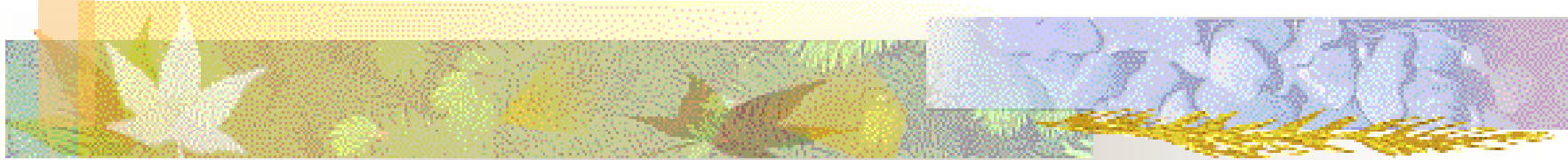


EPUSP – Engenharia Ambiental

AQUÍFEROS



PEF3304

Poluição do Solo



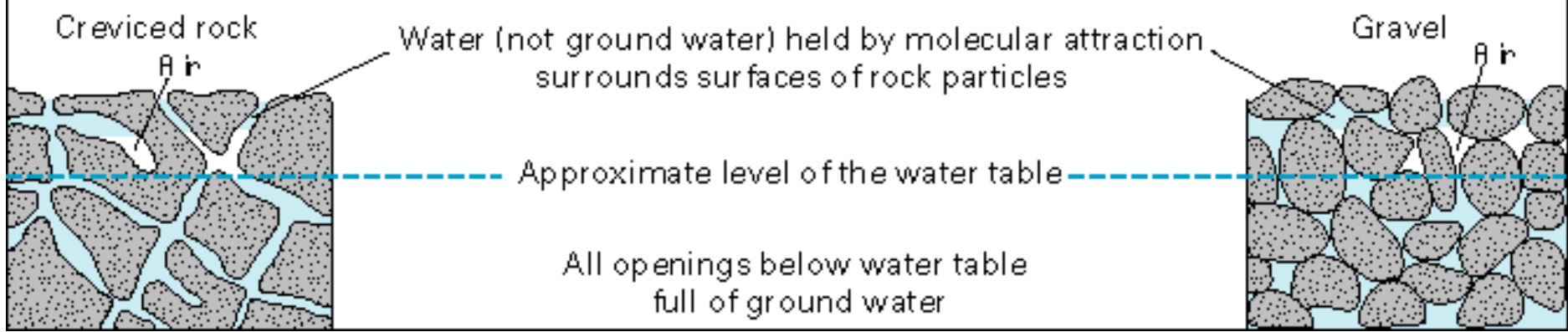
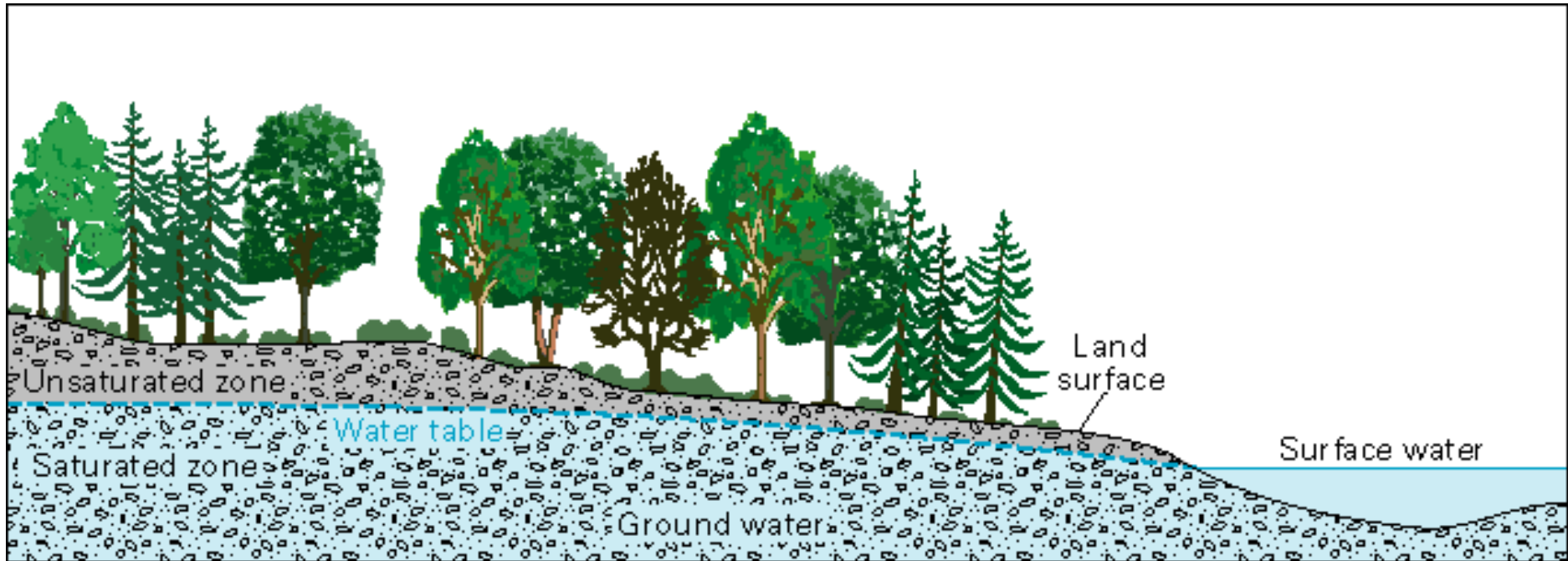
Aquífero

