



Física do Solo
CCR/UFSM

Fatores de formação do solo

J. Miguel Reichert, PhD
(Prof. Ricardo Dalmolin)



2. Solos florestais e desenvolvimento de vegetação

O solo como corpo natural

Fatores e processos de formação do solo

Propriedades do solo e desenvolvimento da vegetação

Tipos de solos associados com ecossistemas florestais

24.07.2004

Conceito de solos

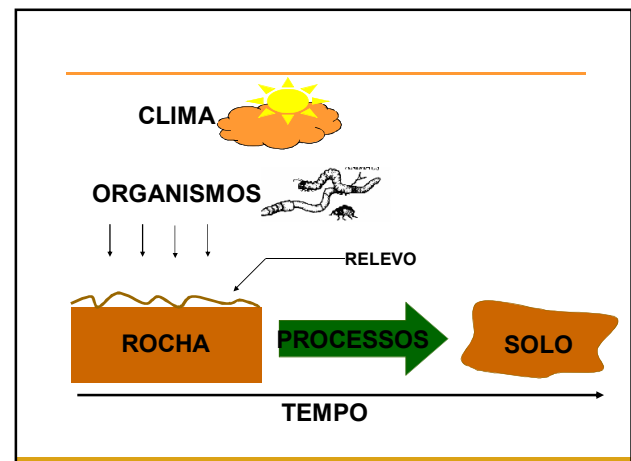
Solos são corpos naturais, ocupam porções na superfície terrestre, suportam plantas e as edificações do homem e apresentam propriedades resultantes da atuação integrada do **clima** e dos **organismos**, atuando sobre o **material de origem**, condicionado pelo **relevo**, durante um período de **tempo** (Soil Survey Staff, 1951).

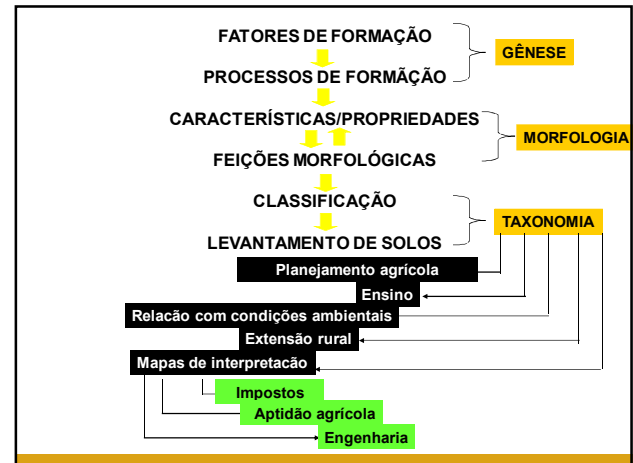
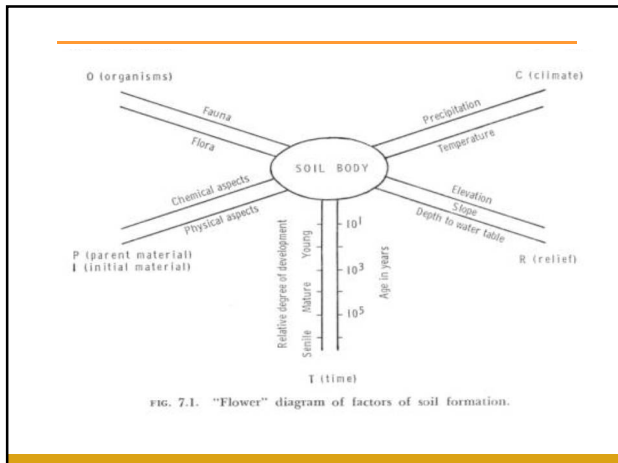
A teoria dos fatores de formação do solo tem por idéias principais:

- O solo não é apenas o produto de alteração das rochas, tampouco um amontoado de partículas orgânicas e inorgânicas;
- O solo possui zonas de acumulação e de perdas, chamadas horizontes, que não existem no material de origem;
- O solo possui um perfil e um aumento de anisotropia comparado com o material de origem.

Histórico

- Dokuchaev → os solos formam-se a partir dos fatores ambientais (material de origem, clima, relevo e organismos)
- Jenny (1941) → $s = f(cl, o, r, mo, t, \dots)$
- Young (1976) → fatores ambientais





Material de origem

Material de origem

- Material do qual o perfil do solo foi derivado. Pode ser de origem mineral ou orgânica.
- Representa o estado inicial do sistema solo → tempo zero.

