

Gestão sustentada de recursos geológicos

Recursos hidrogeológicos

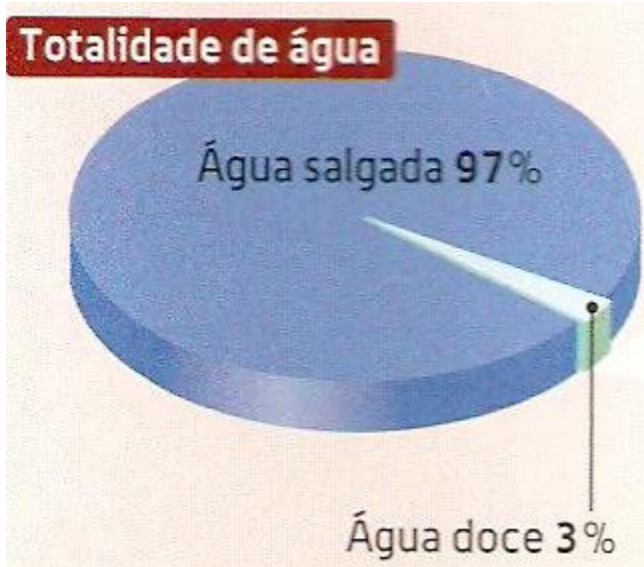
“O corpo da Terra, como o dos animais, é atravessado por redes de veias, todas ligadas entre si e feitas para darem vida e alimento à Terra e suas criaturas. Elas vêm das profundezas do mar e, após numerosos ciclos, devem a elas regressar pelos rios que formam essas veias jorrando à superfície.”

Leonardo da Vinci (1452-1519)



- A água é um bem essencial à vida.
- No nosso planeta, a água é um recurso relativamente abundante. Contudo, nem toda esta água, pelas mais diversas razões, pode ser utilizada pelo Homem.
- Diz-se, muitas vezes à semelhança do petróleo e de outros recursos, que a água não está equitativamente distribuída no Planeta.
- Na Terra, **97,3% da água está nos oceanos**; porém, esta água é salgada, logo imprópria para consumo humano.
- **A água doce constitui os restantes 2,7%**, mas desta percentagem apenas uma pequena porção pode ser usada pelo Homem.
- Da água doce existente no planeta, cerca de $\frac{3}{4}$ **está retida nos icebergs e glaciares**, sob a forma de gelo, pelo que resta menos de $\frac{1}{4}$ **de água doce para poder ser utilizada pelo Homem**.

Distribuição da água na Natureza



Reservatório	% na Terra
Oceanos	97,3
Glaciares e calotes polares	2,1
Águas subterrâneas	0,6
Lagos e rios	0,01
Atmosfera	0,001
Biosfera	0,00004

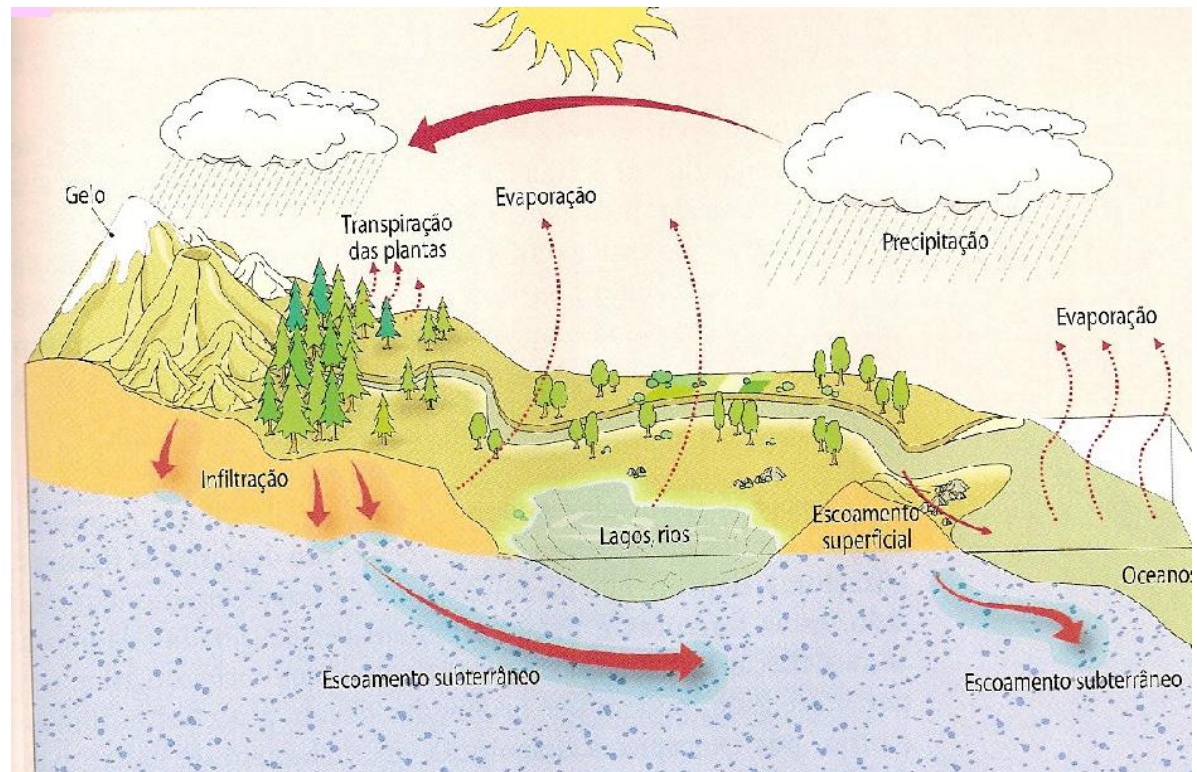
Dos números apresentados pode concluir-se que, embora exista muita água na Terra, de facto, apenas uma porção relativamente diminuta está ao alcance do Homem.

Além disso, esta água está sujeita à poluição tornando-se, por isso, não potável.

Pelas razões apontadas, verifica-se que a água é um recurso precioso, necessário à nossa sociedade, pelo que importa assegurar não só a sua quantidade, mas também a sua qualidade.

Reservatórios de Água

- Embora a água ocorra na Natureza distribuída por diferentes reservatórios (oceanos, atmosfera, lagos, rios, etc.), está num movimento constante de uns reservatórios para outros.
- Este movimento constante designa-se **ciclo da água** ou **ciclo hidrológico** e decorre em várias etapas, que podemos sequenciar da seguinte forma:



Ciclo hidrológico

- O Sol fornece a energia necessária para que a água dos oceanos, dos rios ou dos lagos se evapore, passando destes reservatórios para a atmosfera;
- Na atmosfera, a água arrefece, condensa-se e, por acção da gravidade, sob a forma de chuva, neve ou granizo, regressa à superfície terrestre;
- Parte daquela água cai directamente nos oceanos, rios ou lagos, podendo reiniciar o seu ciclo; no entanto, uma parte muito importante cai sobre a superfície dos continentes.
- Desta última, parte vai engrossar o caudal das linhas de água e dos rios e outra parte infiltra-se nos solos abastecendo os reservatórios de água que se encontram no solo e subsolo.
- Os reservatórios de água subterrânea são designados **aquíferos**.
- Assim, um **aquífero pode ser descrito como toda a formação geológica com capacidade para armazenar água e com características que permitam a sua extracção de forma economicamente rentável**.

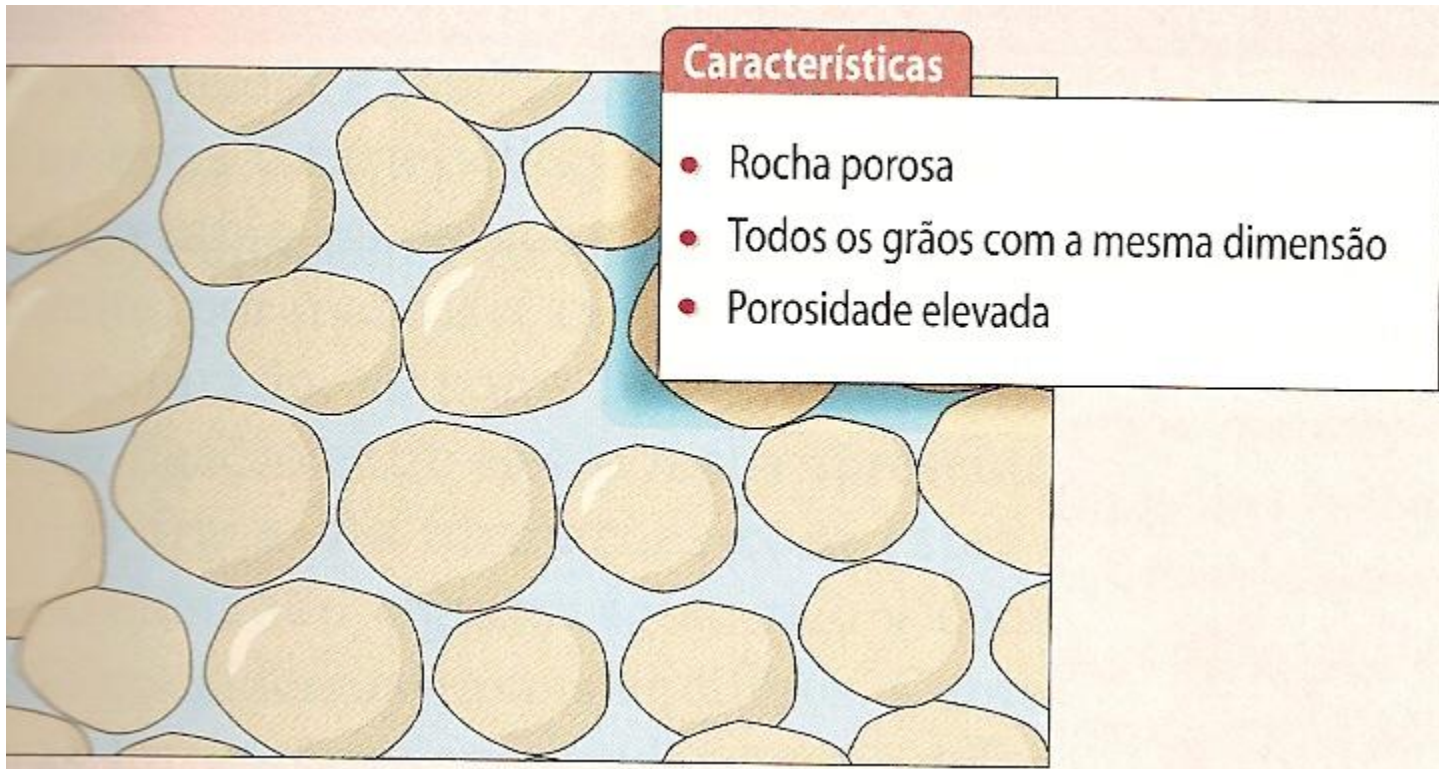
- A capacidade de um aquífero para armazenar água e a possibilidade da sua extracção relacionam-se com duas características que as formações geológicas dos aquíferos apresentam e que são, respectivamente:
 - a **porosidade**;
 - a **permeabilidade**.

