MÓDULO 01: Introdução à Geomorfologia e Conceitos Fundamentais

1.1 A Geomorfologia no Contexto da Geografia e das Geociências

1.2 Evolução Histórica da Geomorfologia e as Principais Escolas

1.3 Conceitos Fundamentais na Geomorfologia: Processos Exógenos

1.4 Conceitos Fundamentais na Geomorfologia: Processos Endógenos

A. **PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS**
B. **MAGNITUDE E FREQÜÊNCIA**
C. **TEORIA DOS SISTEMAS**
D. **PROCESSOS EXTERNOS (INTEMPERISMO)**

A. PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS

"Processos Geomorfológicos são todas aquelas mudanças físicas e químicas que causam modificações na superfície terrestre"

"Agente geomorfológico é qualquer meio natural capaz de assegurar e transportar material terroso"

Thornbury, W.D. (1954) *Principles of Geomorphology*, John Wiley & Sons, New York.618pp.

A. PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS

Endógenos → Vulcanismo

Exógenos → Degradação

Exógenos → Agradação (“acumulação”)

Agradação (“acumulação”) → Água superficial, Água subsuperficial, Mar, Vento e Gelo

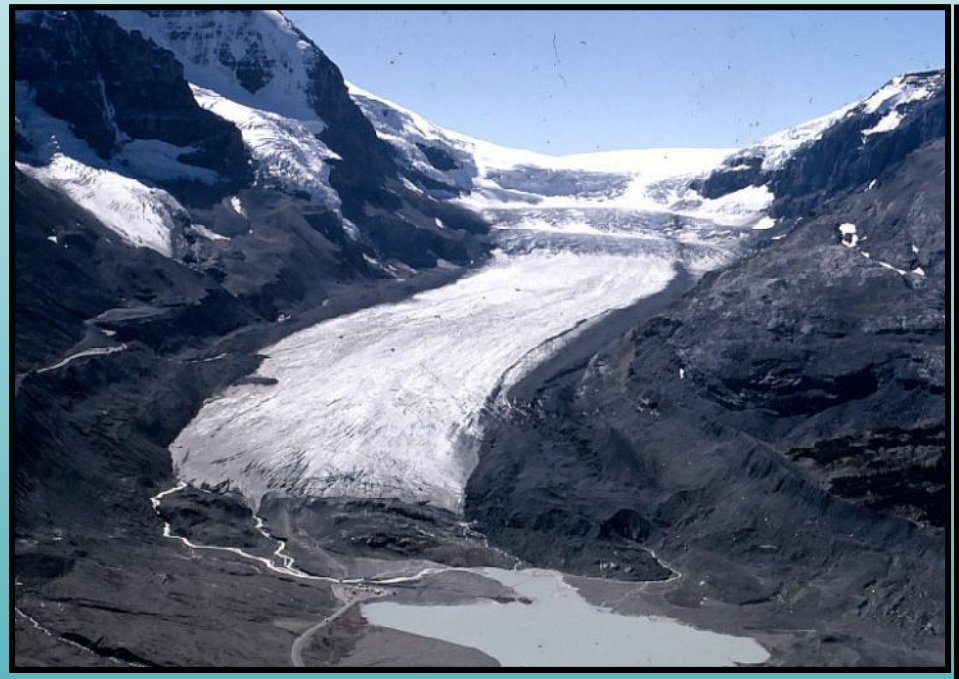
Degradação → Intemperismo, Erosão, Movimentos de massa

A. PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS

EXÓGENOS: Predominantemente envolve a DENUDAÇÃO (remoção do material, que geralmente leva a redução relevo).

Fontes de energia dos vários processos exógenos são:

- radiação solar (evaporação da água, circulação atmosférica)
- gravidade (queda da água, do gelo e de partículas de rocha e de solo)



A. PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS

ENDÓGENOS:

Processos que geralmente constroem o relevo, levando ao aumento do relevo (Diastrofismo ou Tectonismo)

OROGENIA	EPIROGENIA
Formação de Montanhas Intensos fraturamentos e/ou dobramentos	Causa soerguimento e rebaixamento (subsidência)

B. MAGNITUDE E FREQÜÊNCIA

O conhecimento da freqüência com que os eventos de diferentes magnitudes ocorrem é crucial para explicar qualquer formação da paisagem.

Medições de vários processos geomórficos em uma escala de tempo mostraram que eventos extremos e de alta intensidade são *raros* e que eventos de baixa a média intensidade ocorrem em grande parte do tempo.

Eventos extremos, como grandes enchentes, necessitam de uma combinação muito especifica de fatores que geralmente são bem incomuns.

B. MAGNITUDE E FREQÜÊNCIA

A FREQÜÊNCIA de um evento de uma específica MAGNITUDE é expressa como o período médio de tempo entre os eventos dessa mesma magnitude.
(período de retorno ou intervalo de recorrência)

Ex. Se uma descarga de um rio (300mm/h) tem um intervalo de recorrência de 20, isso significa que existe 1 chance em 20 que a enchente dessa magnitude ou maior ocorra em um ano.

Na média: probabilidade de um tipo de enchente dessa magnitude ocorrer a cada 20 anos.

Clima constantemente úmido: a descarga dos rios pode não variar por mais de uma ordem de magnitude em vários anos.

Rio Paraíba do Sul (SP-RJ)

Clima semi-árido:
Predominam condições secas e as tempestades são ocasionalmente pontuais e violentas.

A descarga dos rios pode variar de duas a três ordens de magnitude.

Rio Chícamo (Murcia-Espanha)

C. TEORIA DOS SISTEMAS

SISTEMA pode ser definido como o conjunto dos elementos e das relações entre si e entre os seus atributos (Christofoletti, 1980)

As formas, os processos e as suas relações constituem o SISTEMA GEOMORFOLÓGICO, que é um **sistema aberto**, pois recebe influências e também atua sobre outros sistemas componentes de seu universo.

C. TEORIA DOS SISTEMAS

O QUE DEVE SER ABORDADO NO ESTUDO DE SISTEMAS:

1. **MATÉRIA: corresponde ao material que vai ser mobilizado através do sistema. (Ex. água e detritos)**

2. **ENERGIA: corresponde às forças que fazem o sistema funcionar, gerando capacidade de realizar trabalho.**

3. **ESTRUTURA: constituída pelos elementos e suas relações, expressando-se através do arranjo de seus componentes**

C. TEORIA DOS SISTEMAS

CRITÉRIO FUNCIONAL:

SISTEMA ISOLADO: Dadas as condições iniciais, não sofre mais nenhuma perda nem recebe energia ou matéria do ambiente que o circunda. Ex. Ciclo de Davis.

SISTEMA NÃO-ISOLADO: mantém relações com os demais sistemas do universo no qual funciona.