Exemplos:

Rochas alteradas subjacentes
Sedimentos coluviais ou aluviais
Solo de pedogênese anterior

Material de origem

Qual a relação do solo com a rocha subjacente?

- pode ter uma relação estreita;
- relação pequena ou inexistente.

Exemplos:

Solo desenvolvido a partir de material depositado, diferente da rocha subjacente
Rocha subjacente heterogênea
etc...

Material de origem

Classificação do material de origem

1. Formado no local da rocha (residual)
2. "Transportado"
 - Gelo (loess)
 - Gravidade (colúvio)
 - Água (aluvial)
 - Vento (loess, areia)
3. Acúmulo de plantas (orgânico)

Material de origem



Material de origem

Como é possível determinar o material de origem?

Morfologia do solo

- cor
- textura
- fração grosseira
- linhas de pedras

Auxílio de análises

- granulometria
- mineralogia

Material de origem

Material de origem X Formação do solo

A formação do solo vai depender, entre outros fatores, das características do material:

1. grau de consolidação,
2. granulometria ou textura,
3. composição química ou mineralógica,
4. estrutura

Material de origem

1.1. Material de origem orgânico

- Origina solos orgânicos;
- É constituído de produtos da decomposição de restos vegetais e animais atuais;
- Possuem menor representatividade do que solos minerais;
- Desempenham uma importante função ecológica, como por exemplo, regulando a disponibilidade de água, funcionando como uma esponja para o sistema.

Material de origem

1.2 Material de origem mineral

- A maioria dos solos com aptidão agrícola e florestais são de origem mineral;
- Materiais que não satisfazem as condições para material orgânico;
- Rochas ou materiais reutilizados;
- Quanto mais intemperizado é o solo, menos as características do material de origem são preservadas;
- A intensidade com que o intemperismo decompõe as rochas, depende da condição da rocha e da intensidade e tipo do intemperismo (clima: $t^{\circ}\text{C}$ e umidade).

Material de origem

O que é ROCHA?

É um agregado natural e multigranular formado de um ou mais minerais.

Qual a diferença entre rocha e mineral?

As rochas não possuem uma estrutura homogênea como nos minerais que são físico-químicos constantes/definido. Porém, um determinado mineral pode caracterizar uma rocha.

Material de origem

ROCHAS ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS

Correspondem a 80% do planeta.
Derivada da solidificação do magma.

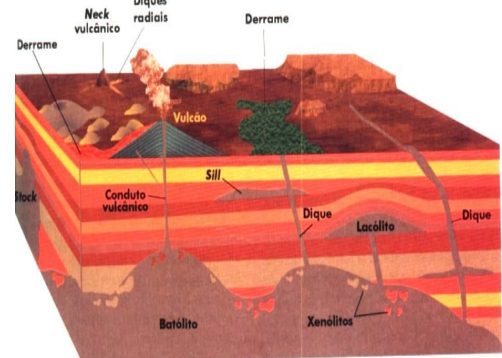
- **Intrusivas:**

Cristalização de magma sem atingir a superfície.

- **Extrusivas:**

Extravasamento de matéria. Ex.: lavas

Material de origem



Material de origem

ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS

Principal constituinte das
rochas ígneas → silício

Ácidas: > 65% SiO_2

Intermediárias: entre 55 a 65% SiO_2

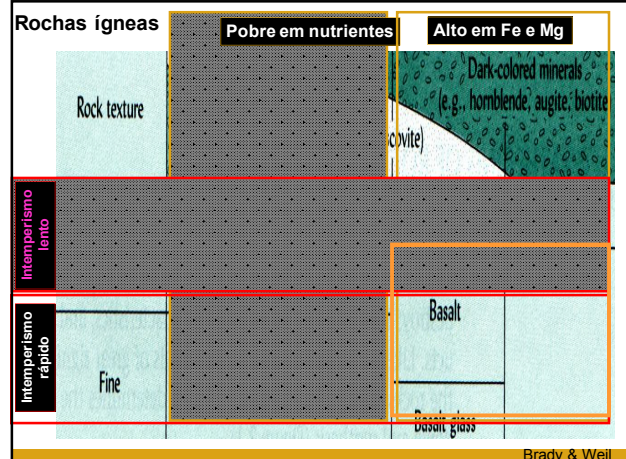
Básicas: entre 35 e 55% SiO_2

Ultrabásicas: < 35% SiO_2

Máficas → rochas ígneas com baixo teor de SiO_2
teores elevados de Fe e Mg (olivinas, piroxênios anfibólios)

Félsicas → % SiO_2 > 60%, coloração clara

Rochas ígneas



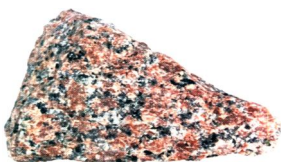
Material de origem

ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS

intrusivas ou plutônicas

Resfriamento lento

Minerais grandes



extrusivas ou vulcânicas

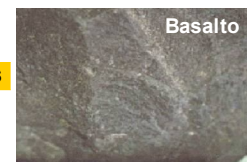
resfriamento rápido

minerais pequenos



Material de origem

ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS



Mineralogia principal - constituída essencialmente por piroxênios e plagioclásio. Pode incluir olivina, quartzo, feldspato potássico, etc.

