

# FLG 0607 - Introdução à Geomorfologia

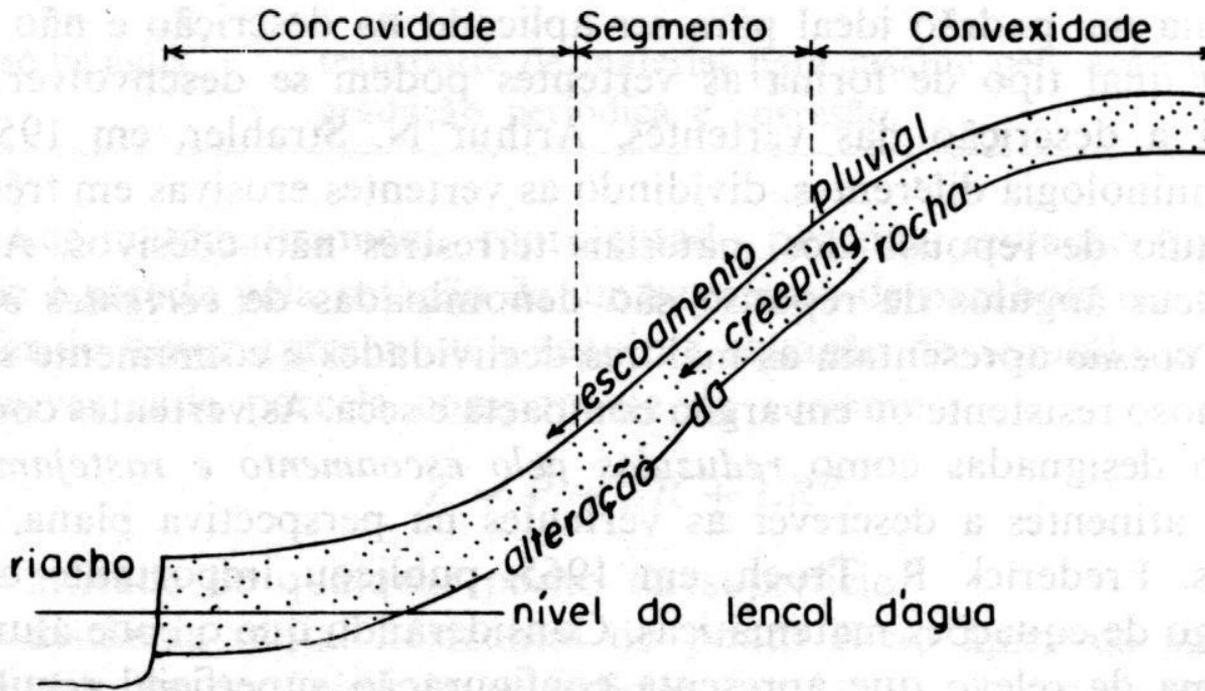
Processos, formas e materiais de  
vertente (erosão)

# Vertentes: processos e formas

- **Vertente** significa superfície inclinada, não horizontal, sem apresentar qualquer conotação genética ou locacional. Podem ser subaéreas ou submarinhas, podendo resultar da influência de qualquer processo, sendo formadas pela ampla variedade de condições internas e externas.

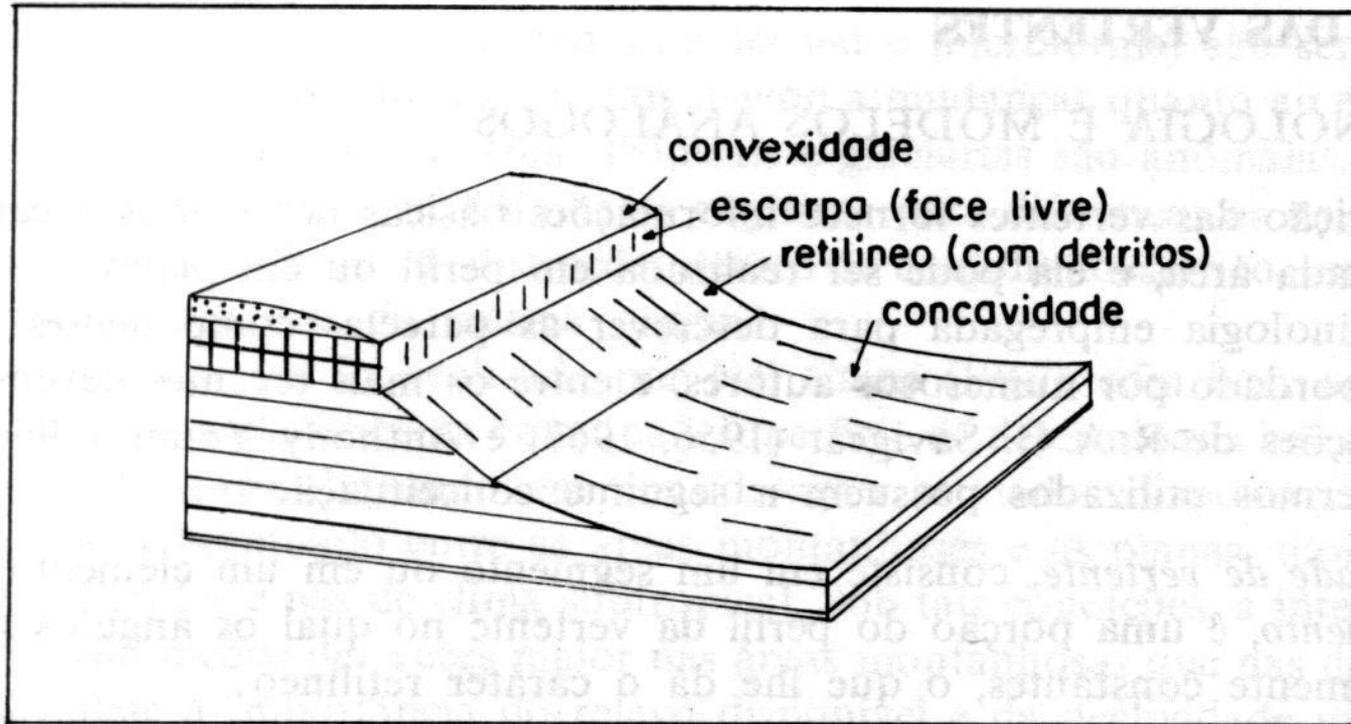
# A forma das vertentes

- Max Derruau (1965) considera que o perfil típico de uma vertente apresenta uma convexidade no topo e uma concauidade na parte inferior, sendo que ambas estão separadas por um simples ponto de inflexão ou por um segmento.



