

# **NEOTECTÔNICA E MORFOTECTÔNICA**

**Aula 6**

**RELEVOS TECTÔNICOS**

**Prof. Eduardo Salamuni**

# INTRODUÇÃO

A paisagem atual que define a superfície do planeta é resultante da tectônica global e dos processos climáticos que propiciam sua esculturação. Em cada domínio geotectônico há relevos específicos.

- **Domínios divergentes**: as estruturas mais características são os grábens e horstes, que controlam bacias sedimentares. A paisagem é planar, associadas a amplos vales e montanhas em suas bordas.
- **Domínios convergentes**: onde estão presentes os cinturões orogênicos, os arcos de ilhas e os domos. A paisagem é dominada por altas montanhas, platôs, altiplanos, cones vulcânicos e relevo bastante dobrado.
- **Domínios transcorrentes**: escarpas de falhas oblíquas, responsáveis por deslocamentos na drenagem e do relevo.

- Apesar da forte influência da tectônica, o relevo encontra-se submetido a processos denudacionais, resultado da atuação de processos exogenéticos (Gerasimov e Mescherikov, 1968).
- A influência maior ou menor desses processos vai depender da localização relativa dos domínios tectônicos, ou seja, se em áreas de tectônica ativa ou não.
- A presença de falhas ativas origina feições variadas como basculamentos, escarpas, flexuras, subsidências e deslocamentos de canais de drenagem.
- Cada categoria de falha deve ser abordada em termos de assembléia de formas, já que muitas possuem deslocamentos variados.

# PROCESSOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DE RELEVO

- Grandes unidades de relevo também são chamadas de **domínios morfológicos** ou **domínios morfoestruturais**. As feições morfoestruturais de larga escala reconhecidas na arquitetura dos continentes foram definidas por Ab'Sáber (1975) e outros e são resumidas a seguir:
- **Terrenos cratônicos (ou escudos)**: representam terrenos de consolidação e aglutinação muito antiga, que apresentam-se como maciços, montanhas em blocos, superfícies de erosão, espinhaços montanhosos e planaltos de estruturas complexa;
- **Cadeias de montanhas orogênicas (grandes cordilheiras)**: marcadas por sua larga extensão e altitudes geralmente elevadas, com larguras variáveis;
- **Bacias sedimentares muito deformadas por dobras e falhas**: geralmente delimitam áreas de convergência de placas, transformadas em cordilheiras ou arcos insulares;

- Bacias sedimentares pouco deformadas, denominadas de intracratônicas por estarem embutidas nos escudos caracterizadas por planaltos sedimentares ou basálticos, tabuliformes ou ligeiramente cuestiformes;
- Áreas de sedimentação moderna ou em processo de sedimentação, que caracterizam as terras baixas em geral, como as planícies de extensão continental, tabulares e baixos platôs ou depressões interiores.

## Morfoestruturas em Bacias Sedimentares

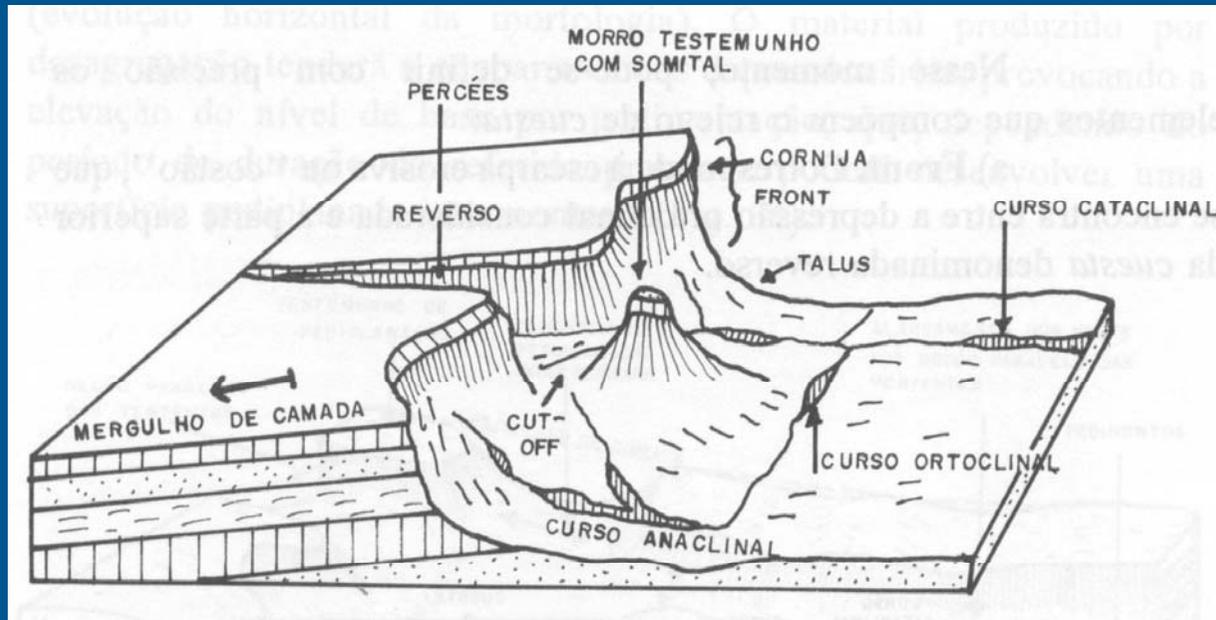
**Relevos tabuliformes:** vinculados a camadas sedimentares horizontais ou sub-horizontais, associados ou não a derrames basálticos concordantes. Correspondem às chapadas, chapadões e tabuleiros, mesetas em níveis altimétricos diferenciados.

- A sequência de eventos para a construção de relevos tabuliformes é a seguinte, segundo Bigarella (1968) e Casseti (1994):
  - (a) Instalação do clima úmido: reorganização da drenagem e entalhamento de talvegues com realce de antigos níveis de pedimentos, através de erosão remontante e denudação e interflúvios. Formam-se morros testemunhos. A orientação do sistema fluvial é devido ao mergulho das camadas ou à orientação topográfica associada à pediplanação
  - (b) A epirogênese e/ou a tectônica faz com que a drenagem entalhe o talvegue, admitindo-se implicações morfológicas na elaboração dos vales pela possibilidade de alternâncias litológicas;
  - (c) A alternância de clima úmido para clima seco, implica na evolução (denudação) horizontal do modelado, ou seja, recuo paralelo das vertentes por desagregação mecânica (clima úmido - evolução vertical; clima seco - evolução horizontal);
  - (d) As chapadas são caracterizadas por topos horizontalizados, devido a aplainamentos onde há bancadas ferruginosas que são resistentes. Uma outra característica morfológica são as cristas de rochas básicas na forma de diques ressaltados na topografia, que são o resultado de erosão diferencial.

## Elementos do relevo cuestiforme

**Front:** escarpa erosiva (costão) posicionado entre a depressão ortoclinal e o reverso da *cuesta*. No front se localizam a cornija e os depósitos de tálus (detritos na base do front),

**Reverso:** porção de cimeira da *cuesta* iniciada na seção superior do *front* e que progride em direção ao centro da bacia sedimentar.



A evolução da *cuesta*, após sua formação, depende de vários fatores, sendo os principais o mergulho das camadas e a espessura dos estratos mais resistentes. A evolução se dá a partir da seguinte sequência:

- Relevos **cuestiformes** (ou *cuestas*): relacionam-se a estruturas sedimentares (podem ou não estar associados a estratos basálticos). São ligados a camadas inclinadas ou empinadas (geralmente encontram-se nas bordas das bacias sedimentares). São monoclinais ou homoclinais cujos mergulhos que estão entre 1º a 10º. Seu processo evolutivo resume-se da seguinte forma:
  - (a) a posição dos estratos é periférica à bacia com inclinação para dentro da mesma e com reologia diferenciada;
  - (b) o início da incisão, em clima úmido, se dá em fratura (se a incisão for longitudinal à direção de mergulho a drenagem é chamada de subsequente);
  - (c) no clima seco há o alargamento dos vales e entulhamento de depressões;
  - (d) desenvolve-se superfície pediplanada intermontana;
  - (e) no clima úmido, pela epirogênese, aprofunda-se o entalhamento dos talvegues;
  - (f) Aparecem canais contrários ao mergulho das camadas (obsequentes) - o padrão de drenagem desenvolvido pode se do tipo treliça;
  - (g) reorganiza-se a drenagem e reativa-se a erosão;
  - (h) formam-se paleopavimentos suspensos correspondentes aos pedimentos que ocupavam os vales;
  - (i) neste estágio desenvolvem-se a *cuesta* (front, reverso e morro testemunho).

## Morfoestruturas em bacias tectonizadas

- **Relevo do tipo *hog-back***: formas semelhantes às *cuestras*, ou seja análogas a estruturas monoclinais, porém com mergulhos superiores a 30° que estão ligados a dobras, falhas rotacionais, basculamentos e outros;

**Relevo dômico**: resultado de atividade intrusiva. A forma do domo é controlada pela dimensão e pelo tipo da intrusão que pode ser concordante com os estratos (sill, lacólitos, lapólitos, facólitos) ou não (diques, necks, apófises, batólitos). Tais intrusões estão direta ou indiretamente ligadas a problemas tectônicos. Problemas halocinéticos (intrusões de domos salinos) fazem parte deste conjunto, mesmo sendo considerados como atectônicos.

Em fase evolutiva da erosão, as bordas do domo, quando o centro (*core*) do mesmo for arrasado, mostrará feições semelhantes aos relevos *questiformes* e em seguida um relevo com morfologia semelhante aos *hog-backs*.

## Morfoestruturas em estratos dobrados de bacias

- Dada a geometria variável das dobras, os relevos derivados da sua erosão são variados. As formas fundamentais são as dobras normais sinclinais ou anticlinais (simétricas quando o plano axial divide os dois flancos ao meio de forma igual, ou assimétricas quando esta divisão não é semelhante).
- Nos casos básicos das dobras normais, onde o plano axial está empinado ou vertical, é possível considerar dois tipos de relevo: **(a)** tipo jurássico (região de Jura, na França), quando há encurtamento por cavalgamento e cisalhamento simples envolvido; e **(b)** tipo apalachiano (região dos Apalaches, no leste dos EUA), relacionada a encurtamento por compressão pura (ou cisalhamento puro).

**Relevo Tipo Jurássico**: a intercalação de camadas de diferentes resistências responde pela inversão do relevo (anticlinais estão arrasadas e a base das sinclinais estão alçadas). A evolução a partir de clima seco seria:

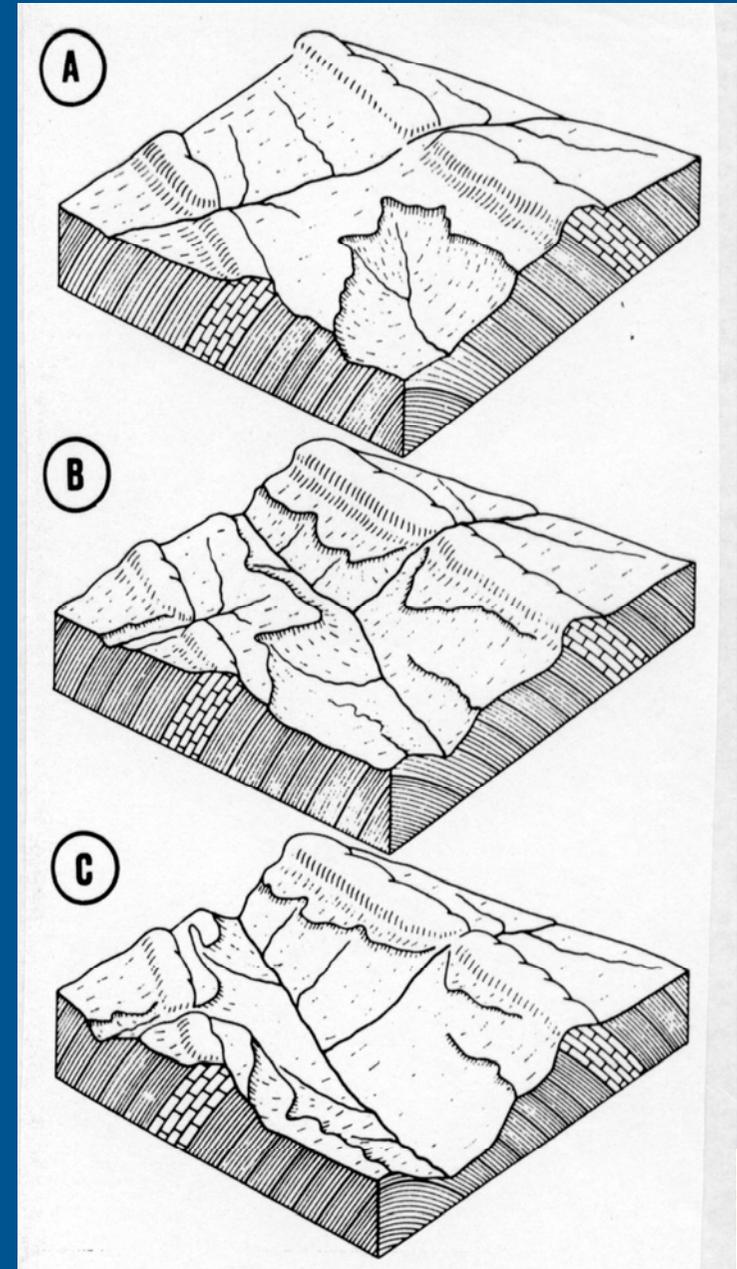
- Recuo paralelo da saliência anticlinal, com pediplanação tendo como nível de base os vales sinclinais. O material resultante preenche (inuma) as calhas sinclinais. No clima úmido há organização do sistema hidrográfico;
- Os talwegues se aprofundam até a alteração climática, quando as vertentes tornam a recuar por desagregação mecânica, com alargamento de vales;
- Com o retorno do clima úmido há a reorganização da drenagem com implantação de rios nos antigos vales e novas drenagens perpendiculares aos mesmos.

**Relevo do Tipo Apalachiano:** Caracteriza-se pelo paralelismo de cristas e vales originados a partir do total aplainamento da dobra. Segue a seguinte evolução:

- Inicia em sequências de estratos de reologia heterogênea (mais ou menos competente), com a implantação de rede de drenagem devido a ascensão epirogenética. Podem coexistir sinclinais suspensas ao lado de anticlinais arrasados.
- Após a pediplanação geral a drenagem entalha o talvegue, cortando camadas de diferentes resistências ortogonalmente. Neste ínterim desenvolvem-se tributários paralelos aos eixos das dobras, formando um padrão de drenagem retangular.
- A continuidade da evolução do relevo mostra a existência de cristas e vales paralelos. Mantêm-se cristas monoclinais mantidos por camadas resistentes, mas também vales sinclinais e anticlinais.



Relevo do Tipo Jurássico, com processo de dissecção evoluído



## Condições especiais

Relevo em áreas "cristalinas": áreas pouco permeáveis. Isto se modifica quando há uma densa rede de fraturas, geradas em processos tectônicos.

Strakhov (1967) faz relação entre a espessura e intemperismo. As diferenças aumentam em domínios morfoclimáticos, e sua intensidade pode determinar o arredondamento da superfície.

No domínio dos climas quentes e úmidos, os granitos, gnaisses e rochas assemelhadas respondem pela formação de "mar de morros" (dissecação moderada a forte).

Em regiões temperadas a baixa capacidade de transporte do sistema fluvial gera um predomínio de formas côncavas-convexas.

Características ligadas à composição das rochas são importantes no contexto morfológico, assim embrechitos, granitos e ganisses, pela sua resistência e por apresentarem esfoliação esferoidal desenvolvem formas do tipo "pão de açúcar", somado aos processos epirogenéticos. Quando arrasados, a morfologia foi chamada de “mar de morros” por Ab’Saber. Os quartzo-xistos e os muscovita-xistos, em condições de climas úmidos, desenvolvem relevos monoclinais.



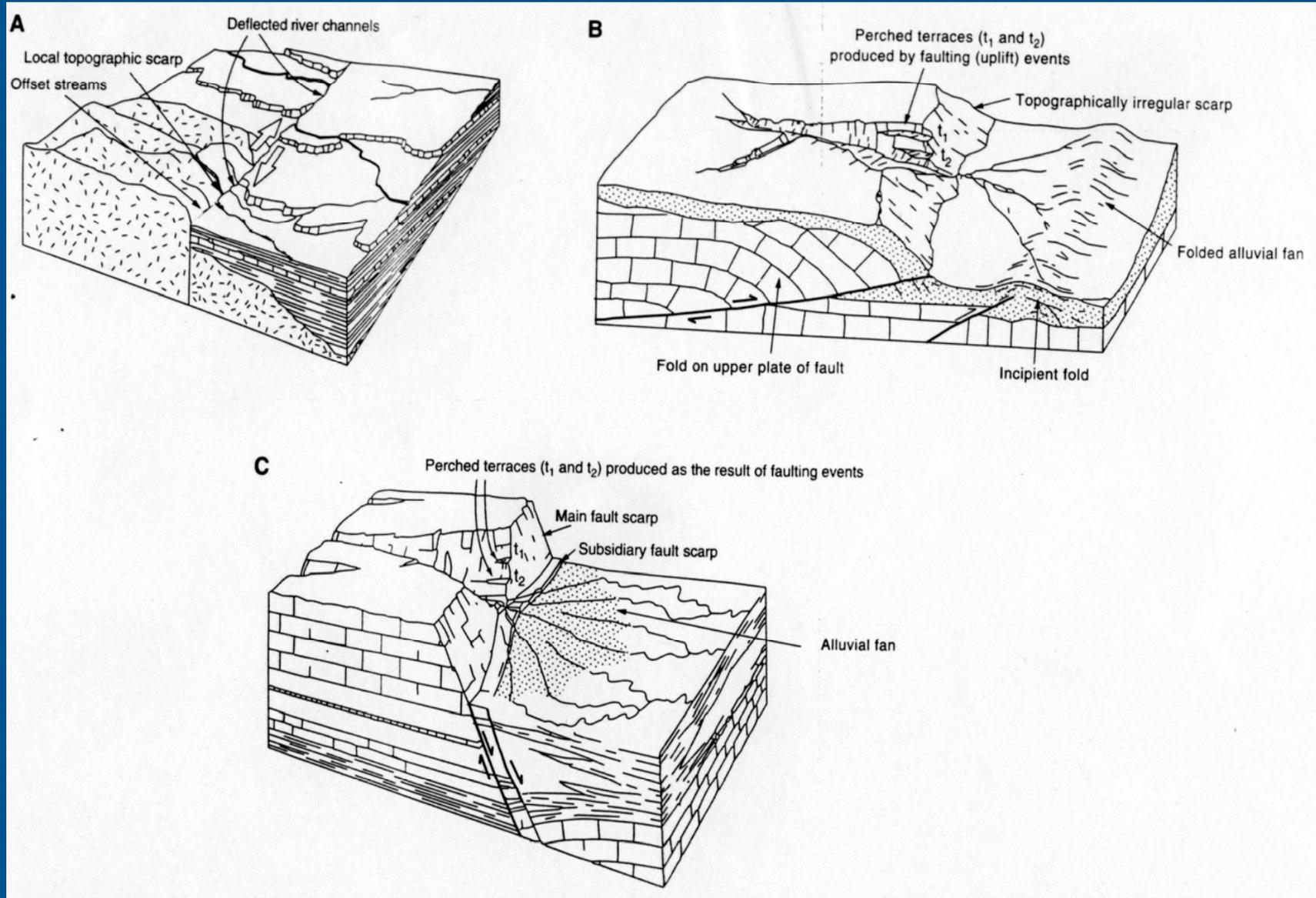
Relevo do tipo “mar de morros”,  
embasamento no  
planalto de Curitiba  
(Foto: E. Salamuni)

Relevos controlados por falhas: as falhas apresentam infinitas combinações em extensão e arranjo dos blocos adjacentes, a arquitetura do relevo também será bastante variável.

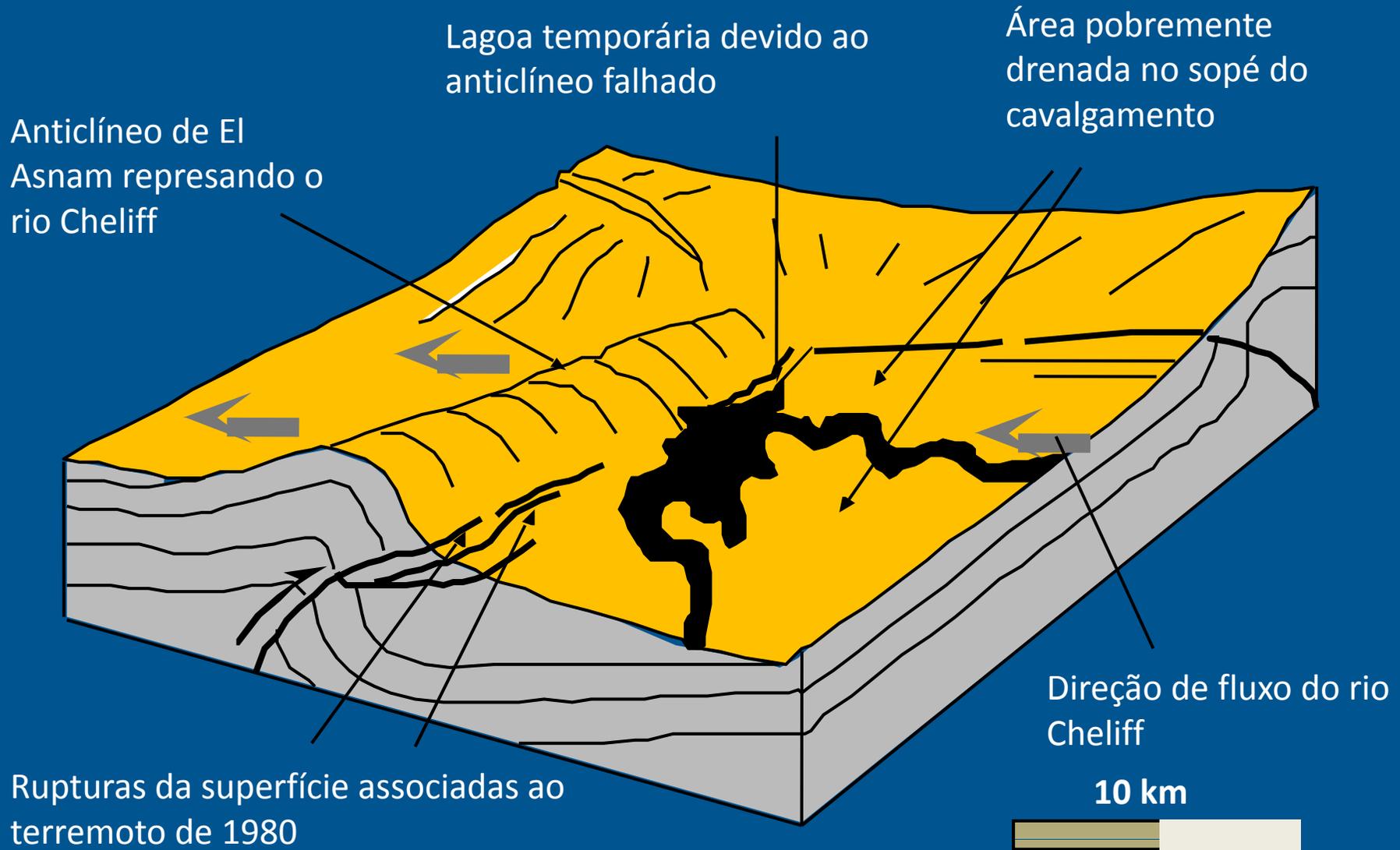
Em quaisquer tipos de falhas pode haver geração de escarpas que produzirão características típicas de fronts de relevo cuestasiforme e até hog-backs.

Os cursos de drenagem, na geração da escarpa, podem ser desviados ou capturados por outras ou então entalham-nas profundamente, fazendo a escarpa recuar progressivamente e produzindo feições típicas de escarpas de falhas como as facetas trapezoidais.

