de risco coloridas e numeradas, de modo a facilitar o entendimento e a utilização por parte de usuários potenciais na redução das conseqüências dos deslizamentos.

Tão importante quanto a preparação das cartas de risco é a apresentação das mesmas. Esta fase exige a produção de relatórios técnicos bem ilustrados, a informatização dos produtos finais em bancos de dados, e a apresentação dos resultados numa sessão pública de divulgação, de modo a permitir a informação dos moradores sobre o risco a escorregamentos que estão expostos.

#### *4.3. Medidas de Redução dos Acidentes Associados a Deslizamentos*

Cerri (1992 e 1993) mostra que para reduzir a possibilidade de registros de acidentes e as dimensões das conseqüências sociais e econômicas por eles geradas, podem ser realizadas, com base na previsão e cartografia dos riscos geológicos, três tipos de atividade: adoção de medidas de prevenção de acidentes; planejamento para situações de emergência; e informações públicas e programas de treinamento.

A melhor maneira de garantir que tais ações sejam efetivadas é integrá-las em Programas Governamentais de Redução de Desastres, tal como propõe a ONU no seu programa decenal (Elo, 1995). Em geral, estes planos apóiam-se no conhecimento científico sobre o potencial e vulnerabilidade aos desastres, na capacidade de adoção de soluções em curto e médio prazos, no estabelecimento de sistemas de alarme para situações críticas, na extrema participação da sociedade e dos dirigentes, e no fluxo apropriado e permanente de informações sobre acertos e erros na administração do plano, via redes de informações gerenciais.

### a) Adoção de Medidas Preventivas de Acidentes

Além da possibilidade de remoção definitiva dos moradores das áreas sob risco de acidentes associados a deslizamentos, a prevenção de acidentes deve considerar os seguintes objetivos: evitar a instalação de novas áreas de risco; eliminar ou reduzir o risco atual e potencial, evitando a ocorrência ou reduzindo a magnitude dos deslizamentos; conviver com os riscos, reduzindo ou eliminando as conseqüências sociais e econômicas desses acidentes. A seleção de uma destas medidas depende não só da qualidade da cartografia de risco, e da disponibilidade de tempo, recursos financeiros e área para relocação da população sob risco, como também de uma decisão político-administrativa.

1. Não Implantação de Novas Áreas de Risco: envolve o controle da expansão e do adensamento da ocupação através do estabelecimento de diretrizes técnicas que permitam adequada utilização do meio físico. Estas diretrizes estão dispostas em cartas geotécnicas com informações gerais sobre os limites do meio físico de interesse ao planejamento do uso do solo;
2. Eliminação ou Redução do Risco Instalado: envolve a recuperação da área de risco através da implantação de obras de contenção e drenagem, que destinam-se a evitar a ocorrência de deslizamentos e/ou reduzir a sua magnitude; a definição da intervenção mais adequada depende, fundamentalmente, da qualidade das observações constantes nos mapas de previsão e nas cartas de risco;
3. Convivência sem Intervenção no Risco: envolve a remoção temporária da população instalada na área de

risco com vistas a reduzir a possibilidade de registro de perdas de vidas; passada a fase emergencial, define-se o retorno da população ao local original. Estas atividades são operadas através de Planos Preventivos de Defesa Civil. Esses envolvem a análise evolutiva do grau de risco bem como a determinação do momento adequado para efetivar a retirada da população para locais seguros. Cerri (1993) propõe que os planos sejam desenvolvidos em quatro fases: elaboração, implantação, operação e avaliação. No Brasil, esses planos estão a cargo das prefeituras municipais e sua coordenação de Defesa Civil.

Na sua elaboração, reúnem-se as cartas de risco, define-se o período de operação dos planos, os critérios para passagem de um nível de emergência para outro, o método de acompanhamento de parâmetros técnicos e definição de ações de emergência. Na fase de implantação, definem-se os procedimentos operacionais, atribuições, responsabilidades, além do sistema de informação, participação e treinamento da população. Na fase de operação, acompanha-se tecnicamente o Plano Preventivo de Defesa Civil e a efetivação das ações nele preconizadas. Na fase de avaliação, identificam-se as eventuais falhas na fundamentação técnica, na estrutura e no sistema operacional, visando correções e ajustes futuros.