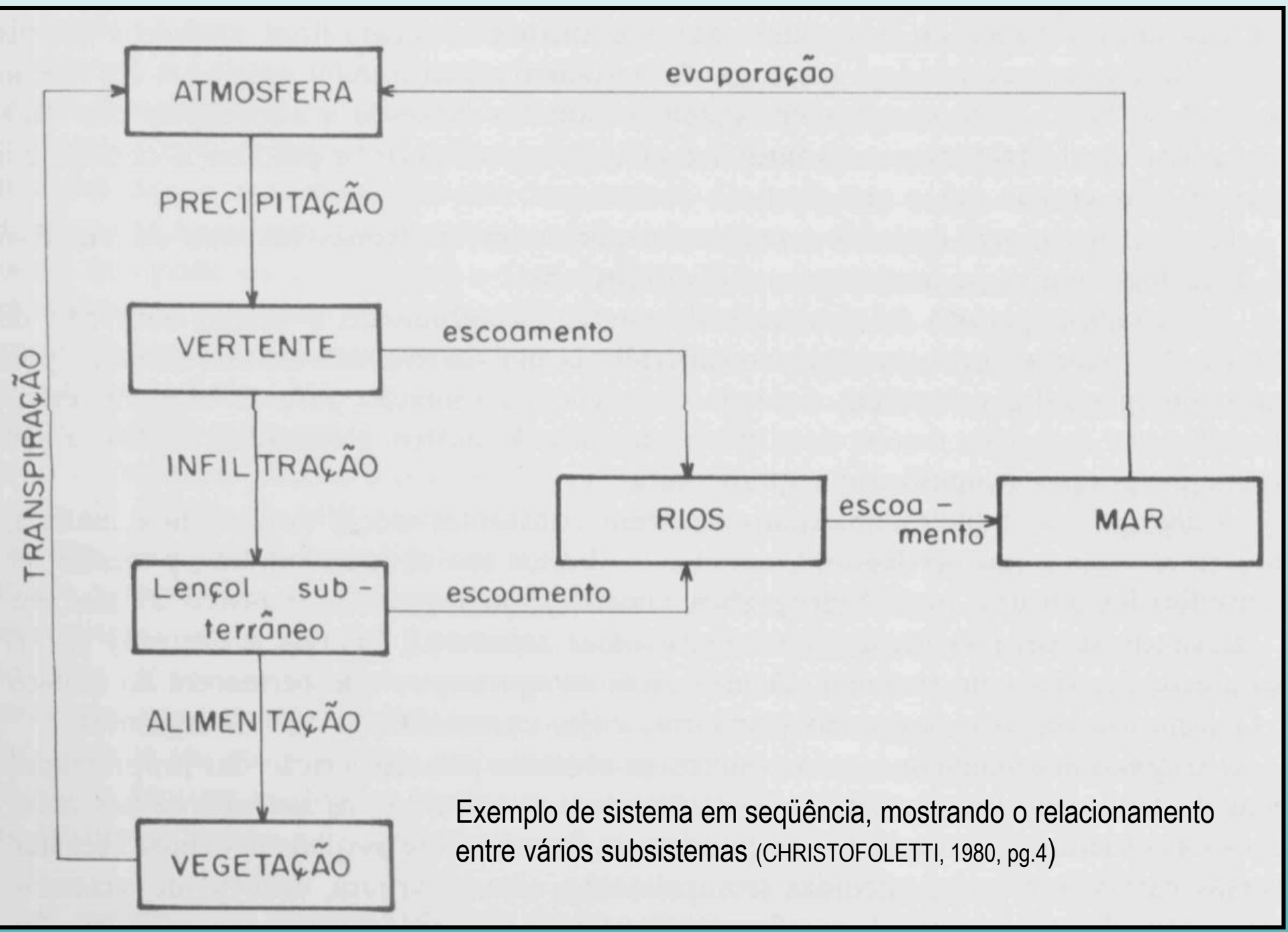
FECHADO: há permuta de energia e não há de matéria.
(ex. Planeta Terra)
ABERTO: há troca de energia e matéria
(ex. bacia hidrográfica, vertente, cidade etc)

C. TEORIA DOS SISTEMAS

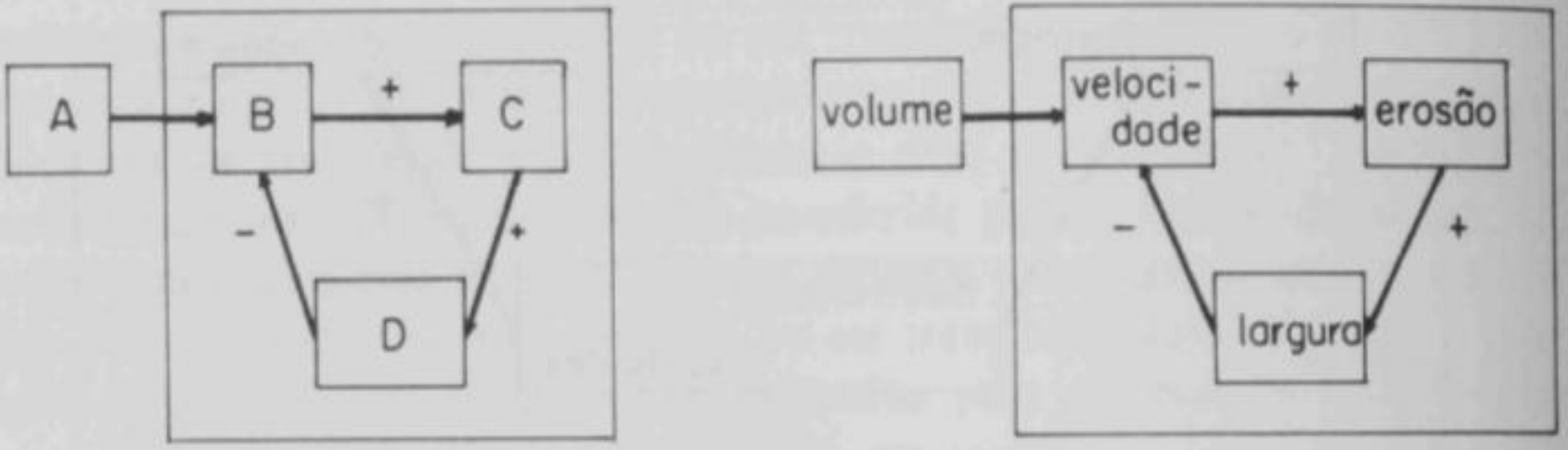
CRITÉRIO DA COMPLEXIDADE ESTRUTURAL
(para a Geomorfologia)

SISTEMA EM SEQUENCIA: composto por uma cadeia de subsistemas, possuindo tanto magnitude espacial quanto localização geográfica, que são dinamicamente relacionados por uma cascata de matéria ou energia

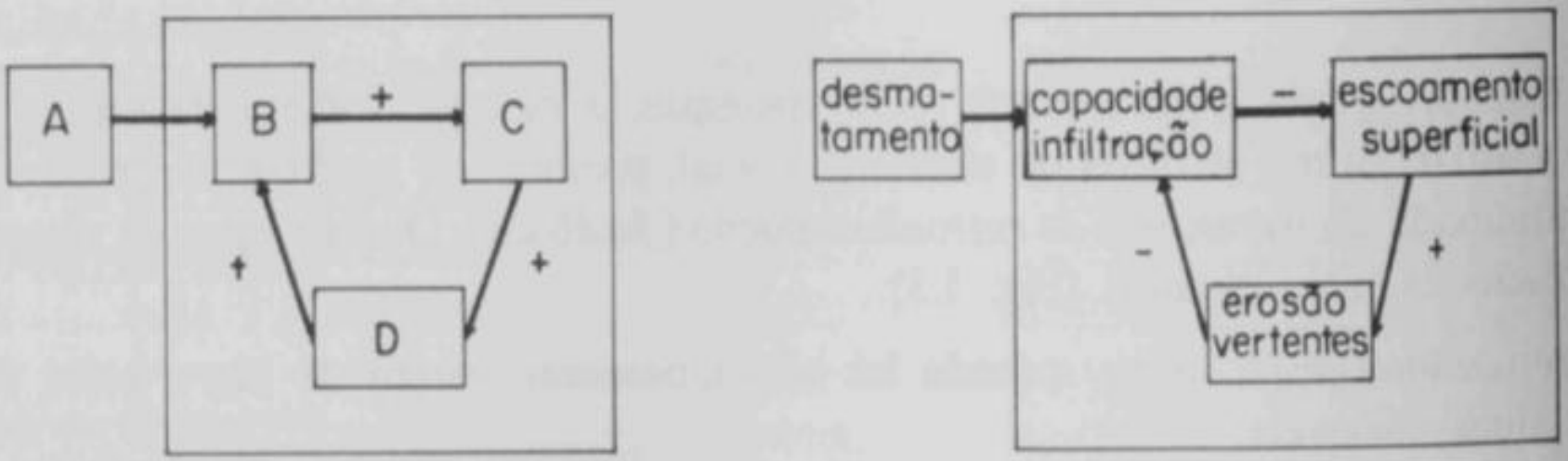
SISTEMA DE PROCESSO-RESPOSTA: São formados pela combinação de SISTEMAS MORFOLÓGICOS que indicam a **forma** e SISTEMAS EM SEQÜÊNCIA que indicam o **processo.**



