

Hidrogeologia vs. Eng^a do Ambiente

Hidrogeologia - Ramo das Geociências (Ciências da Terra) que se ocupa do estudo das águas subterrâneas.

Geologia:

Leis relativas à existência e circulação das águas subterrâneas

Grande desenvolvimento decorrente da necessidade de resolução de problemas de grande importância económica.

Enorme procura de água resultante do aumento da população e da industrialização.

A contaminação das águas subterrâneas é uma das questões ambientais mais importantes.

Interacção águas superficiais vs águas subterrâneas

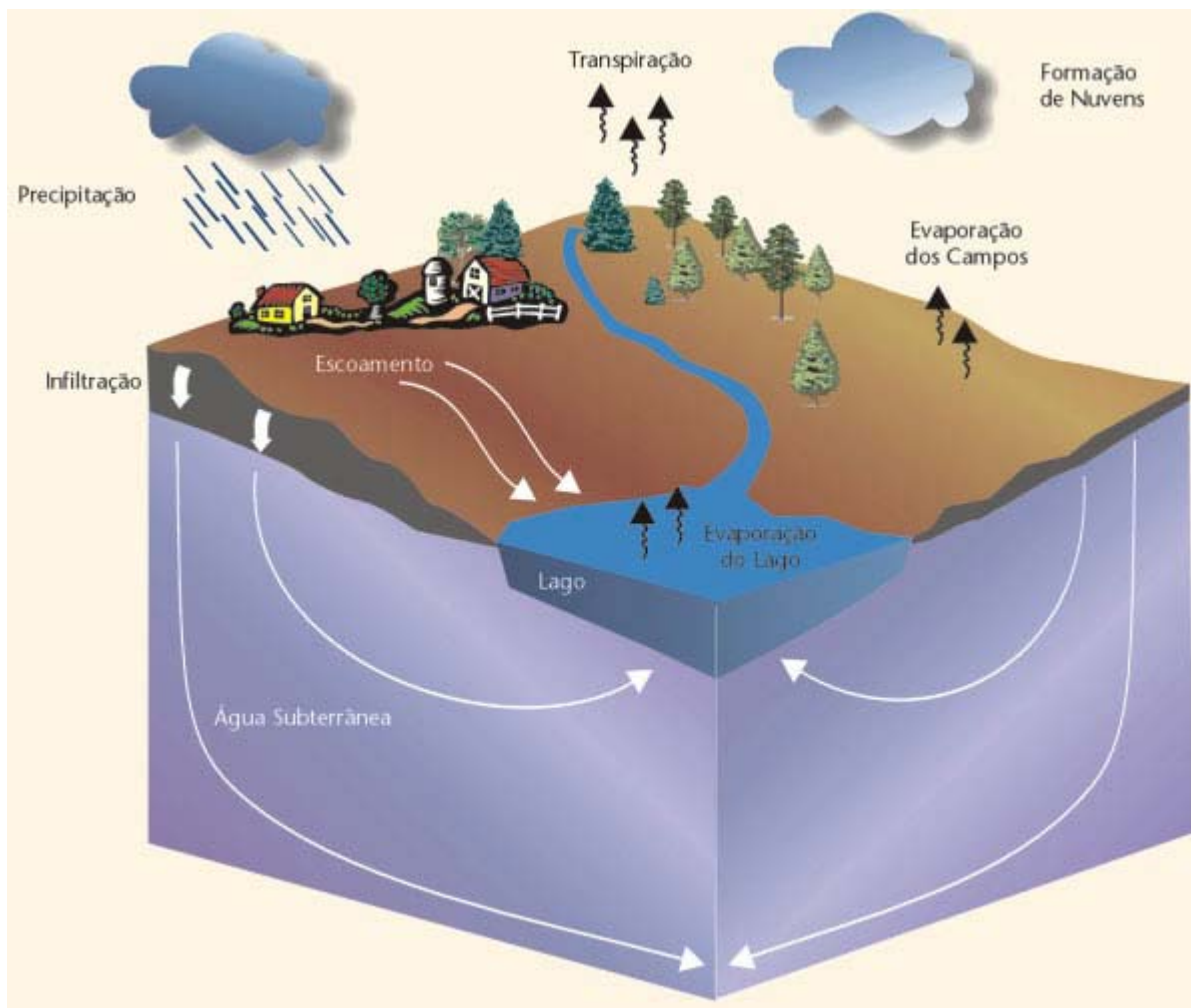
Distribuição de água no Globo

Quadro da distribuição de água no Globo

Águas superficiais	Lagos de água doce	0,009 %
	Lagos salgados e mares interiores	0,008 %
	Armazenamento temporário em rios e canais	0,0001 %
Águas subterrâneas	Águas suspensas e gravíticas incluindo a humidade do solo	0,005 %
	Águas armazenadas até 1 km de profundidade (algumas são salgadas)	0,33 %
	Águas profundas (muitas são salgadas e não potáveis)	0,29 %
Outras águas	Calotes polares e glaciares	2,15 %
	Atmosfera	0,001 %
	Oceanos	97,2 %

Dados procedentes do U.S. Geological Survey

O ciclo hidrológico

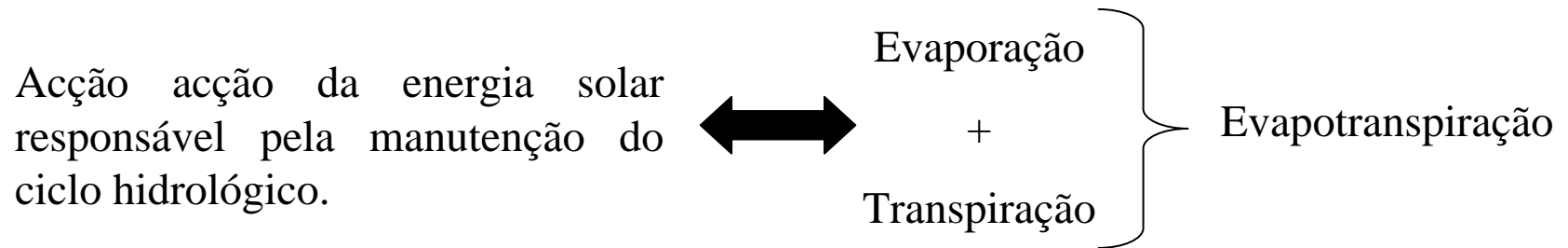


O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico (cont.)