Minerais acessórios - óxidos de ferro (magnetita), apatita, sulfetos, hornblenda, etc. biotitas.

Estrutura - vesicular, amigdaloidal, compacta, etc.

Material de origem

ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS

Solos

Latossolos
Nitossolos
Neossolos
Chernossolos
Argissolos
Cambissolos

Material de origem

ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS



Mineralogia principal - feldspato potássico, plagioclásio e quartzo, além de biotita e podendo conter hornblenda. Alguns granitos podem conter piroxênios e anfibólios; em outros pode ocorrer granada, muscovita e turmalina.

Minerais acessórios - apatita, magnetita, ilmenita, zircão, titanita, rutilo, turmalina.

Material de origem

ROCHAS SEDIMENTARES

Deposições de materiais resultantes da desagregação, decomposição e retrabalhamento de rochas existentes e de origens várias.

Formam-se por acumulação de:

- Minerais ou fragmentos de rochas desintegrados;
- Restos orgânicos;
- Minerais precipitados em meio sedimentar.

Material de origem

Classificação das rochas sedimentares

• Detriticas ou clásticas

Classificadas a base de granulometria

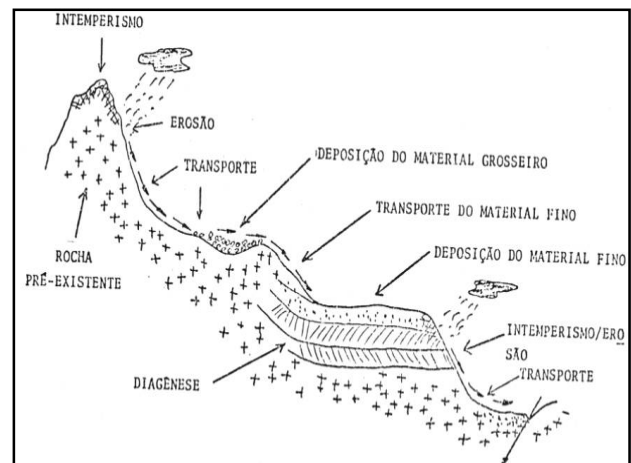
• Químicas

Classificadas a base da constituição química

Material de origem

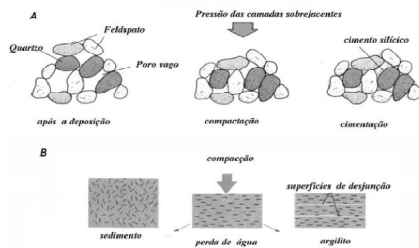
Etapas de formação rochas sedimentares:

- Alteração
- Erosão
- Transporte
- Deposição
- Diagênese-litificação:
compactação e cimentação



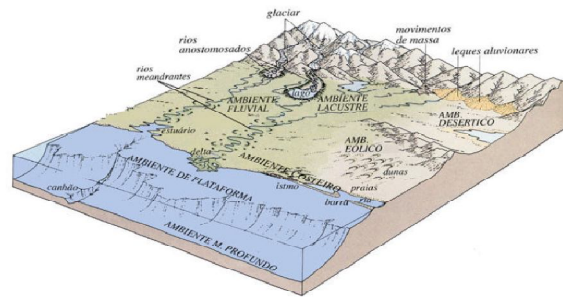
Material de origem

Diagenese das rochas sedimentares



Material de origem

Ambientes sedimentares



Material de origem

Classificação das rochas sedimentares detriticas

Rocha consol.	Sedimento	ϕ
Argilito/xisto	Argila	< 0.001 mm
Silte	Siltito	.002-0.1 mm
Arenito	Areia	.01-2 mm
Conglomerado	Seixo	>2mm
Brecha		

Material de origem

Brecha



Conglomerado



Material de origem

Arenito



Foto da rocha

Fotomicrografia

Material de origem



Argilitos → São rochas com granulometria de argila maciças e compactas, sendo compostas por argilas litificadas (argilas compactadas) e exibindo orientação dos minerais foliados.