Exemplo de sistema em seqüência, mostrando o relacionamento entre vários subsistemas (CHRISTOFOLETTI, 1980, pg.4)



3. Retroalimentação negativa



4. Retroalimentação positiva

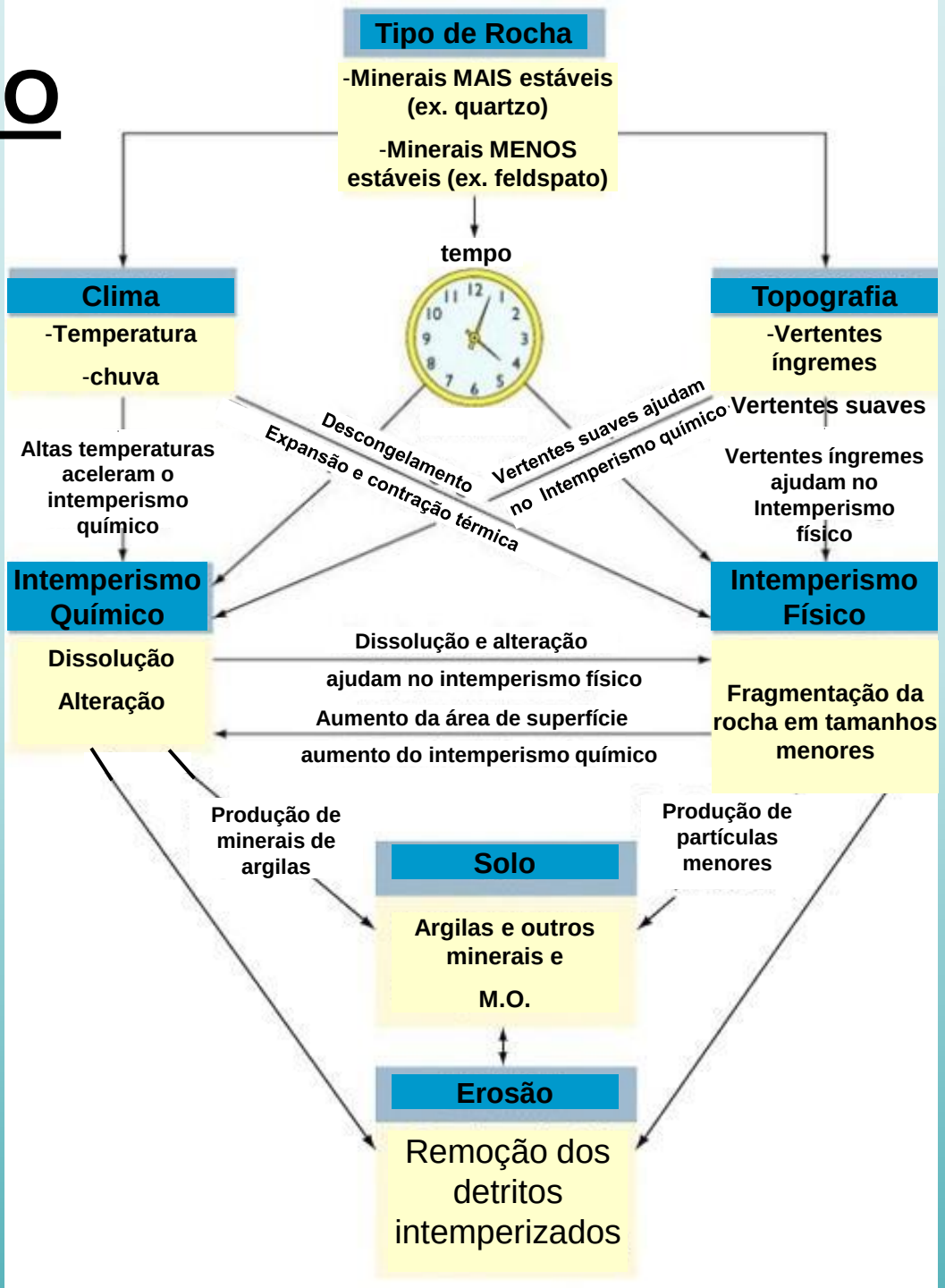
Principais tipos de mecanismos de retroalimentação
(CHRISTOFOLETTI, 1980, pg. 06)

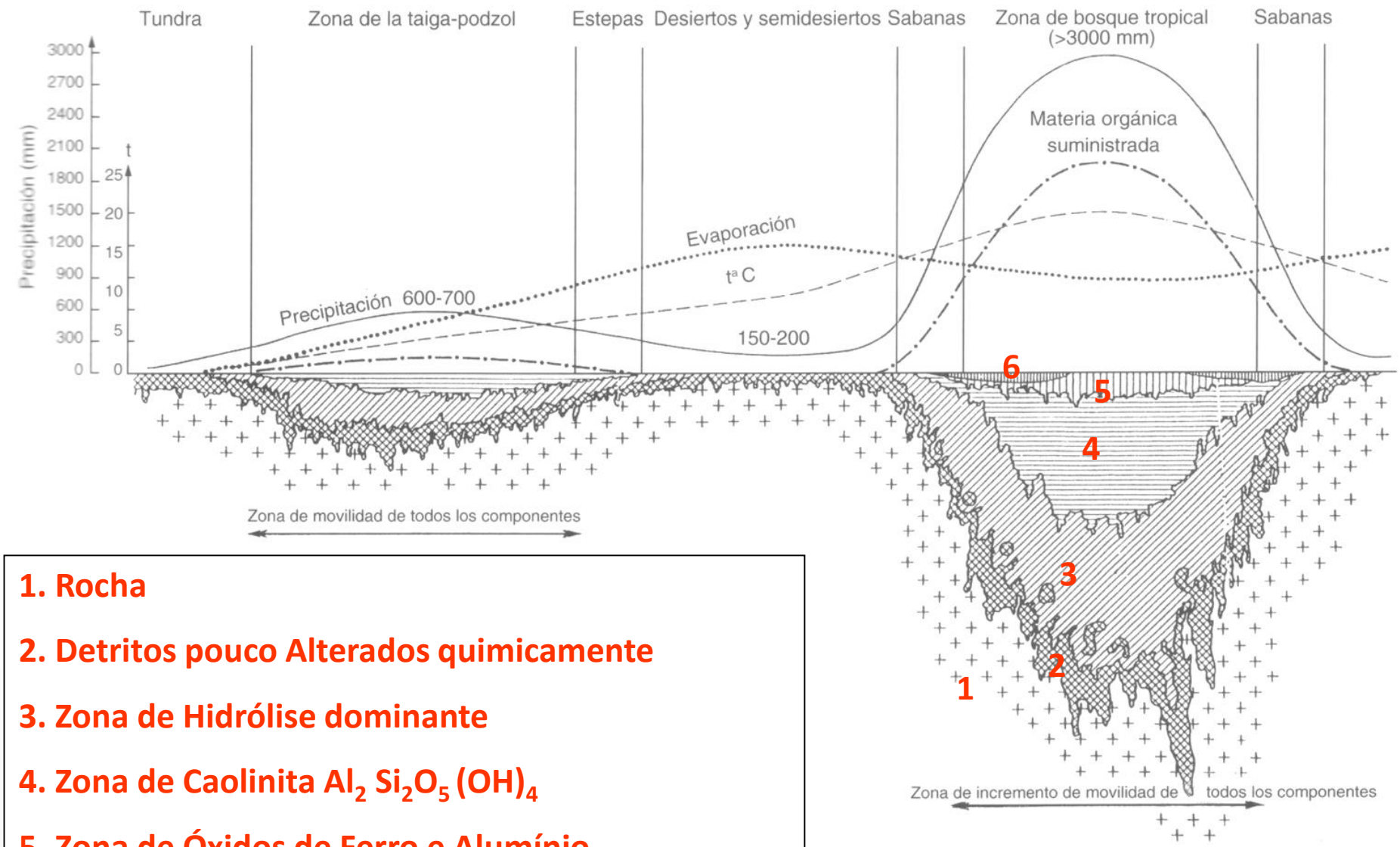
D. INTEMPERISMO

“ É a quebra e a alteração dos minerais perto da superfície da Terra para produtos que estão mais em equilíbrio com as novas condições físico-químicas impostas” (Ollier, 1969)

“As formações resultantes são denominadas regolitos, saprolitos ou alteritos.”