Precipitação atmosférica - deslocamentos das massas atmosféricas dão origem a fenómenos de saturação do vapor da água contido na atmosfera.

Evapotranspiração - uma grande parte da água que se precipita sobre a superfície da Terra volta à atmosfera sob a forma de vapor.



A água subterrânea não atinge em geral a atmosfera por evaporação directa a não ser que o nível freático das formações aquíferas se encontre a poucos decímetros da superfície do solo.

↙
Profundidade de 1m
em solos arenosos

↘
Profundidade de 3m
em solos argilosos

Escoamento superficial \longrightarrow Para uma dada Bacia hidrográfica



$$\text{Esc. Sup.} = \text{Precip.} - \text{Retenção superficial} - \text{infiltração} - \text{evaporação}$$

Escoamento superficial = f

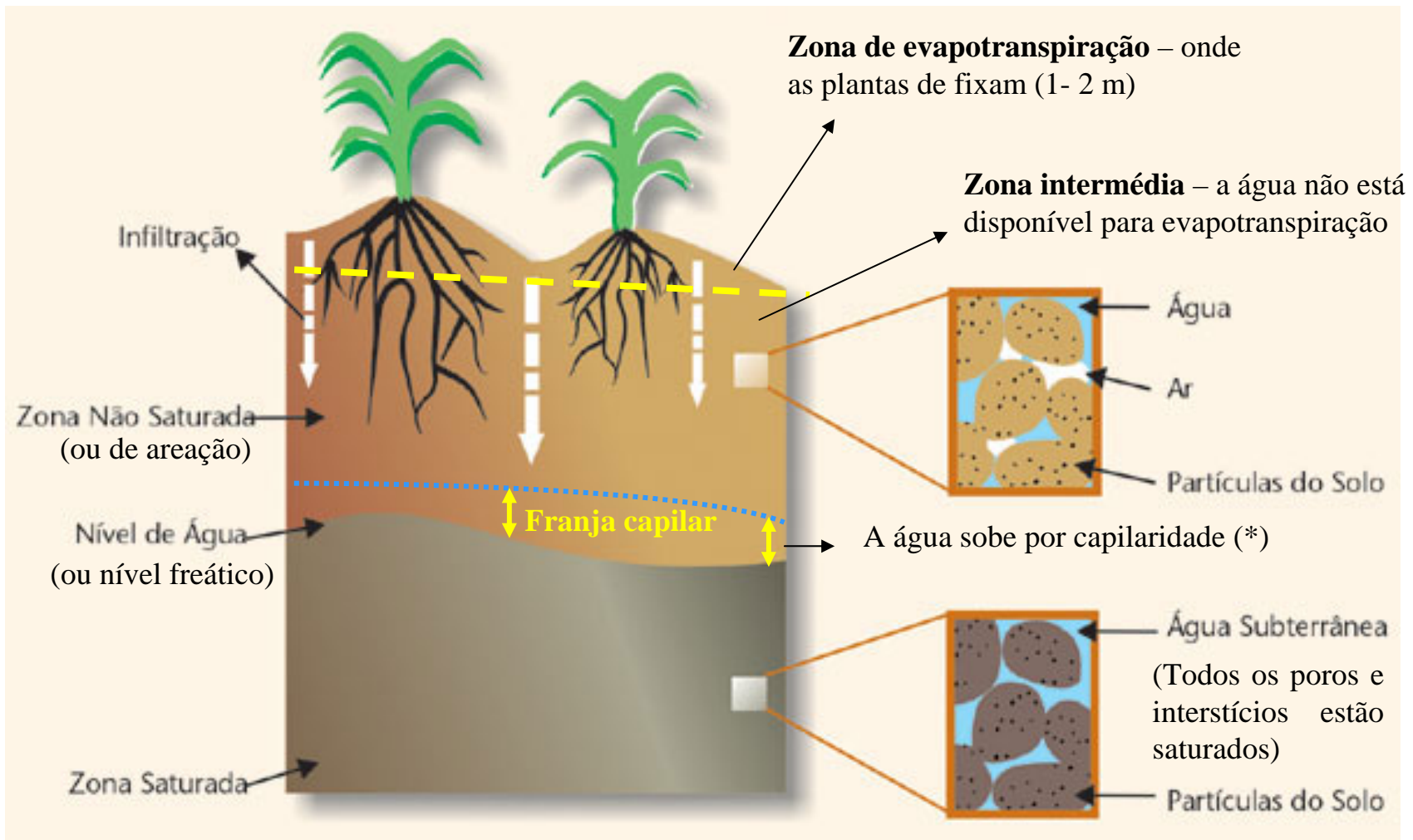
i) Duração da precipitação	iv) Permeabilidade do solo superficial
ii) Intensidade da precipitação	v) Tipo de vegetação
iii) Morfologia da bacia hidrográfica	vi) Profundidade do nível freático

Infiltração - Fortemente dependente da natureza do solo.