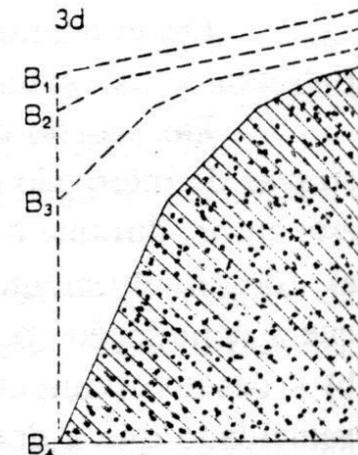
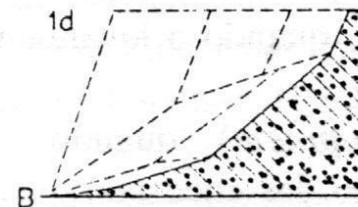
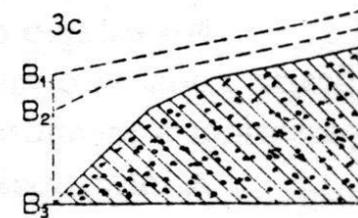
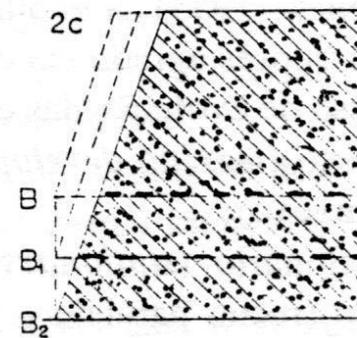
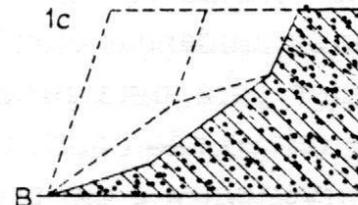
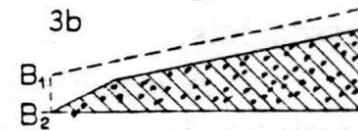
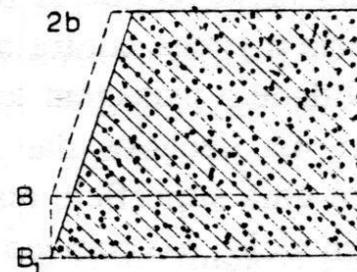
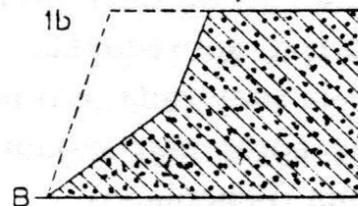
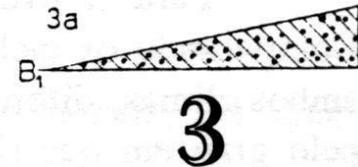
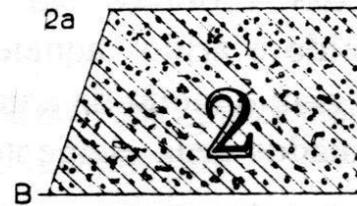
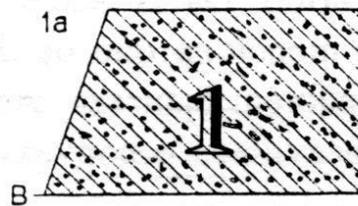
A composição da vertente normal ou regular, conforme apresentada por Derruau (1965). A área pontilhada indica o regolito

- Para Lester C. King (1953), a vertente típica apresenta quatro partes: convexidade no topo, face livre ou escarpa retilínea, parte reta com detritos do setor superior da vertente e pedimento suavemente côncavo.
- O perfil assinalado encontra-se comumente em regiões de rochas estratificadas, em escarpamentos relacionados à atividade erosiva.
- As vertentes elaboradas em bacias de drenagem desenvolvidas em rochas não-estratificadas ou em rochas cristalinas, como no Brasil, não se assemelham ao modelo descrito.



As quatro partes componentes da vertente, conforme o modelo apresentado por Lester King, em 1953

- De acordo com as idéias de Penck (1953), considerando um nível de base fixo, se originaria pelo recuo de uma vertente uma superfície de inclinação menor que a encosta original. Com a redução da textura dos detritos, denudação e desenvolvimento de superfícies cada vez menos íngremes, a vertente adquiriria um perfil côncavo (1).
- (2) Se ocorrer um abaixamento ou deslocamento lateral uniforme do nível de base da vertente e a declividade da encosta adquiriria um valor estacionário, resultante do equilíbrio entre a intensidade de denudação e o deslocamento do nível de base (perfil retilíneo).
- Se o abaixamento do nível de base for mais rápido que a denudação, a parte inferior da encosta passaria a apresentar declividades progressivamente mais acentuadas. A encosta recuaria muito rapidamente com a formação de um perfil convexo (3).

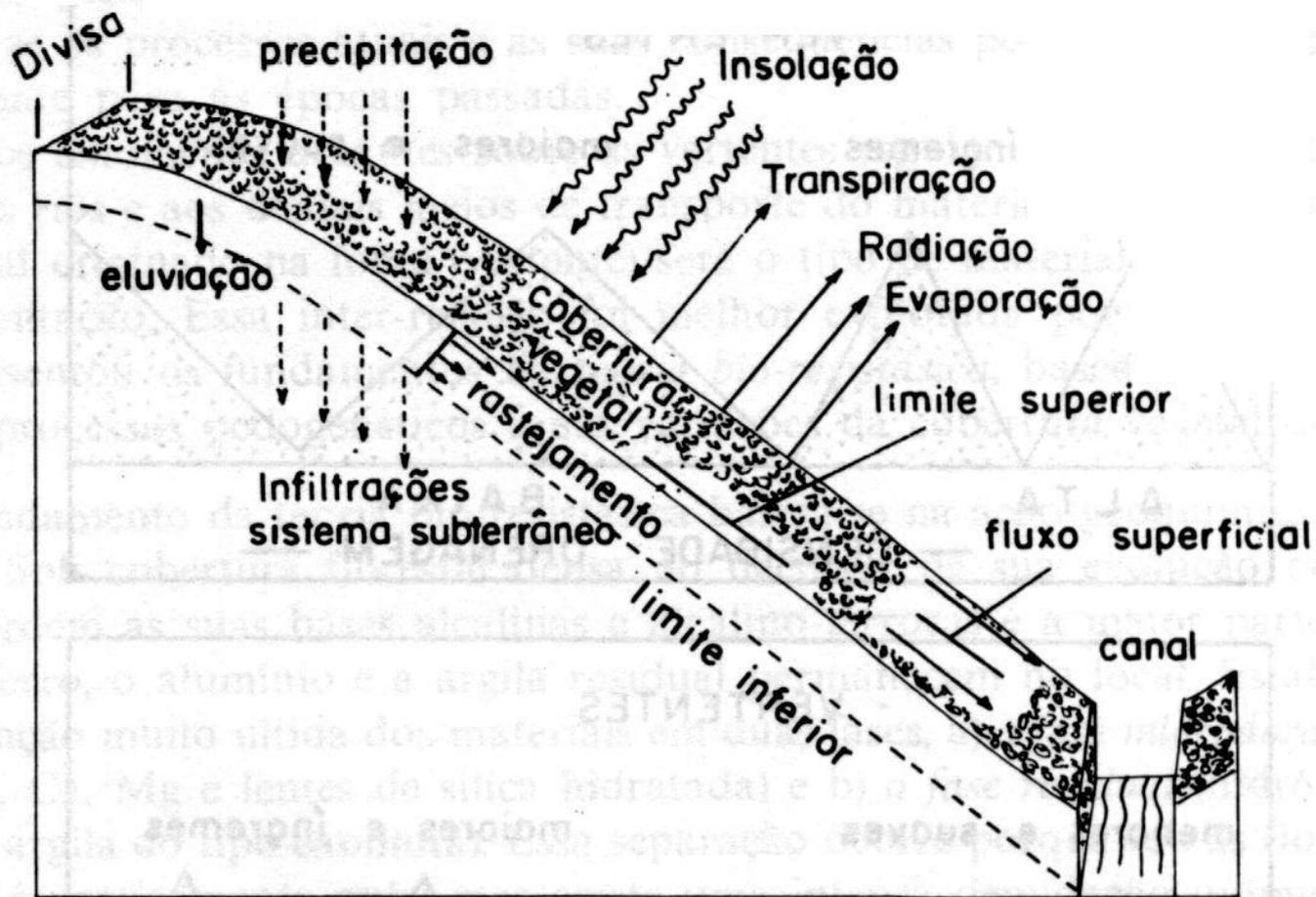


*Formação das vertentes de acordo com W. Penck (1953): 1 - côncavas (waning development); 2 - retilíneas (uniform ou stationary development); 3 - convexa (waxing development) (baseado em Bigarella, Mousinho & Silva, 1965).*

- Como os processos de denudação dependem da ação da gravidade, Penck conclui que as formas de denudação seriam as mesmas para diferentes climas.
- Nível de base = ponto limite abaixo do qual a erosão das águas correntes não pode trabalhar, constituindo o ponto mais baixo a que o rio pode chegar. O nível de base de todos os rios é o mar.
- Denudação = desbastamento das diversas rochas da superfície do globo.