Porosidade

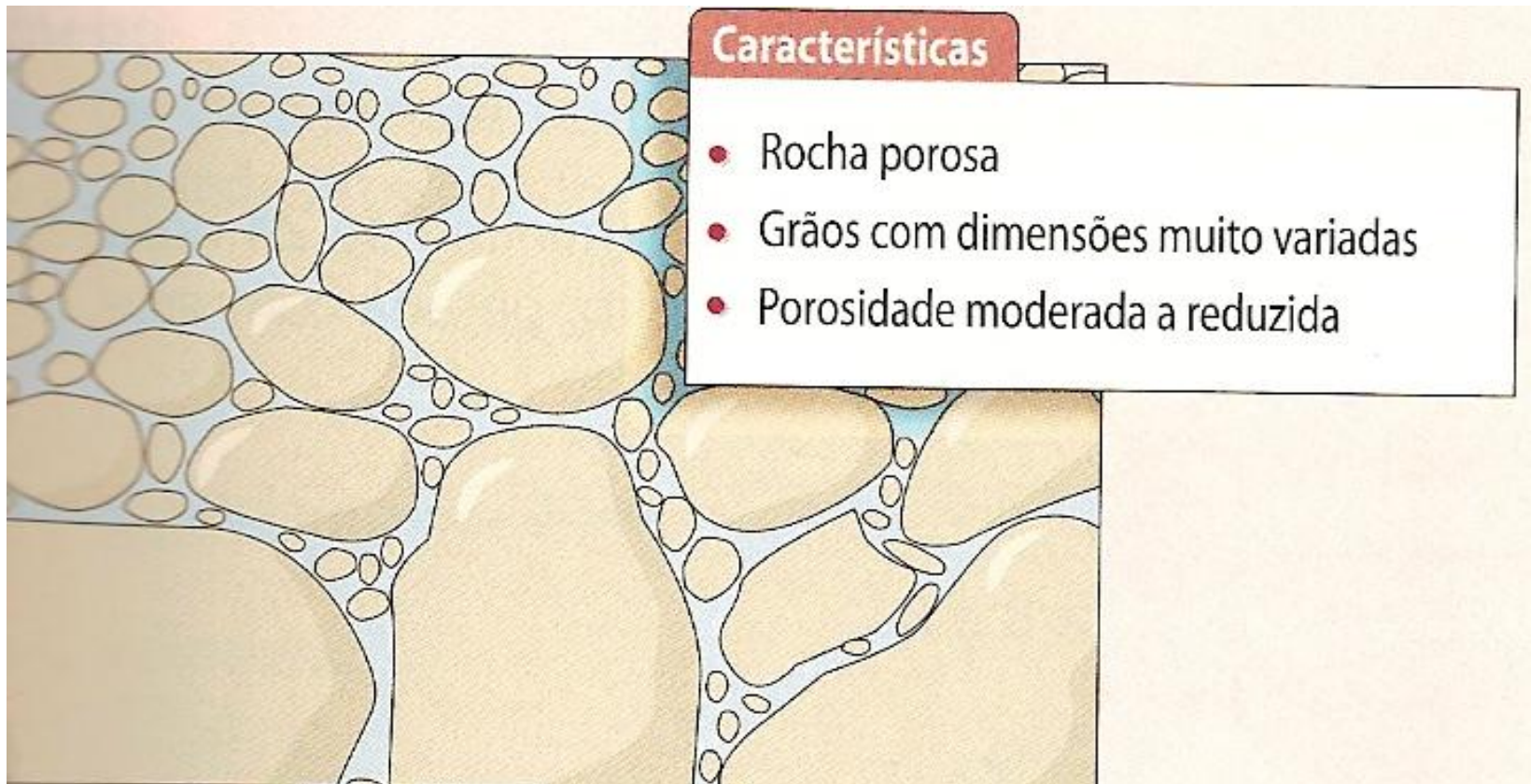
- Esta característica resulta da existência de espaços não preenchidos por matéria sólida.
- É habitual chamar a estes espaços nas rochas poros ou vazios, embora na realidade eles se encontrarem preenchidos por ar ou por água.
- Assim, a porosidade pode ser definida como a razão entre o volume desses vazios e o volume total da rocha.
- Dependendo da forma destes vazios, as formações rochosas podem ser divididas em dois grandes grupos:
 - as **rochas porosas**, propriamente ditas;
 - as **rochas fissuradas**.

Rochas porosas

- As **rochas porosas** são tipicamente, rochas sedimentares de origem detrítica, consolidadas ou não.
- Se o conjunto dos grãos apresenta uma granulometria muito semelhante, isto é, se apresentam todos a mesma dimensão, a rocha tem uma porosidade elevada.

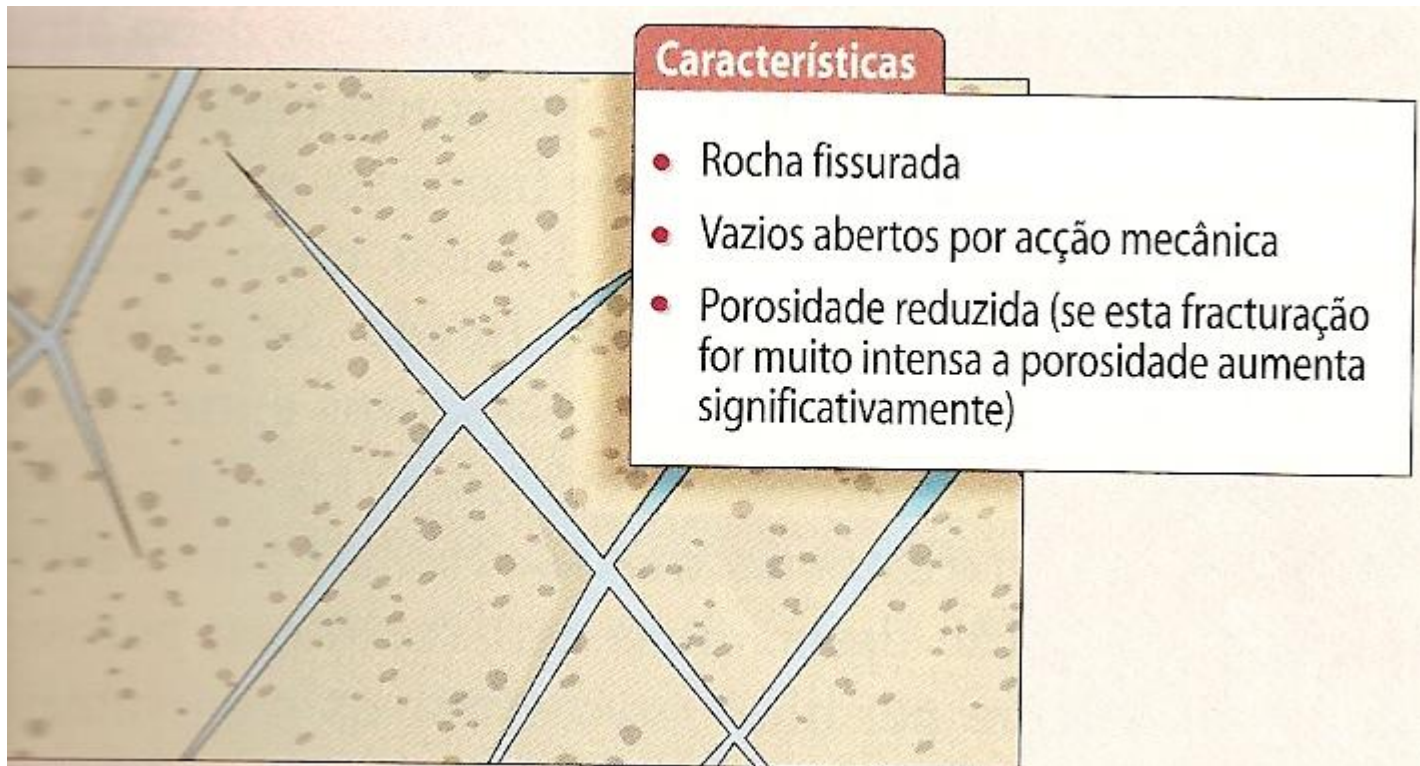


- Mas, se pelo contrário os grãos forem de dimensões muito diferentes, isto é, apresentarem uma granulometria muito heterogénea, a rocha apresentará uma porosidade moderada a reduzida.