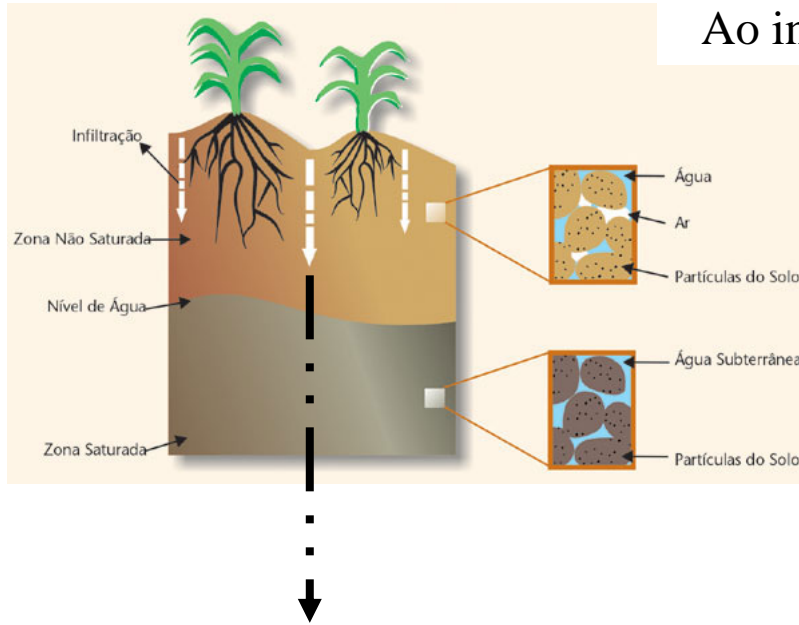
Volume de água que atinge a superfície de saturação dos aquíferos = volume total de infiltração - quantidade de água retida no solo.

Movimento da água no solo



(*) alguns mm nos terrenos arenosos; alguns m nos terrenos argilosos

Movimento da água no solo (cont.)



Ao infiltrar-se no solo a água passa pelas diversas zonas:

Zona de evapotranspiração



Zona intermédia



Zona de saturação



Aquíferos



A zona de água freática confina com um substrato compacto, cuja profundidade varia com a natureza geológica.

Percolação - Escoamento de um líquido (água) num meio poroso não saturado (solo) através dos poros, por acção da gravidade.

ex. a 3000 m – rochas ígneas e metamórficas , a 15 000 em possantes depósitos sedimentares

Alguns parâmetros Hidrogeológicos fundamentais

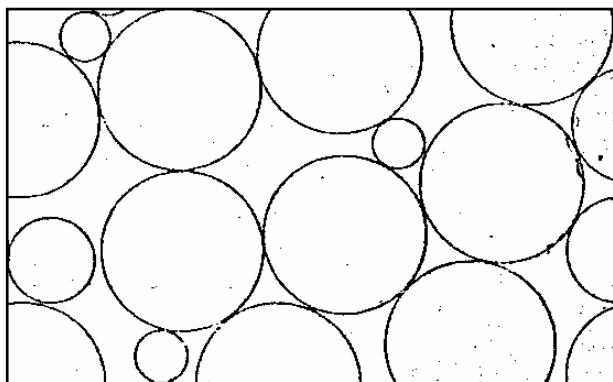
Porosidade - é a propriedade que os solos e as rochas têm de possuir poros ou cavidades, e

exprime-se em %:

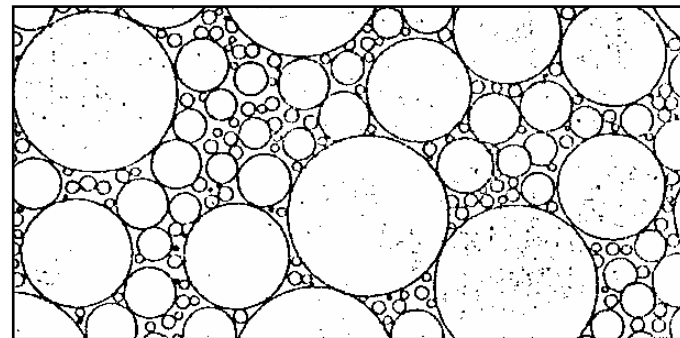
$$P = (V_v / V_t) \times 100$$

V_v = volume total de vazios

V_t = volume ocupado pelo solo ou rocha



32 %



17 %

Exemplos de formações geológicas com porosidades diferentes.

Porosidade eficaz (ou rendimento específico)



$$P_e = (V_{ac} / V_t) \times 100$$

V_{ac} = volume de água extraído (*)

V_t = volume de terreno

(*) O volume V_{ac} referido representa a quantidade de água que circula por acção da gravidade.

Capacidade de retenção específica de um solo ou rocha



$$C_{re} = (V_{ar} / V_t) \times 100$$

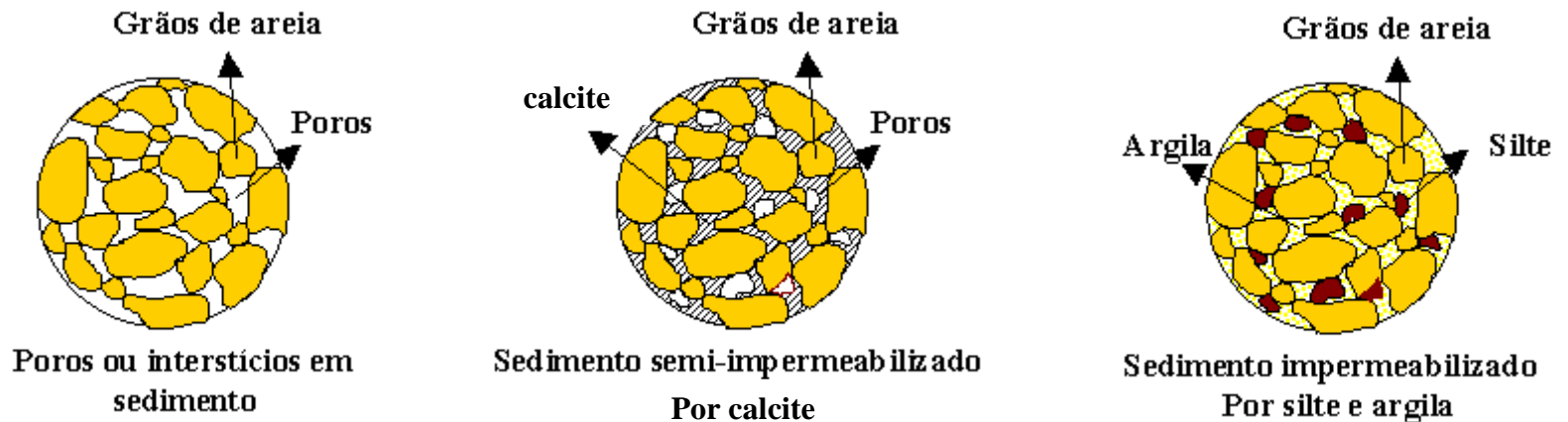
V_{ar} = volume de água que ele(a) pode reter (depois de atingir previamente a saturação)