# Dinâmica das vertentes

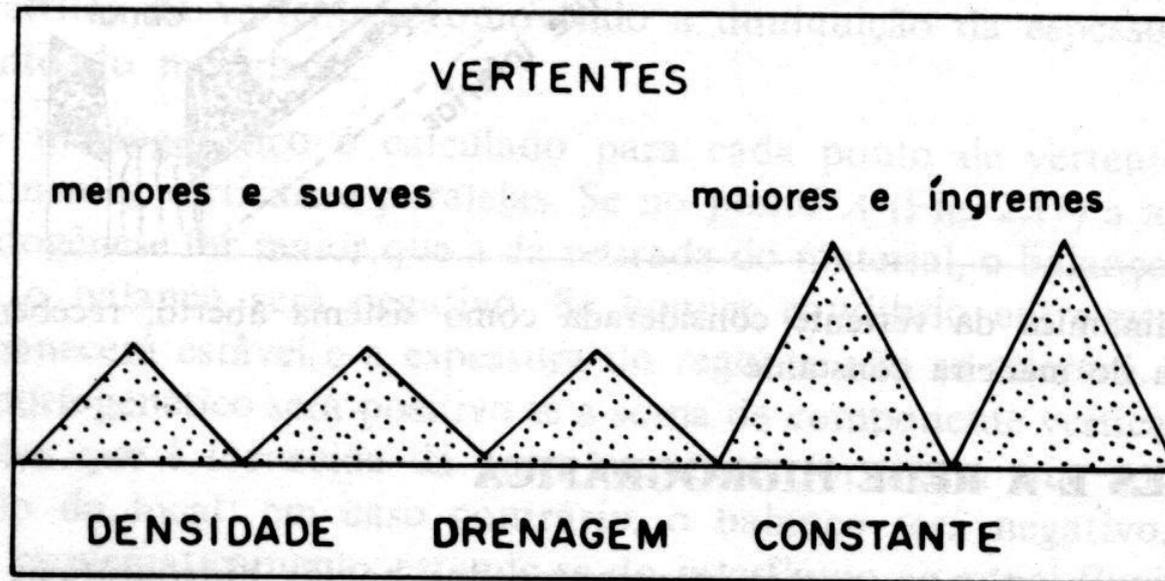
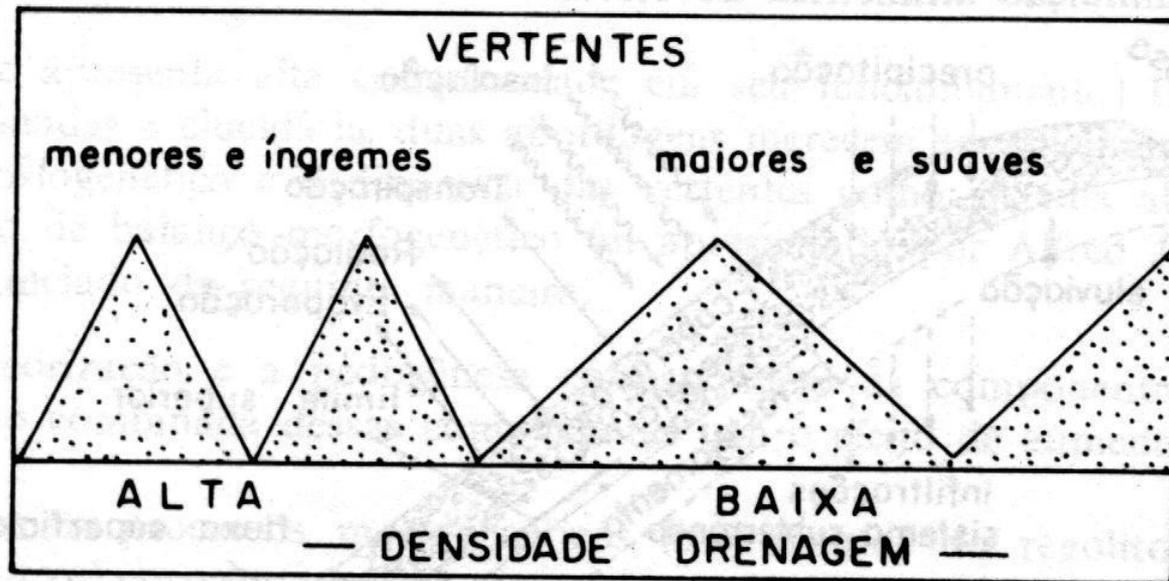
- A vertente estende-se do interflúvio ao canal fluvial e apresenta a superfície topográfica como limite superior e a superfície rochosa inalterada como limite inferior.
- Sistemas abertos, recebendo e perdendo tanto matéria como energia.
- As fontes primárias de matéria são a precipitação, a rocha subjacente e a vegetação, enquanto as fontes originais de energia são constituídas pela gravidade e radiação solar.
- Os vários processos fazem com que haja fluxo de matéria e energia através do sistema, que acaba sendo transferido para o sistema fluvial.



A dinâmica da vertente considerada como sistema aberto, recebendo e perdendo matéria e energia de maneira constante

# As vertentes e a rede hidrográfica

- As vertentes constituem parte integrante das bacias hidrográficas.
- A forma e o ângulo das vertentes deverão estar ajustadas para fornecer a quantidade de detritos que o curso d'água pode transportar.
- Quando o sistema vertente-curso d'água está em equilíbrio, então toda a bacia hidrográfica pode ser considerada como em estado de ajustamento.
- Quanto maior a densidade de drenagem em uma área com relevo constante, menores e mais inclinadas serão as vertentes; por outro lado, quanto maior a amplitude altimétrica em uma área de densidade de drenagem constante, mais longas e inclinadas serão as vertentes.



As relações estabelecidas entre a densidade da drenagem e a declividade e comprimento das vertentes

# Processos morfogenéticos

- São responsáveis pela esculturação das formas de relevo, representando a ação da dinâmica externa sobre as vertentes.
- Podemos distinguir as seguintes categorias mais importantes na morfogênese do modelado terrestre:

## 1) Intemperismo

- É responsável pela produção de detritos a serem erodidos; representa pré-requisito necessário para a movimentação de fragmentos rochosos ao longo das vertentes. Distinguimos o intemperismo químico, responsável pela decomposição das rochas do intemperismo físico, responsável pela fragmentação das rochas.