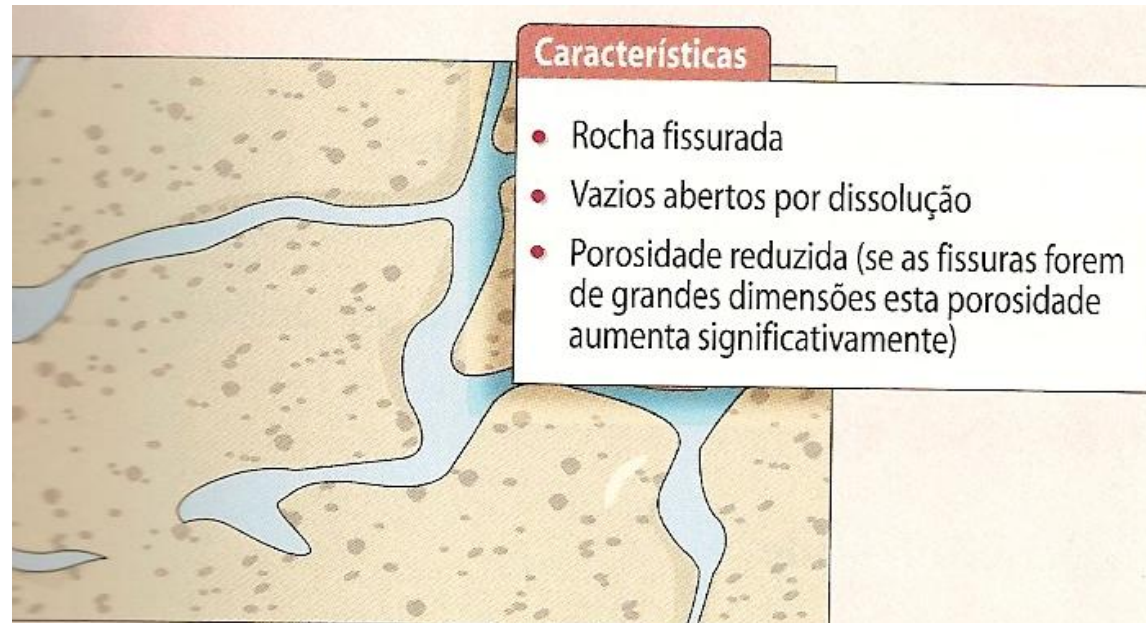


Rochas fissuradas

- As **rochas fissuradas** podem ser de origem muito diversificada.
- Os vazios que existem nestas rochas são designados fissuras e fracturas, dependendo do seu grau de desenvolvimento.
- As fracturas e fissuras podem ser originadas devido a acções mecânicas (como os movimentos mecânicos e os sismos);



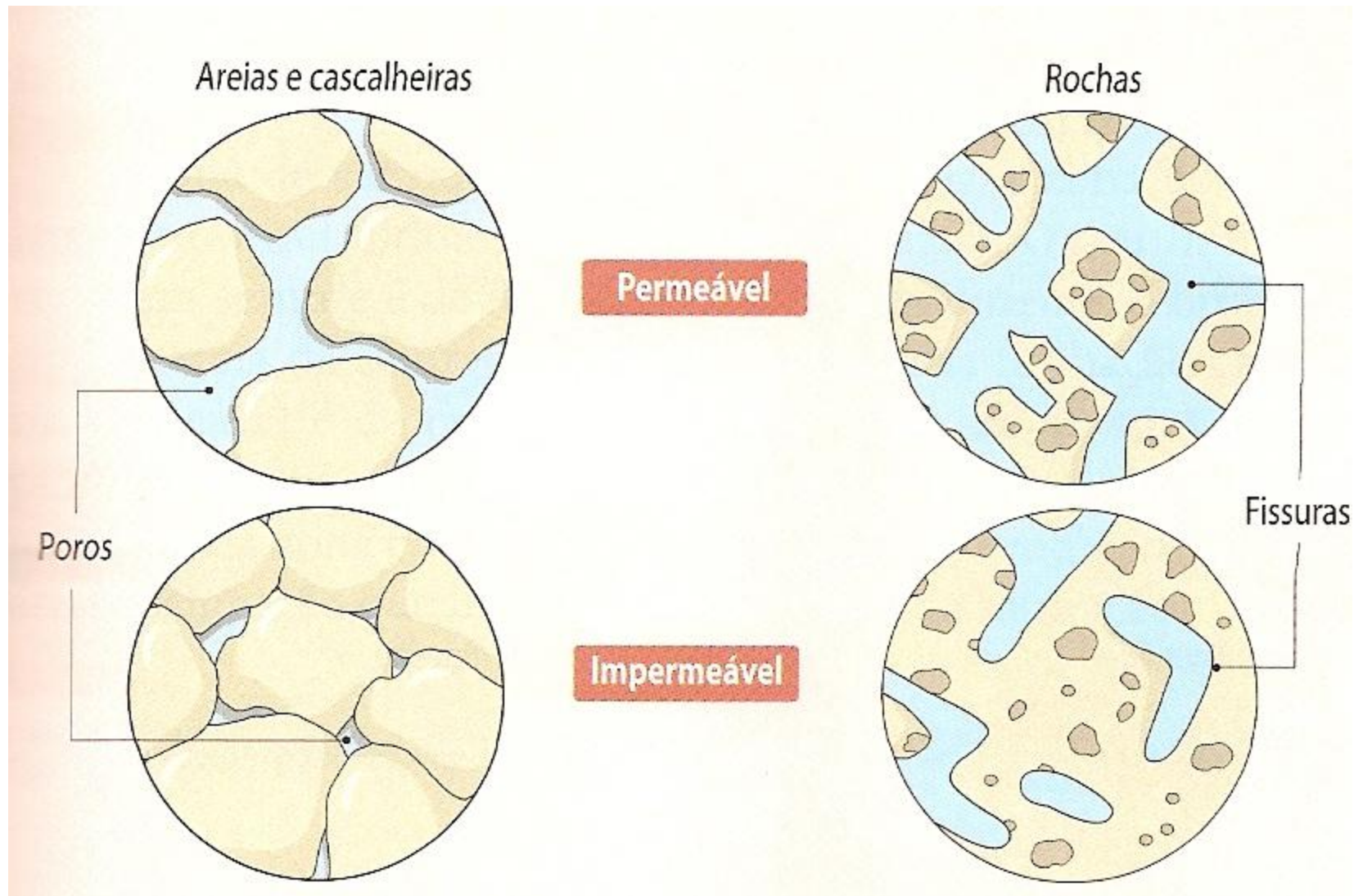
- Mas também podem ser originadas vido a **acções químicas** (como, por exemplo, a **dissolução** do carbonato de cálcio nas rochas carbonatadas) formando-se, em situações extremas, grutas, por vezes, com verdadeiros rios subterrâneos.



- Nestas rochas, a porosidade depende fortemente do desenvolvimento que as fracturas e fissuras apresentam.
- Contudo, apresentam, geralmente, uma porosidade inferior à das rochas porosas.

Permeabilidade

- Esta característica pode ser definida como a **maior ou menor facilidade com que uma formação rochosa se deixa atravessar pela água.**
- Quando os poros de uma rocha não estão em contacto uns com os outros, ou as fissuras e as fracturas estão semi-fechadas, a circulação de água é muito mais difícil e, nesta situação, as rochas classificam-se de **baixa permeabilidade.**
- Se, pelo contrário, os poros de uma rocha estabelecem passagens entre eles, ou as fissuras são abertas e contínuas, a circulação da água é fácil e, nesta situação, as rochas classificam-se de **elevada permeabilidade.**
- É a conjugação destas duas características, porosidade e permeabilidade, que permite caracterizar os reservatórios de água subterrânea.
- De acordo com o que atrás foi exposto, as rochas podem ser muito porosas e com boa permeabilidade se os seus poros tiverem dimensões adequadas e estabelecerem ligações entre si.



Relação entre porosidade e permeabilidade

- As rochas que reúnem estas características constituem os melhores aquíferos.
- Como por exemplo, as formações constituídas, essencialmente, por materiais arenosos.
- Se pelo contrário, os **poros forem de dimensões reduzidas e sem qualquer ligação entre eles**, a rocha apresenta uma **permeabilidade muito fraca**.
- As formações com estas características, embora **armazenando alguma água, não a conseguem libertar pelo que são consideradas **maus aquíferos****.
- Como exemplo temos as formações constituídas, essencialmente, por materiais argilosos.
- Geralmente, as formações com **porosidade baixa**, que **não armazenam ou armazenam pouca água, também apresentam **permeabilidade muito reduzida****.
- No quadro, está representada uma relação entre valores para porosidade e os correspondentes valores de permeabilidade para algumas formações geológicas.