### b) Planejamento para Situações de Emergência

A freqüente ocorrência de deslizamentos em uma região ou cidade exige muitas vezes a realização de atendimentos de emergência com a participação de profissionais com formação em geociências, não só para

processos de urbanização nas grandes cidades torna urgente um aumento na quantidade e na qualidade dos estudos realizados.

Além disso, torna-se imperativo uma contínua reavaliação dos resultados já obtidos em estudos anteriores uma vez que algumas feições que eram no passado consideradas menos importantes são hoje tidas como muito importantes.

O conteúdo sumarizado neste capítulo vem, mais uma vez, destacar a complexidade dos processos envolvidos na geração dos deslizamentos sob as condições de campo. A compreensão dos fatores condicionantes e dos mecanismos deflagradores desses movimentos requer, necessariamente, uma análise detalhada que combine as contribuições oriundas de profissionais com diferentes formações. Qualquer abordagem segmentada, ou seja, que enfoque o problema sob apenas um ângulo, dificilmente será capaz de compreender, de forma integrada, tais movimentos. A análise dos movimentos sob a forma de corridas, por exemplo, requer estudos não apenas das rupturas nas partes mais elevadas das encostas mas também da dinâmica hidrológica (encosta e canal) ao longo de toda a bacia. Ressalta-se aqui, mais uma vez, um dos pilares de sustentação da geomorfologia enquanto ciência: a valorização do conceito de bacia de drenagem como unidade funcional.

## 6. Bibliografia

AMARAL, C.P. (1992) Inventário de Escorregamentos no Rio de Janeiro. 1ª Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, Anais, volume 1, ABMS/ABGE, 546-561pp.

AMARAL, C.P. (1996) Escorregamentos em Encostas no Rio de Janeiro: Inventário, Condicionantes Geológicas e Programa Para Redução dos Acidentes Associados. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-RJ, 230p.

AMARAL, C.P. e PORTO Jr., R. (1989) Condicionantes Geológicas na Instabilidade de Taludes: O Exemplo da Estrada do Soberbo, Alto da Tijuca, Rio de Janeiro. Simpósio de Geologia do Sudeste, 1, Rio de Janeiro, RJ, Boletim de Resumos, SBG-RJ, 194-195pp.

AMARAL, C.P., BARROS, W.T. e PORTO JR., R. (1992) The Structural Control Within a Landslide in Rio de Janeiro. In: BELL (ed.), Landslides. Balkema, Rotterdam, 1339-1343pp.

AMARAL, C.P., VARGAS, E. e KRAUTER, E. (1996) Analysis of Rio de Janeiro Landslide Inventory Data. 7th International Symposium on Landslides, Trondheim, Norway, June.

ANDERSON, M.G. e BURT, T.P. (1978) The Role of Topography in Controlling Throughflow Generation. Earth Surface Processes, Vol. 3, 331-344pp.

AVELAR, A.S. e COELHO NETTO, A.L. (1992) Fluxos D'Água Subsuperficiais Associados a Origem das Formas Côncavas do Relevo. 1ª COBRAE — Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, Anais, Volume 2, ABGE/ABMS, 709-720pp.

BARROS, W.T., AMARAL, C.P. and D'ORSI, R.N. (1992) Landslide Susceptibility Map of Rio de Janeiro. In: BELL (ed.), Landslides. Balkema, Rotterdam, 869-871pp.

BARROSO, J.A., ANTUNES, F., PONCE, C.A.L. (1985) Deslizamentos ao longo da Estrada Rio-Juiz de Fora, entre Petrópolis e Três Rios. IV Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia.

BEVEN, K. e KIRKBY, M.J. (1979) A Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. Hydrological Scientists Bulletin, Vol. 24, 43-69pp.

BRABB, E.E. (1987) Analysing and Portraying Geologic and Cartographic Information for Land-Use Planning, Emergence Response, and Decision Making in San Mateo County, California. 2nd Annual Int. Conf., Exhibits and Workshops on GIS. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 363-374pp.

