

## ÁGUA SUBTERRÂNEA

### **META**

Mostrar como a água se infiltra e circula abaixo da superfície sólida da terra, constituindo parte importante do Ciclo Hidrológico.

### **OBJETIVOS**

Ao final desta aula, o aluno deverá:

entender o conceito de aquífero;

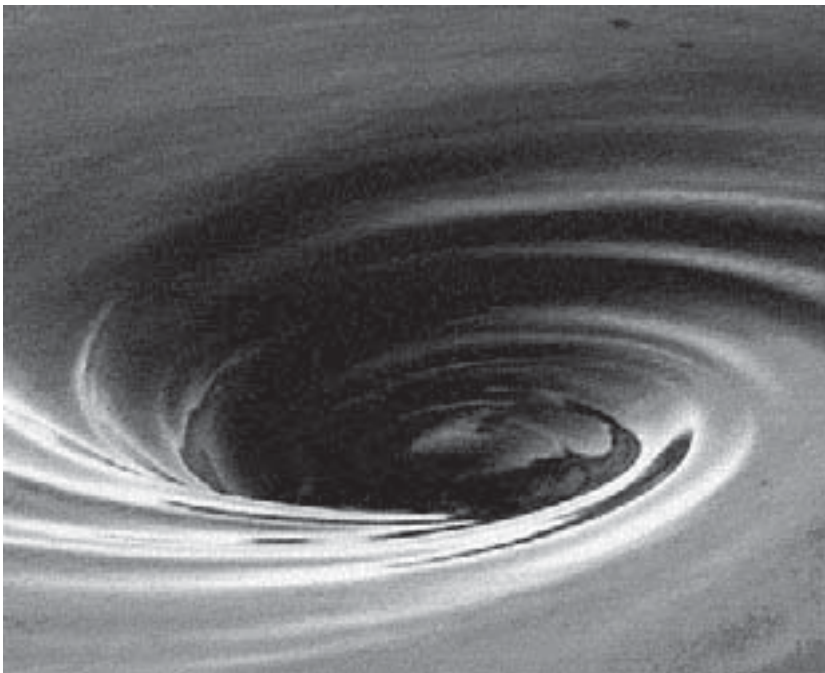
identificar os principais tipos de aquíferos;

reconhecer os mecanismos de armazenamento da água em subsuperfície; e

resolver problemas relacionados à captação de água subterrânea.

### **PRÉ-REQUISITOS**

Conhecimentos sobre o deslocamento da água e os seus caminhos na natureza, bem como sobre o volume disponível na Hidrosfera.



Água (Fonte: <http://blogs.epi.es>).

## INTRODUÇÃO

A água subterrânea é mais importante do que a gente pensa à primeira vista. Além de constituir 4,1 % da água total do planeta, volume bem maior que o volume dos rios, que alcança apenas 0,0007% (ver tabela 01 da aula anterior), está melhor protegida dos processos de poluição e ainda, por viajar lentamente em direção aos fundos oceânicos, constitui verdadeiros reservatórios naturais de água potável pronta para o consumo humano. Assim, nesta aula, teremos a oportunidade de entender como a água penetra no chão e como ela se move abaixo da superfície por conta de propriedades que têm as rochas, que não só armazena como também deixa fluir a água armazenada, o que possibilita a sua recuperação e uso. A água subterrânea constitui parte importante do Ciclo Hidrológico.