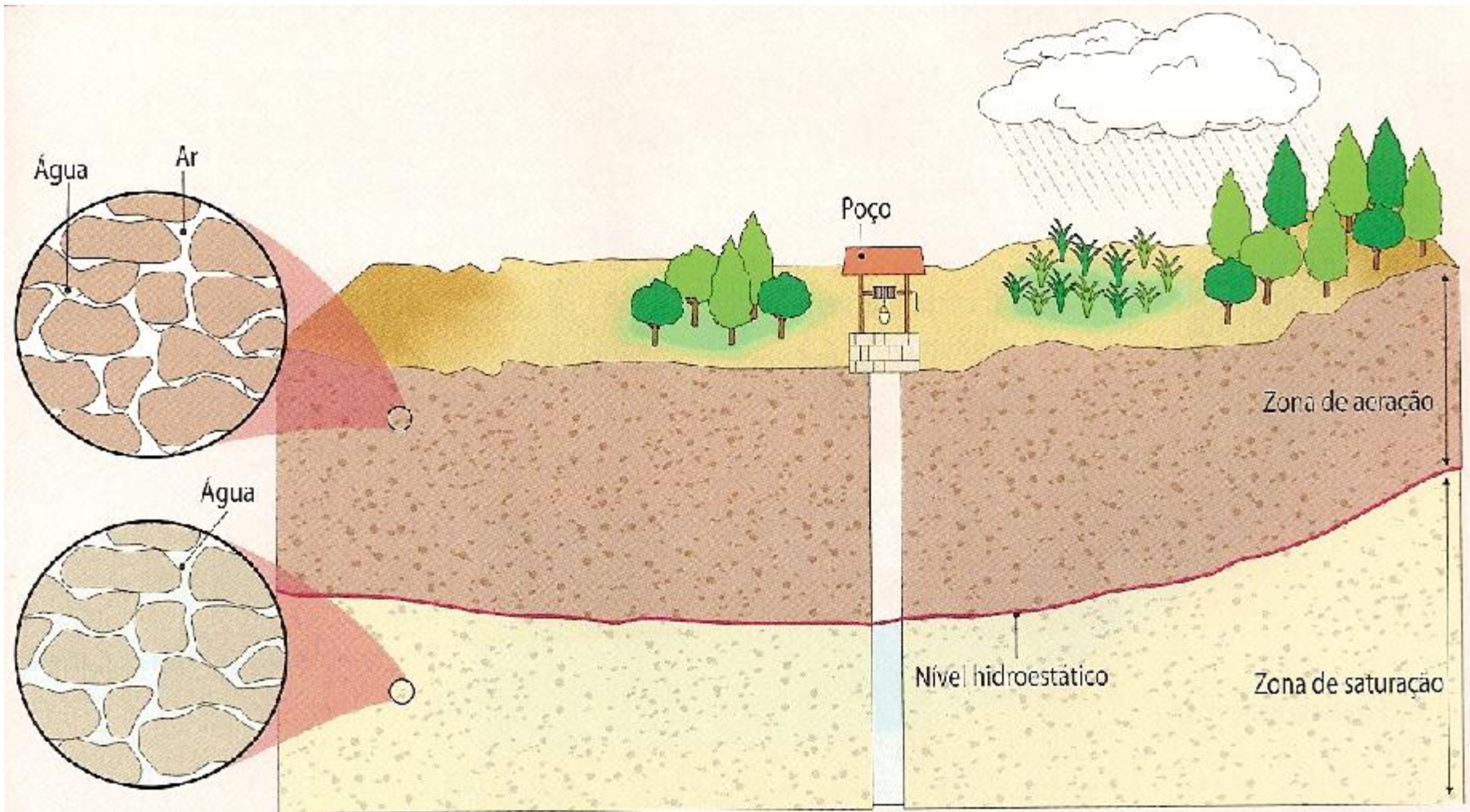
Tipo de Formação Geológica	Porosidade	Permeabilidade (m/dia)
Cascalheira	25 a 30%	> 1000m/dia
Arenosa	30 a 40%	25 a 5 m/dia
Argilosa	40 a 45%	<0,001 m/dia

		Porosidade (%)	Permeabilidade
Sedimento	Cascalho	25 a 40	Excelente
	Areia	30 a 50	Boa a excelente
	Silte	35 a 50	Moderada
	Argila	35 a 80	Fraca
Rocha	Conglomerado	10 a 30	Moderada a excelente
	Arenito	20 a 30	Boa a muito boa
	Calcário	0 a 20	Fraca a boa
	Cristalina não fracturada	0 a 5	Muito fraca
	Cristalina fracturada	5 a 10	Fraca
	Vulcânicas	0 a 50	Fraca a excelente

Porosidade e permeabilidade de alguns sedimentos e rochas

Zonas de um Aquífero

- O ciclo da água pode ser dividido em vários subciclos sendo, a sua parte subterrânea, objecto de estudo da Hidrogeologia – ciência que estuda o comportamento e distribuição das águas subterrâneas nas diferentes formações geológicas.
- Desde que a água, através de precipitação, chega à superfície terrestre e se vai infiltrando até atingir o aquífero, ela atravessa diferentes zonas.
- Da superfície terrestre para o interior, o aquífero divide-se em:
 - **zona de aeração (ou zona não saturada);**
 - **zona de saturação (ou zona saturada).**



Zonas de um aquífero

A zona de aeração

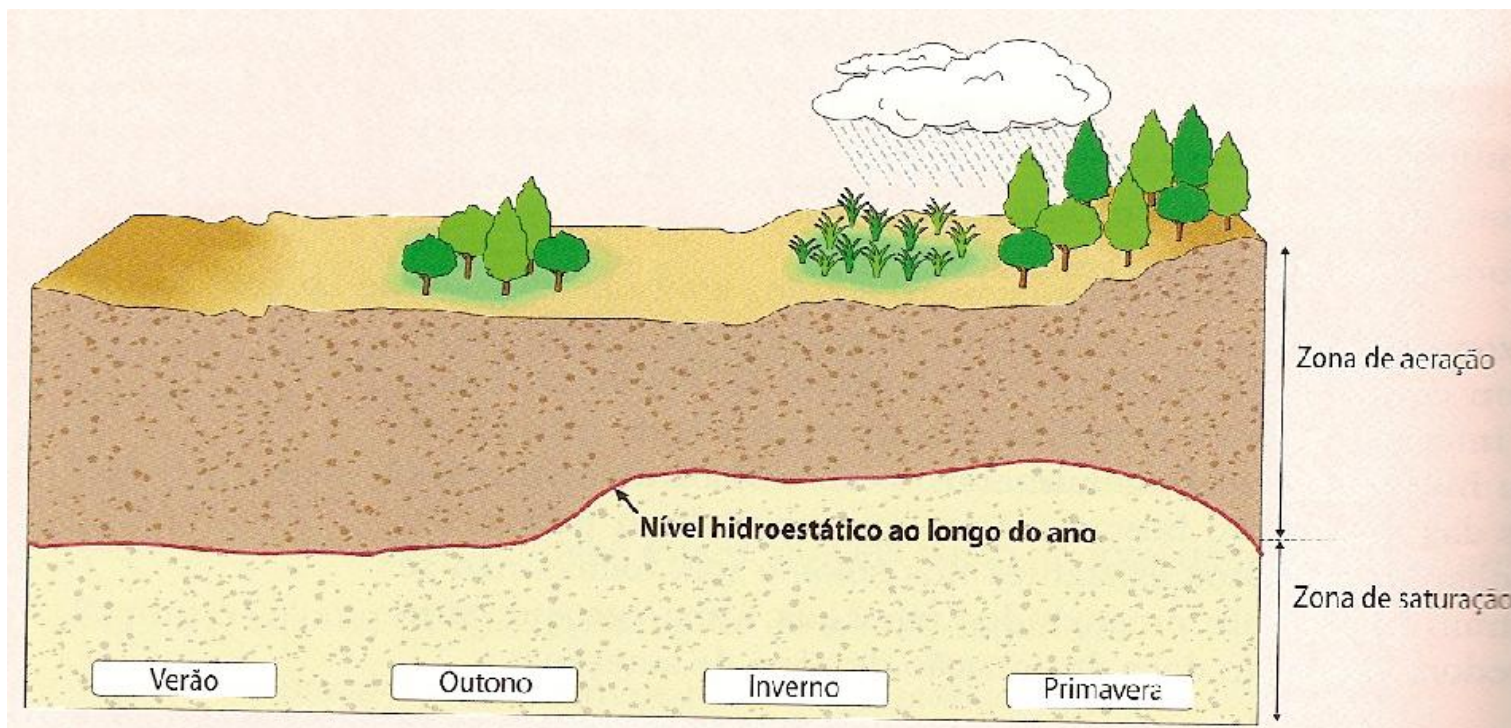
- É a **zona mais superficial de um aquífero**, que tem como limite superior a superfície do terreno e como limite inferior o nível a partir do qual aparece a água (nível freático ou hidrostático).
- É, geralmente, nesta zona que as plantas através das raízes, vão buscar a água que necessitam para o seu metabolismo.
- Os poros existentes nos solos e nas rochas não se encontram totalmente preenchidos por água, uma vez que **também podem conter ar**; daí a designação de **zona de aeração**.
- Esta é uma zona onde ocorre infiltração da água e fenómenos de capilaridade, isto é, uma zona de um aquífero livre onde se verifica uma intensa circulação vertical da água.
- É habitual dividir a zona de aeração em três subzonas distintas.
- Desde a superfície até ao nível freático podemos distinguir:
 - **Zona de Evapotranspiração** (à qual as plantas vão buscar a água necessária para o seu metabolismo);
 - **Zona Intermédia**, zona de um aquífero livre para a qual passa a água que não é libertada por evapotranspiração.
 - **Franja capilar** (que sofre variação na sua profundidade, podendo estar mais próxima da superfície ou mais afastada).

Zona de saturação

- Começa onde acaba a **zona de aeração**, isto é, no nível hidrostático (nível superior).
- O seu limite inferior nem sempre é de fácil definição.
- Normalmente, o limite inferior da zona de saturação corresponde a uma formação geológica impermeável e de porosidade muito reduzida ou mesmo nula, pelo que a água não consegue atravessar esta zona.
- Os **poros** existentes nesta zona encontram-se **totalmente preenchidos por água**; daí a designação de **zona de saturação**.
- Nesta zona, a água tem um movimento mais ou menos lento sob influência da pressão hidrostática.
- **Acima da zona de saturação, podemos encontrar uma zona mais ou menos espessa denominada franja capilar onde a água sobe por capilaridade a partir da zona saturada.**
- A altura desta zona é de poucos milímetros nos terrenos arenosos grosseiros, podendo atingir alguns metros em terrenos argilosos.

Nível freático

- O **Nível Freático ou Hidrostático** corresponde à profundidade a que a água se encontra numa determinada região.
- Este nível, variável ao longo do ano, encontra-se mais próximo da superfície, durante o Inverno e durante o Verão encontra-se a maior profundidade.