BRABB, E.E. (1993) Proposal for Worldwide Landslide Hazard Maps. 7th Int. Conf. and Field Workshop on Landslides. Balkema, Rotterdam, 15-27pp.

- CARRARA, A., CARDINALI, M., DETTI, R. GUZZETI, F., PASQUI, V. e REICHENBACH, P. (1991) GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 16, 427-445pp.
- CARSON, M.A. e KIRKBY, M.J. (1972) *Hillslope Form and Process*. Cambridge University Press, 475p.
- CERRI, L. (1992) Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos na Região Metropolitana de São Paulo. In: *Problemas Geológicos e Geotécnicos na RMSP*, Anais, ABGE-ABMS, SBC/SP, 209-225pp.
- CERRI, L. (1993) Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos: Uma Proposta para a Prevenção de Acidentes. Tese de Doutorado, USP, São Carlos.
- COELHO NETTO, A.L. (1985) *Surface Hydrology and Soil Erosion in a Tropical Mountainous Rainforest Drainage Basin*, Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Katholieke University Leuven, 198pp.
- COELHO NETTO, A.L. (1995) Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.), *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos*. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2ª ed., 93-148pp.
- COSTA NUNES, A.J., COUTO FONSECA, A.M. e HUNT, R.E. (1979) *Landslides in Brazil*.
- CROZIER, M.J., VAUGHAN, E.E. e TIPPET, J.M. (1990) Relative Instability of Colluvium Filled Bedrock Depressions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 329-339pp.
- DEERE, D.U. e PATTON, F.D. (1970) Slope Stability in Residual Soils. In: 4th Panam. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., San Juan, Vol 1, 87-170pp.
- DE GRAFF, J.V. e ROMESBURG, H.C. (1984) Regional Landslide-Susceptibility Assessment for Wildland Management: A Matrix Approach. In: Thornes (ed.), *Thresholds in Geomorphology*. McGraw Hill, New York, 401-414pp.
- DIETRICH, W.E. e DUNNE, T. (1978) Sediment Budget for a Small Catchment in Mountainous Terrain. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement*, Vol. 29, 191-206pp.
- DIETRICH, W.E., WILSON, C.J. e RENEAU, S. (1986) Hollows, Colluvium and Landslides in Soil-Mantled Landscapes. In: ABRAHAMS, A.D. (ed.), *Hillslope Processes*. Allen and Unwin, London, 361-388pp.

- DIETRICH, W.E., WILSON, C.J., MONTGOMERY, D.R. e McKEAN, J. (1993) Analysis of Erosion Thresholds, Channel Networks, and Landscape Morphology Using a Digital Terrain Model. *Journal of Geology*, Vol. 101, 259-278pp.
- DIKAU, R. (1993) Geographical Information Systems as Tools in Geomorphology. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F., Suppl. Bd.*, 92, 231-239pp.
- DUEHOLM, K.S., GARDE, A.A. e PEDERSEN, A.K. (1993) Preparation of Accurate Geological and Structural Maps, Cross Sections or Block Diagrams from Colour Slides, Using Multi-Model Photogrammetry. *Journal of Structural Geology*, 15, Nº 7, 933-937pp.
- DUNNE, T. (1970) Runoff Production in a Humid Area. United States Department of Agriculture Report ARS 41, 160pp.
- DUNNE, T. (1990) Hydrology, Mechanics, and Geomorphic Implications of Erosion by Subsurface Flow. *Groundwater Geomorphology: The Role of Subsurface Water in Earth-Surface Processes and Landforms*. Boulder, CO, Geological Society of America Special Paper. 1-28pp.
- ELO, O. (1995) The International Decade for Natural Disaster Reduction, Stop Disaster, ONU.
- FERNANDES, N.F. (1984) Algumas Condicionantes Geológicas-Geotécnicas dos Deslizamentos na BR-040 (Rio-Juiz de Fora) na Altura da Folha Itaipava. Relatório Técnico, Estágio de Campo IV, Setor de Geologia de Engenharia, IGEO-UFRJ, 54p.
- FERNANDES, N.F. (1990) Hidrologia Subsuperficial e Propriedades Físico-Mecânicas dos Complexos de Rampa — Bananal (SP). Tese de Mestrado. IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 151p.
- FERNANDES, N.F. e MEIS, M.R.M. (1982) Movimentos de Massa na Serra do Mar, Teresópolis (RJ). Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Boletim nº 2, 99pp.
- FERNANDES, N.F., COELHO NETTO, A.L. e LACERDA, W.A. (1994) Subsurface Hydrology of Layered Colluvium Mantles in Unchannelled Valleys — Southeastern Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, 609-626pp.
- FREIRE, E.S.M. (1965) Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e Sua Moderna Sistemática. *Construção*, Rio de Janeiro, 8, 10-18pp.
- GEE, M.D. (1992) Classification of Landslides Hazard Zonation