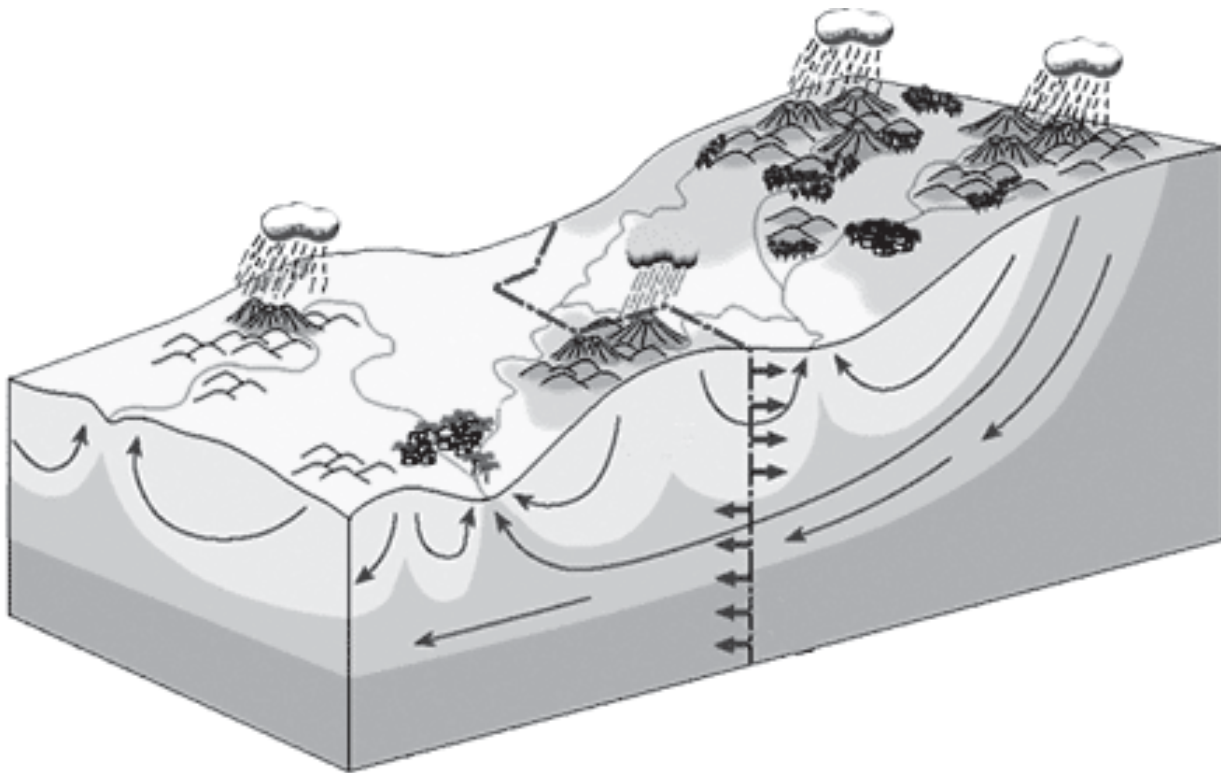


Figura 6.1- Água subterrânea (Fonte: <http://www.sg-guarani.org>).

## ÁGUA SUBTERRÂNEA

São considerados elementos hidrológicos principais:

- a) o volume total de água precipitada numa determinada região – V;
- b) a quantidade de água infiltrada – I;
- c) a quantidade de água que escoar superficialmente – S; e
- d) a quantidade de água que evapora das superfícies livres de água, incluindo os oceanos - E.

Esses elementos obedecem à seguinte equação:

$$V = E + S + I$$

A água total precipitada pode seguir os diferentes caminhos: evaporar-se da própria atmosfera e das superfícies livres de água, voltando para o espaço de onde veio; escoar pela superfície formando filetes que se somarão a outros para formar fluxos mais volumosos e assim, evoluir para formar muitas vezes, rios caudalosos; infiltrar-se no solo abastecendo os **aqüíferos**, constituindo o que chamamos de **água subterrânea**, que se define como sendo toda a água situada abaixo da superfície sólida do terreno, impregnando os espaços vazios das rochas, que neste caso são consideradas aqüíferos.

A quantidade de água infiltrada depende, dentre outras coisas, da permeabilidade da rocha, que reflete o grau de interconexão entre os espaços vazios, também chamados de poros. Por outro lado, podemos dizer que permeabilidade é a medida da facilidade com que a água pode se mover através do corpo de rocha, solo ou sedimento. Quanto maior a permeabilidade, maior a infiltração das águas precipitadas durante as chuvas em uma determinada região. A quantidade total de água infiltrada depende também do tempo que a água tem para penetrar no chão. Uma chuva muito forte e um terreno muito inclinado irão reduzir este tempo, diminuindo a quantidade de água infiltrada.

**Aqüífero**

Corpo de rocha que, devido às suas características físicas no que se refere aos espaços vazios existentes, são capazes de armazenar e de transmitir água.

**Água subterrânea**

Água situada abaixo da superfície sólida da terra.

## ATIVIDADES

Que efeito terão cada um dos tópicos denominados de (a) a (e) sobre a quantidade total de água infiltrada, e por quê?

- a) vegetação densa;
- b) superfície inclinada;
- c) terra arada;
- d) estradas e edificações;
- e) subsolo congelado.



### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

A infiltração será tanto mais intensa quanto mais espaços vazios conectados existirem no corpo da rocha. Algumas ações, como a compactação do solo pelo uso de maquinários pesados, fazem com que os espaços vazios se fechem e diminuam a quantidade de água que se infiltra, aumentando, em consequência, o volume de água que irá escoar superficialmente. Assim, quando um fator provoca a diminuição de um dos elementos hidrológicos principais, outro é, em consequência, aumentado.