Assim o bloco "alto" vai sendo dissecado e arrasado até que o mesmo atinja o nível de base que é o bloco rebaixado.



Formação de relevo (escarpas) a partir dos tipos comuns de falhas



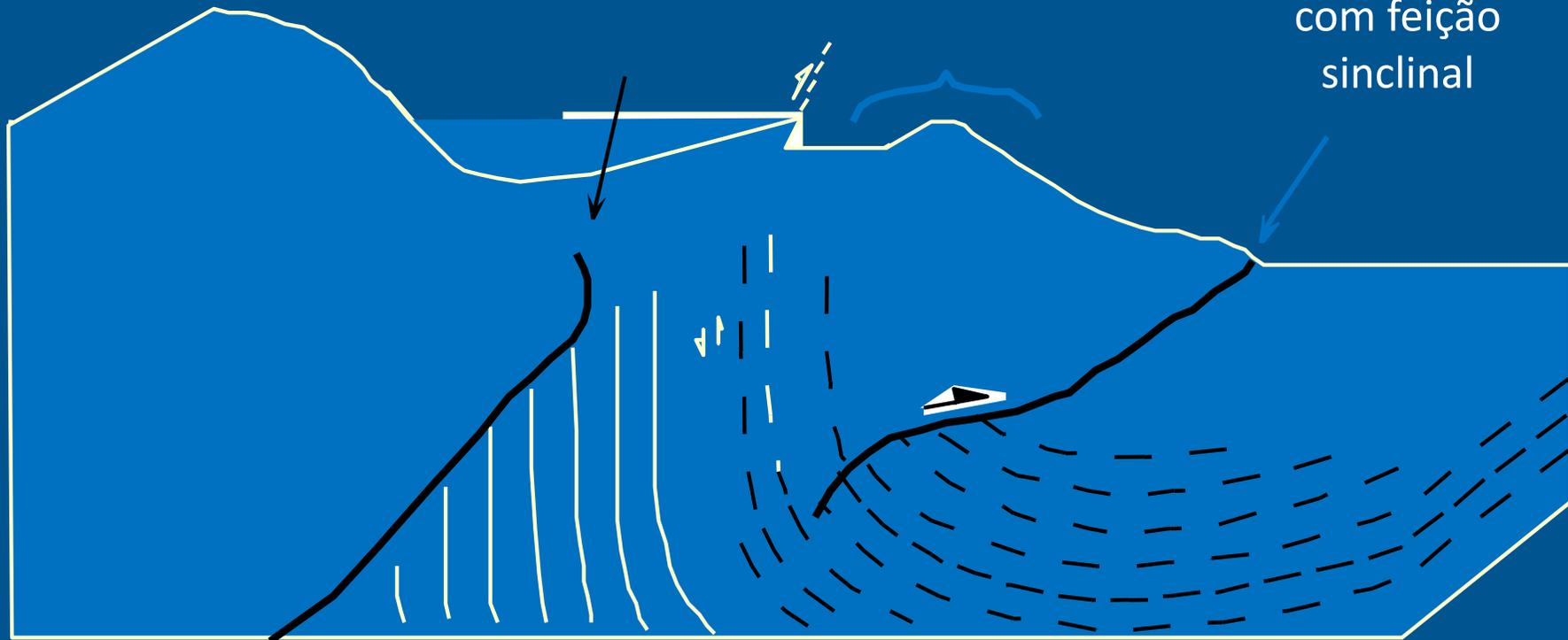
## Sítio geomorfológico e estratigrafia relacionada ao terremoto de El Asnam próximo ao rio Cheliff

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

Cavalgamento rotacionado, defletido ao longo do acamamento, sentido normal de deslocamento

Cavalgamento flexural

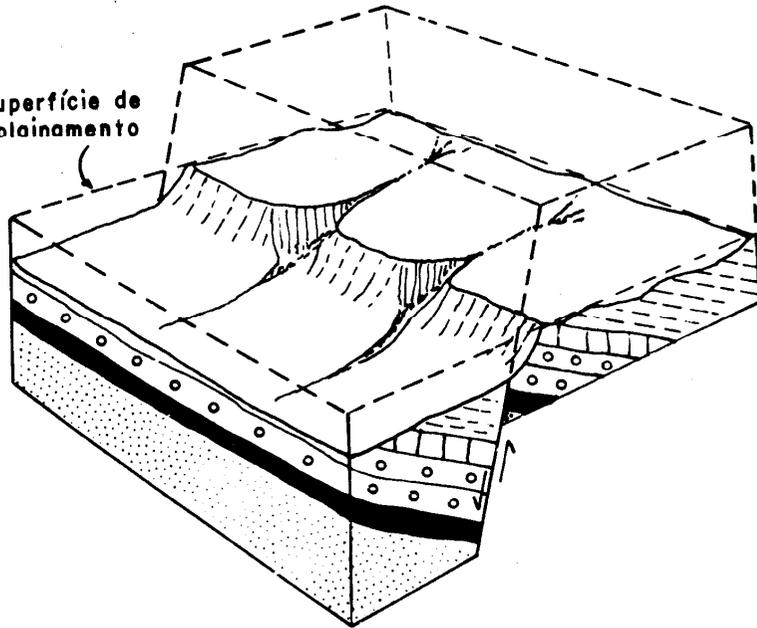
Cavalgamento com feição sinclinal



Geometrias complexas de falha de cavalgamento no terremoto de El Asnam

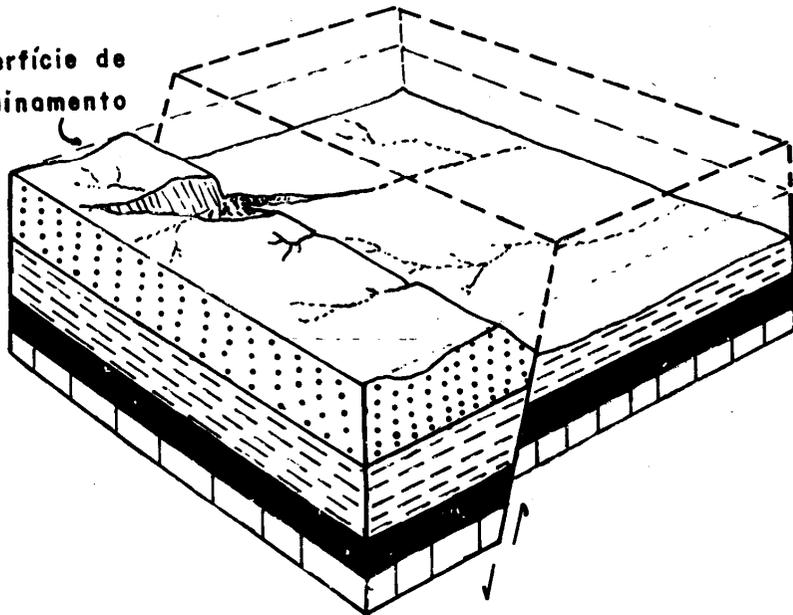
Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

Superfície de  
aplainamento



A

Superfície de  
aplainamento

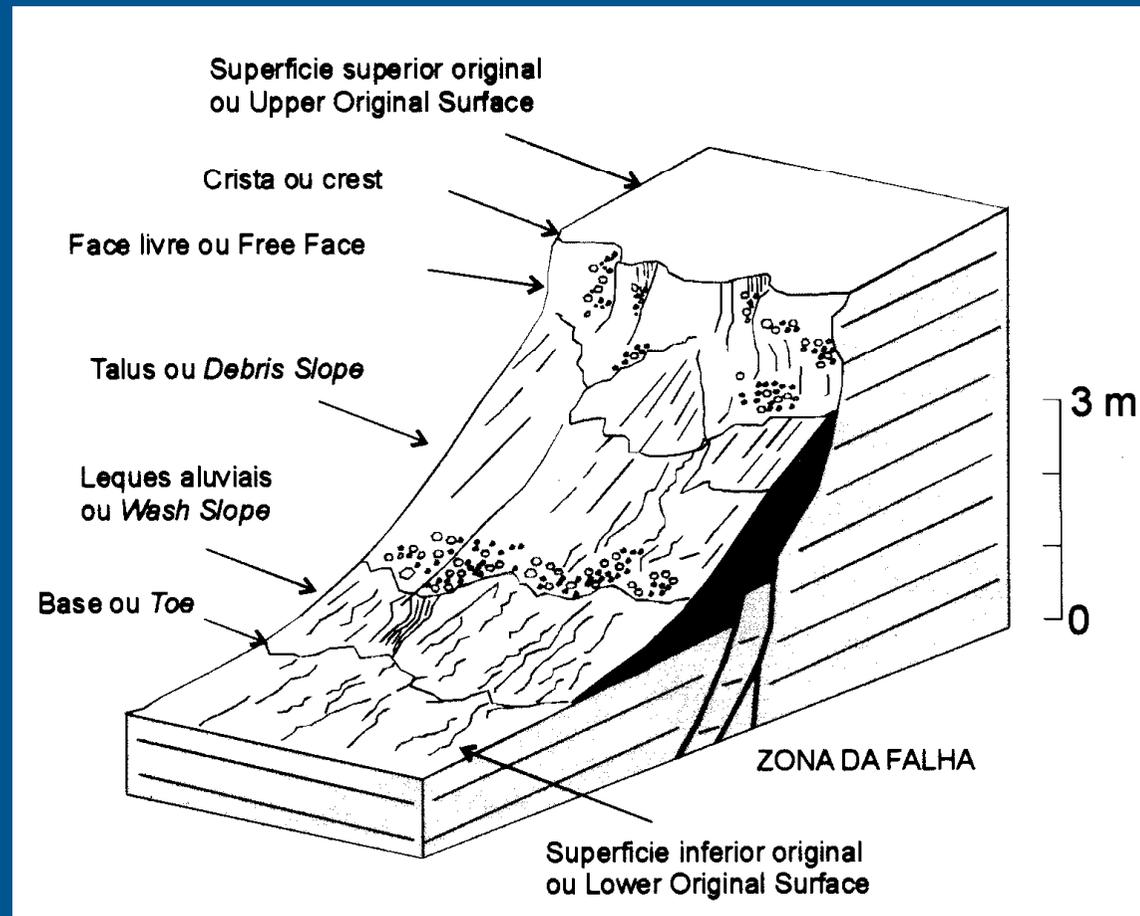


B

Escarpa de falha atenuada rejuvenescida, direta (mesmo sentido do plano de falha).

Escarpa de falha rejuvenescida, inversa (inclinação oposta ao sentido do plano de falha).

As feições geomórficas ligadas a falhas são representadas, em geral, por escarpas, que delimitam contatos de blocos adjacentes. A base da escarpa mostra uma quebra negativa onde pode se posicionar o plano de falha, desde que o front da escarpa não tenha sofrido recuo lateral devido a erosão.