Material de origem



Siltito → formado pelo acúmulo de sedimentos de granulometria silte, variando de 0,002 a 0,06 mm, sendo composto principalmente por quartzo, feldspatos, micas e argilas.

Material de origem



Folhelhos → rochas que possuem grãos de tamanho argila. Diferenciam-se dos argilitos porque possuem lâminas finas e paralelas esfoliáveis, enquanto os argilitos apresentam as argilas com aspecto mais maciço.

Material de origem

Exemplos Arenito

UM Bom Retiro – Argissolo Vermelho distrófico arênico
UM São Pedro – Argissolo Vermelho distrófico arênico
UM Tupanciretã – Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico

Exemplos Siltito

UM Pirai – Luvissoilo Hipocrômico órtico típico
UM Ponche Verde – Chernossolo Argilúvico órtico vértico
UM Aceguá – Vertissolo Ebânico órtico chernossólico

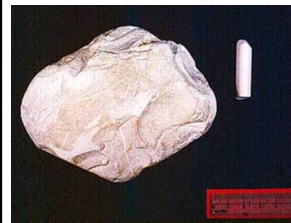
Exemplo Folhelho

UM São Gabriel – Planossolo Háplico eutrófico típico

Exemplo Conglomerado

Neossolos Flúvicos

Material de origem



Calcários → rochas formadas a partir do mineral calcita, cuja composição química é o carbonato de cálcio.

Solos → depende da composição da rocha
Neossolos Regolíticos, Chernossolos, Argissolos, Latossolos

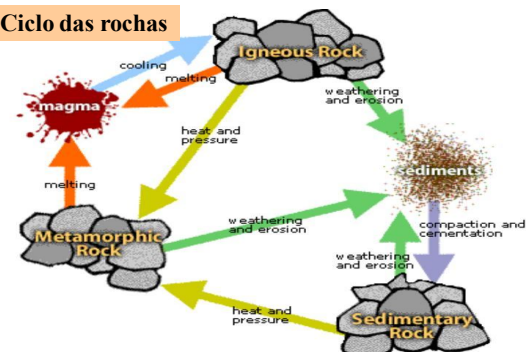
Material de origem

ROCHAS METAMÓRFICAS

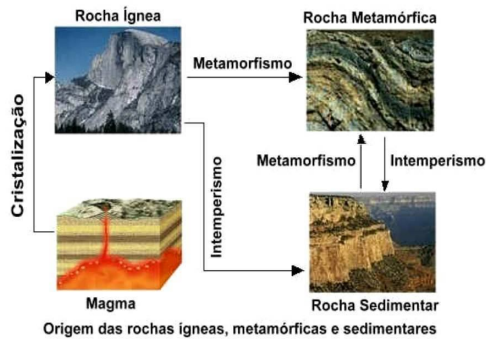
Rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas sofrem transformação na composição mineralógica, estrutura e textura devido ao processo de recristalização. Sofreram ação do calor, ação química e pressão.

Material de origem

Ciclo das rochas



Material de origem



Material de origem



Gnaisse

Originam em geral solos com teores elevados de areia grossa em relação a areia fina
Neossolos Litólicos
Cambissolos
Argissolos
Latossolos

Mineralogia principal - mais de 20% de feldspato potássico, plagioclásio e ainda quartzo e biotita

Constituintes menores - clorita, anfibólio, granada, carbonato, epidoto, etc.

Principais rochas pré-metamórficas - Granito, micaxistos...

Material de origem



Ardósia

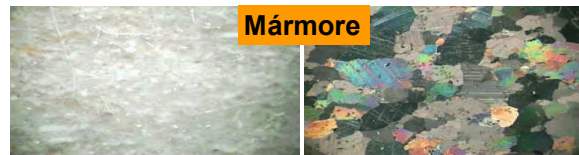
Solos

Neossolos Litólicos
Cambissolos

Mineralogia principal - sericita, clorita, quartzo

Principais rochas pré-existent - Folhelhos, argilitos ...

Material de origem



Mármore

Mármore rosado fino (dolomita)

Fotomicrografia

Mineralogia principal - calcita, dolomita

Constituintes menores - quartzo, pirita, anfibólios, diopsídio, etc.

Composição Química - carbonática (calcítica a magnésiana)

Principais rochas metaderivadas - Calcários e dolomitos.