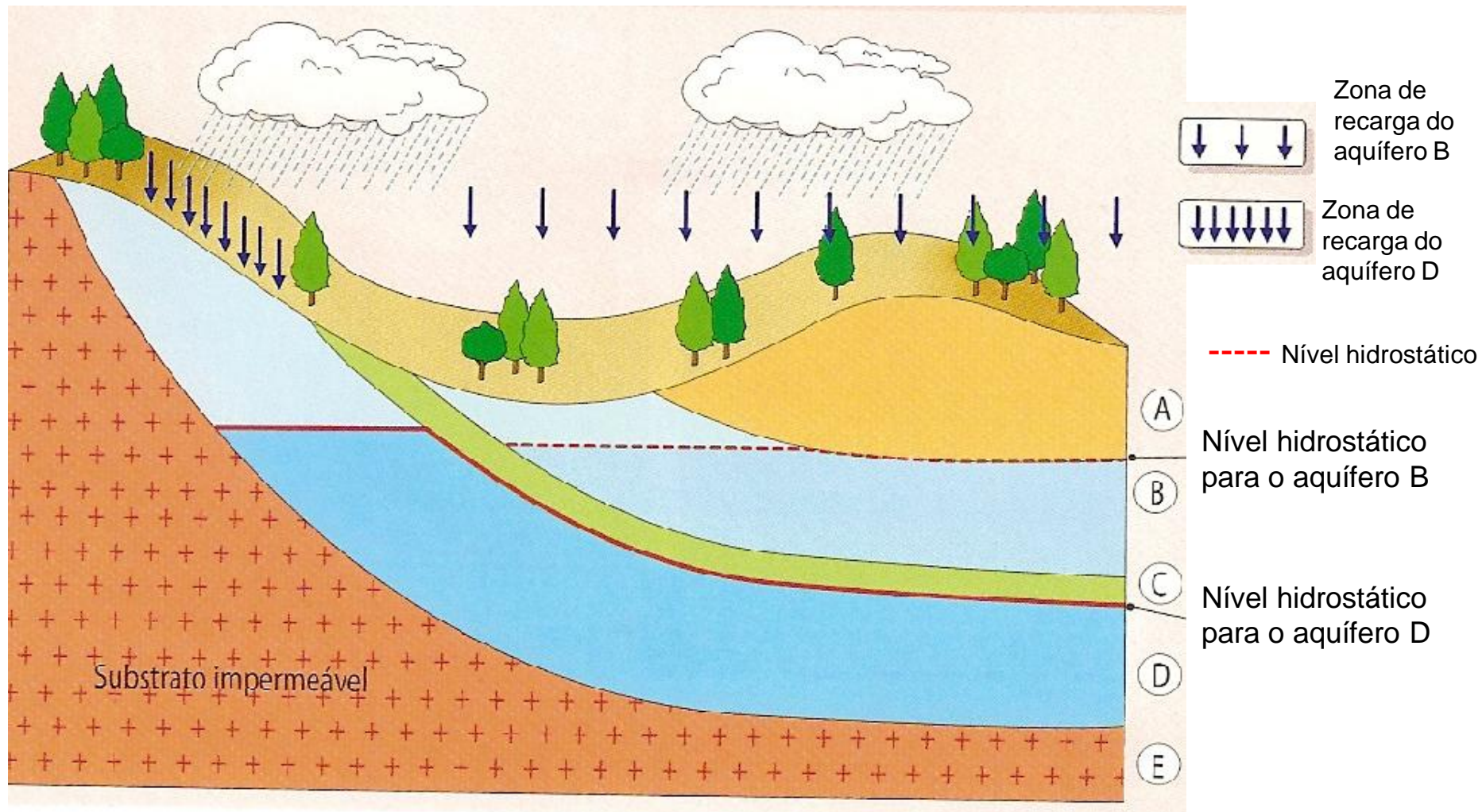


Variação do nível hidrostático ao longo do ano hidrológico

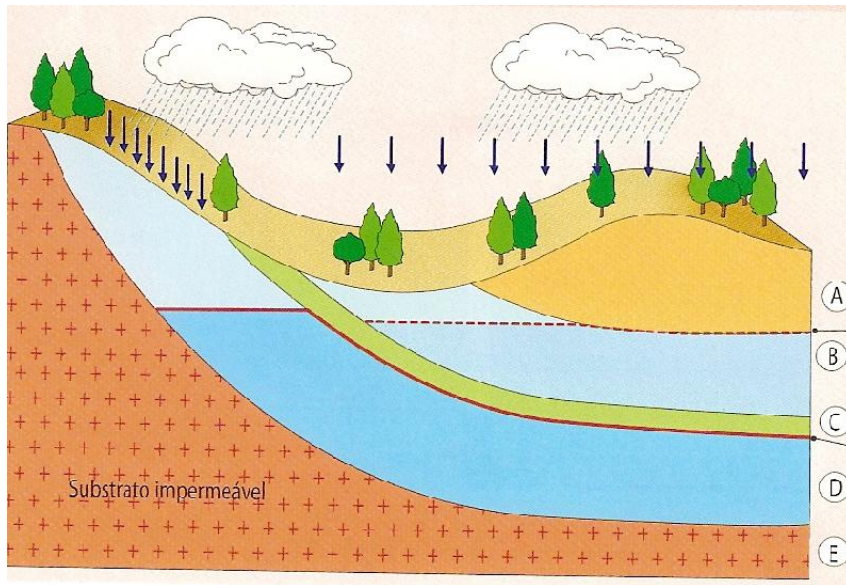
Tipos de Aquíferos

- A um nível superficial, a água que escorre à superfície concentra-se em linhas de água que confluem e formam ribeiros e rios cujo destino final são os lagos e os oceanos.
- As águas superficiais começam a infiltrar-se no solo por acção da gravidade, indo constituir as águas subterrâneas que podem ser armazenadas em aquíferos.
- As rochas com boa porosidade e permeabilidade são aquelas que melhores condições apresentam para funcionarem como aquífero.
- Os aquíferos podem apresentar características e comportamentos distintos.

Tipos de aquíferos – livre e cativo



Na figura é possível identificar, de cima para baixo, as seguintes camadas:



camada A – zona de aeração (ao longo da qual a água se infiltra).

camada B- zona saturada que constitui um bom aquífero (ex: uma camada arenosa)

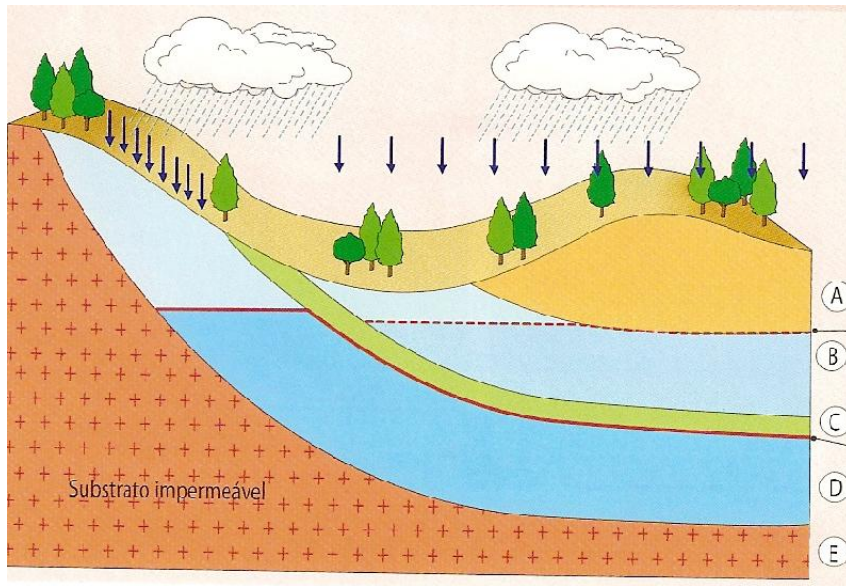
camada C- camada impermeável que não deixa passar a água (ex: uma camada argilosa)

camada D- camada com boa porosidade e boa permeabilidade, ou seja, boas condições para ser um aquífero (ex: uma camada arenosa).

camada E- substrato rochoso impermeável (ex: um granito são e não fracturado)

Nesta sequência é possível identificar duas camadas com as características necessárias para serem consideradas bons aquíferos:

- a camada B;
- a camada D.

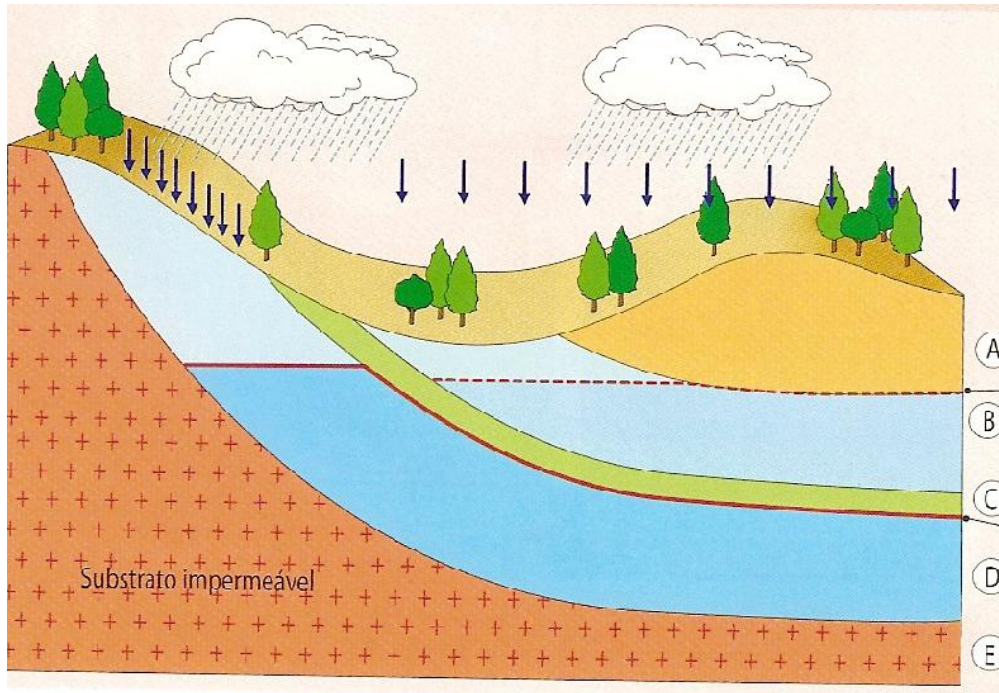


O aquífero da camada B encontra-se limitado por uma camada permeável (a camada A que está por cima e permite a recarga de água) e por uma camada impermeável (a camada C que está por baixo).