D. INTEMPERISMO





1. Rocha
2. Detritos pouco Alterados quimicamente
3. Zona de Hidrólise dominante
4. Zona de Caolinita $Al_2\ Si_2O_5\ (OH)_4$
5. Zona de Óxidos de Ferro e Alumínio
6. Ferricrete

(Straknov, 1967)

Quadro 5 — *Relação dos estágios de intemperização e os minerais correspondentes* (*Jackson* et al., 5)

ESTÁGIO DE INTEMPERIZAÇÃO	Minerais (menor que 2μ) encontrados nos vários estágios
1	Gipsita
2	Calcita
3	Olivina e hornblenda
4	Biotita
5	Albita
6	Quartzo
7	Muscovita
8	Vermiculita
9	Montmorilonita
10	Caulinita e alofana
11	Gibbsita
12	Hematita
13	Anatásio e rutilo

Quadro III — *Análise química de diabásio de Campinas e do material alterado* (*Melfi*, 10).

ÓXIDOS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA — PORCENTAGEM EM PESO			
	Rocha Fresca I	Rocha Alterada II	Rocha Alterada III	Rocha Alterada IV
SiO_2	47,00	44,20	27,60	19,60
Al_2O_3	14,80	15,10	24,60	28,80
Fe_2O_3	1,72	13,50	21,80	24,00
FeO	13,21	5,60	3,40	2,58
MgO	5,30	4,10	2,07	1,40
CaO	10,40	7,20	2,64	0,70
Na_2O	2,24	1,40	0,14	0,10
K_2O	0,78	0,70	0,16	0,93
H_2O	0,35	4,50	11,60	17,40
Outros	4,20	3,80	6,03	4,35
Total	100,00	100,10	100,04	99,86
Densidade Aparente	3,08	2,86	1,90	1,61

D. INTEMPERISMO

FATORES CONTROLADORES

A. Material Parental – Rocha

B. Clima (Umidade e Temperatura)

C. Fauna e Flora

D. Topografia (Relevo)

E. Tempo

D. INTEMPERISMO

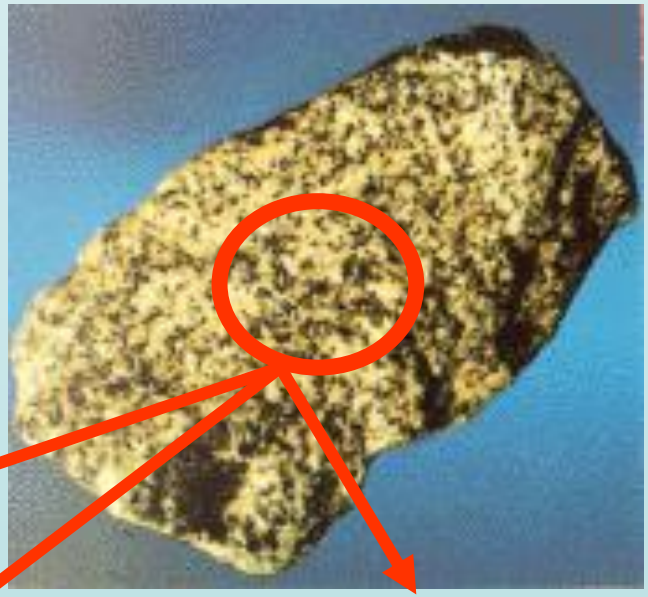
MATERIAL PARENTAL

A alteração intempérica das rochas depende da natureza dos minerais.

Estabilidade dos Minerais	Taxa de intemperismo
	Lento
Iron oxides (hematite)	
Aluminum hydroxides (gibbsite)	
Quartz	
Clay minerals	
Muscovite mica	
Potassium feldspar (orthoclase)	
Biotite mica	
Sodium-rich feldspar (albite)	
Amphiboles	
Pyroxene	
Calcium-rich feldspar (anorthite)	
Olivine	
Calcite	
Halite	
Menos estável	Rápido

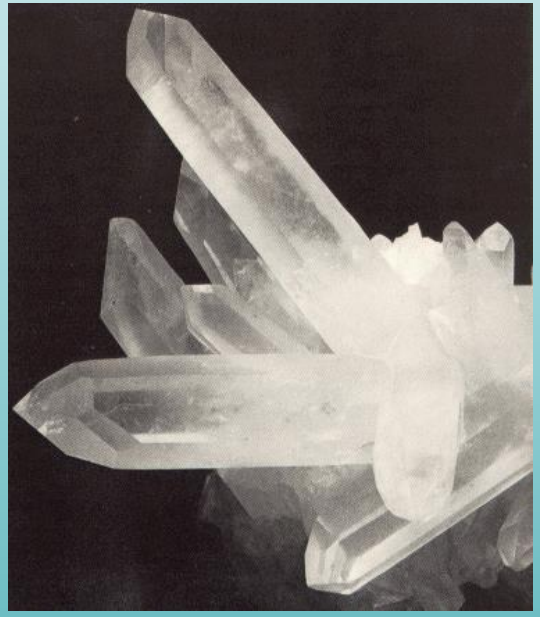
TABELA 6.1 — Variação da composição química durante a intemperização nas zonas temperada e tropical, em porcentagem do peso (WARTH).

Componentes	Clima temperado DOLERITO South Staffordsture Inglaterra		Clima tropical DOLERITO Bombaim - Índia	
	Rocha inalterada	Argila sobreposta (solo)	Rocha inalterada	Argila sobreposta (solo)
SiO_2	49,3	47,0	50,4	0,7
Al_2O_3	17,4	18,5	22,2	50,5
Fe_2O_3	2,7	14,6	9,9	23,4
FeO	8,3	—	3,6	—
MgO	4,7	5,2	1,5	—
CaO	8,7	1,5	8,4	—
Na_2O	4,0	0,3	0,9	—
K_2O	1,8	2,5	1,8	—
H_2O	2,9	7,2	0,9	25,0
TiO_2	0,4	1,8	0,9	0,4
P_2O_5	0,2	0,7	—	—
Total	100,4	99,3	100,5	100,0



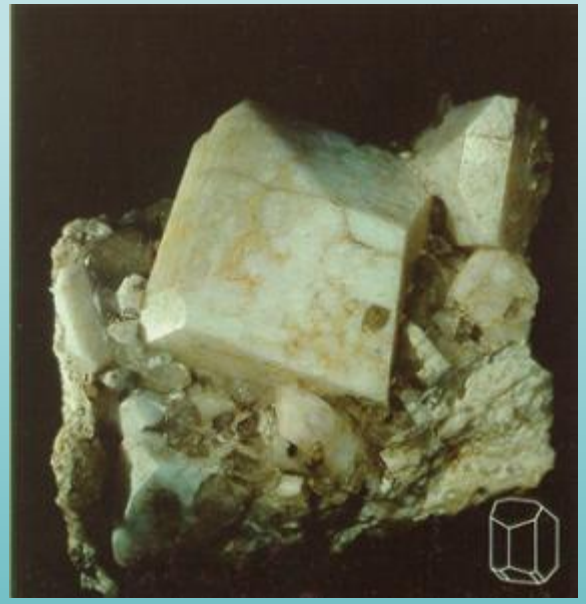
Biotita

$K(Mg, Fe)_3 (OH, F)_2 Si_3AlO$



Quartzo

SiO_2



Feldspato Potássico (Ortoclásio)

KSi_3AlO_8

D. INTEMPERISMO

- **CLIMA:** Influência no tipo e na velocidade do intemperismo
- Clima quente e úmido: Intensa e rápida decomposição das rochas e conseqüentemente manto de alteração mais espesso com abundância de minerais secundários e pobres em cátions básicos (Ca, Mg e K)

D. INTEMPERISMO

Clima árido e/ou muito frio:

O manto de alteração é normalmente pouco espesso, contém menos argila e mais minerais primários.