### CARACTERÍSTICAS DOS ESPAÇOS ABAIXO DA SUPERFÍCIE

#### Capilaridade

Fluxo de água através dos finos espaços existentes entre as partículas minerais. Tem a ver com a temperatura, logo é o início da evaporação da água subterrânea. Quando a água tem sais dissolvidos, estes se cristalizam na superfície, dando origem a um fenómeno chamado eflorescência, enquanto a água evapora-se, límpida e potável, completando uma fase dentro do ciclo.

Zona de Aeração – os espaços vazios ou poros são preenchidos pelo ar. A água passa através das partículas do solo ou rocha sedimentar.

Zona de Saturação – os espaços vazios ou poros estão preenchidos por água. O limite entre essas duas zonas é chamado de lençol freático ou superfície da água subterrânea. Esta superfície é móvel e oscila para cima ou para baixo em função da recarga (chuva) ou do consumo.

Como se pode ver na figura a seguir, a superfície que separa a Zona de Saturação da Zona de Aeração é chamada de lençol freático. A água situada abaixo do lençol freático é o que chamamos de água subterrânea. Acima do lençol freático a água está em movimentação vertical para baixo por gravidade ou para cima por capilaridade.

A Zona de Aeração será tanto mais espessa quanto menor for o índice pluviométrico que, por sua vez, depende do tipo de clima. A topografia também exerce uma certa influência, pois o índice de infiltração é pequeno quando a topografia apresenta declividades acentuadas. Assim, pode-se afirmar que, em regiões de clima árido e montanhoso, a Zona de Aeração pode alcançar centenas de metros, enquanto em áreas de alto índice pluviométrico, pode ser apenas de poucos metros.

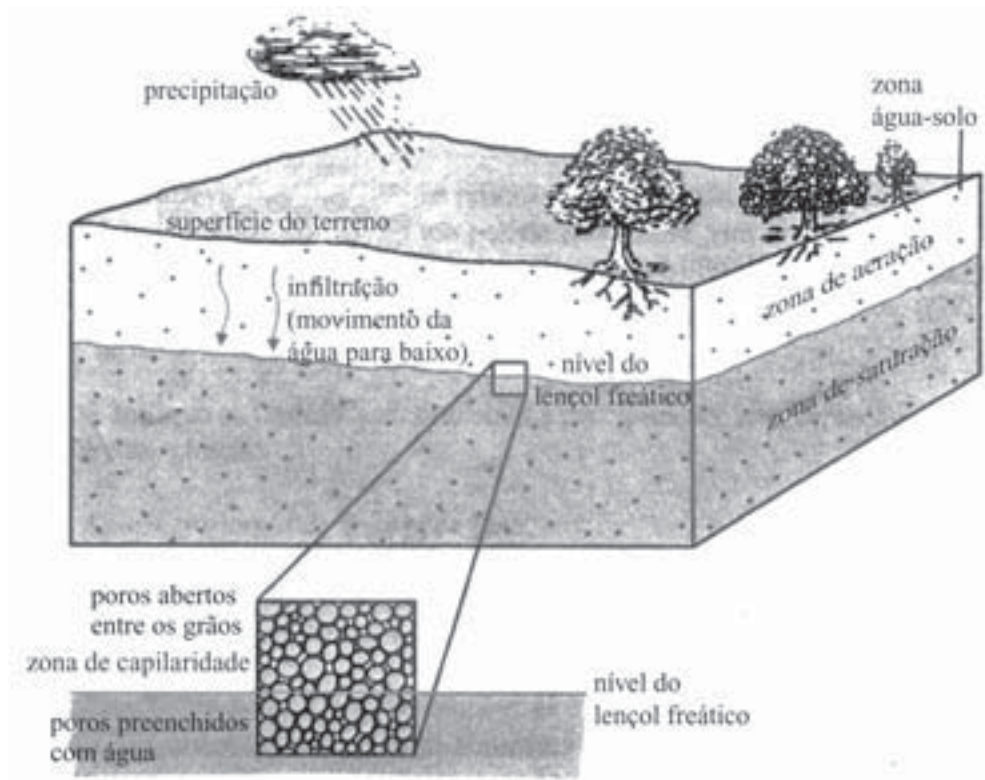


Figura 6.2 - Lençol freático.

## ATIVIDADES

1. Analise a figura conhecida por bloco diagrama, observe todos os elementos ali representados e defina-os.
2. Reproduza o bloco diagrama até poder fazê-lo sem olhar. Isto vai ajudá-lo futuramente.



## COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Na Zona de Aeração, o fluxo da água é vertical para baixo e na, Zona de Saturação, o fluxo é lateral. O nível freático pode estar mais próximo da superfície em função da topografia. A Zona de Saturação será tanto mais espessa quanto maior for o volume de chuva.

## ZONA DE SATURAÇÃO

A Zona de Saturação será tanto mais espessa quanto maior for a permeabilidade da rocha. Em condições normais, chega a algumas dezenas de metros (60 a 70), podendo, em alguns locais atingir milhares de metros.

É claro que, na Zona de Aeração, o movimento da água é predominantemente lateral em direção ao nível do mar cuja cota é zero.

O lençol freático começa no contato com a água subterrânea, ou seja, a própria superfície da água já é o lençol freático. Ele tende a seguir os contornos da superfície do terreno, subindo sob as montanhas e descendo sob os vales. Aonde os rios correm, geralmente o nível freático intercepta o leito do rio. No caso dos rios perenes ou efluentes, estes recebem contribuição do nível freático, enquanto os rios temporários ou influentes contribuem para o lençol freático, e por isso mesmo, secam nas estações de pouca chuva.

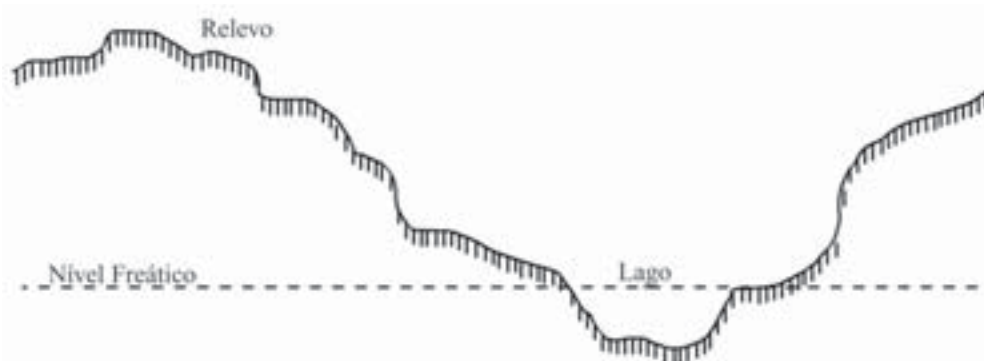
Sob as montanhas, o lençol freático geralmente está a profundidades maiores em relação à superfície do que em relação aos vales. Onde o lençol freático intercepta a superfície do terreno, a água subterrânea irá aflorar na forma de fontes naturais, córregos, rios ou lagos, como visto antes.

Os contornos do lençol freático podem ser inferidos a partir dos poços existentes na área, de forma que o nível da água pode ser inferido ou previsto por extrapolação naqueles locais que ainda não têm poços, mas que futuramente pode se querer furar.

## ATIVIDADES



1. Observe a figura e responda: o que acontece quando a superfície topográfica intercepta o nível freático?



2. Observando a figura a seguir responda: como alcançar a água subterrânea consumindo menos energia, ou seja, por um custo menor: perfurando no ponto 1, no ponto 2, ou no ponto 3?

Então, se você fosse escolher um lugar para locar um poço (furar um poço), qual lugar você escolheria? Explique sua escolha.

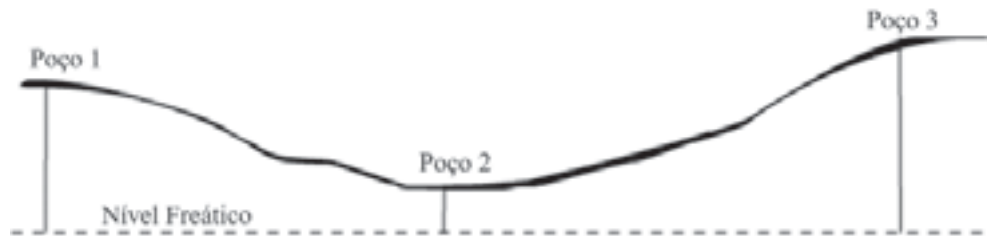


Figura 6.4 - Intersecção artificial do lençol freático – poços.

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Você deve ter pensado em um lago ou lagoa. Ambos estão corretos, só que a lagoa é de dimensão menor que o lago, mas ambos são definidos por extensão de água cercada por terras. Geologicamente falando, é consequência da intersecção do lençol freático pela superfície topográfica. É um conceito técnico bem mais completo (?). Observe que o lago ou lagoa é a exposição à flor da terra de uma superfície livre de água em função de um processo natural. O homem poderia artificialmente provocar o mesmo fenômeno, e isto é feito com muita frequência.