O aquífero da camada D encontra-se limitado por duas camadas impermeáveis (a camada C que está por cima e a camada E que está por baixo).

Como o aquífero da camada B se encontra em contacto com uma zona não saturada, a recarga deste aquífero faz-se pelas camadas que estão por cima. Como tal, a pressão da água na parte mais superficial deste aquífero – nível hidrostático – é igual à pressão atmosférica; deste modo, este aquífero é designado **aquífero livre**.

- Assim um aquífero livre considera-se como sendo uma formação geológica permeável, por ex, areias, e parcialmente saturada de água, que na base se encontra limitada por uma camada impermeável, por ex. argilas.
- Neste tipo de aquífero, a água está à pressão atmosférica.
- **O lugar geométrico dos pontos onde a pressão da água é igual à pressão atmosférica denomina-se superfície piezométrica ou nível freático.**



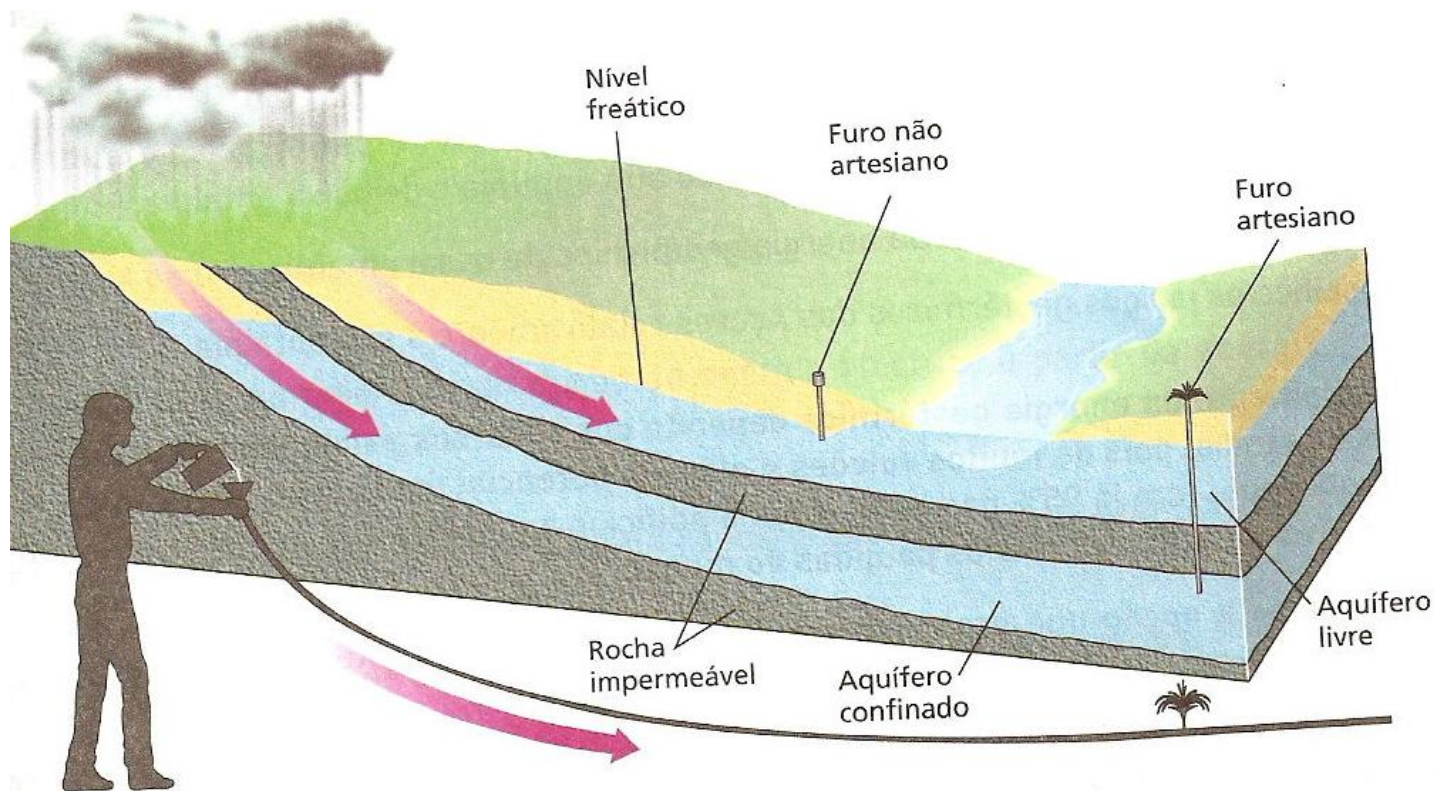
A parte superior do **aquífero da camada D** está em contacto com uma camada impermeável;

por isso, a recarga deste aquífero é feita lateralmente e não pela camada que está por cima.

Como tal, a **pressão da água** neste aquífero, na sua parte mais superficial (nível hidrostático em contacto com a camada C), é **superior à pressão atmosférica**; deste modo, este aquífero é designado **aquífero cativo ou confinado**.

- Assim um **aquífero confinado** considera-se como sendo uma formação geológica permeável onde a água se acumula e movimenta, que está limitada no topo e na base por formações geológicas impermeáveis.
- Neste tipo de aquíferos a pressão da água é superior à pressão atmosférica.
- **A recarga faz-se através de uma zona limitada que fica em contacto com a superfície.**
- A captação de águas subterrâneas pode ser efectuada nos dois tipos de aquíferos através de furos.
- Num **aquífero cativo**, a água subirá acima do tecto devido à pressão exercida pelo peso das camadas suprajacentes.
- **Como a água neste tipo de aquíferos se encontra a uma pressão superior à pressão atmosférica, quando é realizado um furo a água subirá até à cota correspondente à superfície piezométrica, isto é, até encontrar uma pressão igual à atmosférica.**

- Uma captação realizada nestas condições chama-se **furo artesiano**.
- Se a água consegue atingir a superfície sob a forma de um repuxo, então o furo artesiano é um **furo repuxante**.



Aquífero livre e confinado

Gestão das Águas Subterrâneas

- Até hoje, sempre se tem afirmado que a água subterrânea ou não, é um recurso renovável.
- Contudo, o aumento demográfico, verificado nalgumas regiões do Globo, fez aumentar de uma forma acentuada as necessidades de água.
- Ao mesmo tempo que aumenta a população, também aumenta a produção de resíduos e de outros materiais poluentes pelo que, actualmente, não é suficiente ter apenas acesso à água, mas também a água de qualidade.
- A água pode ser poluída segundo três aspectos distintos:
 - **Poluição Física;**
 - **Poluição Química;**
 - **Poluição Bacteriológica.**

Poluição física

- A **Poluição Física**, ocorre quando se verifica uma variação significativa nas propriedades físicas da água.
- Por exemplo, uma variação nos valores de temperatura habituais ou uma variação na radioactividade apresentada pelas águas de um aquífero.
- Uma situação comum ocorre quando grandes indústrias fazem despejos de uma grande quantidade de água, a temperatura elevada, que foi usada no arrefecimento de motores ou noutro qualquer processo industrial.
- Esta água, a temperatura elevada, pode provocar um aumento da temperatura da água de um aquífero.
- Tratando-se de um fenómeno temporário, com mais ou menos facilidade, rapidamente o aquífero adquirirá as suas propriedades físicas normais.
- Os outros tipos de poluição, a poluição química e a poluição bacteriológica, são de remediação muito mais difícil e demorada, e em situações extremas, mesmo impossível.

Poluição química

- A organização Mundial de Saúde (OMS) define **poluição química** como a introdução na água de substâncias que podem prejudicar a sua utilização, tornando-a desagradável à visão, ao olfacto e ao paladar e prejudicial à saúde.
- Estas substâncias podem provocar, em simultâneo, a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas da água, tornando-a imprópria para muitas das suas utilizações no dia-a-dia.

Poluição bacteriológica

- Quando substâncias tóxicas ou organismos patogênicos aparecem na água, tornando-a imprópria para consumo e para as utilizações domésticas, estamos perante uma situação de **poluição bacteriológica**.
- Os poluentes que, frequentemente, se encontram nas águas subterrâneas tanto podem ser de origem orgânica, como de origem inorgânica.
- **Nota:** Para muito autores o termo contaminação é sinónimo de poluição bacteriológica.

- Os poluentes que, frequentemente se encontram nas águas subterrâneas tanto podem ser:
 - de origem orgânica;
 - como de origem inorgânica.
- O quadro resume os principais poluentes.