Neossolo – Aparados da Serra (RS)

D. INTEMPERISMO

Quanto maior a disponibilidade de água (pluviosidade total) e mais frequente for a sua renovação (distribuição das chuvas), mais completas serão as reações químicas do intemperismo.

“A cada 10ºC de aumento de temperatura, a velocidade das reações químicas aumenta de duas a três vezes.”

D. INTEMPERISMO

Cobertura vegetal – Flora

As raízes geram intemperismo físico durante o seu crescimento

Fonte: Adaptado de *A Terra*. São Paulo, Ática, 1996 (Série Atlas Visuais).

D. INTEMPERISMO

FAUNA E FLORA: Ratos, minhocas, aracnídeos, bactérias e fungos
Cavam buracos profundos, trazendo, geralmente, material do subsolo para a superfície.

Termitas

D. INTEMPERISMO

Fig. 20.5 Termitero turriculado inactivo de unos 6 m de altura en la sabana arbórea al este de Bouaké (Costa de Marfil).

❖O número de térmitas pode alcançar 9 milhões/ha na Costa do Marfim e esse número tende a diminuir com a latitude e a altura.

Fig. 20.4 Termiteros en montículo en la sabana de Masai Mara (Kenia).

D. INTEMPERISMO

TOPOGRAFIA: Regula a velocidade do escoamento superficial das águas pluviais. Controla a quantidade de água que se infiltra nos perfis.

As reações químicas do intemperismo ocorrem mais intensamente nos compartimentos do relevo onde é possível boa infiltração da água, percolando por tempo suficiente.

D. INTEMPERISMO

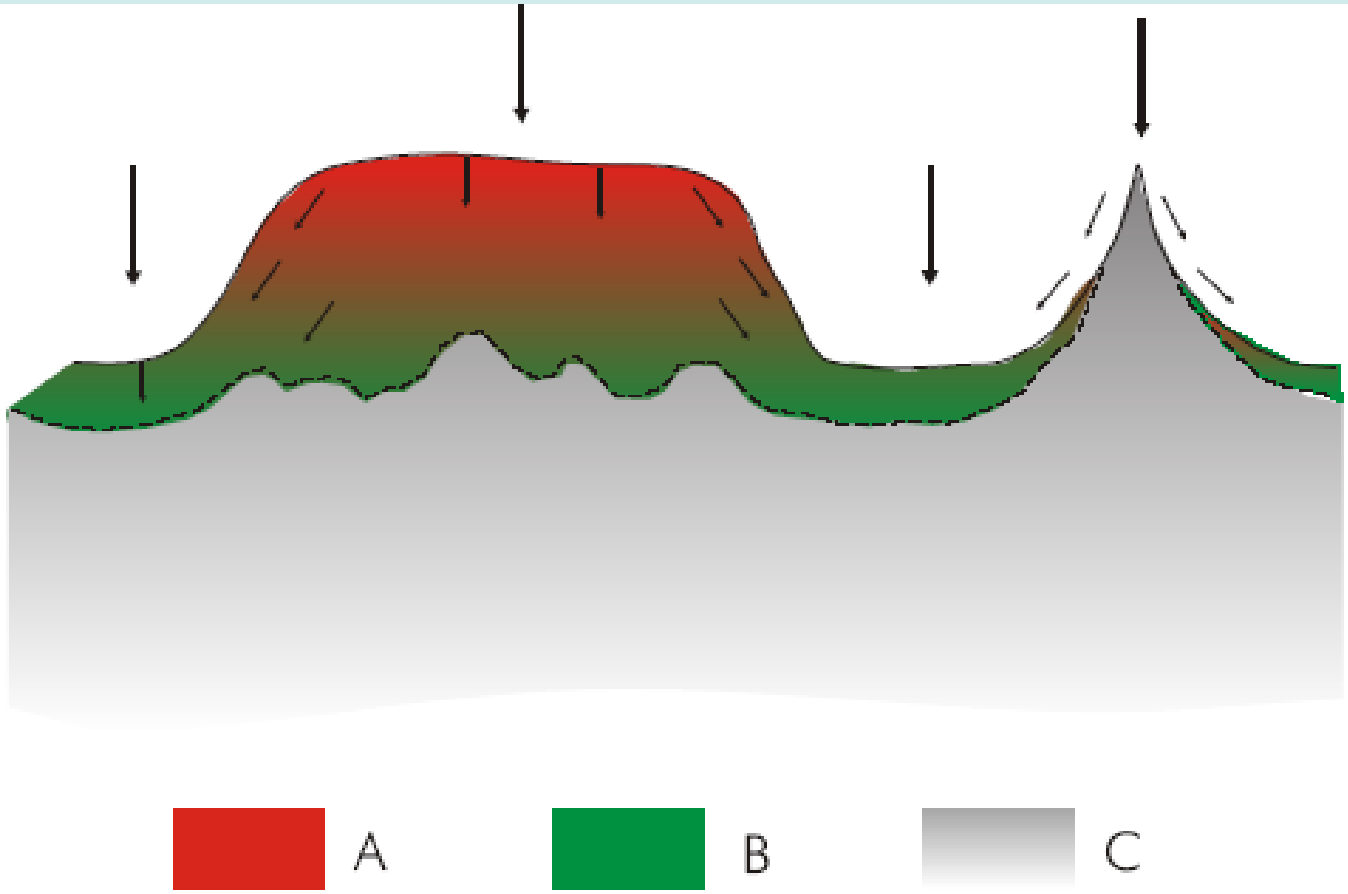


Fig. 8.21 Influência da topografia na intensidade do intemperismo.
Setor A: Boa infiltração e boa drenagem favorecem o intemperismo químico.
Setor B: Boa infiltração e má drenagem desfavorecem o intemperismo químico.
Setor C: Má infiltração e má drenagem desfavorecem o intemperismo químico e favorecem a erosão.

Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI - São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

D. INTEMPERISMO

TEMPO: O tempo necessário para intemperizar uma determinada rocha depende dos outros fatores que controlam o intemperismo, principalmente da suscetibilidade dos constituintes minerais e do clima.

Em condições de intemperismo pouco agressivas, é necessário um tempo mais longo de exposição às intempéries para haver o desenvolvimento de um perfil de alteração.