- Methods and a Test of Predictive Capability. In: Bell (ed), Landslides. Balkema, Rotterdam, 947-952pp.
- ↳ GERSCOVICH, D.M.S., CAMPOS, T.M.P. e VARGAS Jr., E.A. (1992a) Influência de Aspectos 3D no Regime de Fluxo em Encostas. 1ª COBRAE — Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, Anais, Volume 2, ABGE/ABMS, 559-575pp.
- ↳ GERSCOVICH, D.M.S., VARGAS Jr., E.A. e CAMPOS, T.M.P. (1992b) Avaliação dos Fatores que Influenciam a Modelagem Numérica dos Regime de Fluxo em uma Encosta no Rio de Janeiro. 1ª COBRAE — Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, Anais, Volume 2, ABGE/ABMS, 657-673pp.
- GILBERT G.K. (1904) Domes and Dome Structure of The High Sierra. Geological Society of America Bulletin, 15, 29-36pp.
- GRAYSON, R. B. e I. D. MOORE (1992). Effect of Land-Surface Configuration on Catchment Hydrology. In: PARSONS, A.J. e ABRAHAMS, A.D. (eds.) Overland Flow: Hydraulics and Erosion Mechanics. Chapman & Hall, New York, 147-175pp.
- GUERRA, A.J.T. (1995) Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.), Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2ª ed., 149-209pp.
- GUIDICINI, G. e NIEBLE, C.M. (1984) Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Edgard Blucher, 2ª ed., 194p.
- HARP, E.L., WELLS II, W.G. e SARMIENTO, J.G. (1990) Pore Pressure Response During Failure in Soils. Geological Society of America Bulletin, Vol 102, 428-438pp.
- HUTCHINSON, J.N. (1988) General Report: Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne, Vol 1, 3-35pp.
- IAEG Commission on Engineering Geological Maps (1993) Working Paper on Production of Guides on Hazard Maps.
- INTERNATIONAL LANDSLIDE RESEARCH GROUP (1992) ILRG — News.
- ↳ IPT (1991) Ocupação de Encostas. Publicação IPT Nº 1831, 216p.
- JONES, F. (1973) Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras Escarpment, Brazil. U. S. Geological Survey Prof. Paper, 697, 42p.
- JUANG, C.H., LEE, D.H. e SHEU, C. (1992) Mapping Slope Failure Potential Using Fuzzy Sets. Jour. Geotech. Eng., Vol. 118, Nº 3, 475-485pp.
- KNAPP, B.J. (1978) Infiltration and Storage of Soil Water. Hillslope Hydrology. John Wiley & Sons, New York, 43-72pp.
- LACERDA, W.A. (1991) Mass Movement Phenomena in Tropical Soils. IX Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, General Report, Chile, 1907-1917pp.
- LACERDA, W.A. e SANDRONI, S. (1985) Movimentos de Massa Colúviais. Mesa Redonda Sobre Aspectos Geotécnicos de Encostas. Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, Vol. 3, 1-19pp.
- MEIS, M.R.M. e MONTEIRO, A.M.F. (1979) Upper Quaternary "Rampas", Doce River Valley, SE Brazilian Plateau. Zeitschrift für Geomorphologie, Vol. 23, 132-151pp.
- MEIS, M.R.M. e MOURA, J.R.S. (1984) Upper Quaternary Sedimentation and Hillslope Evolution: Southeastern Brazilian Plateau. American Journal of Science, Vol. 284, 241-254pp.
- MEIS, M.R.M., COELHO NETTO, A.L. e MOURA, J.R.S. (1985) As descontinuidades nas formações colúviais como condicionantes dos processos hidrológicos e de erosão acelerada. Simpósio Nacional de Controle à Erosão, Maringá-PR, ABGE.
- MILLER, D. J. (1995) Coupling GIS with Physical Models to Assess Deep-Seated Landslide Hazards. Environmental & Engineering Geoscience, Vol. 1, Nº 3, 263-276pp.
- MONTGOMERY, D.R. e DIETRICH, W.E. (1994) A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding. Water Resources Research, Vol. 30, 1153-1171pp.
- MONTGOMERY, D.R. e DIETRICH, W.E. (1995) Hydrologic Processes in a Low-Gradient Source Area. Water Resources Research, Vol. 31, 1-10pp.
- MONTGOMERY, D.R., WRIGHT, R.H. e BOOTH, T. (1991) Debris Flow Hazard Mitigation for Colluvium-Filled Swales. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol 28, 303-323pp.
- MOORE, I.D., O'LOUGHLIN, E.M. e BURCH, G.J. (1988) A Contour-Based Topographic Model for Hydrological and Ecological Applications. Earth Surface Processes and Landforms, 13, 305-320pp.
- OLIVEIRA, A.M. (1995) A Abordagem Geotectogênica: A Geologia de Engenharia no Quinário. In: Bittat O.Y.(coord.), Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE, São Paulo, 231-241pp.