V_t . Volume de rocha ou solo

$$\text{Assim: } V_v = V_{ac} + V_{ar} \text{ donde } P = P_e + C_{re}$$

Nas formações geológicas, os espaços vazios podem estar conectados ou podem estar semi-fechados condicionando a passagem de água.

Esta característica designa-se por **permeabilidade**:



Porosidade vs Permeabilidade

Permeabilidade de diferentes formações geológicas (exemplos)

Areias limpas - Formações muito porosas e permeáveis se os seus poros forem grandes e bem interconectados.

Argilas e certos materiais vulcânicos - Formações impermeáveis, dado que apesar de terem muitos poros, eles são pequenos encontram-se fechados.

Rochas ígneas e metamórficas - São em geral formações de baixa porosidade, e como tal tendem a ser pouco permeáveis uma vez que as conexões entre os poros são difíceis de estabelecer.

Valores de porosidade e permeabilidade

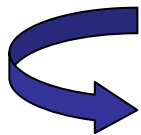
Tipo de rocha	Porosidade (%)	Permeabilidade (m/dia)
Cascalheira	30	> 1000
Areia	35	10 a 5
Argila	45	< 0.001

Tipos de Aquíferos

Aquífero:

- i) formação geológica que armazena e permite a circulação subterrânea da água,
- ii) de onde é possível extrair a mesma,
- iii) durante um determinado período de tempo,
- iv) de forma economicamente viável e sem impactos ambientais negativos.

Os aquíferos são frequentemente designados através de outras expressões que devem ser evitadas,

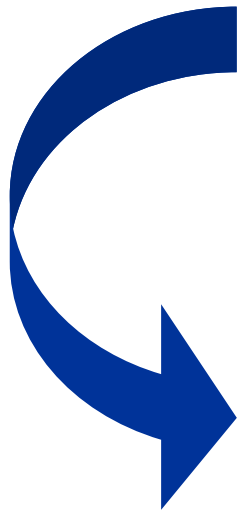


tais como:

- *toalha aquífera,*
- *lençol freático*
- *lençol de água.*

Tipos de Aquíferos (cont.)

Se as formações geológicas não são aquíferas então podem ser definidas como:



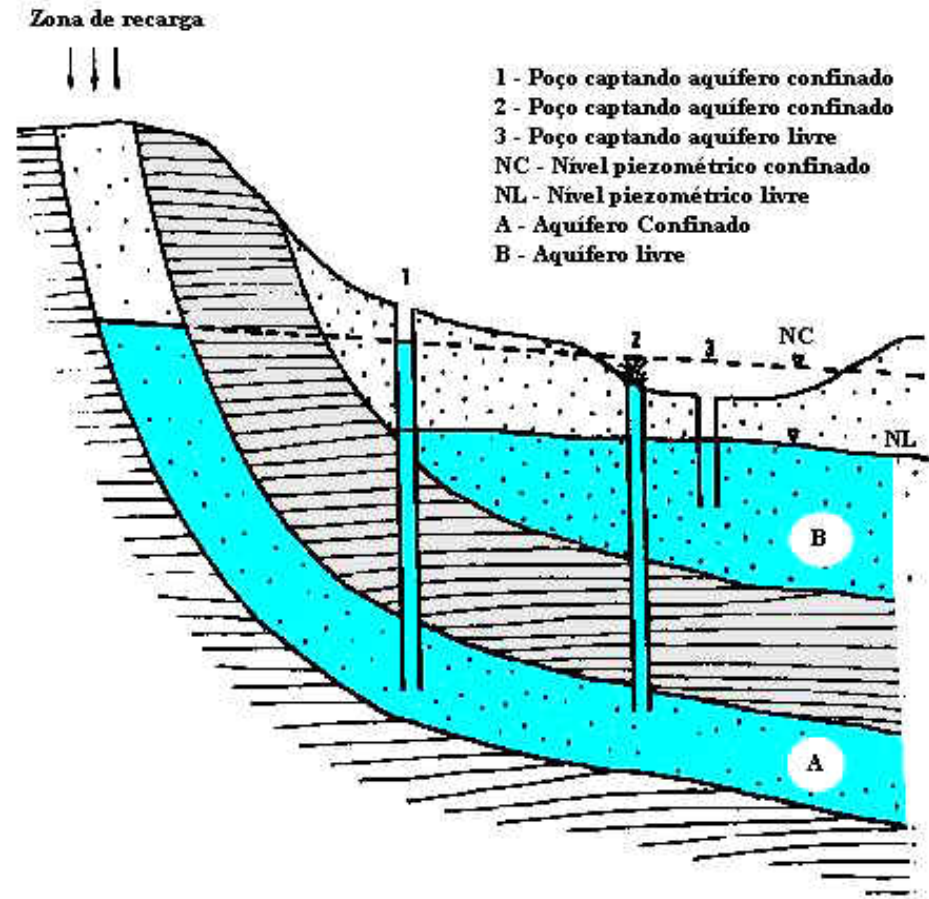
- **Aquitardo** – Formação geológica que pode armazenar água mas que a transmite lentamente não sendo rentável o seu aproveitamento a partir de poços e/ou furos de captação.
- **Aquicludo** - Formação geológica que pode armazenar água mas não a transmite (a água não circula).
- **Aquífugo** - Formação geológica impermeável que não armazena nem transmite água.