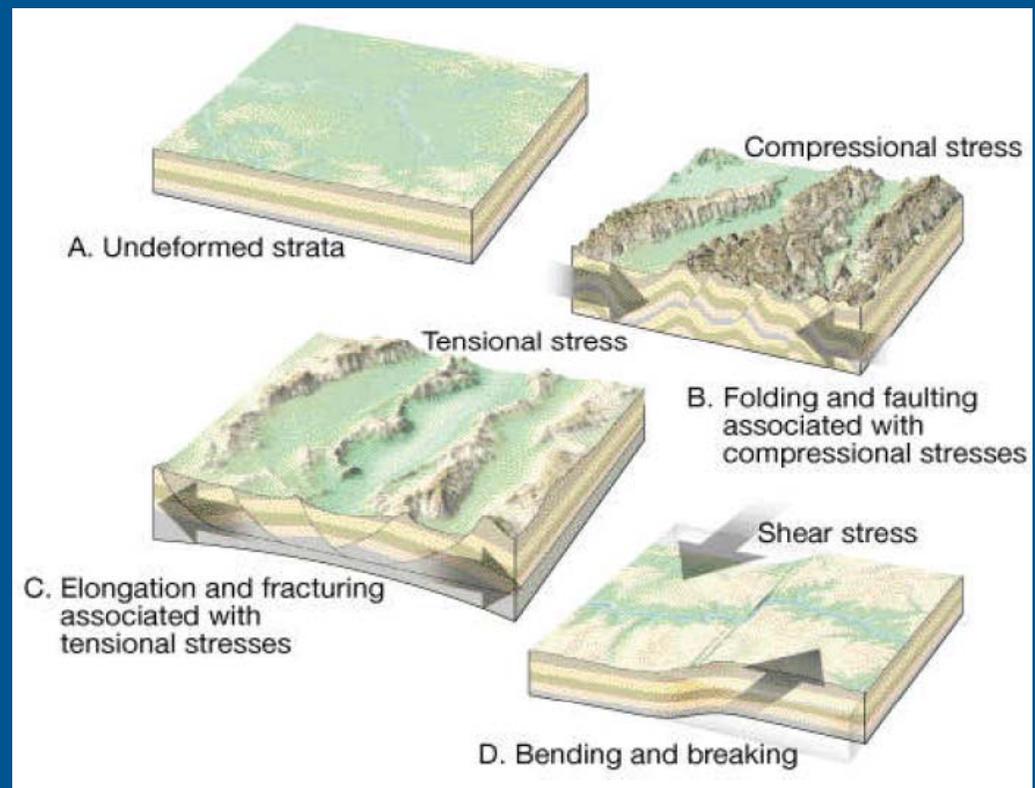


Principais feições e terminologias da escarpa, segundo Wallace (1977)

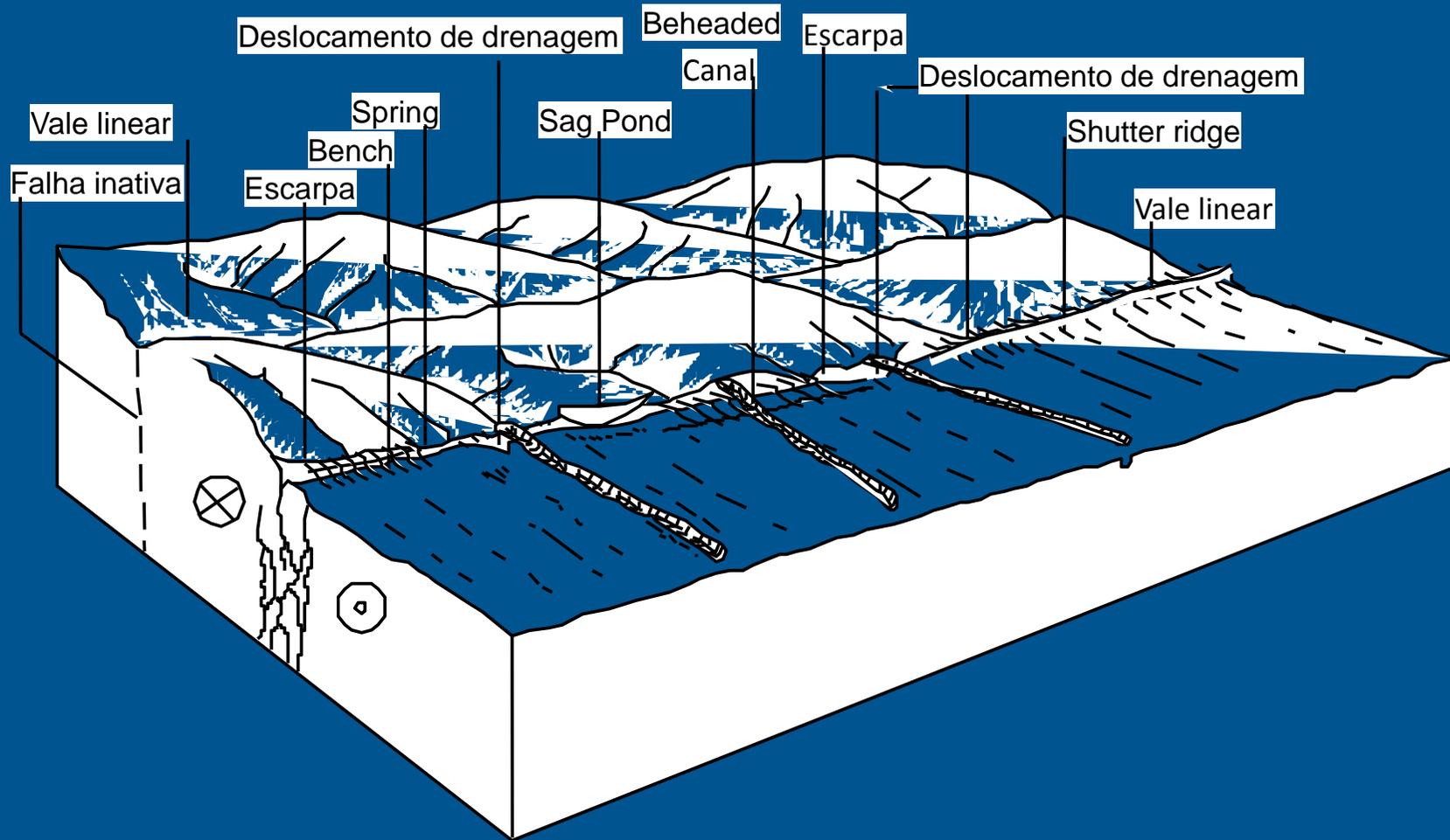
# CRITÉRIOS GEOMORFOLÓGICOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS (aparentes ou não)

É comum a dificuldade de definir estruturas tectônicas em áreas com poucos afloramentos. Todavia, com o auxílio da geomorfologia é possível interpretar com razoável exatidão a geometria do arcabouço estrutural subjacente.

- (a) Escarpas e facetas trapezoidais e triangulares;
- (b) linhas de serras deslocadas;
- (c) truncamento abrupto das estruturas ao longo do rumo por um *front* montanhoso;
- (d) modificações no padrão da drenagem;
- (e) presença de fontes, lagoas e pântanos

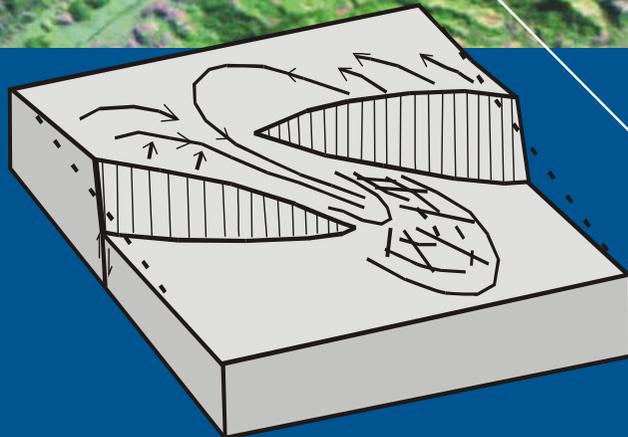
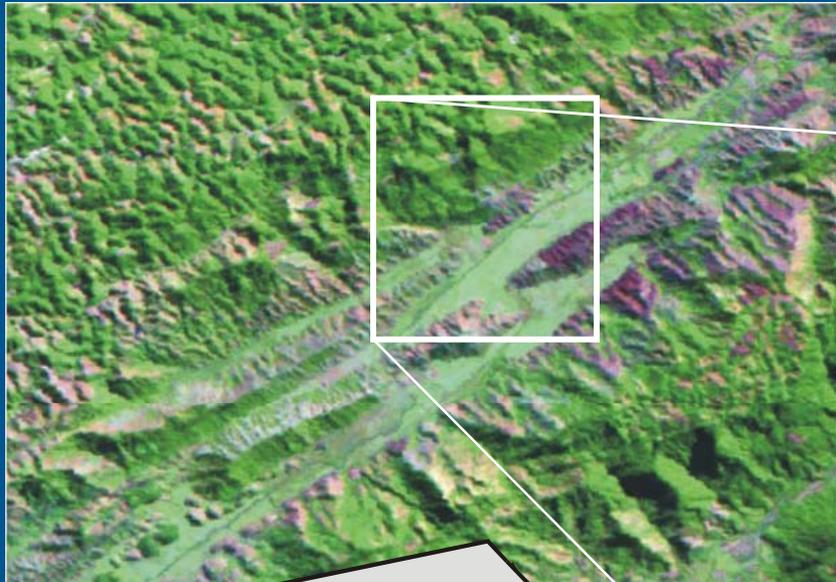


# Marcadores geomorfológicos associados a falhas transcorrentes

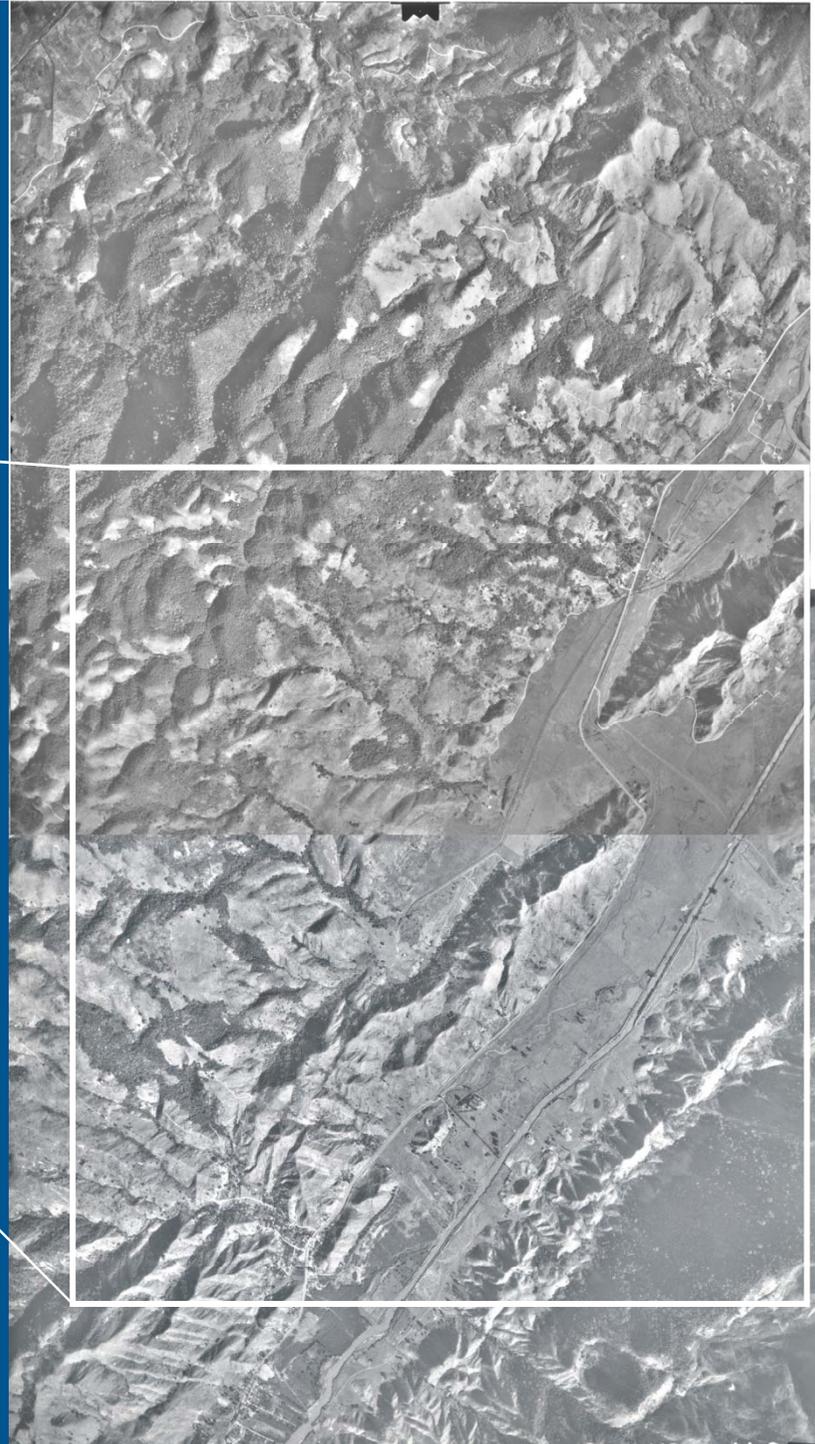


Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

Estruturas escalonadas (*en echelon*) que podem interconectar-se por estruturas de rampas oblíquas. Serra da Mantiqueira (Gontijo et al., 1999)

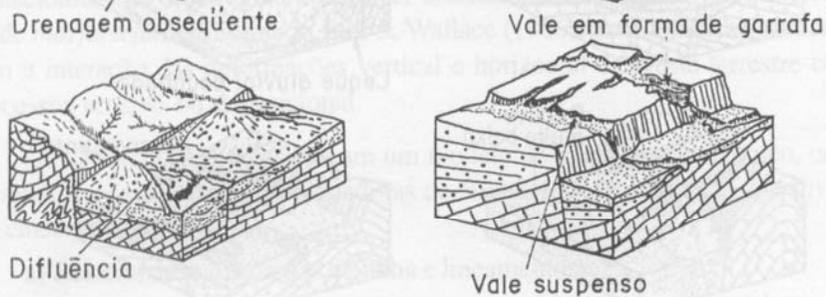


Bloco diagrama de estrutura tipo *relay* ou *strike ramp*, comum em segmentos de falhas normais. (Jackson e Leeder, 1994).