Principais poluentes das águas subterrâneas	
Nutrientes ricos em azoto	Organismos diversos (bactérias, vírus)
Sais dissolvidos	Derivados do petróleo
Substâncias radioactivas	Óleos
Metais pesados	Materiais em suspensão (fibras e plásticos)
Sólidos em suspensão (poeiras, escórias de minas)	Produtos químicos dissolvidos (detergentes e fenóis)

- De uma maneira geral, a poluição que afecta as águas subterrâneas é causada pelas diferentes actividades do Homem.
- Assim, a poluição das águas pode ser dos seguintes tipos:
 - **Poluição de origem agrícola;**
 - **Poluição de origem urbana;**
 - **Poluição de origem industrial.**

Poluição de origem agrícola

- A agricultura, sobretudo a de carácter intensivo, utiliza grandes quantidades de adubos, pesticidas e outras substâncias capazes de fazerem aumentar a produtividade dos solos.
- Estes produtos possuem substâncias que são nocivas para as águas subterrâneas, algumas mesmo tóxicas, tais como nitratos, fosfatos e por vezes metais pesados.
- A assimilação destes produtos por parte das plantas nunca é total, pelo que os fosfatos e nitratos que não são assimilados pelas plantas acabam por ser arrastados pelas águas das chuvas até aos aquíferos, poluindo-os.
- A actividade da agropecuária, é também uma importante fonte poluidora.
- Os resíduos orgânicos produzidos pelos animais são utilizados como fertilizantes (estrume) e são lançados directamente sobre os terrenos agrícolas, podendo desta forma, também contaminar os recursos hídricos subterrâneos.



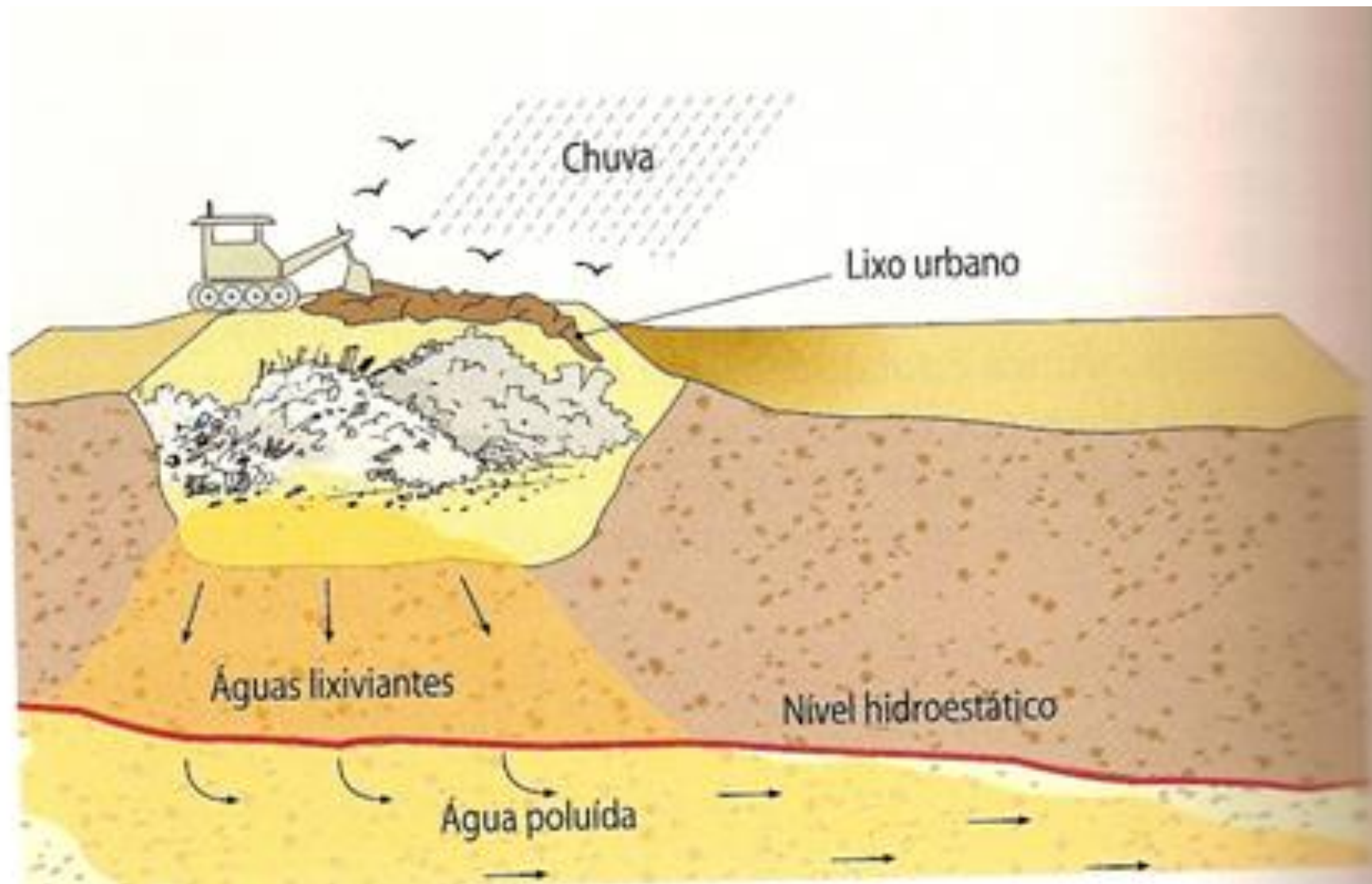
Restos de fertilizantes e pesticidas



Restos de alfaias e produção agrícola

Poluição de origem urbana

- O aumento populacional tem causado enormes problemas, em particular a gestão dos resíduos produzidos pelo Homem (lixos).
- Os resíduos, mesmo quando depositados em locais adequados – aterros sanitários -, com o tempo vão registando transformações, que originam muitas vezes materiais perigosos para os aquíferos.
- Destes materiais, os mais nocivos são as águas lixiviantes, que caso não sejam convenientemente tratadas, ou caso ocorra uma fuga, poderão contaminar, de uma forma muitas vezes irreversível, os aquíferos.

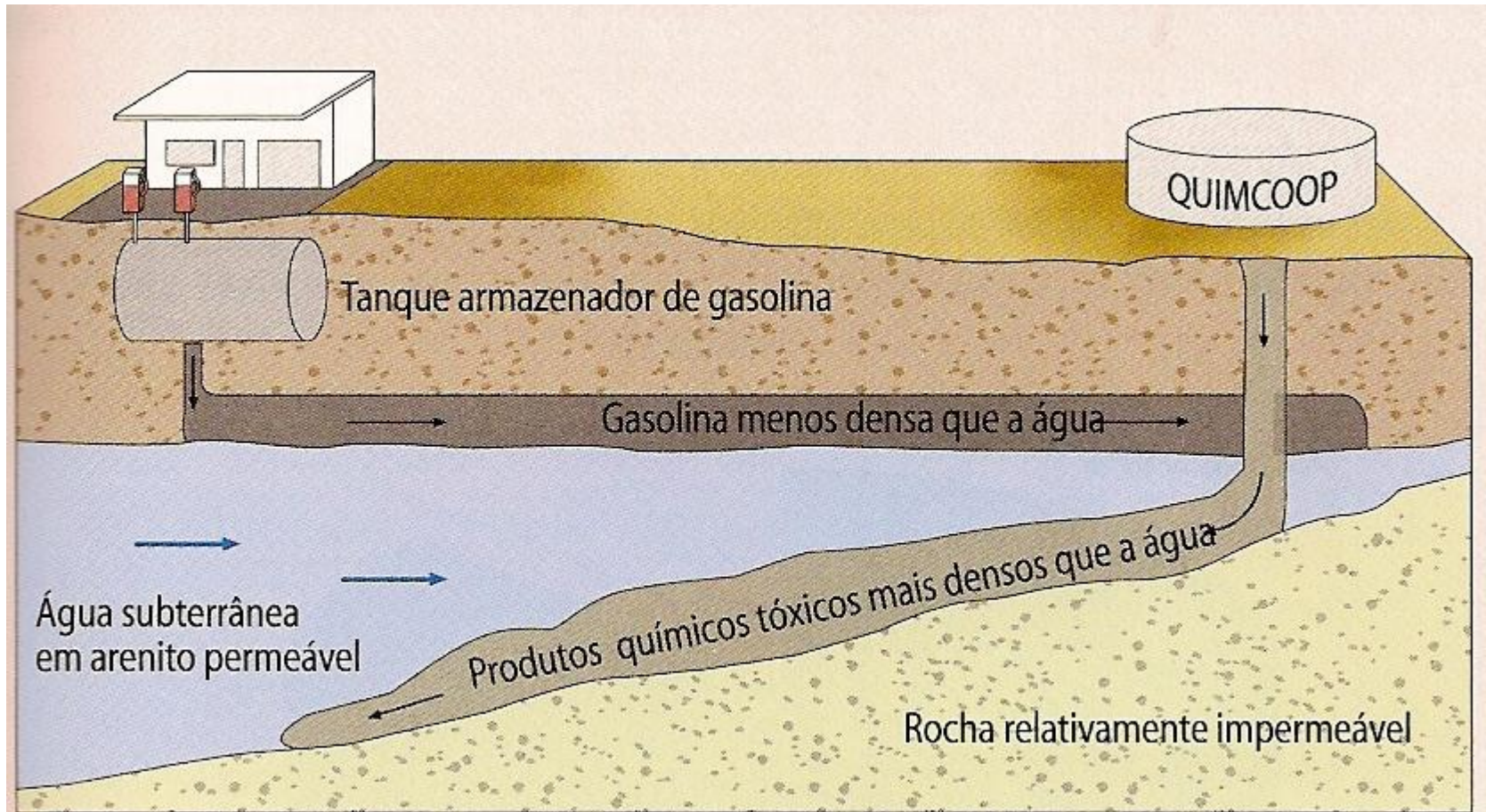


Poluição provocada pela deposição de resíduos urbanos

Poluição de origem industrial

- A actividade industrial, nomeadamente as indústrias petroquímica, metalúrgica e alimentar, produz resíduos líquidos que são lançados, muitas vezes, nos solos u nas linhas de água, sem qualquer tipo de tratamento.
- As substâncias poluidoras (metais pesados, produtos orgânicos e outras) geradas por estas actividades são, em alguns pontos do país, as grandes responsáveis pelo estado de degradação em que se encontram alguns aquíferos.