Tipos de Aquíferos (cont.)

No furo 1 a água sobe acima do tecto do aquífero;

a altura a que a água sobe chama-se nível piezométrico e o furo é artesiano.

Se a água atingir a superfície do terreno sob a forma de *repuxo* então o furo artesiano é *repuxante*.



Principais tipos de aquíferos

Aquíferos em diferentes formações

Podemos dizer que existem essencialmente três tipos de aquíferos:

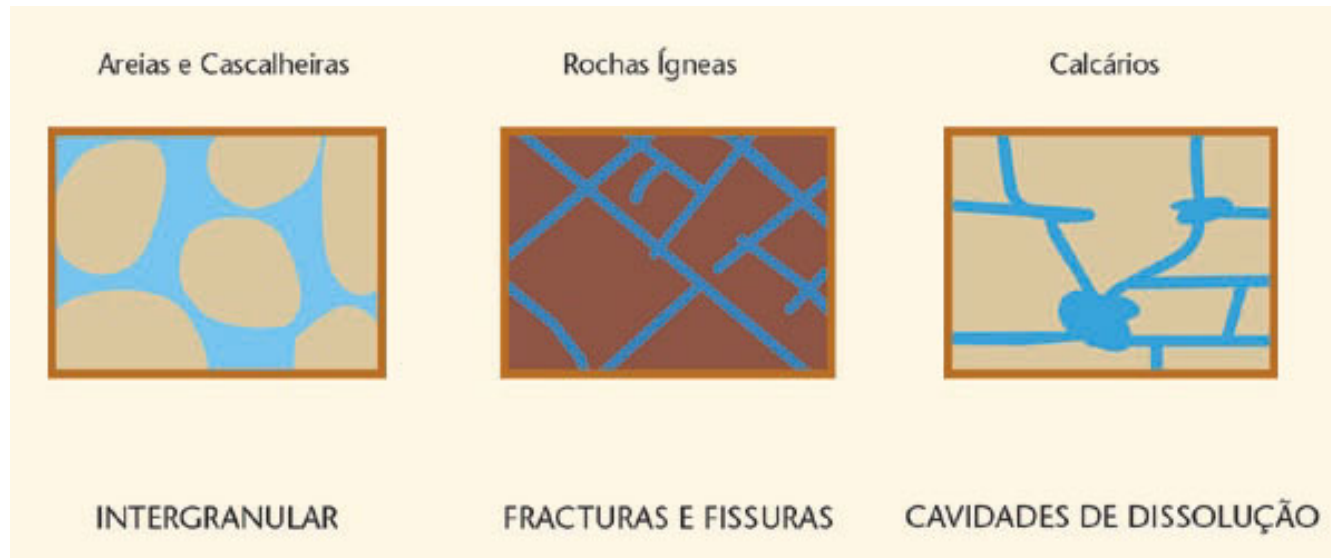
- **Porosos** - a água circula através de poros.

As formações geológicas podem ser detríticas (ex. areias limpas), por vezes consolidadas por um cimento (ex. arenitos, conglomerados, etc.)

- **Fracturados e/ou fissurados** - a água circula através de fracturas ou pequenas fissuras.

As formações podem ser granitos, gabros, filões de quartzo, etc;

- **Cársicos** - a água circula em condutas que resultaram do alargamento de diaclases por dissolução. As formações são os diversos tipos de calcários.



Circulação da águas nos meios porosos, fracturados e cársicos (*fonte IGM*)

- Em muitos casos, os sistemas aquíferos são simultaneamente de mais de um tipo (ex.):
- Os granitos podem ter uma zona superior muito alterada onde a circulação é feita através dos poros e uma zona inferior de rocha sã onde a circulação é feita por fracturas.
 - Os calcários podem ser cársicos e fissurados circulando a água através de fissuras da própria rocha e de condutas.

Classificação hidrogeológica das rochas

Do ponto de vista de jazida e circulação das águas subterrâneas podemos classificar as rochas (no sentido geológico do termo) em:

1) *Rochas permeáveis em pequeno*

2) *Rochas permeáveis em grande*

2a) – Rochas mediamente permeáveis

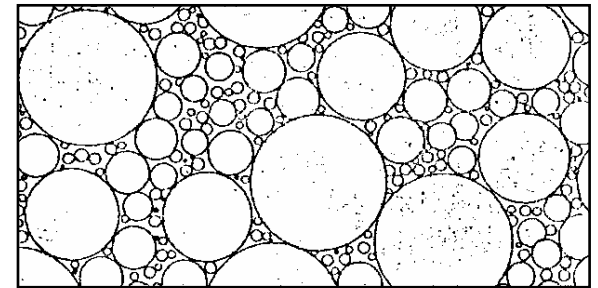
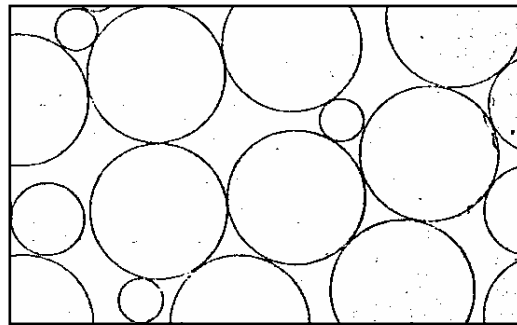
2b) – Rochas fortemente permeáveis

Rochas não consolidadas que inclui argilas, siltes, areias, seixos, calhaus, etc.

Os poros nestas rochas são constituídos pelos vazios existentes entre os seus elementos constituintes.