Material de origem



Quartzito

Solos

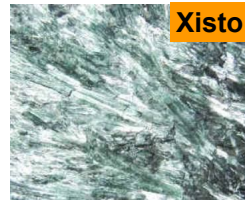
Neossolos Litólicos
Cambissolos

Mineralogia principal - quartzo

Constituintes menores - muscovita, biotita, sericita, turmalina

Principal rocha pré-metamórfica - Arenito

Material de origem



Xisto

Exemplo Solo

UM Cambaí

Luvissolo Crômico órtico típico

Mineralogia principal - varia na dependência da composição química ou da rocha pretérita; silico-aluminosa: quartzo, muscovita, biotita, granada, etc.; silico-magnésiana: clorita, talco, serpentina, etc..., básica: clorita, hornoblenda, albita, etc.

Principais rochas pré-metamórficas - Rochas ígneas ou sedimentos argilosos.

Material de origem

Influência da composição da rocha na composição de solos do RS

Rocha	Composição Rocha				Composição do solo			
	Ca	K	Fe	mineralogia	Argila g kg ⁻¹	Fe (%)	Kt ppm	mineralogia
Arenito PVA	0,1	0,5	2,0	Quartzo feldspato	20	1	2030	Kt, Qz Gt, Hm
Granito PVA	1,6	3,6	3,0	Mica Feldspato-K quartzo	50	3	10750	Kt, Qz, Mi Gt, Hm
Basalto Nitossolo	4,6	1,2	9,0	Piroxênios Anfibólios Plagioclásios	40	14	2100	Kt, Gt, Hm

Kampf, 1997

Material de origem

Solos do RS

Porção Norte do estado

Rochas magmáticas extrusivas (Formação Serra Geral), com predomínio de basalto. As diferenças entre os solos estão mais associadas ao clima..

Depressão Central Gaúcha

Solos sedimentares (Bacia do Paraná). Região mais antiga do que a anterior. Vales suavizados pela ação erosiva dos rios dando origem as planícies conhecidas como várzeas.

Escudo Sul Rio Grandense

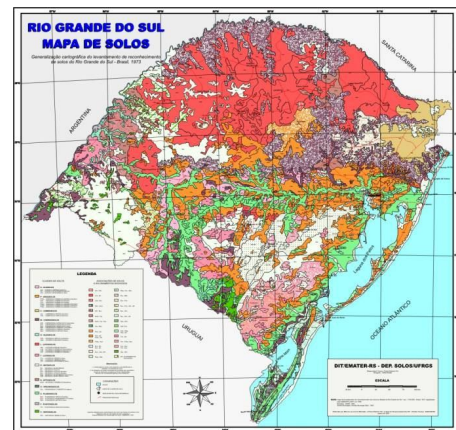
Provincia mais antiga do estado. Constituído predominantemente por rochas intrusivas e metamórficas, mais resistentes.

Planície costeira

Domínio dos sedimentos marinhos. Pouca importância agrícola.

Material de origem

Solos do RS



Relevo

Relevo

Qual a influência do relevo na formação do solo?

- Profundidade do solo
- Teor de matéria orgânica no perfil
- Drenagem do perfil
- Cor do solo
- Grau de diferenciação do perfil
- Temperatura
- Características do material inicial
- etc...

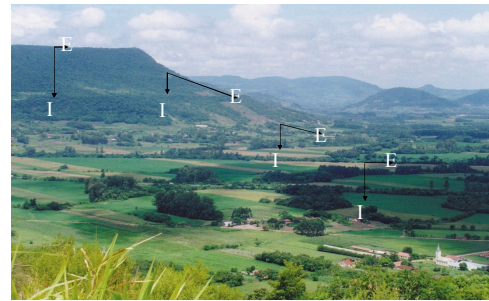
Relevo

Relevo X Clima

O relevo pode afetar o clima provocando variação:

- Atividade dos organismos (luz do sol, umidade...)
- Exposição do solo ao vento
- Exposição do solo a chuva
- Drenagem natural e variação do lençol freático
- Escoamento superficial da água e erosão

Relevo



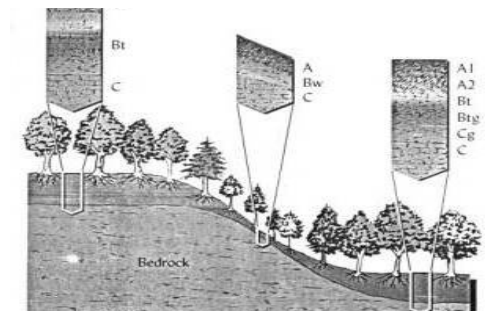
Relevo

O ciclo hidrológico do solo e seus componentes variam em função do relevo e posição na paisagem, particularmente a infiltração e o escoamento superficial:

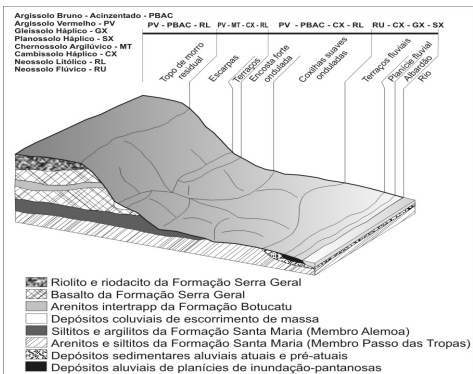
- em áreas planas há bastante infiltração e pouco escoamento e o solo formado é profundo,
- em áreas declivosas, a erosão pode ser maior que a infiltração, havendo pouca água para o intemperismo e bastante remoção de solo formado, sendo os solos rasos,
- em baixadas planas, há acúmulo de água e sedimento coluvial (gravidade) e aluvial (trazido pelas enchentes), sendo os solos medianamente desenvolvidos.

Relevo

Relação solo-paisagem



Relevo



Relevo

Relevo X Organismos

Influência no desenvolvimento da
vegetação → exposição solar

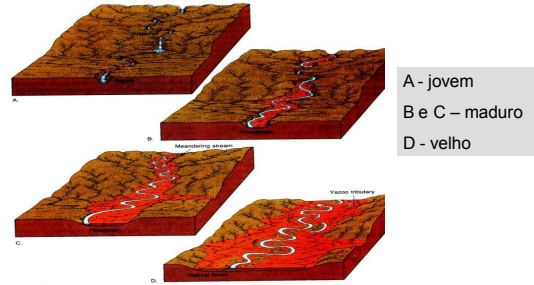
Relevo

Relevo X Tempo

- Relevo muda com o tempo
- Processos de erosão e deposição
- Mudanças na paisagem

Relevo

Estágio de desenvolvimento da paisagem



Relevo

Relevo do RS

Leva em conta a altitude e o material geológico

a) PLANALTO

Metade norte, sob domínio de rochas extrusivas básicas

- Planalto médio: 400-800m de altitude
- Missões: Oeste. 100-400m de altitude
- Campos de cima de Serra: mais de 800m
- Alto Uruguai: Extremo norte. Forte ondulado, 200-500m
- Encosta Superior e Inferior do Nordeste

Relevo

b) DEPRESSÃO CENTRAL

Entre Planalto e Serra do Sudeste

- 200m a Leste até 40m ou menos a Oeste
- Relevo com grande planícies aluviais e coxilhas suaves

c) SERRA DO SUDESTE

- 100 – 400m
- Rochas intrusivas
- Relevo bastante movimentado

d) CAMPANHA

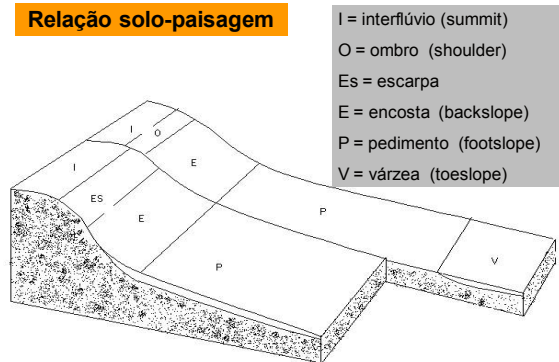
- Oeste do Estado
- Relevo suave
- Altitudes baixas (200 a 300m)