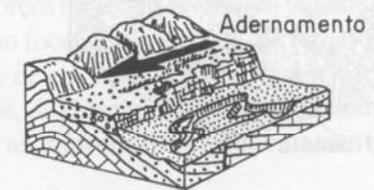
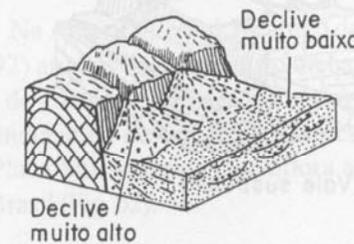
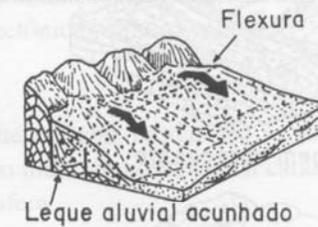
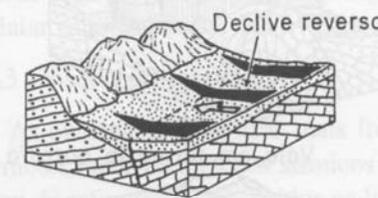




60c - Anomalias geomorfológicas indicadoras de atividades neotectônicas relacionadas a interflúvios e vertentes (Goy *et al.*, 1991).

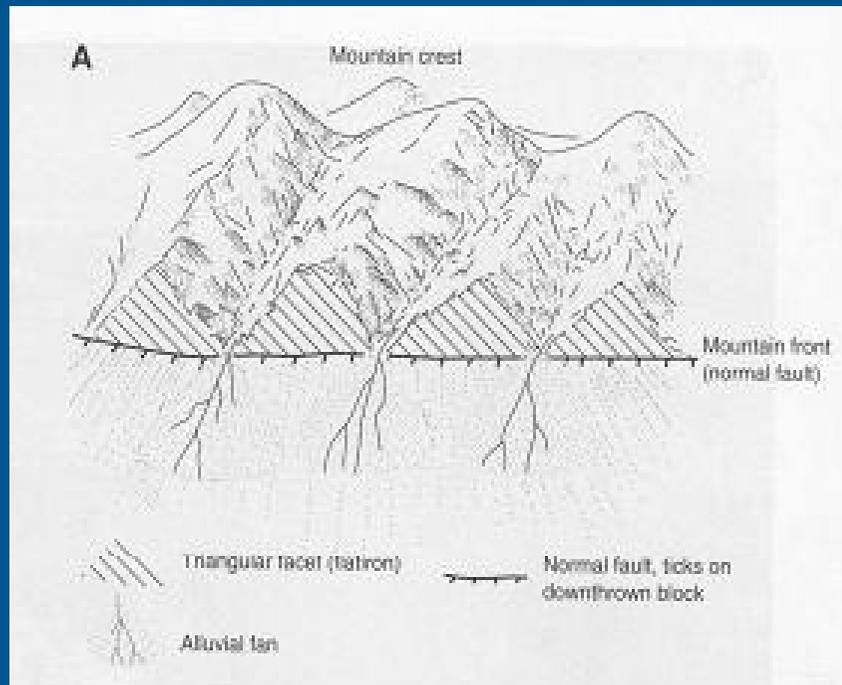


60a - Anomalias geomorfológicas indicadoras de atividades neotectônicas relacionadas a escarpas de falha e lineamentos (Goy *et al.*, 1991).



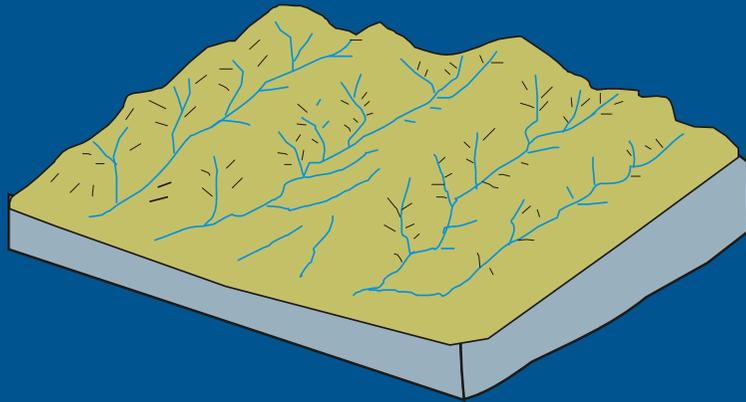
## Modelos morfológicos ligados a falhas

Facetas trapezoidais e/ou triangulares são feições características de falhas em zonas convergentes, ou orogênicas. Podem desenvolver-se onde ocorrem falhas normais, porém com características mais atenuadas

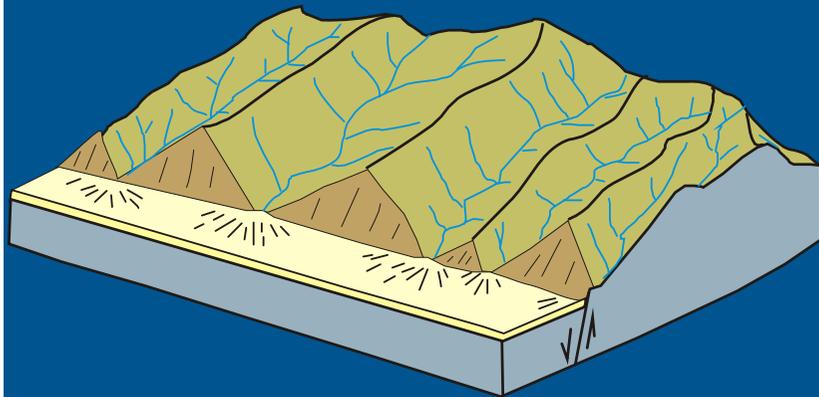


- A) Diagrama oblíquo mostrando o front de montanha, falha normal e facetas triangulares – San Joaquin Valley, California
- B) Fotografia de feições de facetas mostradas em A

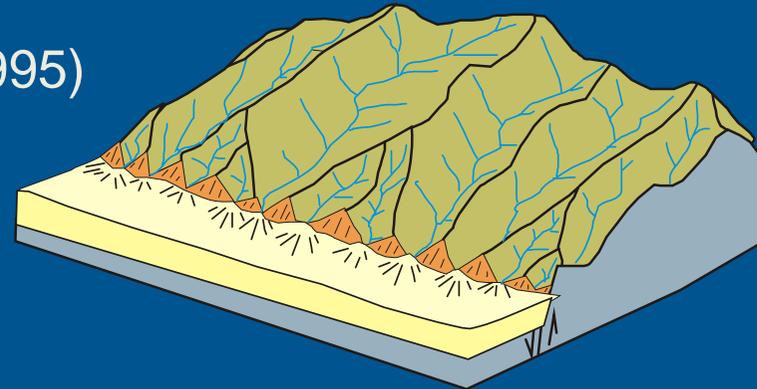
**Modelo de evolução de facetas (*faceted spurs*). Fonte: Hamblin e Christiansen (1995)**



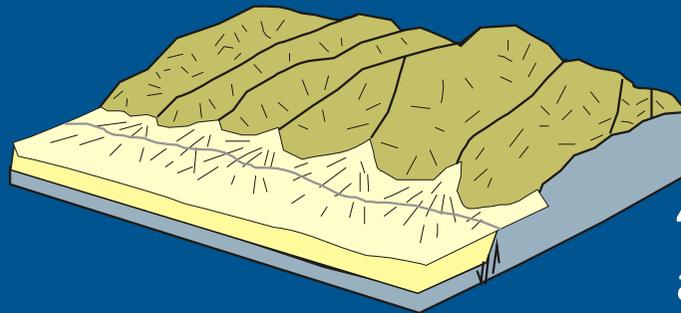
1 - Superfície original soerguida



2 – Primeiro e principal período de falha, acompanhada por erosão



3 – Movimentos recorrentes ao longo da falha produzindo escarpas novas. As velhas facetas retrocedem e são arrasadas

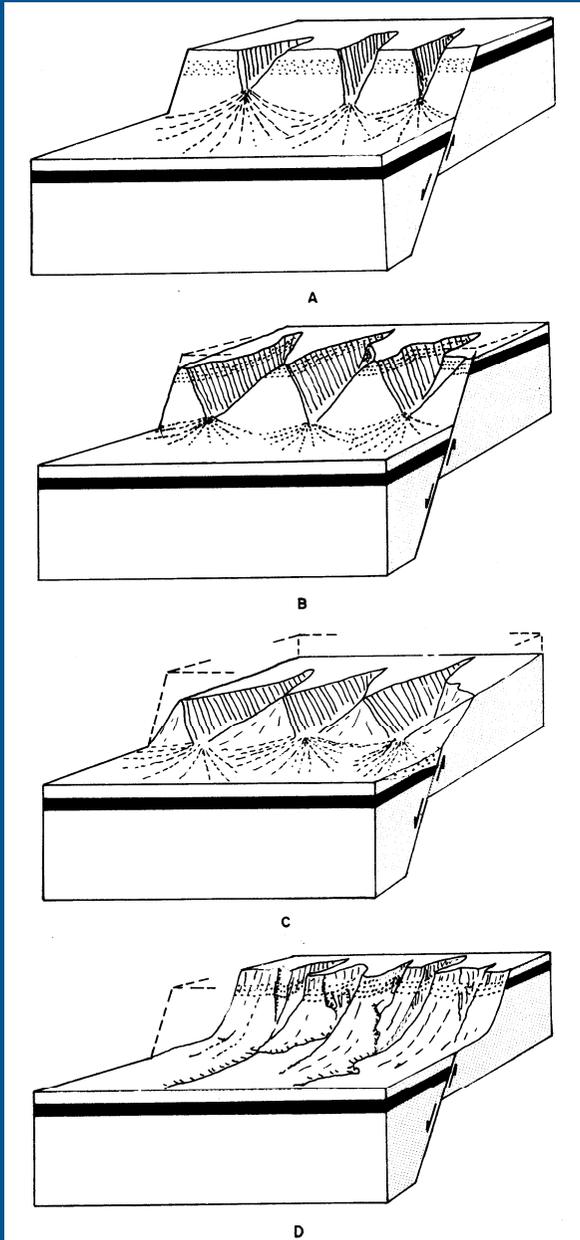


4 - Falhamento cessa e a erosão disseca o relevo



Wasatch Mountains,  
Central Utah

## Bloco diagrama com a evolução de facetas trapezoidais e triangulares



Escarpa de falha original (primitiva) parcialmente dissecada, com facetas trapezoidais

Dissecação mais apreciável, as facetas tornam-se triangulares

Escarpa recua e as facetas ficam menos íngremes

Recuo pronunciado da escarpa e destruição avançada das facetas

Leques aluviais são uma das características mais marcantes da evolução de estruturas geomórficas geradas em zonas de falha.