A porosidade, a permeabilidade, e o rendimento específico são função do tamanho das partículas e da sua homogeneidade.

**Rochas permeáveis
em pequeno**

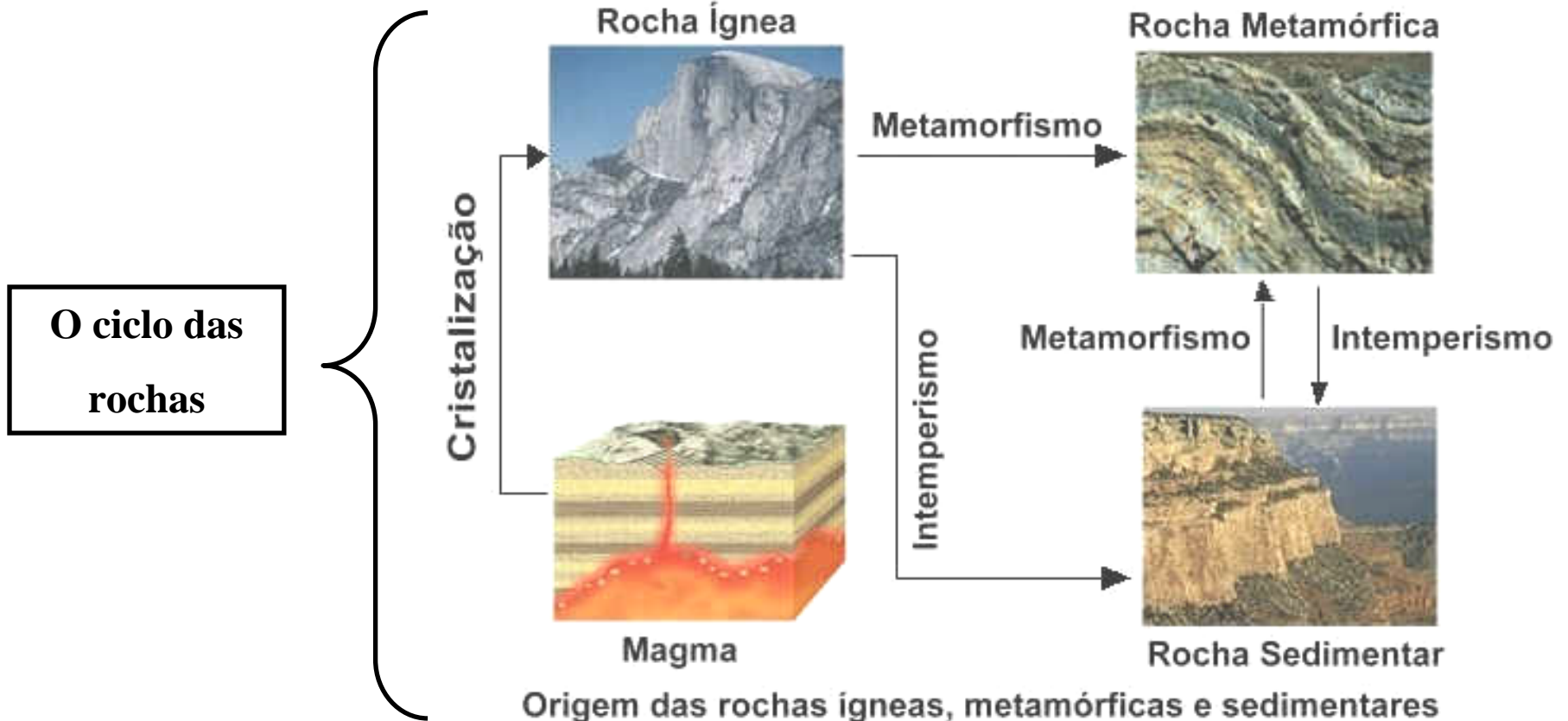


Porosidade - exemplo de variação devido ao grau de homogeneidade e tamanho dos grãos.

Rochas medianamente permeáveis



Neste grupo vamos incluir as *rochas* consolidadas de natureza ígnea, sedimentar e metamórfica (excepto as rochas calcárias).



Rochas medianamente permeáveis (cont.)

As amostras de rochas plutônicas e metamórficas são apresentadas uma porosidade total quase sempre inferior a 1%.



Os poros existentes neste tipo de rochas são muito pequenos e em geral não comunicam entre si.



Daqui resultam permeabilidades tão baixas que na maioria das rochas se consideram praticamente nulas.



São as fracturas e zonas de alteração que conduzem ao desenvolvimento de porosidades e permeabilidades apreciáveis.

A) O caso das rochas ígneas plutônicas e das rochas metamórficas

Rochas medianamente permeáveis (cont.)

Rochas plutónicas e metamórficas

Ensaio Laboratoriais
(rochas não fracturadas)



Permeabilidades de
0.01 mm/dia

Ensaio “*in situ*”



Permeabilidades
1000 X superiores

Zonas fortemente meteorizadas

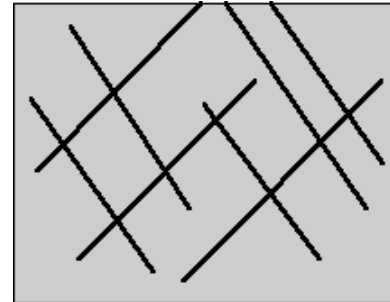
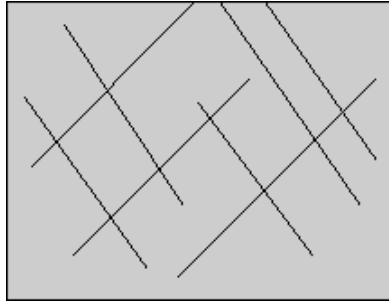
Formações soltas c/ porosidade > 35%

A permeabilidade é maior na parte mais profunda da zona de alteração do que na rocha sã.