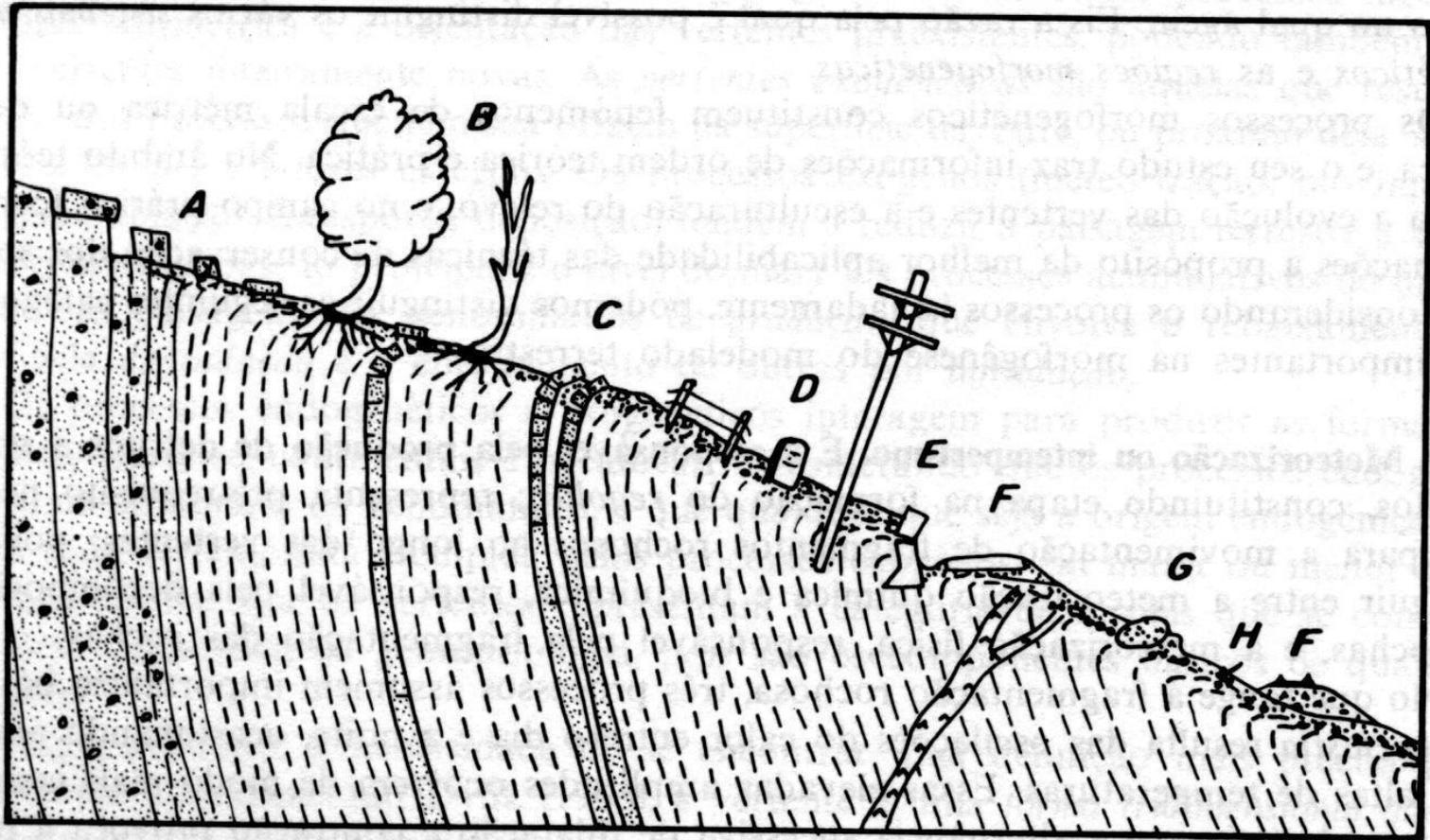
## Intemperismo físico (fragmentação das rochas)

- Termoclastia: resulta das oscilações do calor entre o dia e a noite, ocasionando amplitudes altas de temperaturas. Essas amplitudes ocorrem de modo mais comum em áreas desérticas e a alternância sucessiva de dilatação e contração provoca a fragmentação rochosa.
- Crioclastia: resulta da alternância de gelo-degelo, sendo comum nas zonas periglaciárias.
- Haloclastia: resulta da cristalização e estufamento dos sais, podendo ocorrer nas zonas litorâneas e nos desertos.

## 2) Movimentos do regolito

- Regolito: manto inconsolidado de rochas intemperizadas, de qualquer origem, que recobre extensas áreas da superfície terrestre. O termo inclui resíduo do intemperismo, colúvio, depósitos glacial e eólico. O solo se forma na parte superior do manto, que vem a ser seu material de origem. Equivalente ao termo “solo” usado pelos engenheiros.
- Corresponde a todos os movimentos gravitacionais que promovem a movimentação de partículas ou partes do regolito pela encosta abaixo. Os processos mais importantes são:

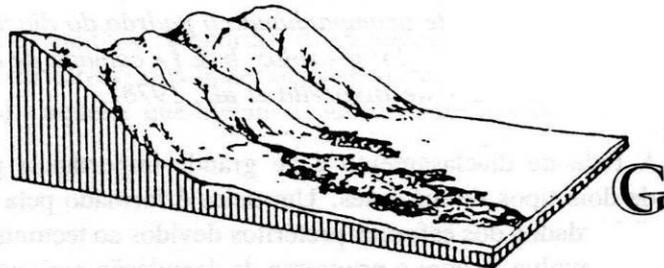
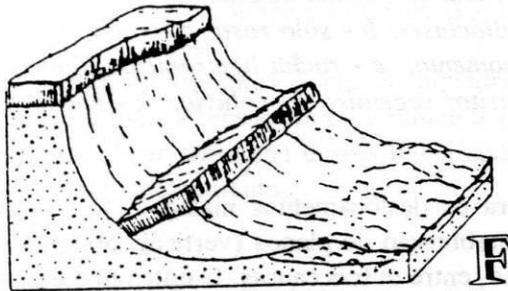
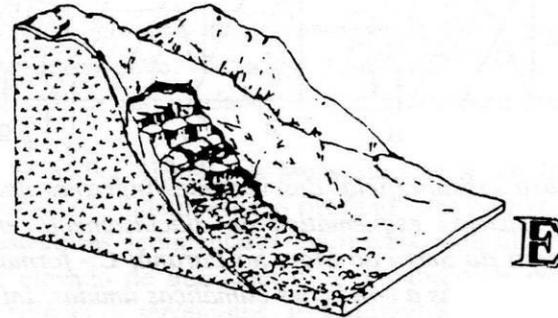
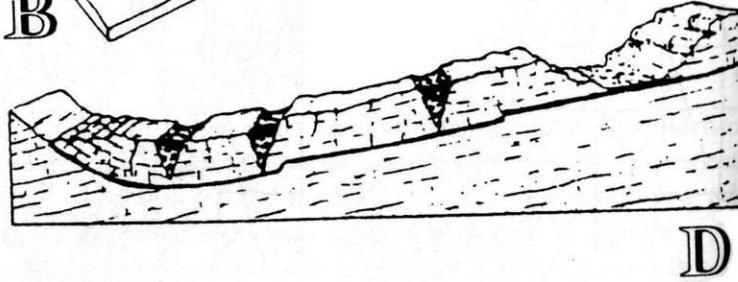
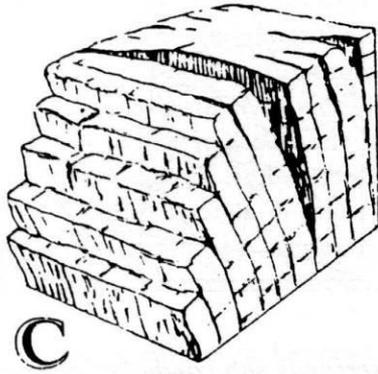
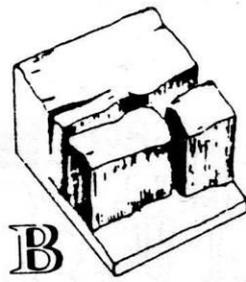
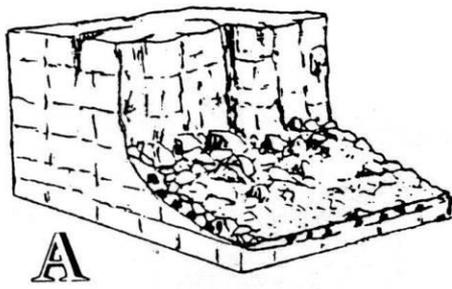
- **Rastejamento (creep ou reptação):** corresponde ao deslocamento das partículas, promovendo movimentação lenta e imperceptível dos vários horizontes do solo. A velocidade do rastejamento é maior na superfície e gradualmente diminui com a profundidade, chegando a ser nula, tornando-se incapaz de desgastar rochas soterradas.
- Várias são suas causas, como: pisoteio do gado, crescimento de raízes e o escavamento de buracos pelos animais, que podem gerar uma série de movimentos minúsculos às partículas.
- É auxiliado também pela presença da água. Sua velocidade é de poucos centímetros por ano, ou menos e pode ser perceptível em postes, muros e árvores.