#### Cota

Altitude em relação a um plano referencial. Via de regra, este plano é o nível do mar, que é considerado como tendo valor igual a zero

### AQUÍFEROS

Uma rocha, capaz de armazenar água e através da qual a água pode fluir, é chamada de aquífero. Assim, para que uma rocha seja considerada um aquífero, ela tem que ser porosa e permeável.

Porosidade é a proporção do volume da rocha que consiste de espaços vazios. É o volume de poros em relação ao volume total da rocha.

$$\text{Porosidade} = \frac{\text{Volume de Poros}}{\text{Volume total}} \times 100$$

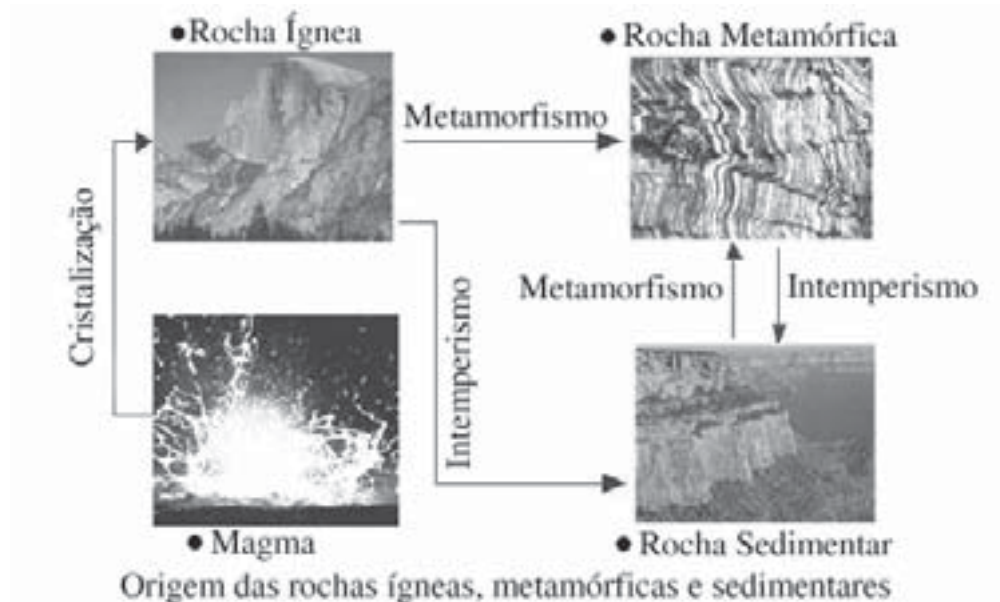
A porosidade é, portanto, sempre expressa em porcentagem (porcentagem de espaços vazios em relação ao volume total).

A porosidade depende do tamanho dos grãos, da extensão da cimentação das partículas (que vai obstruir os espaços vazios) e da quantidade de **fraturamento**, que gera mais espaços vazios na rocha.

#### Fratura

Linhas de fraqueza segundo as quais a rocha se parte, em resposta aos esforços a que são submetidas dentro da terra.

As rochas sedimentares geralmente são menos porosas que sedimentos de tamanho correspondente. Isto porque as rochas já sofreram cimentação e perderam muitos dos seus espaços vazios. Rochas ígneas e metamórficas são ainda menos porosas que as rochas sedimentares. As ígneas e metamórficas só constituem aquíferos se estiverem fraturadas.



O assunto 'rochas' será abordado posteriormente, mas adiantamos que:

As rochas ígneas – são consideradas como sendo rochas primárias, pois se formam da solidificação direta do magma. As rochas sedimentares são originadas de rochas pré-existentes, inclusive de outra rocha sedimentar; e as rochas metamórficas são rochas originadas das ígneas (ortometamórficas) ou sedimentares (parametamórficas), quando submetidas a condições diferentes das do ambiente em que se formaram, no que se refere à temperatura e pressão.

O cimento em rochas sedimentares consolidadas ocupa o que, de outra forma, seriam os espaços vazios entre os grãos, de modo que um arenito, por exemplo, é menos poroso que uma areia, constituída por grãos do mesmo tamanho e forma. Rochas ígneas e metamórficas possuem, geralmente, porosidade muito baixa, porque os cristais se entrelaçam ocupando os espaços vazios.