- OLLIER, C. (1984) *Weathering*. Longman, London, 270p.
- O'LOUGHLIN, E.M. (1986) Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis. *Water Resources Research*, Vol. 22, 794-804pp.
- OKIMURA, T. e ICHIKAWA, R. (1985) A Prediction Method for Surface Failures by Movements of Infiltrated Water in a Surface Soil Layer. *Journal of Natural Disaster Science*, Vol. 7, 41-51pp.
- OKIMURA, T. e KAWATANI, T. (1987) Mapping of the Potential Surface-Failure Sites on Granite Mountain Slopes. In: Gardiner, V. (ed.), *International Geomorphology 1986*, John Wiley & Sons, 121-138pp.
- OKIMURA, T. e NAKAGAWA, M. (1988) A Method for Predicting Surface Mountain Slope Failure with a Digital Landform Model. *Shin Sabo*, 41, 48-56pp.
- ONDA, Y. (1994) Seepage Erosion and its Implication to the Formation of Amphitheatre Valley Heads: A Case Study at Obara, Japan. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, 627-640pp.
- PEDROSA, M.G.A., SOARES, M.M. e LACERDA, W.A. (1988) Mechanism of Movements in Colluvial Slopes in Rio de Janeiro. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne, Vol. II, 1211-1216pp.
- \* PENHA, H. M. *et al.* (1980) Folha Itaipava, Relatório Final e Mapeamento Geológico. Projeto Carta Geológica do Rio de Janeiro. Convênio DNPM-DRM/RJ e Instituto de Geociências da UFRJ.
- PIERSON, T.C. (1980) Piezometric Response to Rainstorms in Forested Hillslope Drainage Depressions. *Journal of Hydrology (New Zealand)*, Vol. 19, 1-10pp.
- ← PONCE, C.A.L. (1984) Condicionantes Geológico-Estruturais na Estabilidade de Taludes de Corte em Rocha, na Rodovia BR-040 (Trecho Km 40 — Km 80). Tese de Mestrado. Depto. de Eng. Civil, PUC-RJ, 212p.
- RENEAU, S.L. e DIETRICH, W.E. (1987) Size and Location of Colluvial Landslides in a Steep Forested Landscape. *International Association of Hydrological Scientists (IAHS)*, Vol. 165, 39-48pp.
- RENEAU, S.L., DIETRICH, W.E., WILSON, C.J. e ROGERS, J.D. (1984) Colluvial Deposits and Associated Landslides in the Northern San Francisco Bay Area, California, USA. *Proceedings of IV International Symposium on Landslides, Toronto*, 425-430pp.