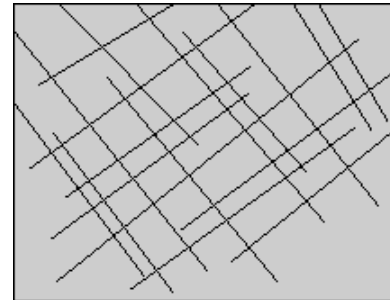
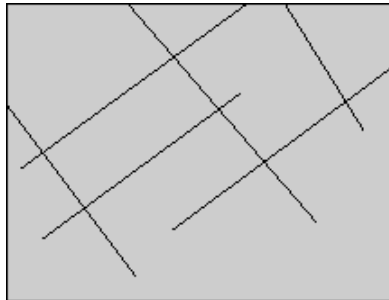
Desfavoráveis

Favoráveis

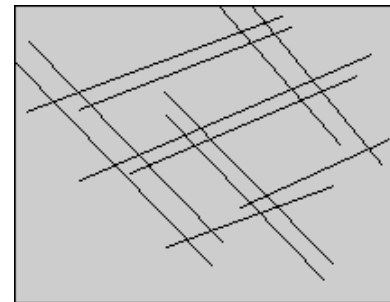
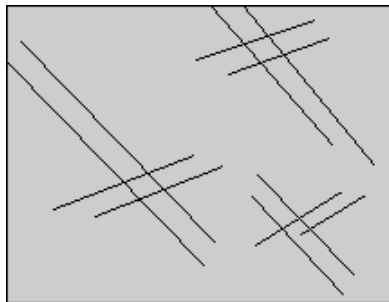
Tamanho das aberturas



Espaçamento entre fracturas



Interconecção

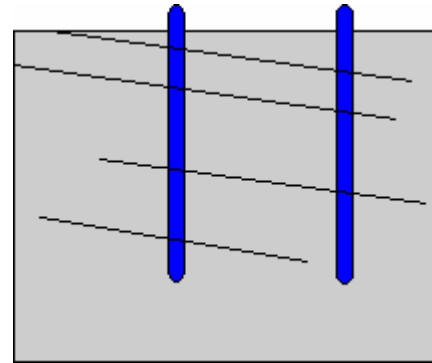
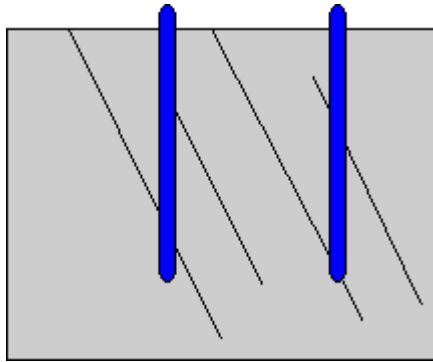


Características favoráveis e desfavoráveis de sistemas de fracturas para a circulação de águas subterrâneas.

Desfavoráveis

Favoráveis

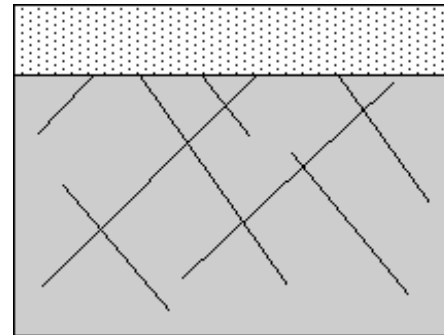
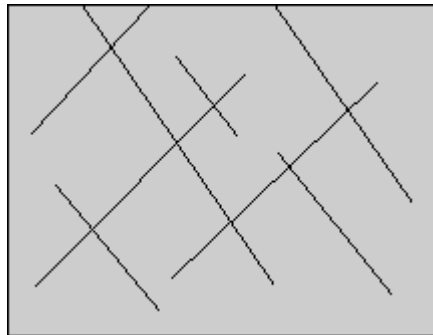
Orientação



Os furos interceptam poucas fracturas

Os furos interceptam mais fracturas

Cobertura de solo



Condição sem recarga

Condição de maior de recarga

Características favoráveis e desfavoráveis de sistemas de fracturas para a circulação de águas subterrâneas.

Rochas plutônicas e metamórficas

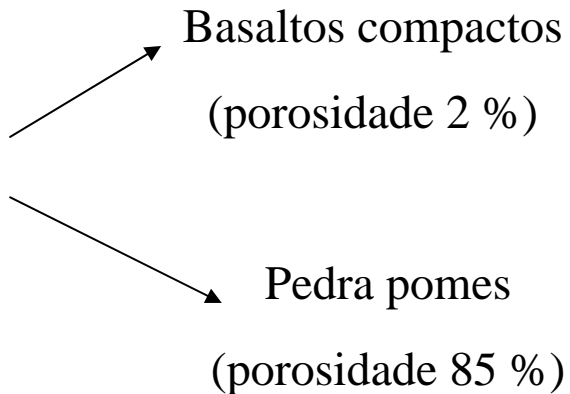


As diaclases, falhas e restantes fracturas tendem a fechar em profundidade sob o efeito do peso das rochas supra jacentes



A permeabilidade média diminui, em geral, com a profundidade.

Caso das rochas vulcânicas



Filões de rochas vulcânicas

Maciças (1-5%)

Vacuolares (10-50%)

Caso das formações
sedimentares não calcárias

Rochas
detríticas de
grão fino



A maior parte das rochas detríticas de grão fino possuem porosidades relativamente elevadas e baixas permeabilidade.



A porosidade dos sedimentos de grão fino decresce com a profundidade (idade geológica)

50 a 90 % → - de 25 %

Rochas
detríticas de
grão grosseiro



A porosidade varia entre 5 e 30% dependendo do grau de homogeneidade e da simetria dos grãos.