A porosidade das rochas pode ser aumentada por processo que ocorre após a formação das mesmas, que se chama porosidade secundária, para distingui-la da porosidade primária ou intergranular, que é aquela que se origina no momento em que se forma a rocha. Um tipo de porosidade secundária é a porosidade por dissolução, que se desenvolve quando parte da rocha é dissolvida, gerando espaços vazios. É comum em rochas calcárias à base de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que muitas vezes origina imensas cavernas.



Outro tipo de porosidade secundária é a por fraturamento, causada por esforços tectônicos que geram fraturas e falhamento, seja em rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares.

## PERMEABILIDADE

Enquanto a porosidade reflete a quantidade de água capaz de ser armazenada em um corpo de rocha, a permeabilidade mede as propriedades de uma rocha que determinam quão rápido a água pode fluir através dela. A permeabilidade depende da maior conexão entre os espaços vazios.

Para sedimentos (partículas não consolidadas), as areias e cascalhos mais grosseiros são mais permeáveis que **siltos** e **argilas**, que são de **granulometrias** mais finas.

Geralmente, rochas sedimentares consolidadas, assim como as ígneas e metamórficas, não são muito permeáveis. Muitas vezes a permeabilidade secundária, causada por processos como a dissolução e fraturamento, aumenta a permeabilidade geral dessas rochas.

## AQÜÍFEROS – CARACTERÍSTICAS

Como já vimos, toda rocha capaz de armazenar e mais que armazenar, que pode transmitir, ou seja, que deixa a água passar através dela, é considerada um aquífero.

Acqua = água, ferre = conter. Uma rocha que não constitui um aquífero é chamada de aquícludo.

Os melhores aquíferos são areia e cascalhos **aluvionares**, por serem porosos e permeáveis, porém não são tão comuns quanto os aquíferos de rochas sedimentares.

## CLASSIFICAÇÃO DOS AQÜÍFEROS

1. **Aquíferos não confinados** – quando o nível do lençol freático pode oscilar para cima ou para baixo, em função da recarga ou do consumo.
2. **Aquífero suspenso** – quando, dentro de um aquífero comum, ocorrem camadas impermeáveis como os argilitos, que retém água acima do nível freático regional.
3. **Aquífero confinado** - quando o corpo de rocha poroso (aquífero) encontra-se entre duas camadas impermeáveis. Geralmente, estão a profundidades maiores que os aquíferos não confinados. Por estar em situação de confinamento, as pressões podem ser altas o suficiente para fazer a água jorrar acima da superfície do terreno, sem precisar de qualquer bombeamento (poço n° 2 da figura 6.5).

### Falhamento

Proveniente de falha, que significa ruptura da rocha com posterior deslocamento das partes antes contíguas.

### Siltos e Argilas

Sedimentos finos dentro de uma classificação segundo a escala de Wentworth, que veremos quando estivermos tratando de rochas sedimentares.

### Granulometria

Tamanho das partículas minerais e fragmentos de rochas que irão compor um novo material.

### Aluvião

Bancos de areia de granulometria grosseira depositados pela ação dos rios em seu próprio leito.

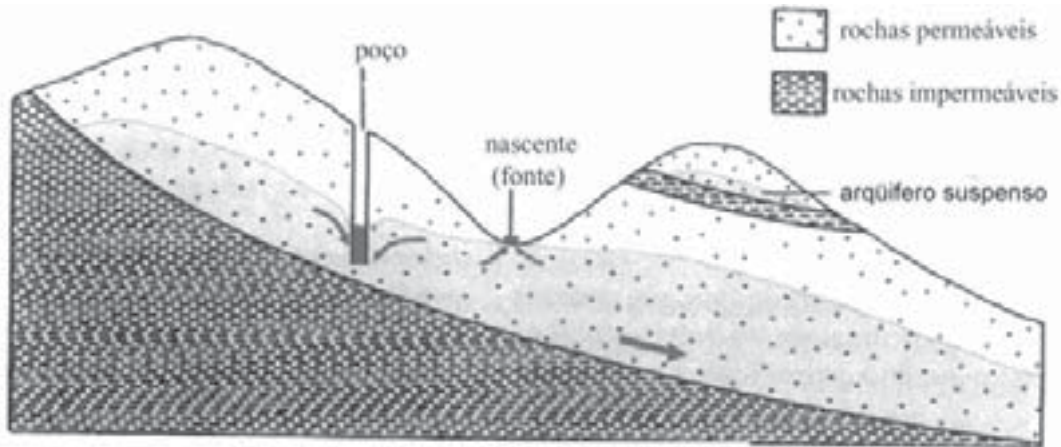


Figura 6.5 - Aquífero não confinado e suspenso.