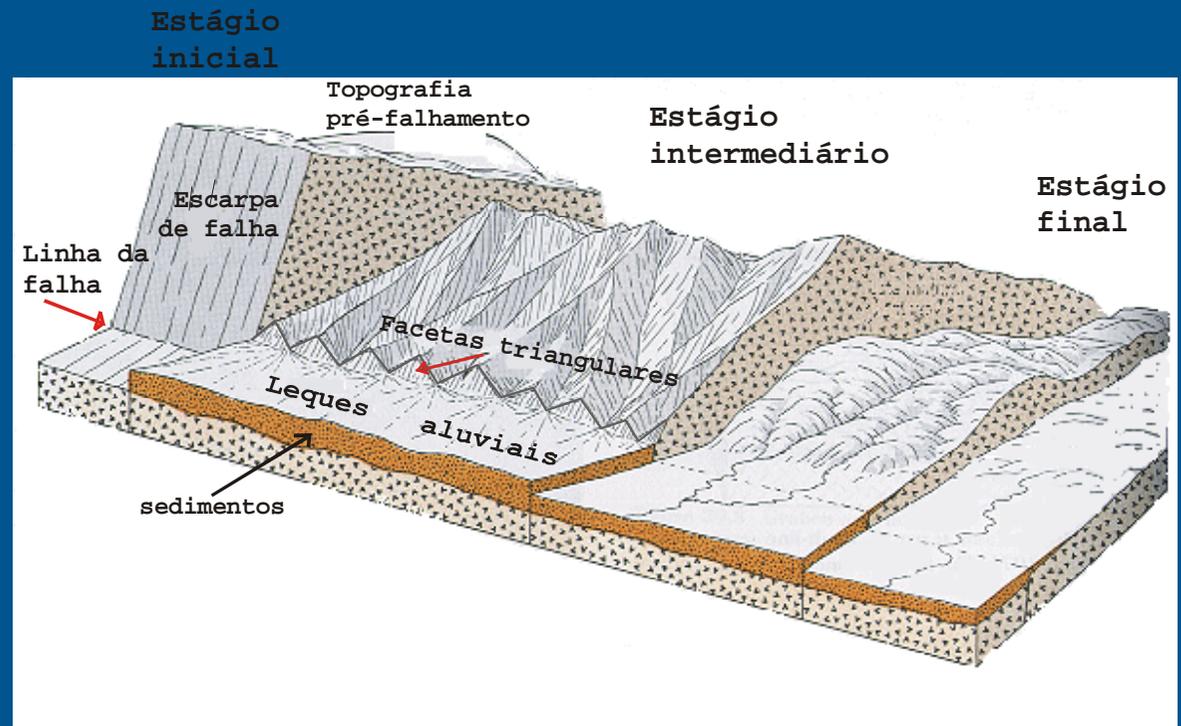
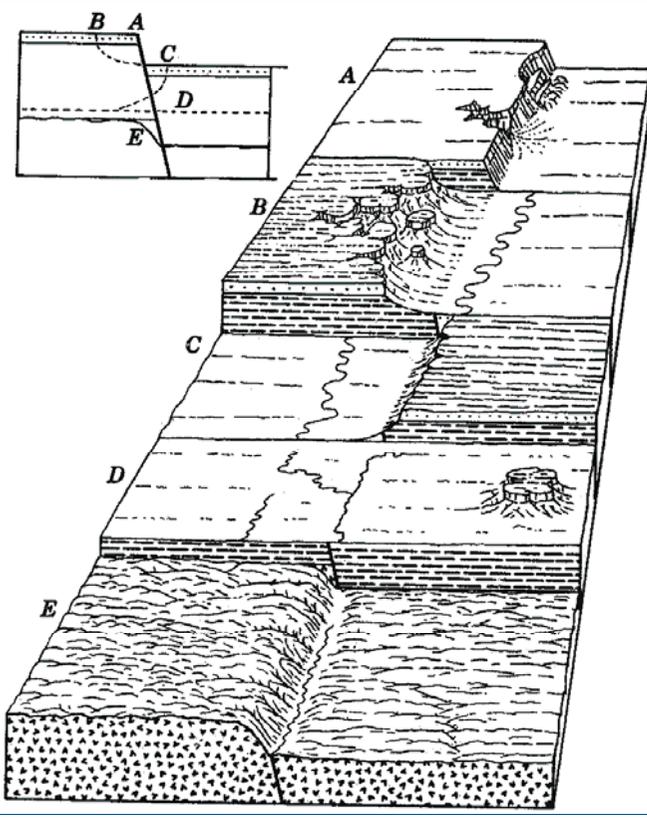
Owlshhead Mountain



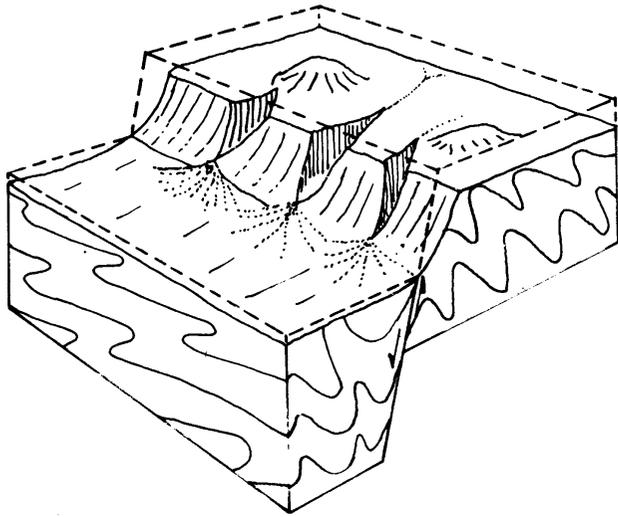
Rock Mountain

Península Brodeur, Ilha de Baffin,  
Canada. (Fonte: Natural Resources  
Canada Terrain Sciences Division  
Canadian Landscapes)

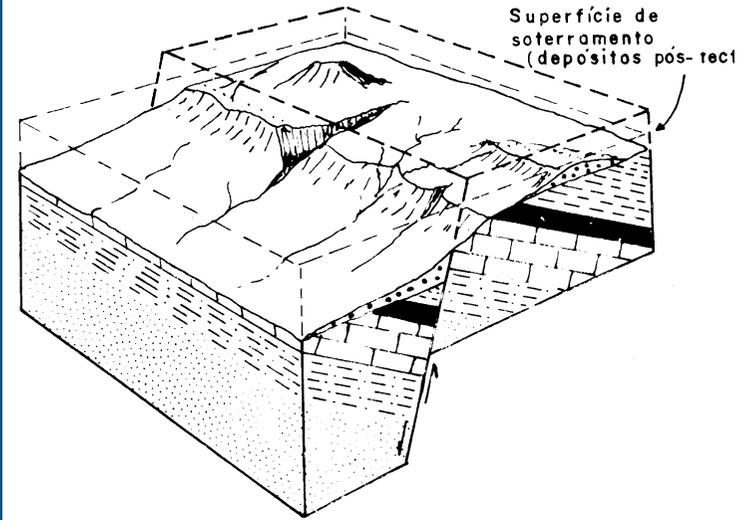




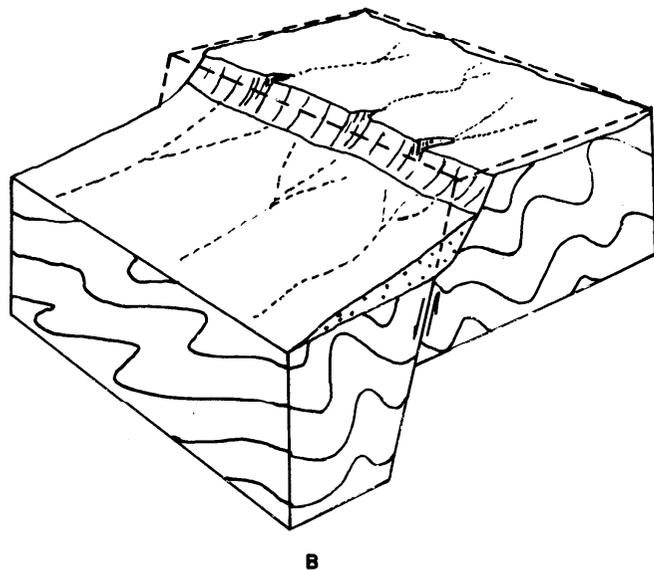
Estágios de erosão em bloco falhado



Escarpa exumada.  
Depósitos pós-tectônicos

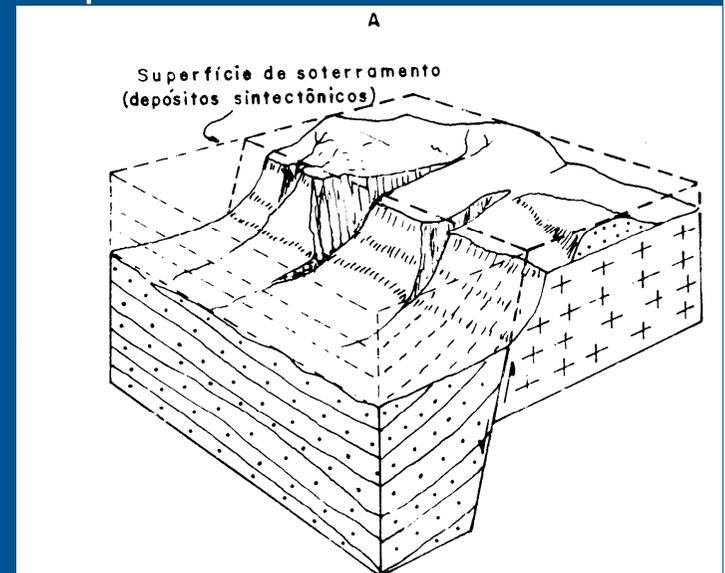


Escarpa atenuada por erosão com facetas trapezoidais (altura < rejeito)