A reptação pode ser vista através de vários indícios, tais como o deslocamento de blocos (A); a presença de árvores com troncos recurvados (B); acamação para jusante de blocos intemperizados e fraturados (C); o deslocamento de postes, cercas e marcos (D); o deslocamento ou rupturas de muros e muretas de proteção (E); a existência de rodovias ou ferrovias fora do alinhamento (F); a presença de matações roladas, (G), e a ocorrência de cascalheiras ou linhas de fragmentos rochosos (*stone lines*) na base do regolito em reptação (H)

- **Solifluxão e fluxos de lama:** a solifluxão corresponde aos movimentos coletivos do regolito, quando este se encontra saturado de água, podendo se deslocar alguns centímetros ou poucos decímetros por hora ou por dia.
- Ocorre quando uma camada impermeável do regolito impede a penetração da água, provocando a concentração e saturando a camada sobrejacente, havendo o fluir de uma parte do regolito pela vertente. Esse processo é comum nas zonas periglaciárias, onde o rápido degelo satura a superfície do solo → gelifluxão.
- Os **fluxos de lama** são similares à solifluxão, mas são mais rápidos.

- **Avalancha:** é o fluxo do regolito mais rápido que se conhece, movimentando enormes volumes de materiais. Pode compreender tanto as inteiramente constituídas de gelo e neve até as formadas predominantemente de fragmentos rochosos.
- **Deslizamentos:** são deslocamentos de uma massa do regolito sobre um embasamento ordinariamente saturado de água. No sudeste do Brasil, dois fatores influem para a ocorrência de deslizamentos: a prolongada estação chuvosa e a declividade acentuada das vertentes.
- **Desmoronamentos:** é o deslocamento rápido de um bloco de terra, quando o solapamento criou um vazio na parte inferior da vertente. Geralmente ocorre em vertentes íngremes, sendo comuns nas falésias litorâneas, nas margens fluviais e em muitos cortes de rodovias e ferrovias.



Principais tipo de movimentos de massa de acordo com a classificação de Varnes (1958).  
Legenda: A - desmoronamento [queda de rochas; queda de blocos]; B - deslizamento de bloco de rocha;  
C - tombamento rochoso; D - escorregamento de rochas [rock slide]; E - escorregamento de escombros  
[debris slide]; F - escorregamento [slump]; G - corridas de lama ou de areia [debris flow] (modificado  
de Selby, 1985).

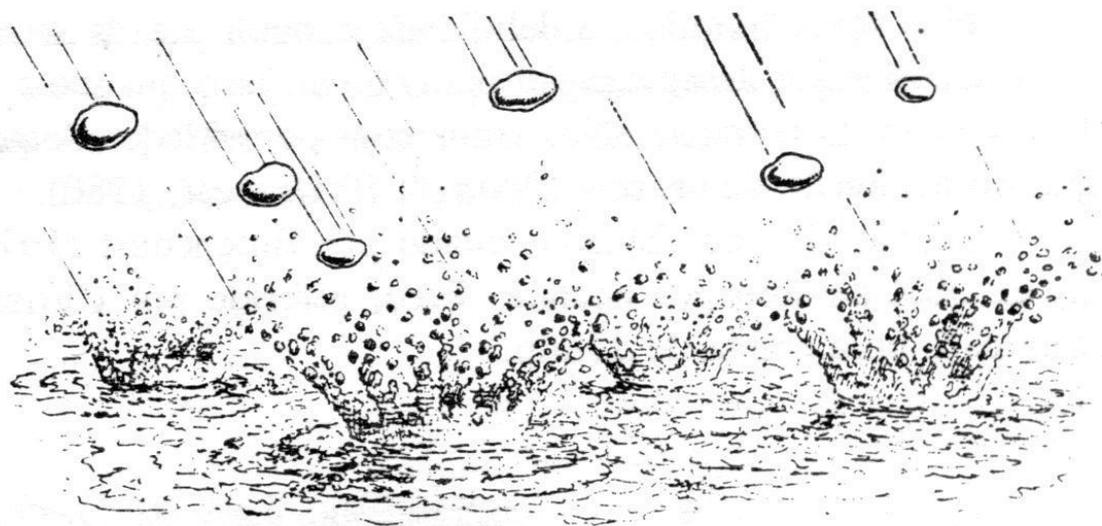
### 3) Processo morfogenético pluvial

É um dos processos mais importantes na esculturação das vertentes, podendo-se distinguir entre a ação mecânica das gotas de chuva e o escoamento pluvial.

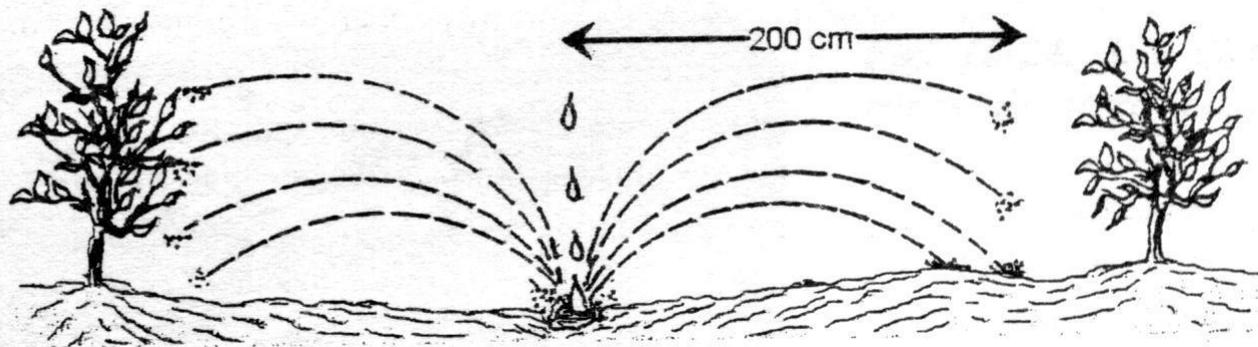
O primeiro impacto erosivo dos solos é propiciado pela ação mecânica das gotas de chuva, que promove o arrancamento e deslocamento das partículas do solo, variando de acordo com o tamanho e a velocidade das gotas. Esse impacto provoca movimentação de partículas de forma inconstante. A mesma partícula ora pode ser atirada para jusante, ora a montante. → *saltação* ou *splash erosion*.

As areias finas são as partículas mais susceptíveis de serem transportadas pela saltação, podendo ser lançadas a 1,50m de distância, enquanto as partículas de 2mm podem ser lançadas a 40cm e as de 4mm a 20cm de distância. Esse processo, em conjunto, é responsável por um remanuseamento de grandes quantidades de solo.