### Superfície piezométrica

Nível que a água de um aquífero confinado assumiria caso não houvesse a camada confinante. Quando se fura um poço, é o nível em que a água irá se estabilizar.

A água em aquíferos confinados é chamada de água artesianas e o poço que penetra um aquífero confinado é chamado de poço artesiano. A altura a que a água irá se elevar em um poço artesiano é chamada de nível piezométrico (piezo: pressão; metron: medida).

Assim, **Superfície Piezométrica** é o nível da água dos poços artesianos.

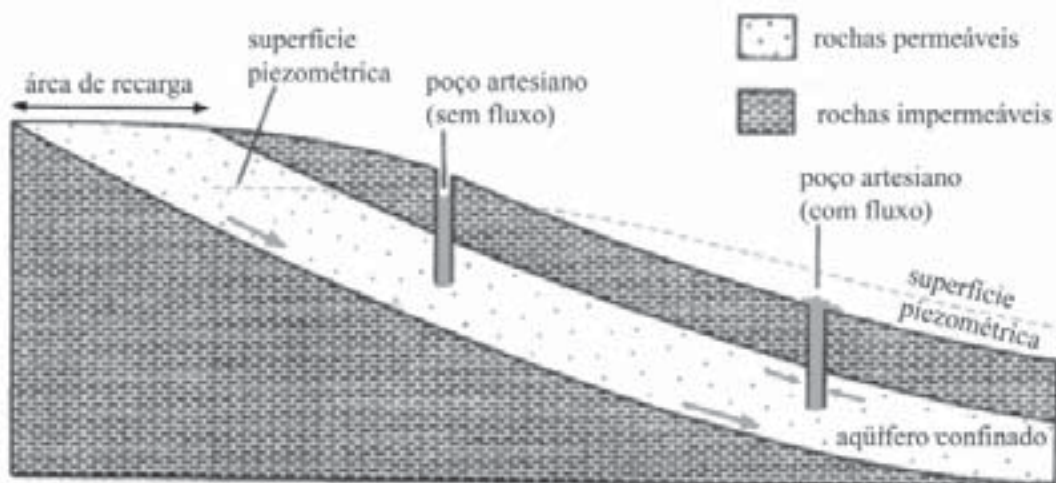


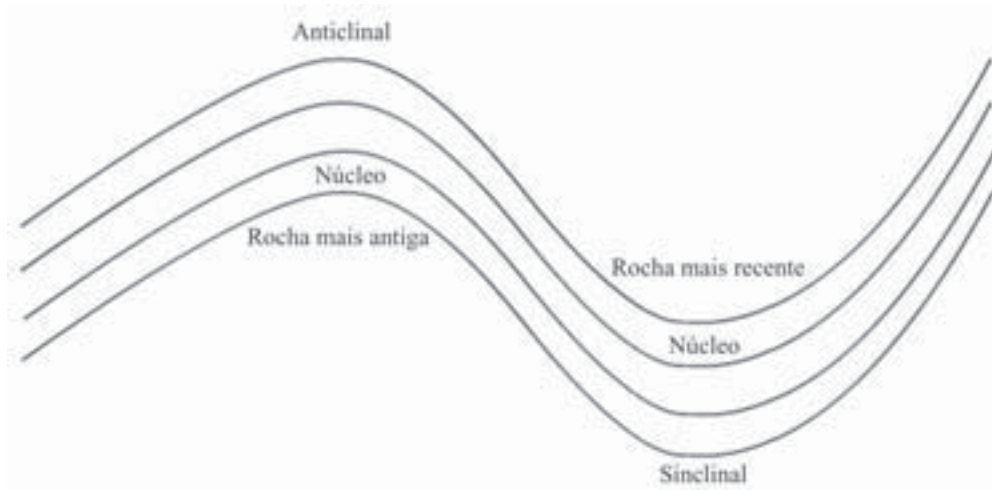
Figura 6.6 - Aquífero confinado.

### Área de recarga

Área onde o aquífero não está confinado; é o seu local de afloramento onde ocorre a penetração das águas das chuvas, que irão alimentar o aquífero.

Para que a pressão artesianas ou de confinamento seja mantida, é preciso que haja **recarga** pela parte aflorante, proporcional ao volume que escoam subterraneamente ou que é retirado através de poços (demanda humana). Caso esta não ocorra, ou seja, se a demanda for maior que a recarga, a pressão pode cair, aprofundando assim o Nível Piezométrico.