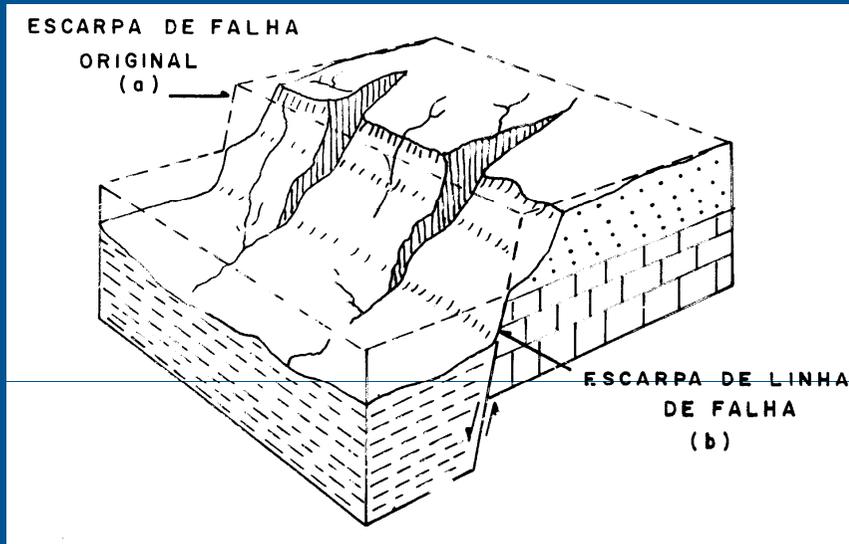


Escarpa atenuada por soterramento ou assoreamento ou por ambos

Escarpa revelada ou rejuvenescida pela erosão. Depósitos sin-tectônicos

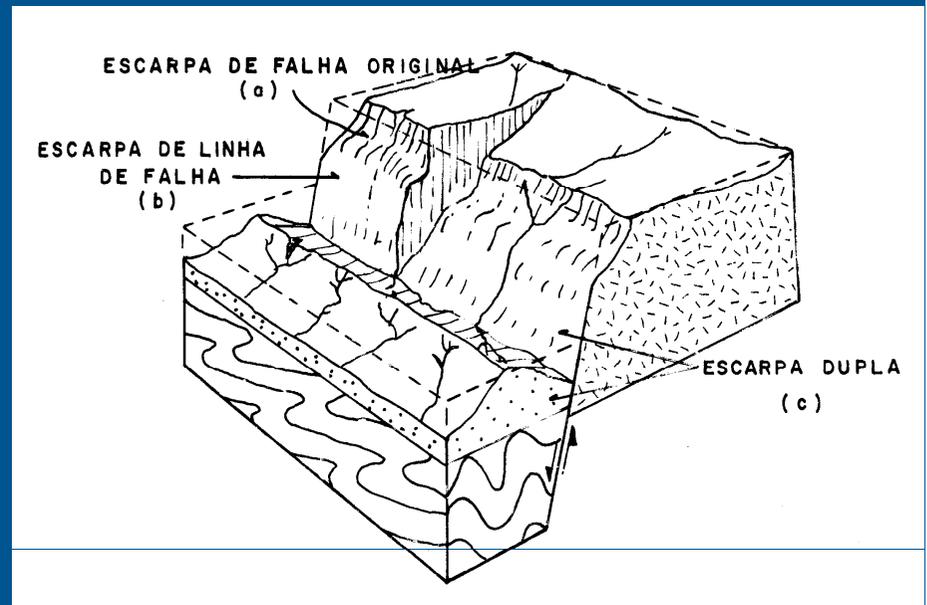
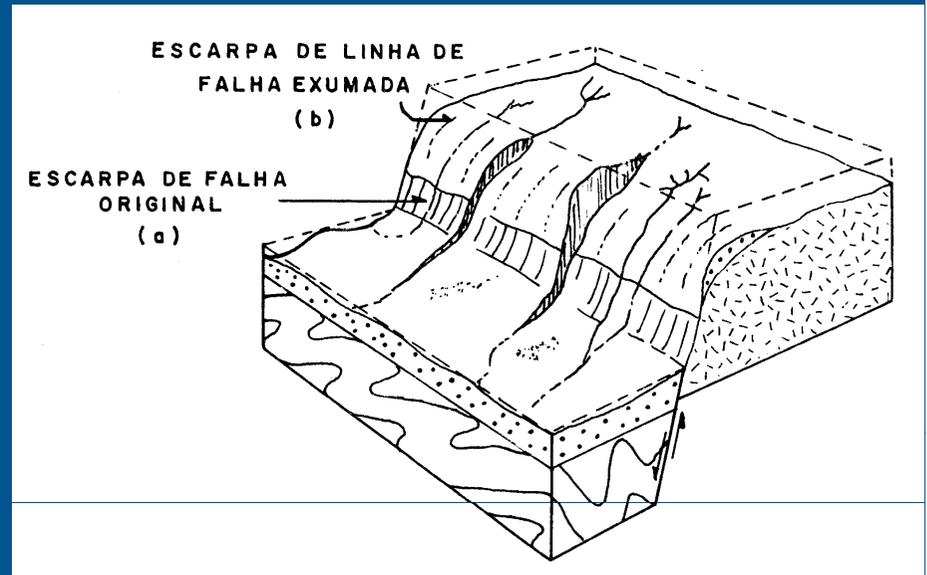


# Escarpas de falhas de origem mista, combinadas pela tectônica e erosão

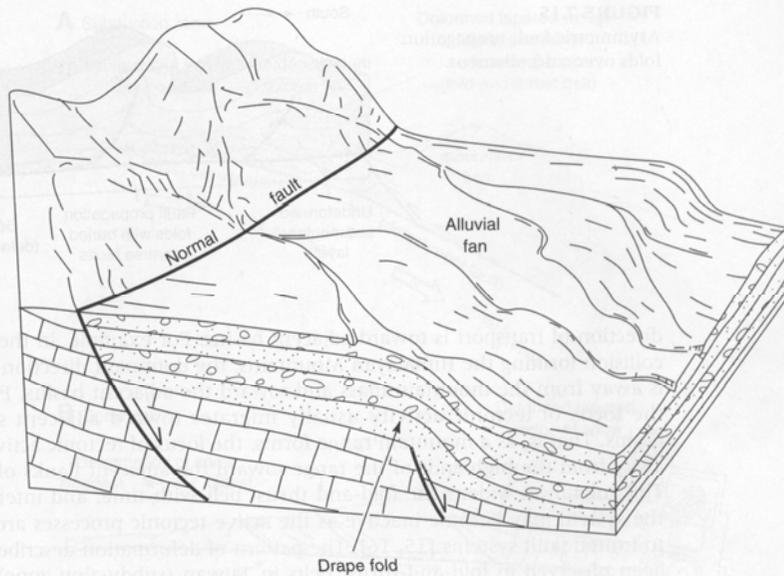


Escarpa de falhas incompleta fossilização da falha.

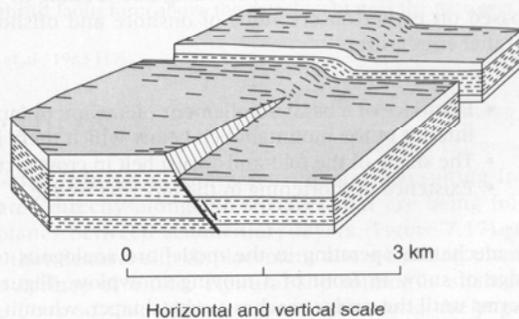
Escarpa de falhas por rejuvenescimento da erosão.



Escarpa de falhas por reativação



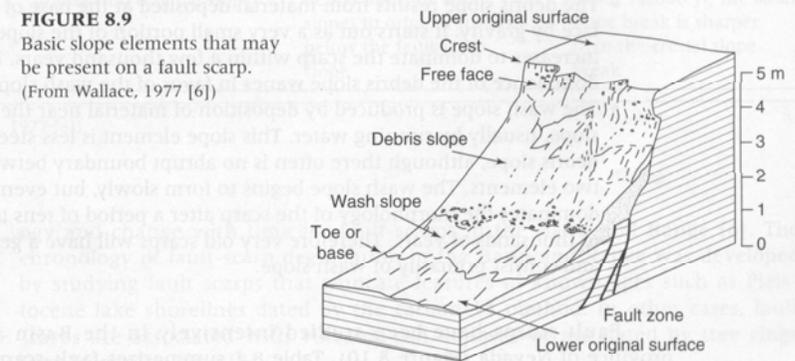
**FIGURE 7.13**  
Idealized block diagram showing the development of a drape fold on alluvial fan gravels over a buried normal fault.



**FIGURE 7.14**  
Block diagram showing how a normal fault could change laterally into a monocline, which is a simple fold where one limb dips steeply and the other limb is flat or gently dipping.  
(After Skinner and Porter, 1989. *The Dynamic Earth*. John Wiley & Sons: New York.)

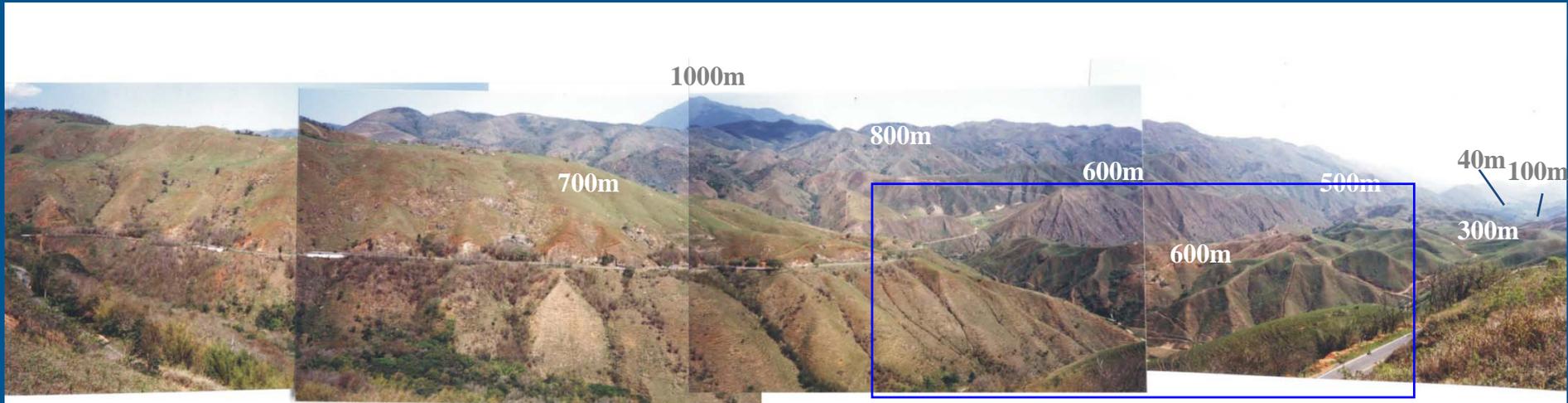


**FIGURE 8.8**  
Fault scarp produced by the 1992 Landers earthquake ( $M = 7.5$ ). The scarp is approximately 2 m high.  
(Photograph by E.A. Keller)



**FIGURE 8.9**  
Basic slope elements that may be present on a fault scarp.  
(From Wallace, 1977 [6])

Vale do rio Santana (Serra da Mantiqueira) com visada para SW mostrando o escalonamento do *gráben* de forma longitudinal (NE-SW) e perpendicular (NW-SE) (Gontijo et al., 1999)