- ↙ ROCHA, J.C.S., ANTUNES, F.S. e ANDRADE, M.H.N. (1992) Caracterização Geológica-Geotécnica Preliminar dos Materiais Envolvidos nos Escorregamentos da Vista Chinesa. 1ª COBRAE — Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, Anais, Volume 2, ABGE/ABMS, 491-502pp.
- ROGERS, C.T. e SITAR, N. (1994) Integrating Expert Opinion and Empirical Data to Evaluate Landslide Hazard. 264-279pp.
- RULON, J.J. e FREEZE, R.A. (1985) Multiple Seepage Faces on Layered Slopes and their Implications for Slope-Stability Analysis. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 22, 347-356pp.
- SALTER, R.T., CRIPPEN, T.F. e NOBLE, K.E. (1981) Storm Damage Assessment of Thames-Te Aroha Area following the Storm of April 1981: Final Report. Water and Soil Science Centre, New Zealand Ministry of Works and Development, Report N° 44.
- SASSA, K. (1989) Geotechnical Classification of Landslides. *Landslide News*, 3, 21-24pp.
- SELBY, M.J. (1993) *Hillslope Materials and Processes*. Oxford University Press, New York, 451p.
- SHARPE, C.F.S. (1938) *Landslide and Related Phenomena*. Pageant, New Jersey, 137p.
- SKEMPTON, A.W. e De LORY, F.A. (1957) Stability of natural slopes in London clay. 4th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, Vol. 2, 378-381pp.
- SUMMERFIELD, M.A. (1991) *Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms*. Longman Scientific & Technical, 537p.
- TERZAGHI, K. (1950) *Mechanism of Landslides*. Geological Society of America, Engineering Geology (Berkey) Volume, 83-123pp.
- TSUKAMOTO, Y., OHTA, T. e NOGUCHI, H. (1982) Hydrological and Geomorphological Studies of Debris Slides on Forested Hillslopes in Japan. *International Association of Hydrological Scientists (IAHS)*, Vol. 137, 89-98pp.
- van WESTEN, C.J. 1993. GISSIZ — Training Package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation, Part I: Theory. ITC Publ. N° 15, 245pp.
- van WESTEN, C.J., RENGERS, N., SOETERS, R. e TERIEN, M.T.J. (1994) An Engineering Geologic GIS Data Base for Mountainous Terrain. 7th Int Conf./IAEG, Vol. 6, 4467-4475pp.
- VARGAS Jr., E. A., VELLOSO, R.C., CAMPOS, T.M.P. e COSTA FILHO, L.M. (1990) Saturated-Unsaturated Analysis of Water

- Flow in Slopes of Rio de Janeiro, Brazil. Computer and Geotechnics, Vol. 10, 247-261pp.
- VARNES, D.J. (1958) Landslides Types and Processes. Highway Research Board, Special Report, Vol. 29, 20-47pp.
- VARNES, D.J. (1978) Slope Movement and Types and Processes. In: Schuster, R.L. e Krizek, R.J.(eds), Landslides: Analysis and Control. Transportation Research Board Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington DC, 11-33pp.
- VARNES, D.J. (1984) Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice. Natural Hazards 3, Paris; UNESCO, 61p.
- WHIPKEY, R.Z. e KIRKBY, M.J. (1978) Flow Within The Soil. In: Kirkby, M.J. (ed), Hillslope Hydrology, John Wiley, Chichester, 121-144pp.
- WILSON, C.J. e DIETRICH, W.E. (1987) The Contribution of Bedrock Groundwater Flow to Storm Runoff and High Pore Pressure Development in Hollows. International Association of Hydrological Scientists Publication, Vol. 165, 49-59pp.
- WOLLE, C.M. e HACHICH, W. (1989) Rain-induced Landslides in Southeastern Brazil. 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, Vol. 3, 1639-1642pp.
- WP/WLI — UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1990) A Suggested Method for Reporting a Landslide. Bulletin of the IAEG, N° 41, 5-12pp.
- WP/WLI — UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1994) The Multilingual Landslide Glossary. Bitech Publishers, Richmond, British Columbia, Canadá.
- XAVIER DA SILVA, J. (1993) Sistemas Geográficos de Informação: Uma Proposta Metodológica. In: 4ª Conferência Latino-Americana Sobre SGI's e 2º Simpósio de Geoprocessamento, USP-SP, 609-628pp.