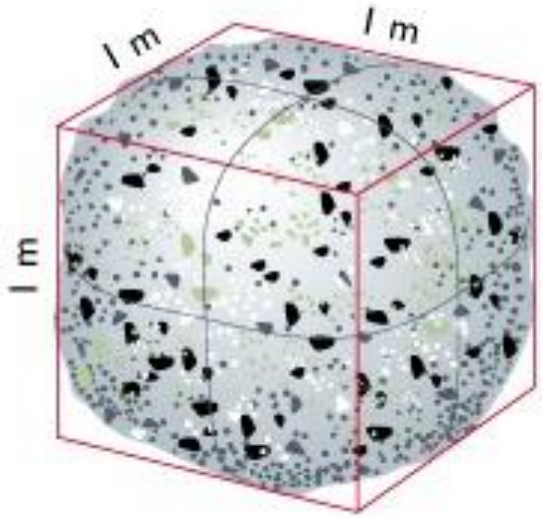
Exemplos:

- **Escandinava – 10.000 anos – poucos mm**
- **Índia – 4.000 anos – 1,8 m**
- **Estudos revelam profundidades de 150m na Austrália e de 100m na Nigéria e na América do Sul (Colômbia).**

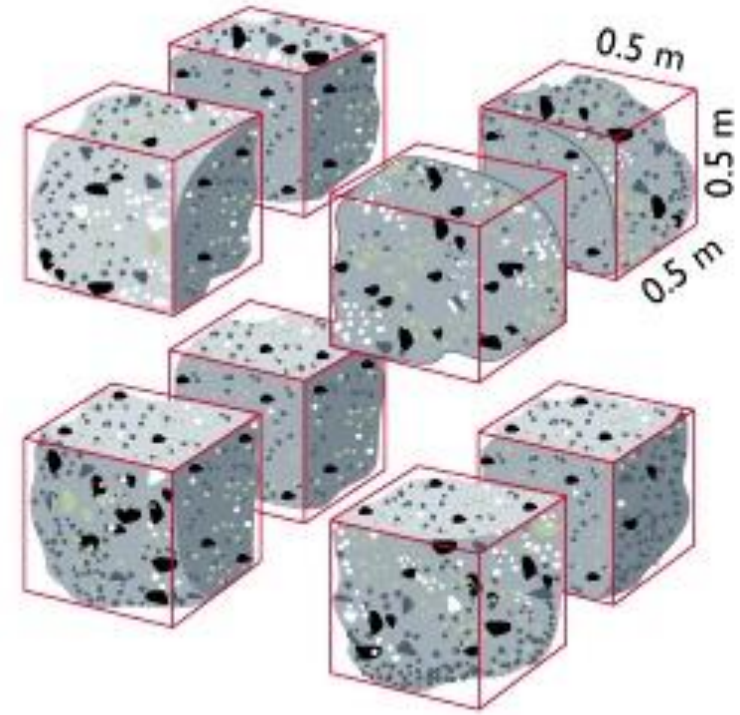
Serra dos Carajás (PA)
17 7 2003

Intemperismo Físico:

Todos os processos que causam desagregação das rochas com separação dos grãos minerais, antes coesos, transformando a rocha inalterada em material descontínuo e friável.