Fontes artesianas, com vazão natural, ocorrem onde a superfície piezométrica intercepta a superfície do terreno. Outras vezes formam-se oásis em desertos quando uma falha geológica possibilita a ascensão da água confinada para a superfície ou ainda, quando a rocha dobrada é interceptada pela superfície topográfica. Essas situações podem ser identificadas na figura 6.7.



Dobras

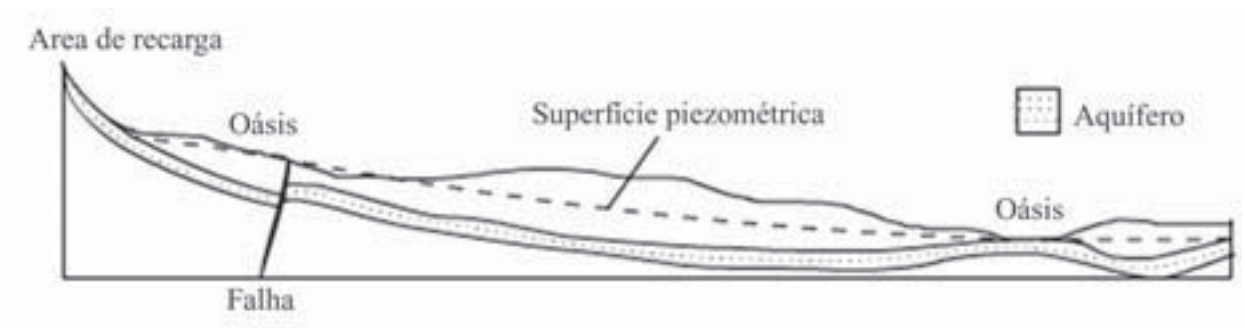


Figura 6.7 - Processo formador de oásis.

### ATIVIDADES

1. Na figura 05, furando-se um poço no ponto P3, a que profundidade irá se encontrar água? Considere a escala vertical como sendo 1:5000 (1 para 5.000).
2. Na figura 06, a água artesiânica coletada no oásis mais distante da área de recarga acusou uma idade de 40.000 anos. Qual é velocidade média de fluxo da água subterrânea através do aquífero em metros por dia?



### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Na questão 01, sabemos, na escala dada, que 1 cm corresponde a 50 m. Furando um poço no ponto P3 para encontrar o Nível Piezométrico, será necessário aprofundar-se X cm. Convertendo esses centímetros pelo valor da escala em metros, tem-se a profundidade que o poço deverá ter para encontrar água.

Na questão 02, ao medir com uma régua a distância entre a zona de recarga e o oásis mais distante, obtém-se um valor em torno de 8

cm, que corresponde a 800 km pela escala apresentada. Logo, se para percorrer 800 km foram necessários 40.000 anos, 1 km será percorrido em 50 anos. Assim, se 1.000m são percorridos em 18.250 dias (50 anos), 1 m será percorrido em 18,2 dias, sendo a resposta 18,2 metros/dia.

### CONCLUSÃO

O conhecimento da dinâmica das águas em subsuperfície através dos diferentes tipos de aquíferos tem, ao longo do tempo, possibilitado ao homem um melhor aproveitamento de um volume quatro vezes superior que o das águas superficiais, e mais que pelo volume, pela qualidade, uma vez que as águas subterrâneas estão mais protegidas dos processos de poluição, constituindo mesmo um verdadeiro reservatório natural.

### RESUMO

A água subterrânea, parte importante do Ciclo Hidrológico, é toda água que se situa abaixo da superfície sólida do terreno, entre as rochas consideradas aquíferos. Esses espaços vazios nas rochas são caracterizados como Zona de Aeração, quando são preenchidos pelo ar, e Zona de Saturação, quando são preenchidos por água. Para isso, uma rocha deve ser porosa e permeável. Quando uma rocha não constitui um aquífero, é chamada de aquíclodo.

### PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, daremos início ao estudo do interior da Terra, onde você terá informações acerca da composição química e das características físicas de sua estrutura.

### REFERÊNCIAS

BROWM, Geoff et al. Os recursos físicos da Terra. Tradução de The Earth's physical resources – Block 4, Part 1 – Water Resources. Tradução e adaptação de Álvaro P. Crósta. Campinas, São Paulo: Editora da Unicamp, 2000. HINRICHS, Roger. A. Energia e meio ambiente. Tradução Técnica de Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire de Mello. São Paulo: Pioneira Thomp-



son Learning, 2003.

POPP, José Henrique. Geologia Geral. 4 ed. São Paulo: LTC – Livros  
Técnicos e Científicos Editora, 1993.