e) LITORAL

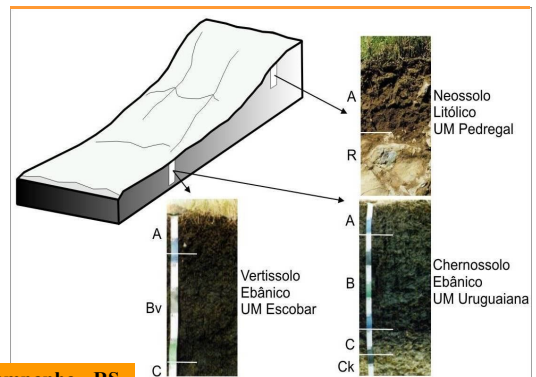
- Cotas inferiores a 40m

Relevo

Relação solo-paisagem

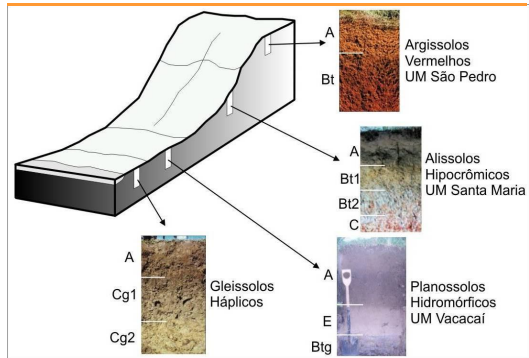


Relevo



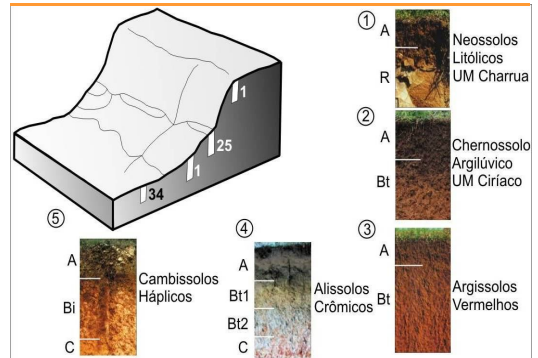
Campanha - RS

Relevo



Depressão Central - RS

Relevo



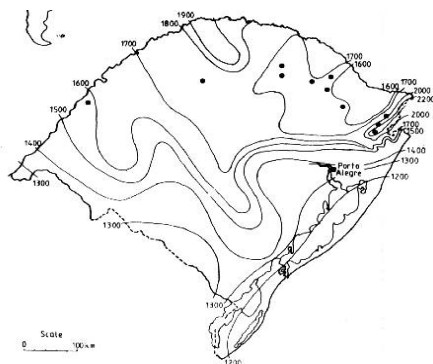
Rebordo do Planalto - RS

Clima

Clima



Clima



Clima

Balanco hídrico

Importância da água

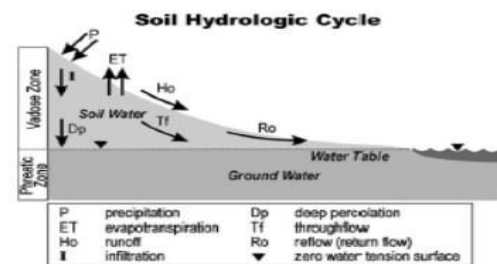


Fig. 1. The soil hydrologic cycle-water movement through regolith (adapted from Richardson, 1993; Wysocki and Schoeneberger, 2000).

Clima

$$L = P - ET \pm CR$$

L = umidade disponível a lixiviação

P = precipitação

ET = evapotranspiração

CR = capacidade de retenção

Clima

Temperatura

- Controla a quantidade de umidade disponível aos processos pedogenéticos

- Influencia na velocidade reações químicas (duplica a cada 10°C de elevação)

Clima

Orientação do declive

Afeta as condições microclimáticas

- radiação incidente
- chuva
- regime de umidade
- vegetação

Clima

Clima afeta

- teor de matéria orgânica
- reação e saturação de bases
- profundidade perfil
- tipo argilomineral formado

Organismos vivos

Organismos vivos

Influência dos organismos na formação do solo

- Vegetação
 - Raízes, folhas, quantidade...
- Microorganismos
 - Decomposição da MO, alteração química
- Animais do solo (minhocas, cupins, formigas...)
 - Canais, dutos p/ movimentação de água, MO...
- Homem
 - Preparo solo, compactação, aplicações químicas, drenagem, irrigação, erosão...

Organismos vivos

ESCALAS

- Microrganismos
- Mesorganismos
- Macrorganismos
- Homem

Organismos vivos

Escala: Microrganismos

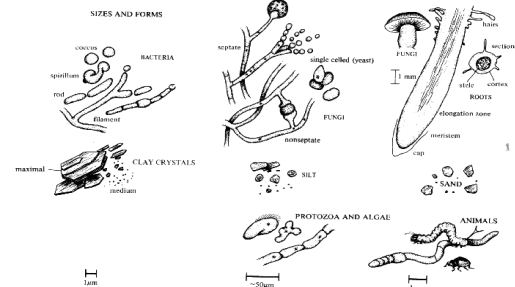


Figure 7-1
Sizes and forms of soil inhabitants, in relation to soil particle sizes.