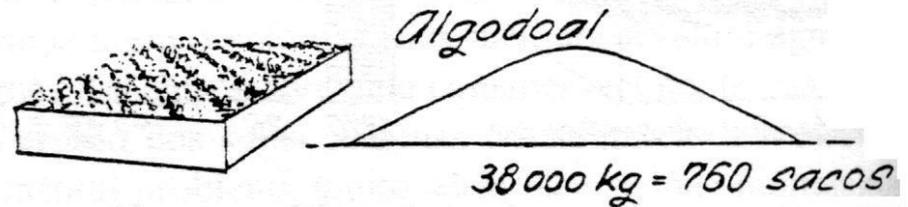
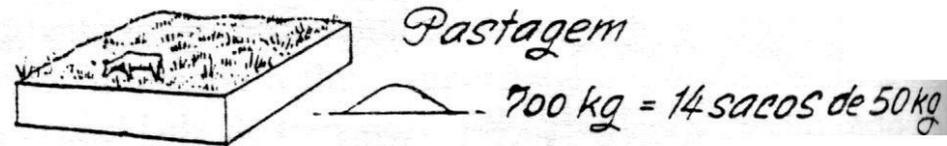
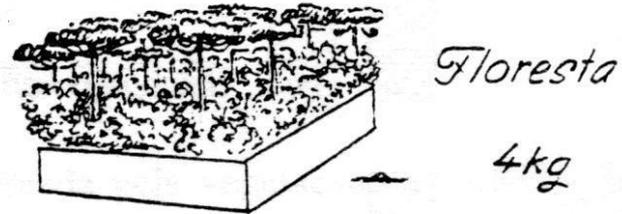
*Num solo desprotegido e molhado, o impacto das gotas de chuva desloca as partículas, facilitando sua remoção pelo escoamento superficial. É a erosão em ação! Num solo protegido pela vegetação, as gotas de chuva não atingem diretamente o solo, não ocorrendo ou minimizando a erosão superficial (baseado em Bigarella, 1974).*



*Efeito destrutivo do impacto da gota de chuva, fragmentando os grumos do solo, lançando-os a distâncias de até 200cm, destruindo dessa maneira a bioestrutura (segundo Blanchet, citado por Primavesi, 1980).*



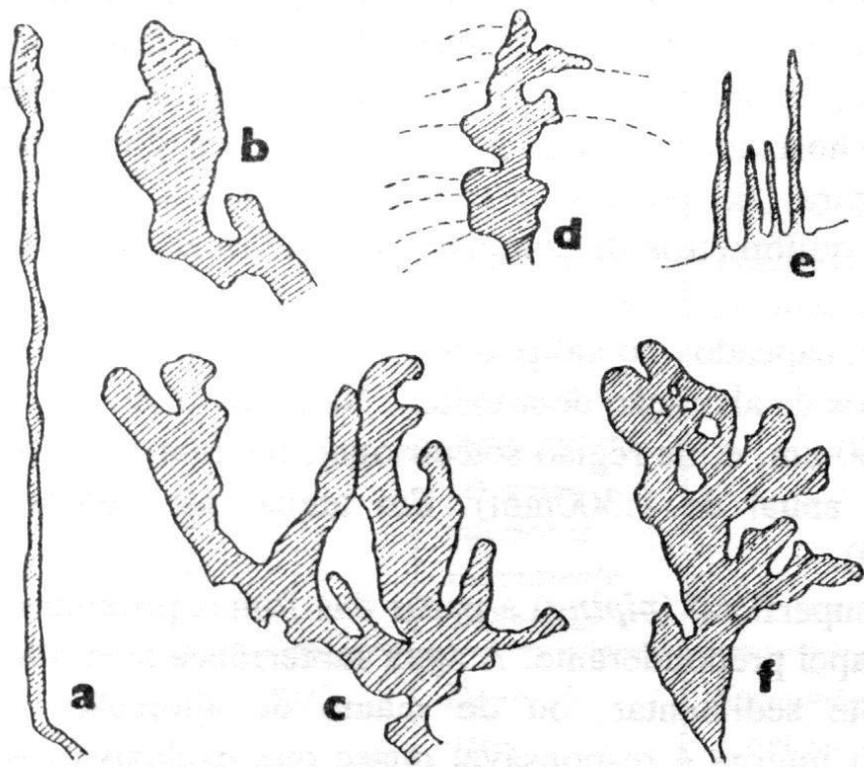
- O **escoamento pluvial** começa a aparecer quando a quantidade de água precipitada é maior que a velocidade de infiltração. Os minúsculos filetes de água vão engrossando até formarem uma enxurrada. Há diferenças entre o escoamento pluvial difuso, quando as águas escorrem sem hierarquia, anastomosando-se constantemente e o escoamento concentrado ou enxurradas, quando as águas se concentram, possuindo maior competência erosiva.
- O escoamento concentrado é característico das vertentes desnudas. Sob cobertura vegetal, sobretudo florestal, o escoamento difuso é o dominante.



Vários tipos de uso da terra, e esquema da perda anual de solo por hectare (baseado em Leinz & Amaral, 1970). Os escoamentos superficiais são mínimos na floresta e máximos num algodoeiro, onde a aração e as contínuas capinas tornam o solo fofo e facilmente erodível.

# Voçorocas

- Os ravinamentos acelerados são conhecidos como voçorocas, vossorocas ou boçorocas.
- De acordo com Freire (1939/1944), refere-se ao desmoronamento resultante de erosão produzida por águas subterrâneas ou água pluviais.
- Originam-se de um desequilíbrio hidrológico, causado principalmente pela ocupação das terras, com remoção generalizada das florestas protetoras.
- Constitui um canal de drenagem de paredes abruptas, com fluxos efêmeros ou pequenos. A erosão geralmente é intensa. Termina numa cabeceira extremamente íngreme e escarpada.



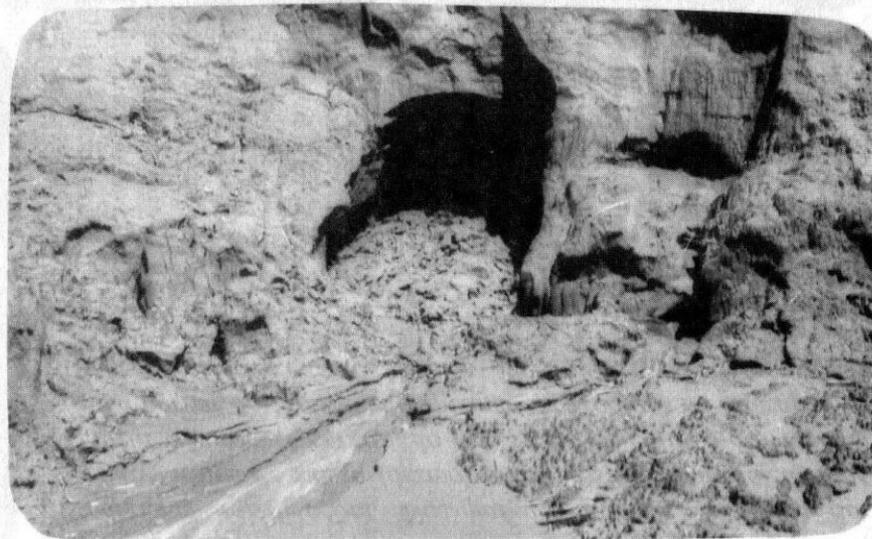
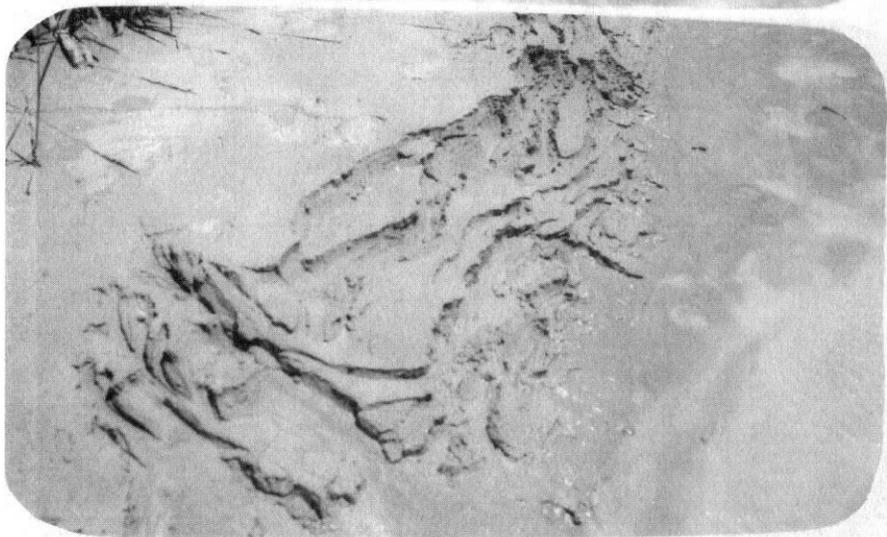
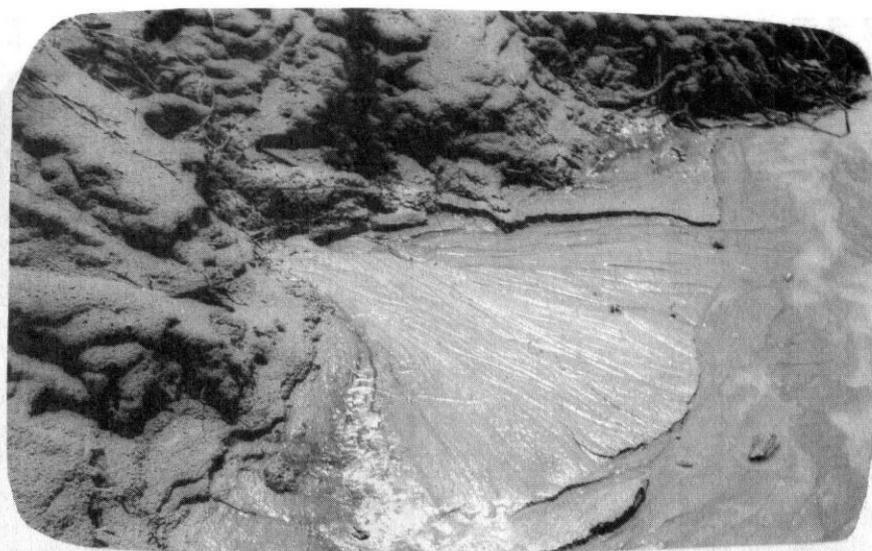
*Formas características de ravinamento*  
(Ireland et al., 1939). *Legenda: a - linear; b - bulbiforme; c - dendrítica; d - em treliça; e - paralela; f - composta.*