Quebra ao longo de fraturas



Matacão: 1 bloco/ 1m de lado

Volume: 1m³

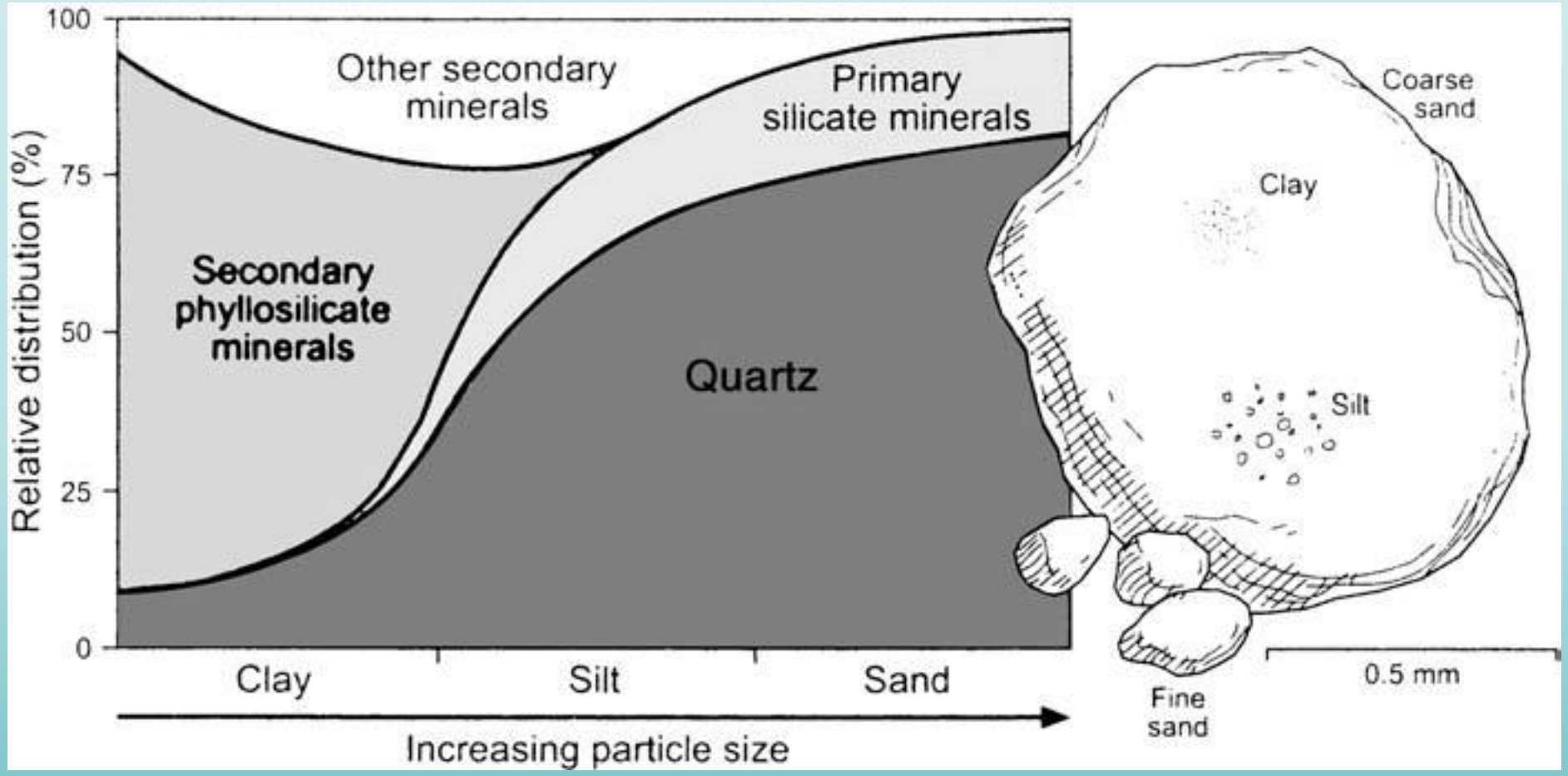
Superfície (área)=6m²

8 blocos/ 0.5m de lado

Volume: (0.5)³ x 8 = 1m³

Superfície (área) = 12m²

D. INTEMPERISMO



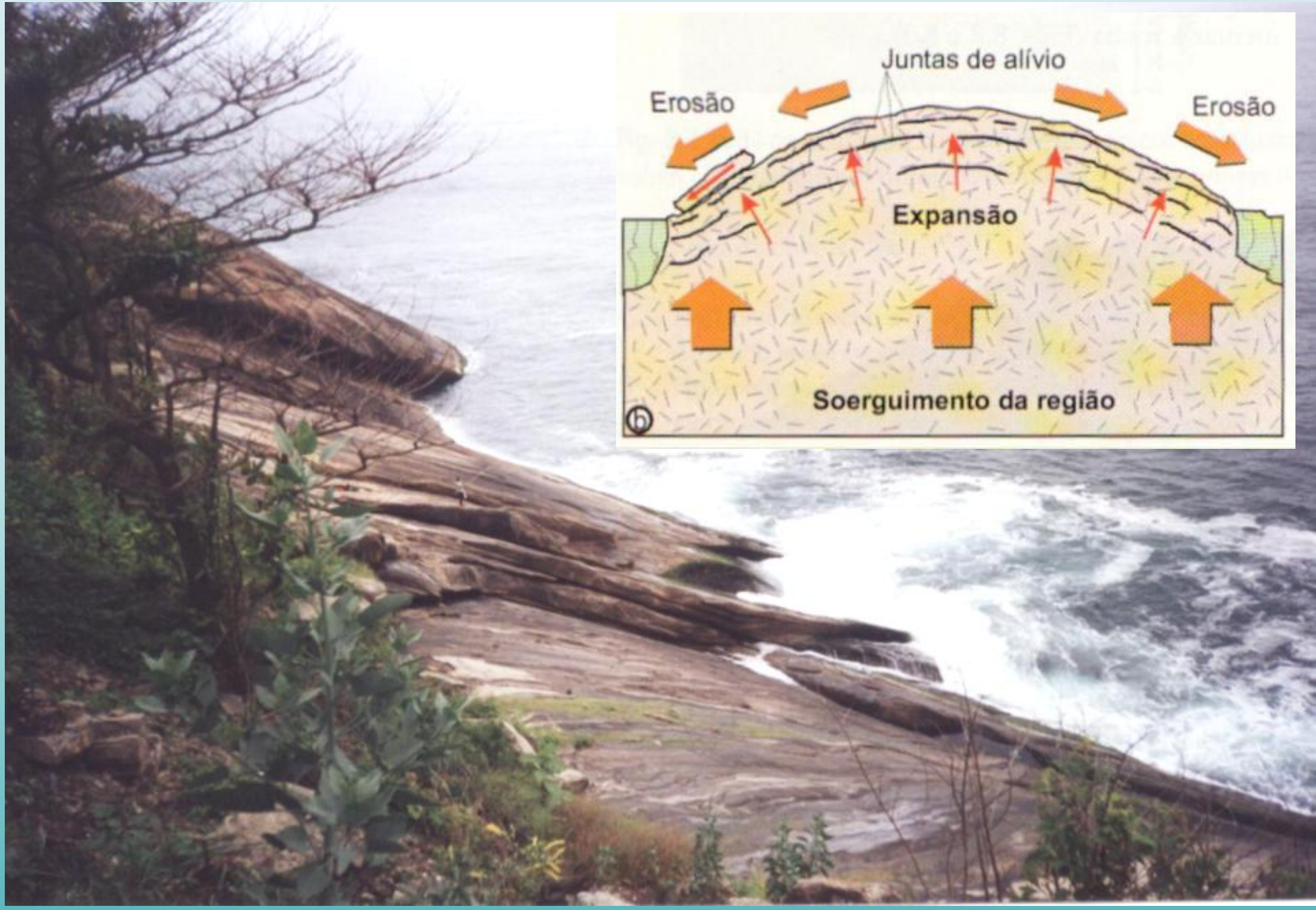
D. INTEMPERISMO

Desplacamento

As partes mais profundas dos corpos rochosos ascendem a níveis crustais mais superficiais

↓

Com o alívio da pressão, os corpos rochosos expandem, causando a abertura de fraturas grosseiramente paralelas à superfície ao longo da qual a pressão é aliviada.


Juntas de alívio
Erosão
Erosão
Expansão
Soerguimento da região
b

Intemperismo Químico

O ambiente da superfície da Terra, caracterizado por pressões e temperaturas baixas e riqueza de água e oxigênio, é muito diferente daquele onde a maioria das rochas se formaram.

Quando as rochas afloram à superfície da Terra, seus minerais entram em desequilíbrio e, através de uma série de reações químicas, transformam-se em outros minerais, mais estáveis nesse novo ambiente.

O principal agente do intemperismo químico é a ÁGUA da chuva, que infiltra e percola as rochas.

Intemperismo Químico

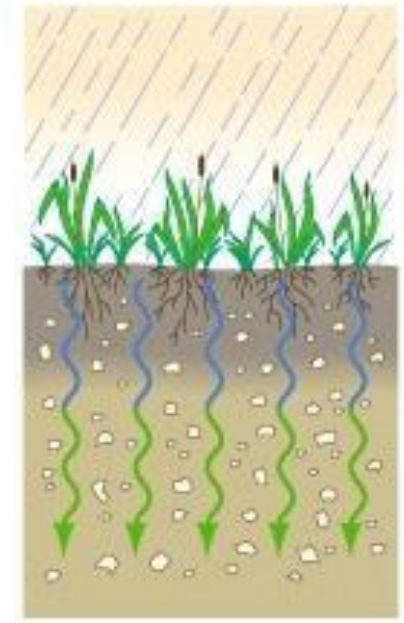
Intemperismo químico das rochas

- Minerais da rocha
- Estrutura
- Grau de fraturamento
- Clima
- Porosidade
- pH

CAFÉ

Água quente passa pelos grãos de café

ALTERAÇÃO DO FELDSPATO



Água passa pelo solo altera o feldspato da rocha em caulinita

Água do solo contendo substâncias do feldspato

Superfície + **água** → **Café** + **Resíduos (solução)**

K-feldspato + **água** → **K^+** + **caulinita (argilomineral)**

Mineral Primário + Solução de Ataque → Mineral Secundário + Solução de Percolação

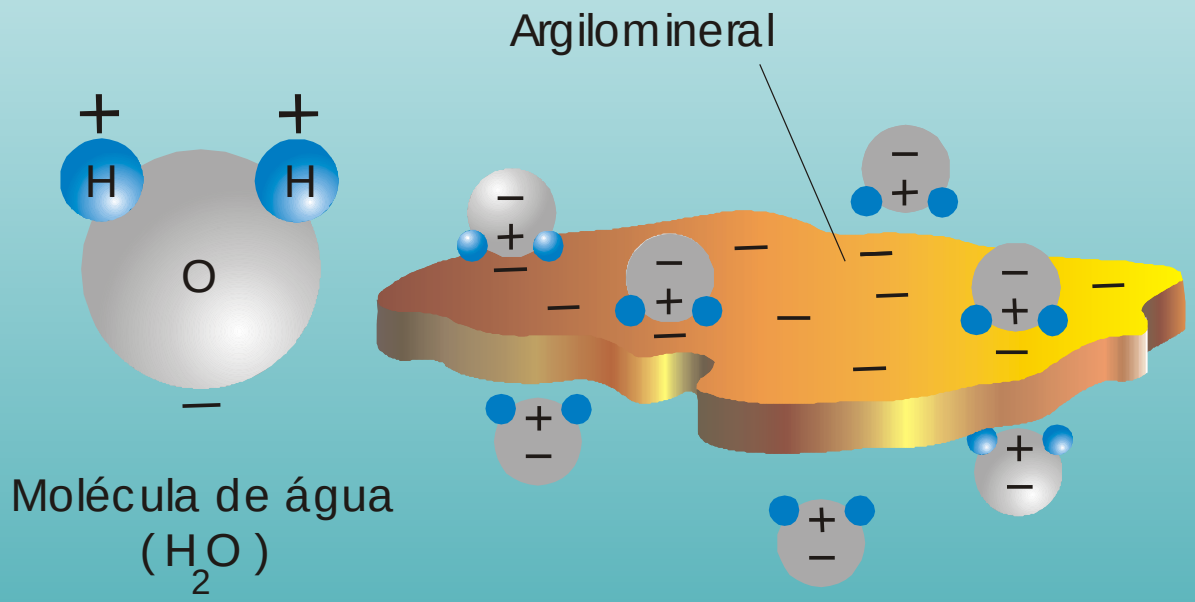
INTEMPERISMO QUÍMICO: Principais Tipos

a) Dissolução ←
b) Hidrólise ←
c) Oxidação
d) Redução
e) Hidratação
f) Carbonatação
g) Quelação

Hidratação:

- Entrada de H_2O na estrutura dos minerais
- destrói a estrutura mineral
- libera cátions e ânions: removidos pela drenagem e/ou recombinados em novos minerais

Anidrita + água = gipsita



DISSOLUÇÃO

Processo em que os minerais são solubilizados dependendo da quantidade de água que passa na superfície da partícula e da solubilidade do sólido (pH)

Ordem de SOLUBILIDADE (Polynov, 1937)*

$$\boxed{Ca^{+2} > Na^{+} > Mg^{+2} > K^{+}} > Si^{+4} > Al^{+3} = Fe^{+3}$$

Muito mais solúveis

*Polynov, B.B. The cycle of weathering, London, Thomas Murby (1937) 220p.