Natureza do cimento

A permeabilidade das formações gresosas é de 1 a 3 vezes menor do que a das mesmas formações não consolidadas

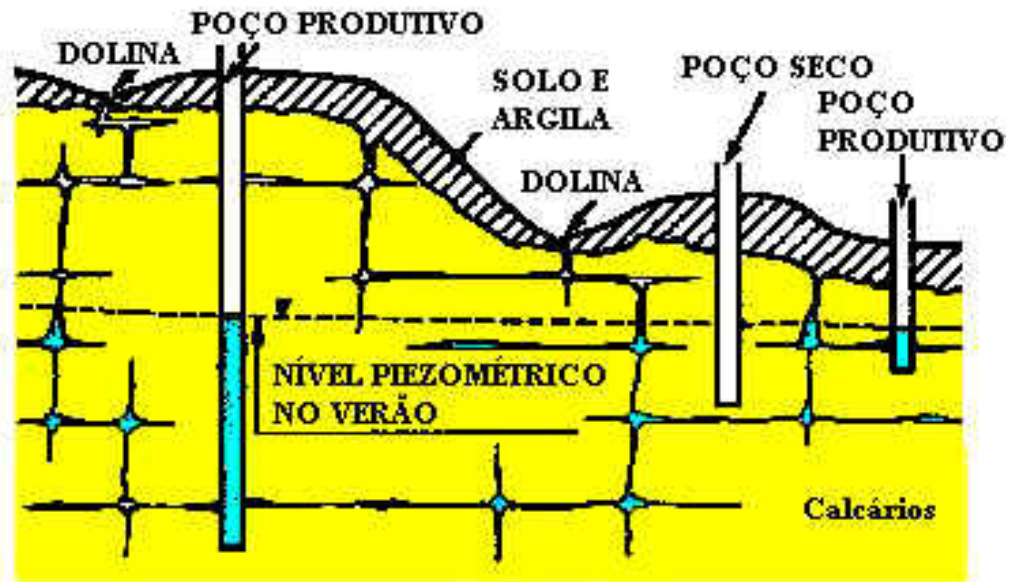


Rochas fortemente permeáveis (rochas calcárias)

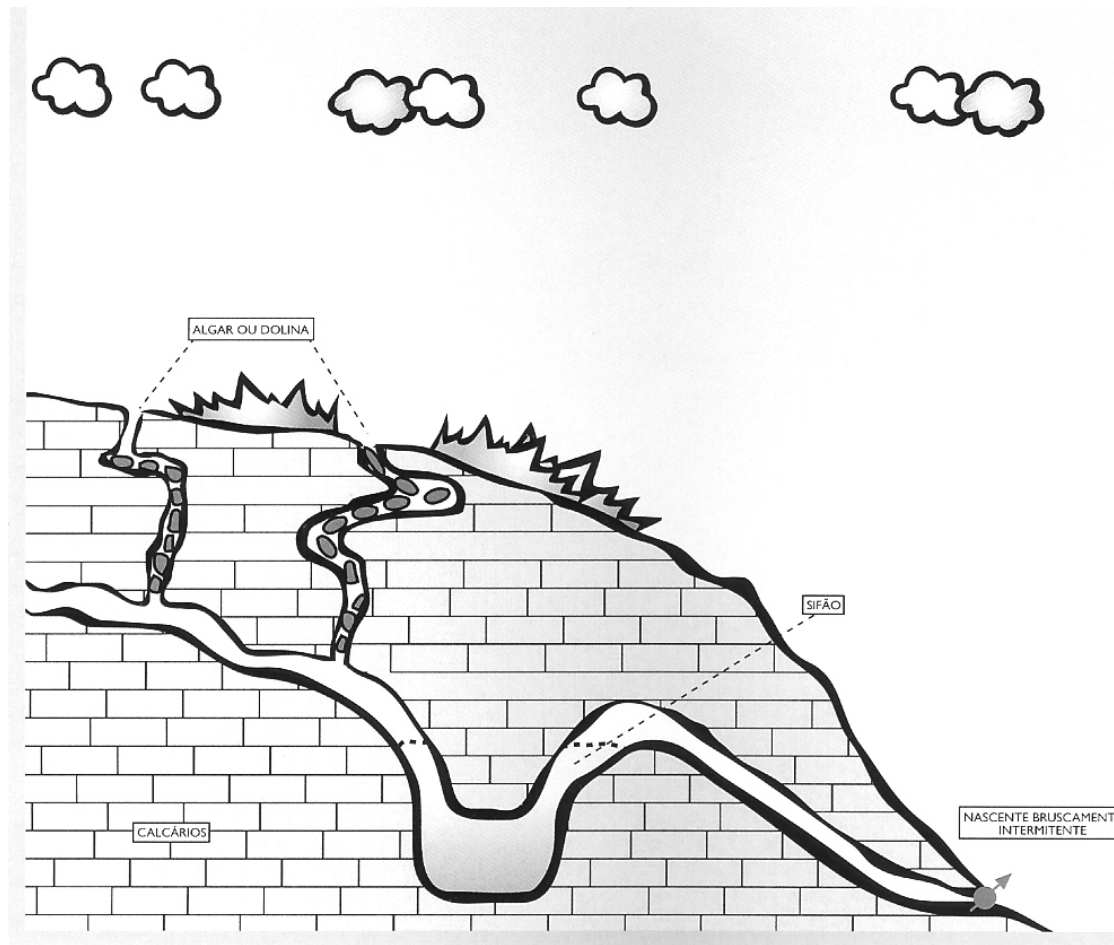
O rápido alargamento das diaclases e juntas de estratificação (por dissolução) transforma-se numa ampla rede de condutas.



Estas rochas são caracterizadas por alto rendimento específico e permeabilidade, muito embora sejam praticamente impermeáveis ao nível de amostras de mão



Modelado cárstico. Localização de furos de captação “secos” e produtivos



Exemplo de circulação das águas subterrâneas nos maciços calcários. Sumidoro, exurgência e cifão.

Retirado de INAG: www.inag.pt/snirh