*Aspectos de uma voçoroca em Cianorte, no Noroeste do Paraná, em 1977. Vistas do canal principal e de algumas ramificações. Nas paredes laterais, vestígios dos movimentos de massa (desmoronamentos). O material afetado pela voçoroca é constituído por depósitos colúvio-aluvionares da Formação Paranaíba capeando os produtos de alteração do Arenito Caiuá.*



- A designação voçoroca é atribuída, no Brasil, a qualquer forma de ravina, principalmente as de grandes dimensões, atingindo comprimentos de várias centenas de metros e profundidades, em geral, entre 15 e 20m. A largura pode atingir dezenas de metros e o perfil transversal é em forma de “U”.
- A voçoroca é um fenômeno hídrico, envolvendo tanto a ação das águas superficiais como subterrâneas. Inicia-se com a concentração de água na superfície da vertente, que evoluem para sulcos e ravinas cada vez mais profundas.
- Fenômenos de fluxo tubiforme (***piping***) e de surgência generalizada junto ao contato entre o assoalho da voçoroca e suas paredes, são responsáveis pelo seu alargamento.

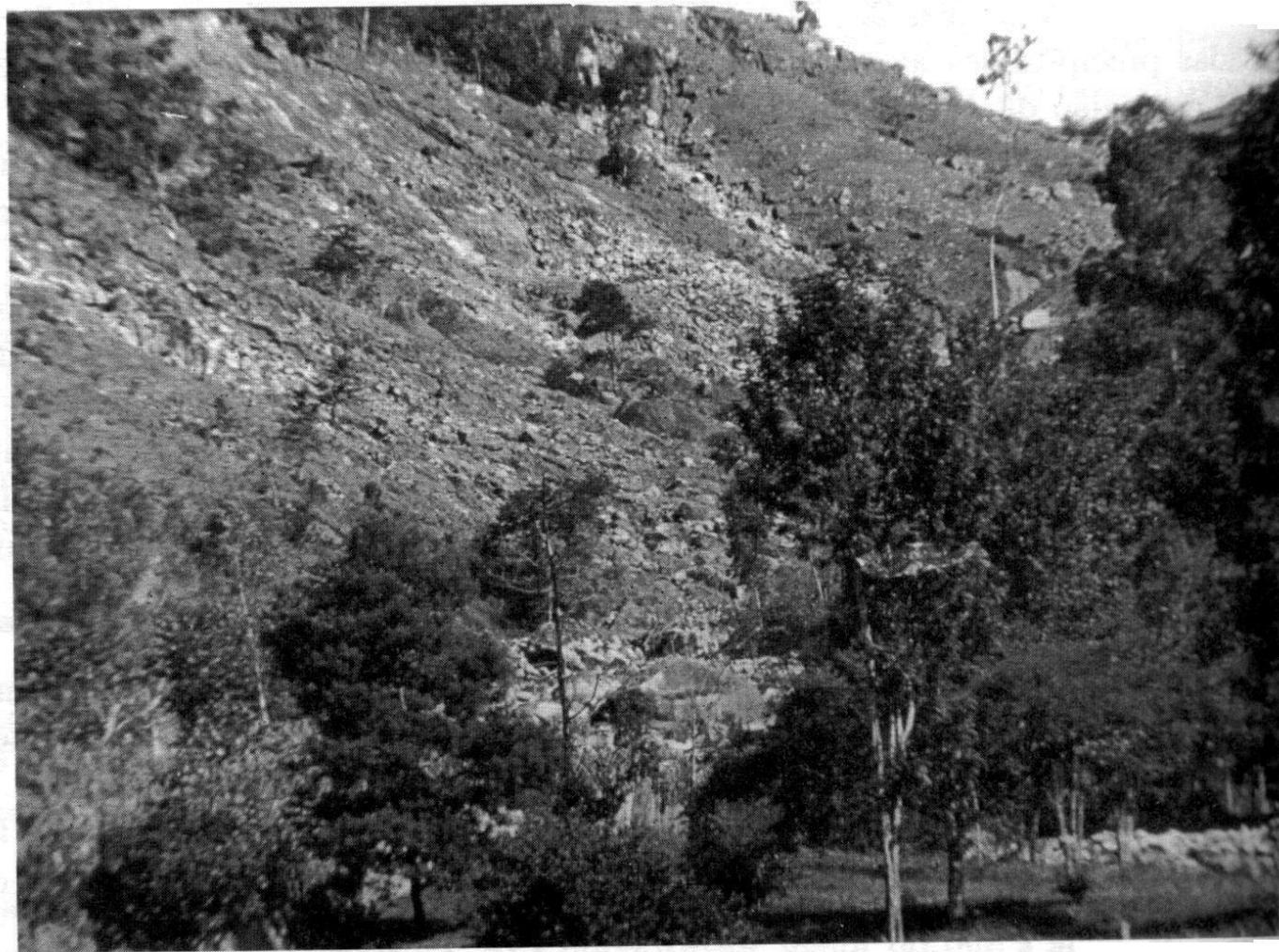


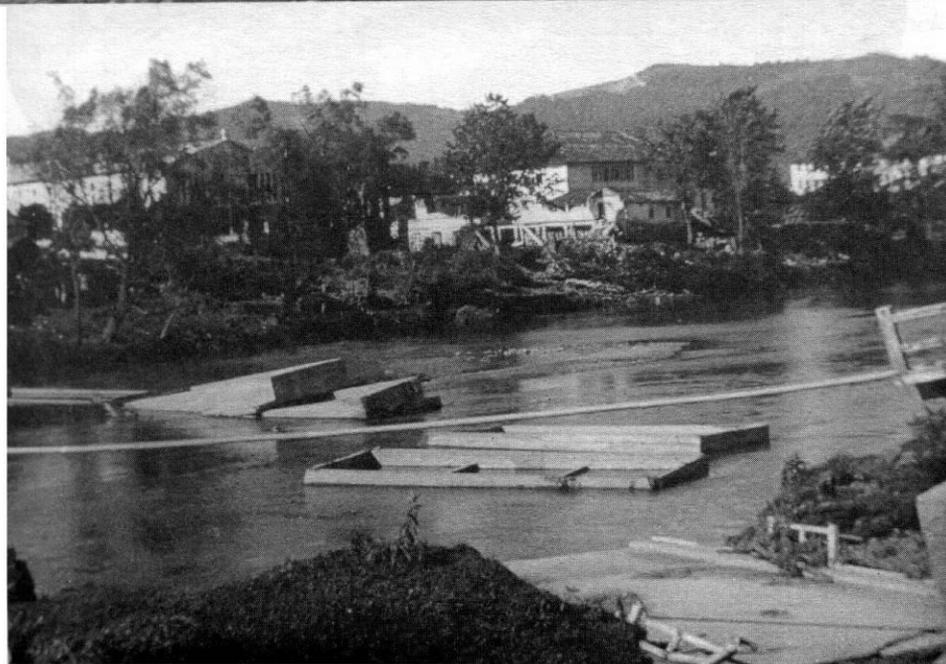
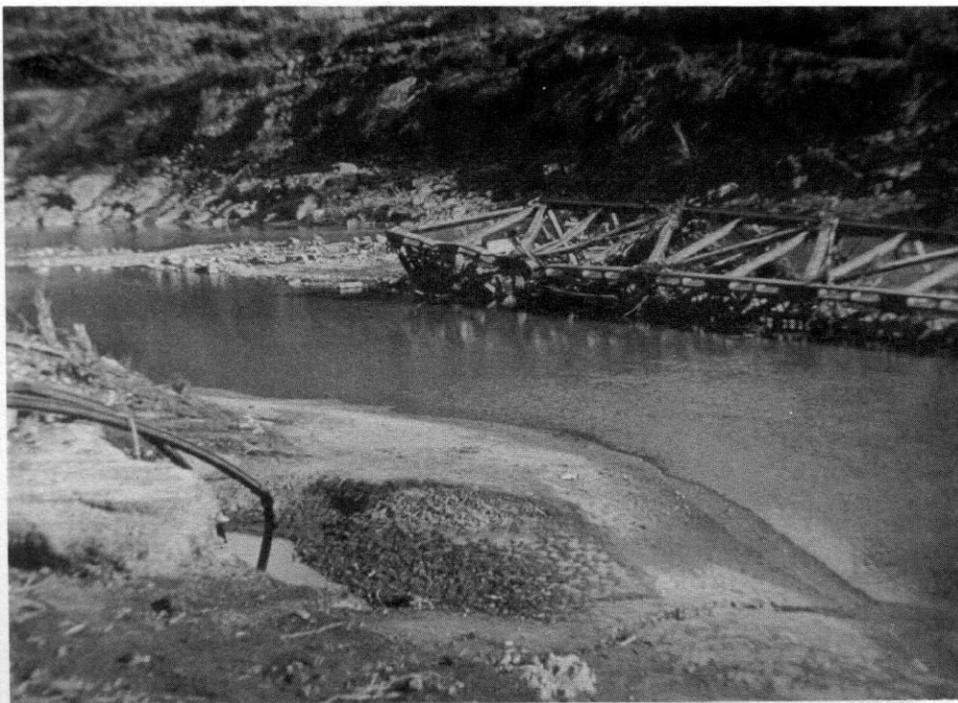
*Surgência das águas do aquífero nas paredes de uma voçoroca em Cianorte, no Noroeste do Paraná. A ação das águas subterrâneas contribui para a remoção das partículas arenosas, tanto das paredes como do interior do terreno. A base das paredes sofre um processo de liquefação; verifica-se igualmente a formação de microdesmoronamentos em escada, bem como corridas densas de areia e microleques aluviais, além da abertura de pequenos túneis consequentes do fluxo tubular.*

# Eventos catastróficos no Brasil

Tubarão-SC (1974)

*Queda de blocos e concentração residual de blocos ocorrida durante os episódios de intensa pluviosidade (25.3.1974), afetando vertentes íngremes com manto de intemperismo pouco espesso. Evento catastrófico de Tubarão [SC].*

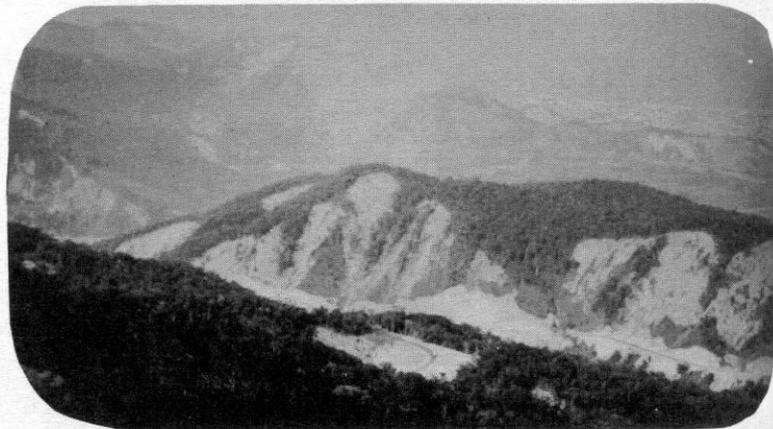
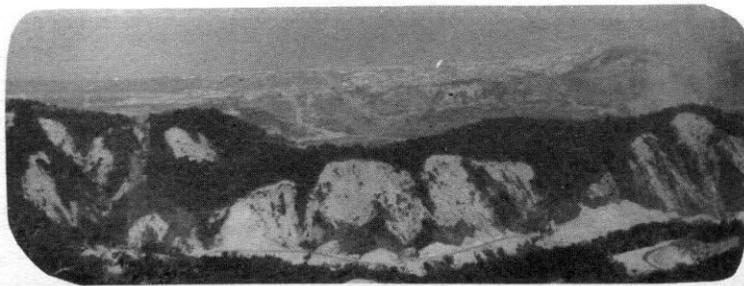