Organismos vivos

Microorganismos: influência na pedogênese

- Redução : gleização;
- Matéria orgânica: composição, quantidade; relação C/N;
- Biociclagem: mineralização/ imobilização;
- Produtividade das plantas: fósforo (micorrizas), nitrogênio (rhizobium)

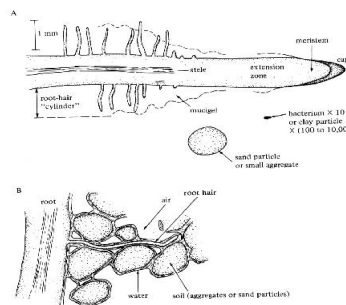
Organismos vivos

Influência na pedogênese

- Intemperismo físico
 - Ação de raízes;
 - Movimentação de partículas (mesofauna: cupins, formigas, minhocas);
- Intemperismo químico
 - Ácidos Orgânicos;
 - Redução;
 - Redistribuição de elementos.

Organismos vivos

- Intemperismo físico
- Ação de raízes



Organismos vivos

Homem

Lavouras → remoção
vegetação; queimadas;
irrigação; preparo do solo;
erosão; ...



Tempo

Tempo

$$S = f(t, cl, o.v., r, m.o., \dots)$$

Tempo de ação dos processos e estágio de evolução alcançado pelo solo

Tempo

Conceito do tempo zero

É o tempo no qual o desenvolvimento do solo inicia, após algum evento catastrófico que destruiu o solo pré existente ou aparecimento de uma nova superfície

Exemplo de eventos

1. Glaciação
2. Derrames lava
3. Camadas de cinzas vulcânicas
4. Estabilização de dunas de areia
5. Exposição de sedimentos previamente submergidos
6. Novas superfícies expostas (cortes)
7. Deposição de materiais de solo

Tempo

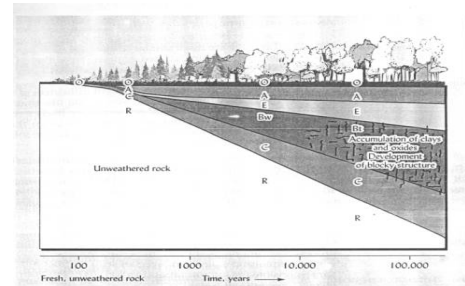
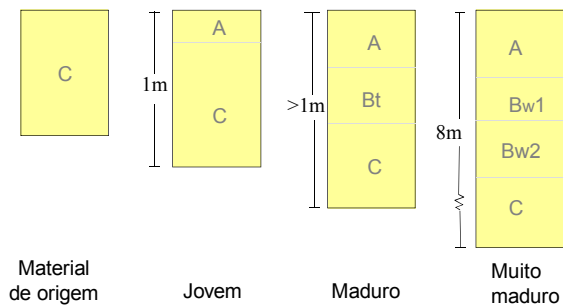


FIGURE 2.31 Progressive stages of soil profile development over time for a residual igneous rock, in a warm, humid climate that is conducive to forest vegetation. The time scale increases logarithmically from left to right, covering more than 100,000 years. Note that the mature profile (right side of this figure) expresses the full influence of the forest vegetation as illustrated in Fig.

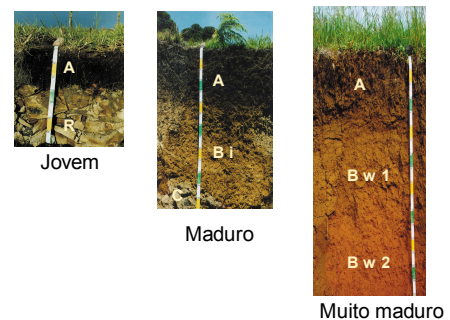
Tempo

Efeito do tempo no desenvolvimento do solo: Cronosequência



Tempo

Efeito do tempo no desenvolvimento do solo: Cronosequência



Tempo

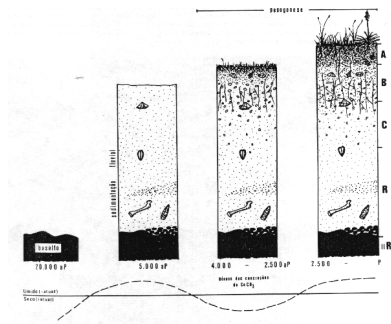


Fig. 4 - Tentativa de reconstrução da evolução de um perfil idealizado dos solos argilosos escuros com horizonte de

Tempo

O tempo é o
senhor do destino!

Tempo



Figure 5.1
(A) Chemical weathering in a humid climate has pitted and discolored this marble tombstone since it was erected in 1892.

(B) This marble statue has lost most of the fine detail on the face by chemical weathering.

Tempo

Degradar solo é fácil.

Difícil é formar!

Na próxima aula:

Processos de Formação do Solo