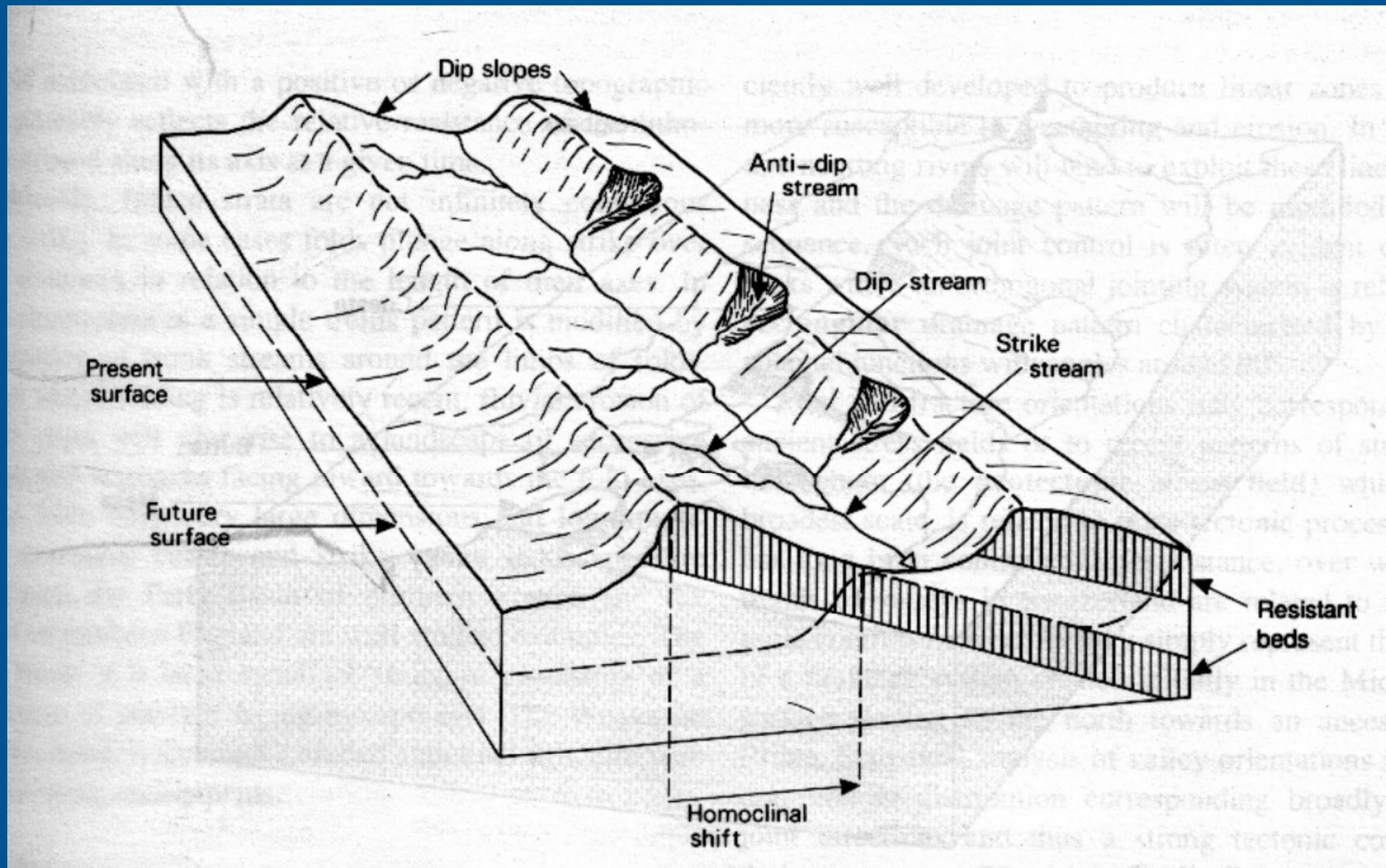




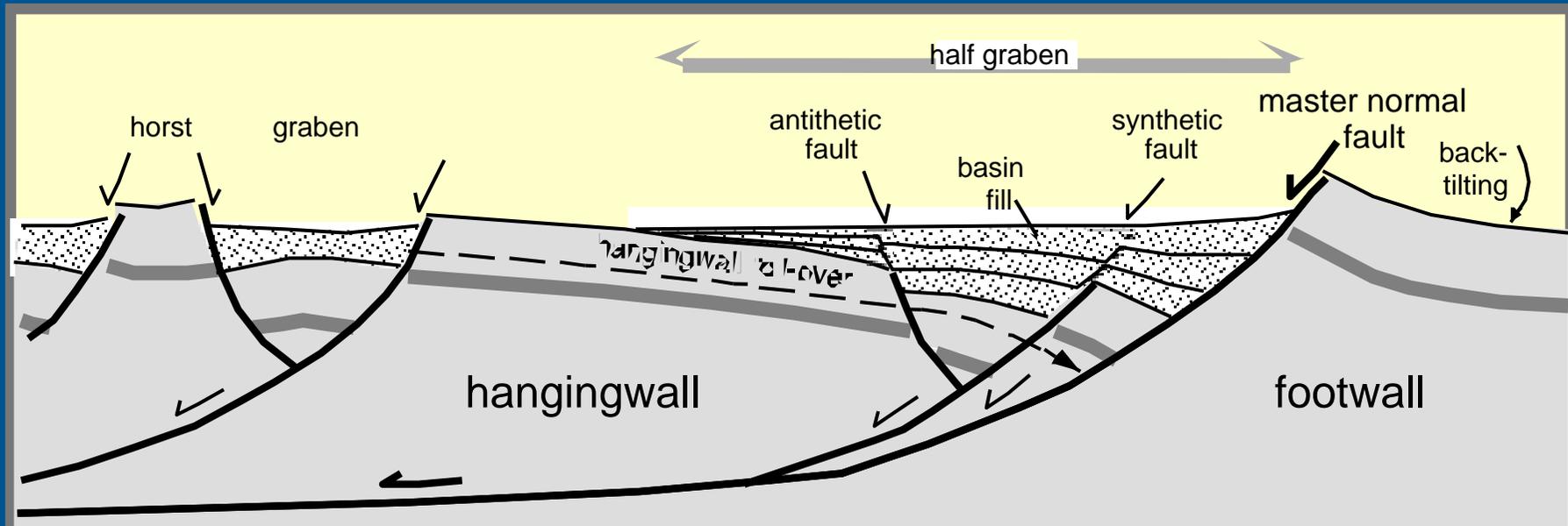
Esquema de relevo de falha no sistema de rifte do leste africano

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

Mergulhos de camadas por basculamento do maciço dão início a um característico processo de denudação



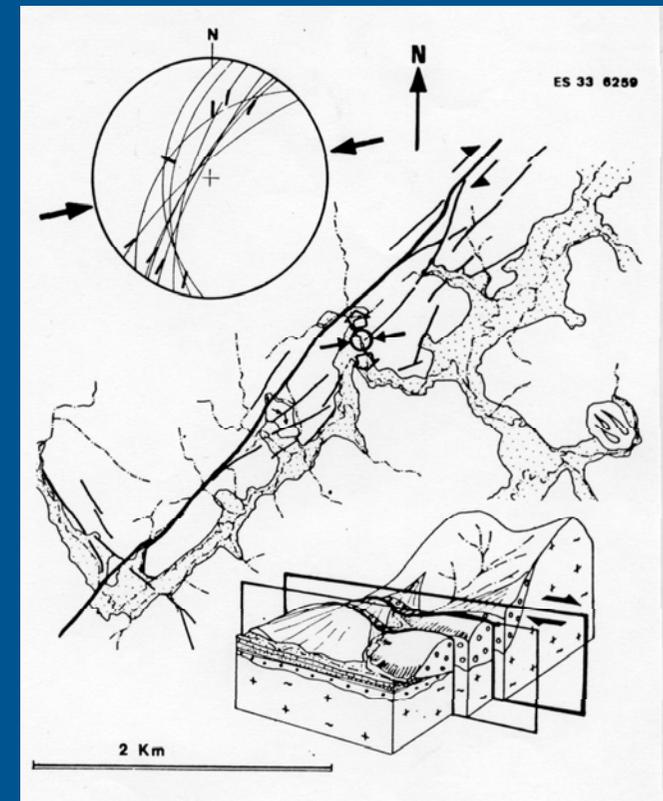
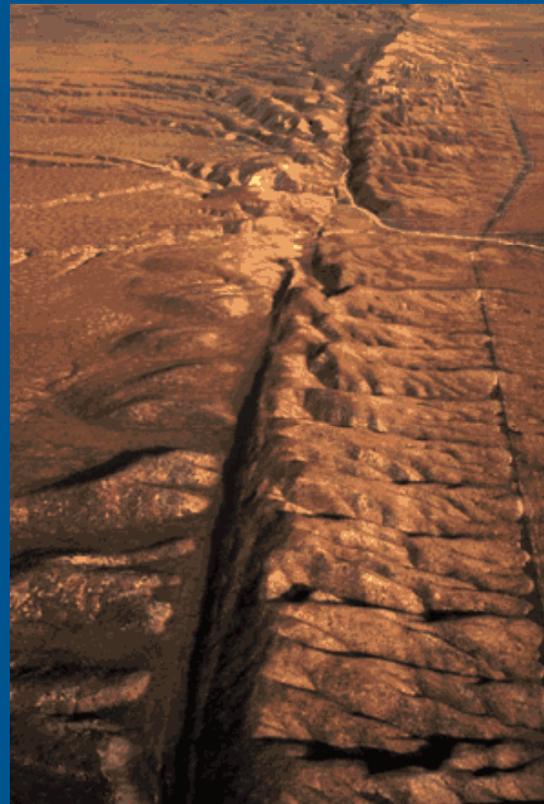
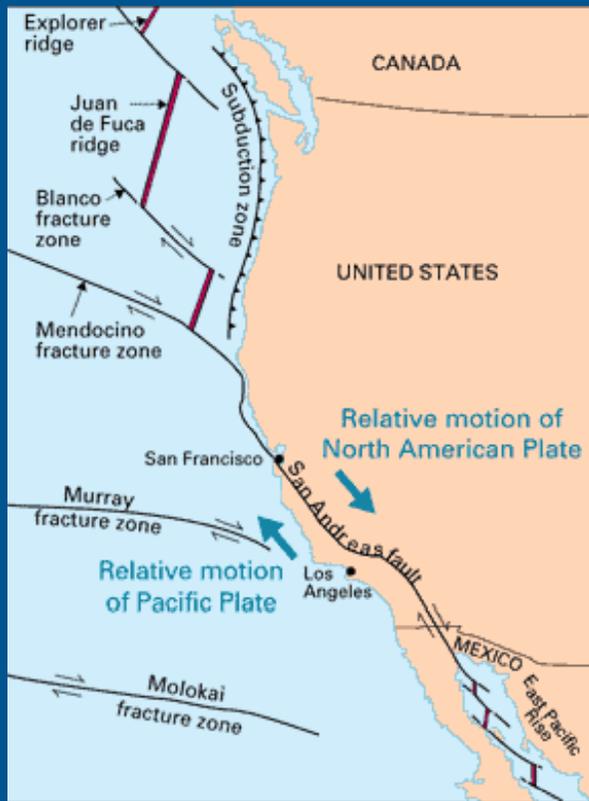
## Marcadores de paleossismicidades e deformações em sedimentos

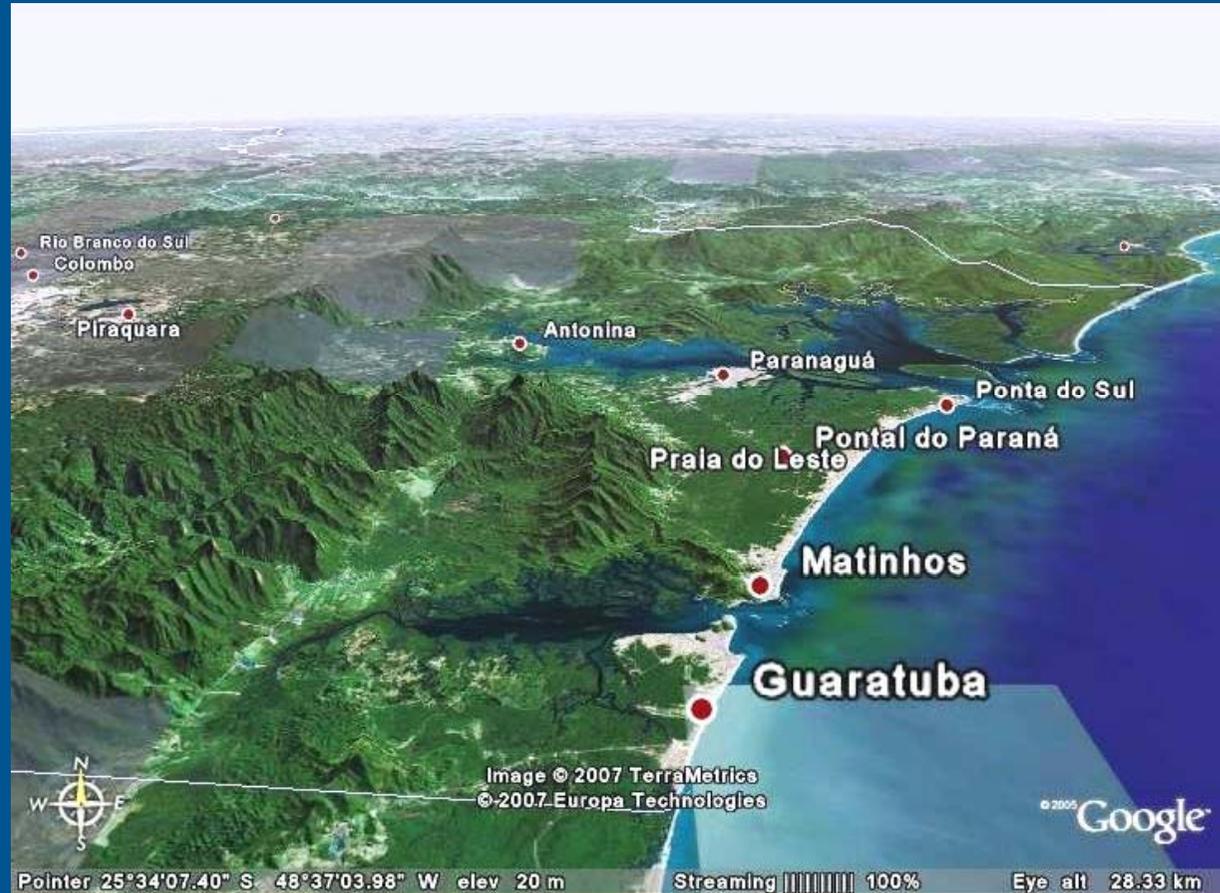


Seção esquemática de falhas normais em um regime extensional provocam o aparecimento de fronts de montanha devido à concorrência de ascensão e subsidência regional

Copyright © 2001 Douglas Burbank and Robert Anderson. This figure may be downloaded and used for teaching purposes only. It may not be reproduced in any publication, commercial or scientific, without permission from the publishers, Blackwell Publishing, 108 Cowley Road, Oxford OX4 1JF, UK.

Falhas transcorrentes (ou transformantes) provocam em crosta continental (ou oceânica) deslocamento de blocos adjacentes que, por sua vez, mudarão relevo local e propiciarão a instalação de drenagem.





Falhas transcorrentes e normais na Serra do Mar, marcadas geomórficamente por escarpa e vales podem ser interpretadas a partir de imagens e fotografias aéreas.