*Durante as enchentes catastróficas de março de 1974, na região de Tubarão [SC], várias obras de arte nas rodovias e ferrovias foram destruídas ou sofreram sérias avarias. Ao longo das margens do rio homônimo desenvolveram-se canais anastomosados efêmeros, num deles encontra-se uma ponte ferroviária metálica arrancada de seus pilares pelo fluxo densamente carregadas de sedimentos, troncos de árvores, além de outros destroços.*

# Caraguatatuba-SP e Curitiba- PR (1967)

As observações realizadas nos desmoronamentos ocorridos na Serra do Mar (Serra das Araras e de Caraguatatuba) mostraram que os depósitos dos canais anastomosados não subsistem por muito tempo no registro geológico. Eles constituem fenômenos efêmeros e ocasionais, representando condições transitórias. Em poucos anos, os eventos climáticos de intensidade moderada ou baixa, bem como uma nova cobertura florestal, facultam aos cursos de água as necessárias condições para retornar a sua dinâmica anterior. A remoção lenta do alúvio não é balanceada por um contínuo suprimento de novos sedimentos. Num estágio ulterior, os riachos mudam seu padrão e fluem sobre a acumulação residual de seixos, blocos e matacões.



*Nas fotos superiores: cicatrizes de movimentos de massa ocorridos durante os eventos catastróficos de 18.3.1967, nas encostas íngremes da Serra do Mar, em Caraguatatuba [SP]. Na foto inferior: cicatrizes de um escorregamento lento em en-*

*costa íngreme profundamente alterada situada nas margens da rodovia BR-277, a leste de Curitiba [PR].*

# Eventos catastróficos recientes



Santa Catarina - 2008



Angra dos Reis – 2009/2010





Niterói - 2010



# Rio de Janeiro 2011



# Bibliografia básica

- BIGARELLA, J. J. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo, Ed. Edgar Blücher, 1980.
- CURI, N. et al. *Vocabulário de ciência do solo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993.
- GUERRA, A.T. & GUERRA, A.J.T. *Novo dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1997.