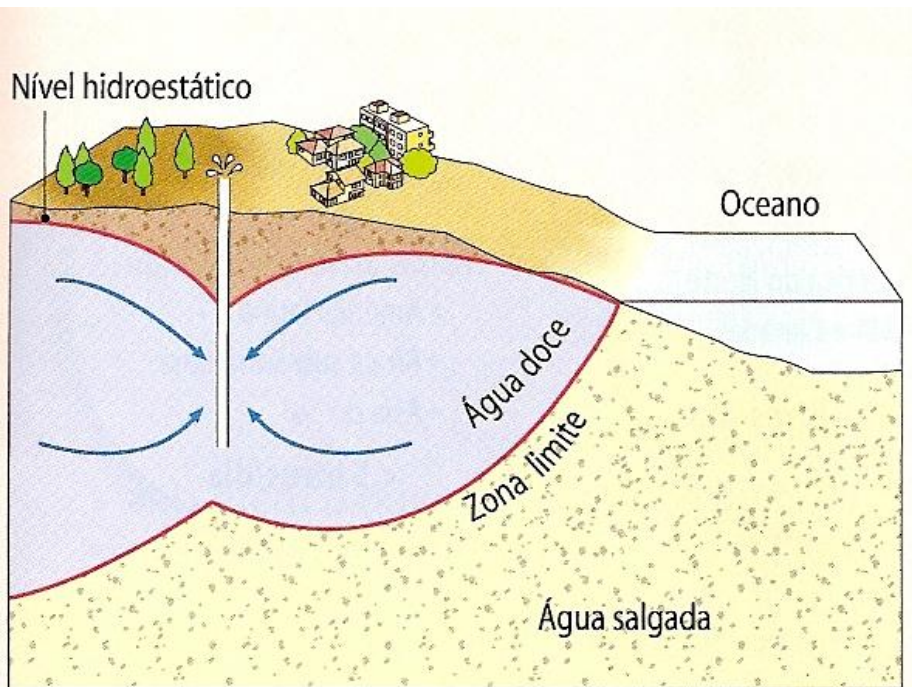
Poluição provocada pela actividade industrial



Fuga de combustível e de produtos tóxicos para o aquífero

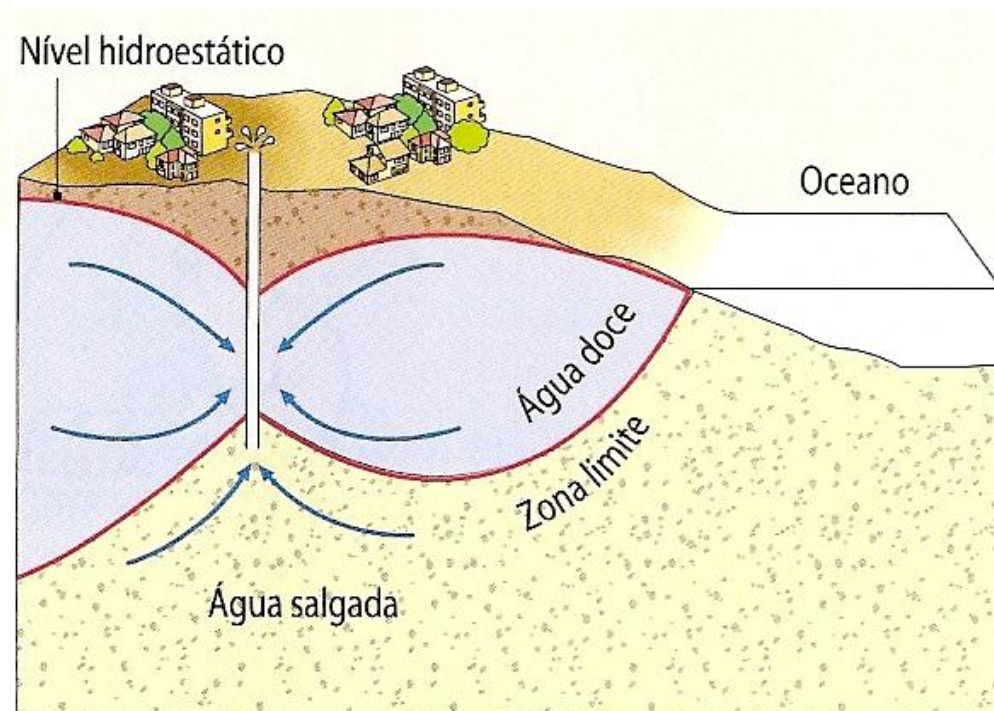
- Também a sobreexploração de um aquífero pode provocar a sua poluição.
- Retirar água em excesso de um aquífero pode originar alterações químicas ou bacteriológicas nas águas remanescentes, tornando-as impróprias para o consumo.
- Os casos de sobreexploração mais típicos são os que ocorrem nas zonas costeiras.
- Assim, se determinado aquífero, localizado no litoral, for explorado em excesso, a diminuição da quantidade de água doce possibilita o avanço da água salgada subterrânea em direcção ao continente, acabando por atingir as captações que se localizam mais próximo do mar.
- Quando esta situação acontece, é muito difícil a recuperação de um aquífero.

Sobreexploração de aquíferos costeiros



A Aquífero correctamente explorado.

B Aquífero sobreexplorado.

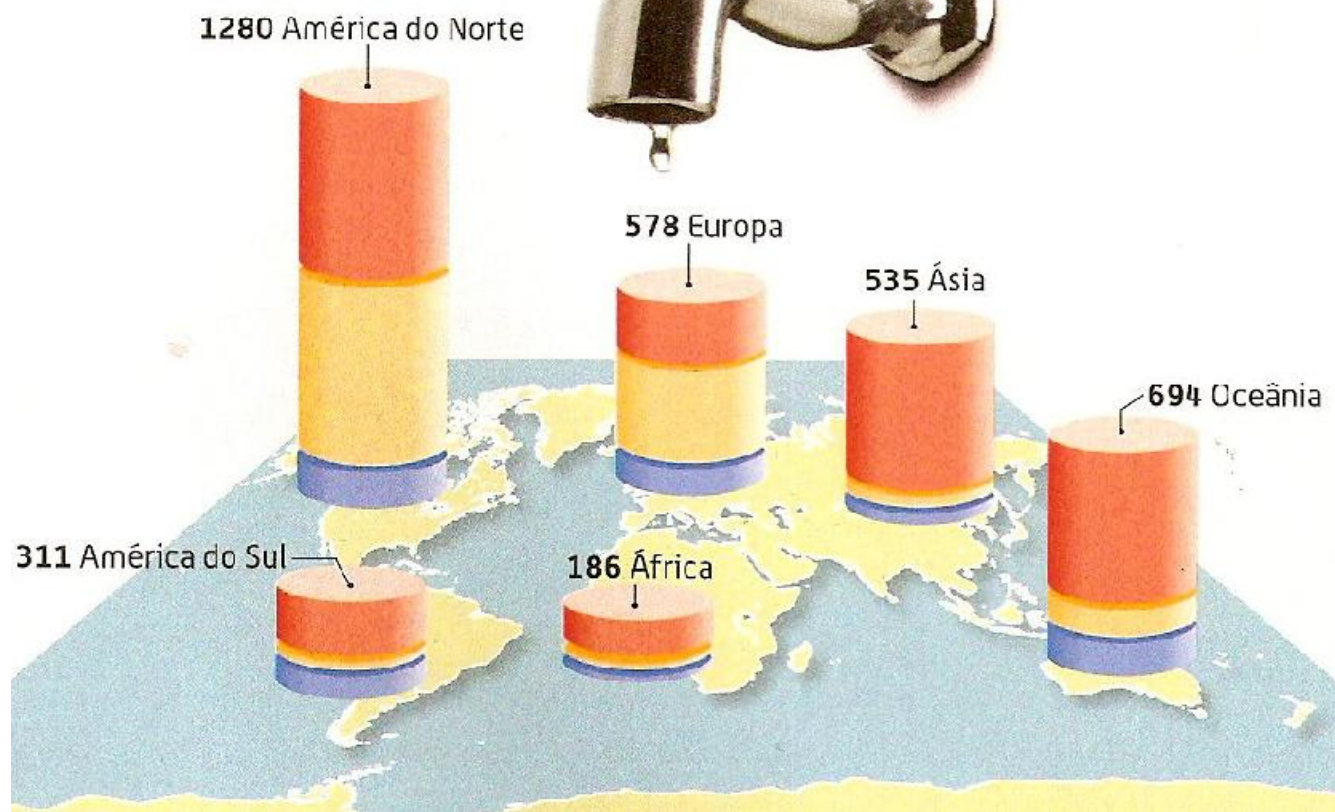


- A correcta gestão dos recursos hídricos da Terra passa, não só pela sua protecção e preservação, para que esses recursos não sejam poluídos, mas, também, por uma mais eficaz e racional utilização da água.
- Actualmente, mais de 85% da água que é utilizada pela humanidade é consumida pela actividade agrícola, mas com uma eficiência muito reduzida.
- Os restantes 15% são repartidos pelo consumo urbano e pelo consumo industrial.
- A quantidade de água utilizada no consumo urbano é muito variável de país para país.
- Assim, nos países desenvolvidos (Europa Ocidental, EUA, Canadá e Japão), o consumo diário de água por habitante atinge 140 litros.
- Nos países do Terceiro Mundo (muitos países da América Latina, Médio Oriente, África Subsariana, do Sul da Ásia e outros), o consumo diário de águas por habitante apresenta uma média inferior a 5 litros.

Consumo anual de água por habitante

Consumo anual de
água por habitante
[metros cúbicos]

- Agricultura
- Indústria
- Uso doméstico



Para Reflectir

- Será que a água está mal distribuída no Mundo?
- Será que temos hábitos francamente esbanjadores?
- Será que os povos dos países subdesenvolvidos são pouco higiénicos?