HIDRÓLISE

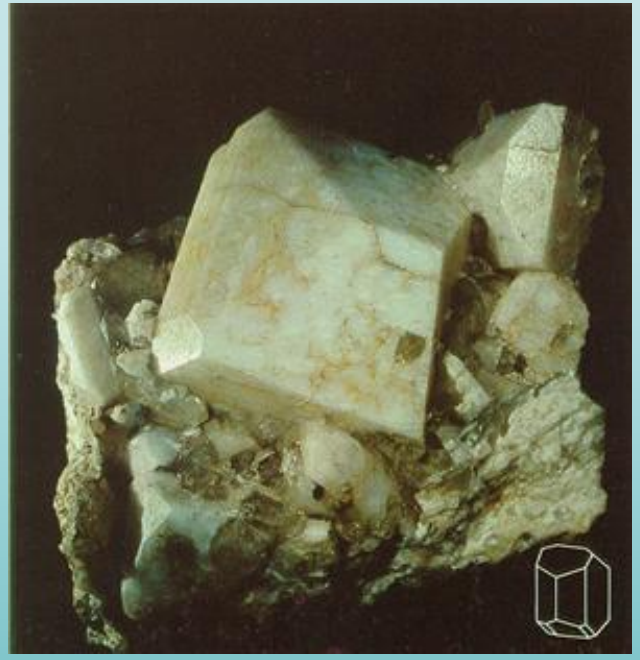
Principal processo na “quebra” dos minerais primários. (Silicatos!)

Reação entre os íons H^+ e OH^- da água (H_2O) com os íons dos minerais da rocha.

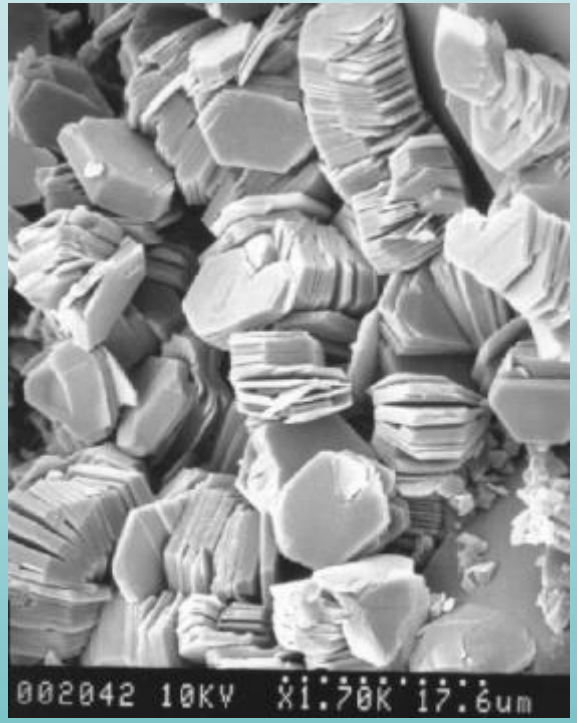
Os íons H^+ se combinam com os silicatos de alumínio hidratados, dando origem aos argilominerais.

$$2KAlSi_3O_8 + 2H^+ + 9H_2O \rightarrow Al_2\,Si_2O5\,(OH)_4 + 2K^+ + 4H_4SiO_4$$

Feldspato ➔ **Caulinita**



➔



Intemperismo Químico e Físico

Destruição das estruturas cristalinas (silicatos) pelo intemperismo e liberação de cátions
(Ca^{+2}, Na^{+}, Mg^{+2}, K^{+}, Si^{+4}, Al^{+3}, Fe^{+3})

↓ ↓

Elevada solubilidade
LIXIVIADOS

Baixa solubilidade
Resíduos e Reestruturação em outros minerais

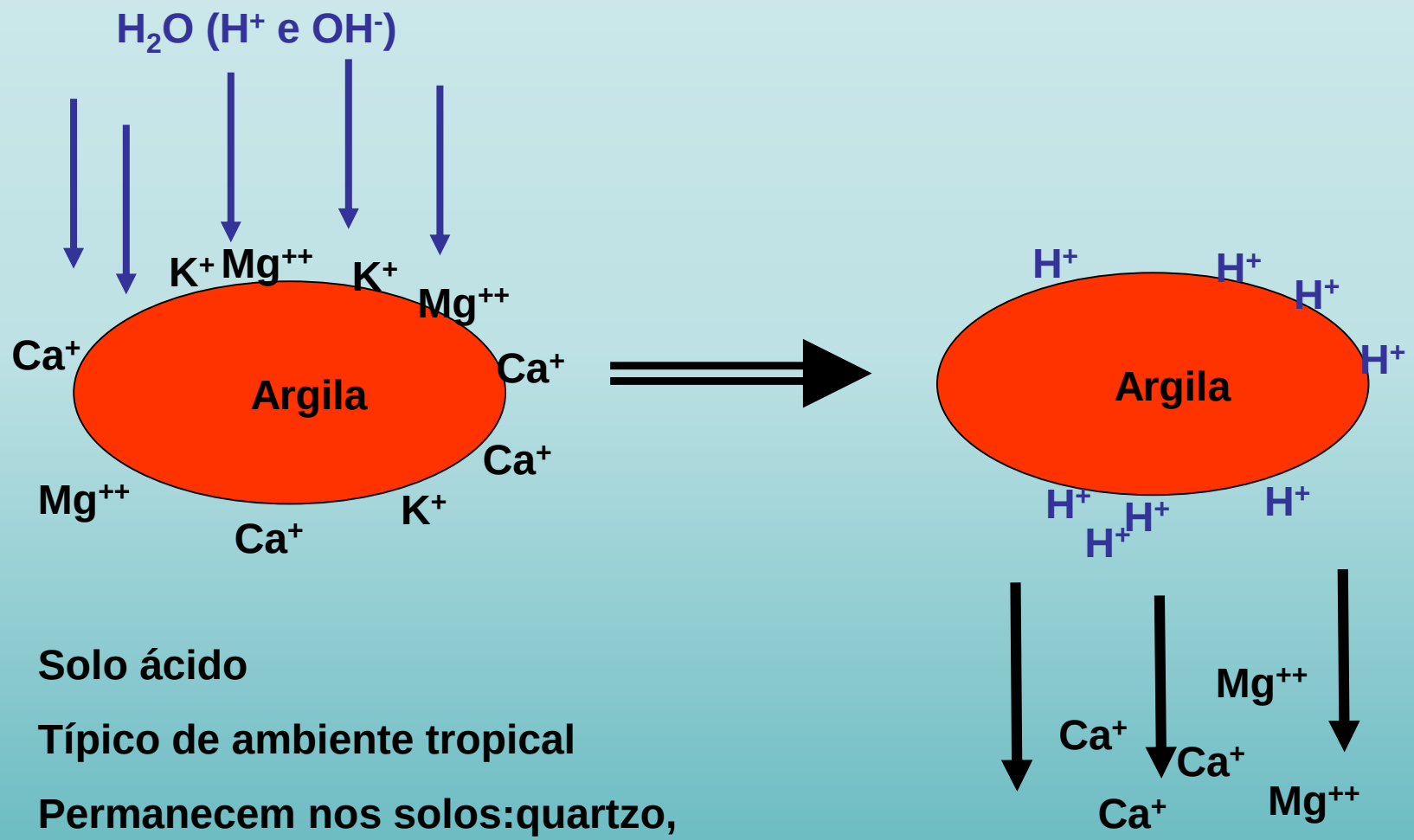
↓

Argilominerais, Quartzo e Óxidos e Hidróxidos de Fe e Al

←

CROSTAS LATERÍTICAS

LIXIVIAÇÃO: Remoção as bases (Ca^+, K^+, Mg^{++}) mantidas como íons trocáveis pelo complexo de argila (argilominerais)



Solo ácido

Típico de ambiente tropical

Permanecem nos solos:quartzo, caulinita e hidróxidos de Fe e Al

Serra de Carajás (PA)
20 7 2003

Serra de Carajás (PA)
19 7 2003

19 7 2003