- Aquífero é um estrato ou formação geológica que permite a circulação de água através de seus poros ou fraturas e de onde a água subterrânea pode ser extraída em quantidades economicamente viáveis (para um determinado uso) por meio de poços. Pode ser considerado como um reservatório de água subterrânea.



Aquífero

- Os aquíferos podem ser constituídos de camadas de solo ou rocha. A água subterrânea se move por poros dos solos e fraturas de rochas, como em uma esponja. Apenas em regiões cársticas, de calcário erodido, a água pode correr livremente em cavernas como um rio subterrâneo.





Recarga de um aquífero

- Processo natural ou artificial através do qual um aquífero recebe água, ou seja, é a alimentação do aquífero.
- Na recarga natural a água é proveniente diretamente da precipitação ou é recebida indiretamente através de outra formação, lago ou rio.
- A recarga natural resulta do equilíbrio entre a infiltração, o escoamento e a evaporação, sendo fundamentais no processo o regime pluviométrico, a natureza do solo e a cobertura vegetal.



Recarga de um aquífero

- A velocidade de recarga, portanto, não é a mesma para todos os aquíferos. Isto deve ser considerado ao se bombear água de um poço: a captação excessiva, acima dos recursos renováveis, diminui o nível d'água do aquífero; o poço fornece cada vez menos água e pode eventualmente secar.
- A recarga artificial ou induzida é a alimentação do aquífero pela ação do Homem, consistindo na transferência de água de outras fontes, por condução direta através de poços ou furos, por infiltração favorecida artificialmente, por inundação ou alteração das condições naturais.



Hidrogeologia

- Estudo do fluxo de água em aquíferos
- Classificação de aquíferos



Sistema aquífero

- Domínio espacial que engloba formações geológicas de diferente permeabilidade, que definem dois ou mais aquíferos, separados pelo menos localmente por unidades impermeáveis, que os individualizam, sem afetar a continuidade hidrogeológica do sistema em escala regional, e que constitui uma unidade prática para o estudo e exploração das águas subterrâneas.



Aquitardo

- Formação geológica que, podendo conter quantidades apreciáveis de água, transmite muito lentamente, não sendo viável o seu aproveitamento econômico. Em condições especiais, estas formações podem tornar-se muito importantes, por permitirem a recarga vertical de aquíferos.



Aquifugo

- Formação geológica que não apresenta poros ou interstícios interconectados, sendo por isso incapaz de absorver ou transmitir água, como é o caso de um maciço granítico não alterado.



Aquicludo

- Formação geológica que, embora porosa e capaz de armazenar água, transmite a água a velocidades bastante reduzidas, não sendo possível a sua exploração em termos econômicos.



Classificação de aquíferos

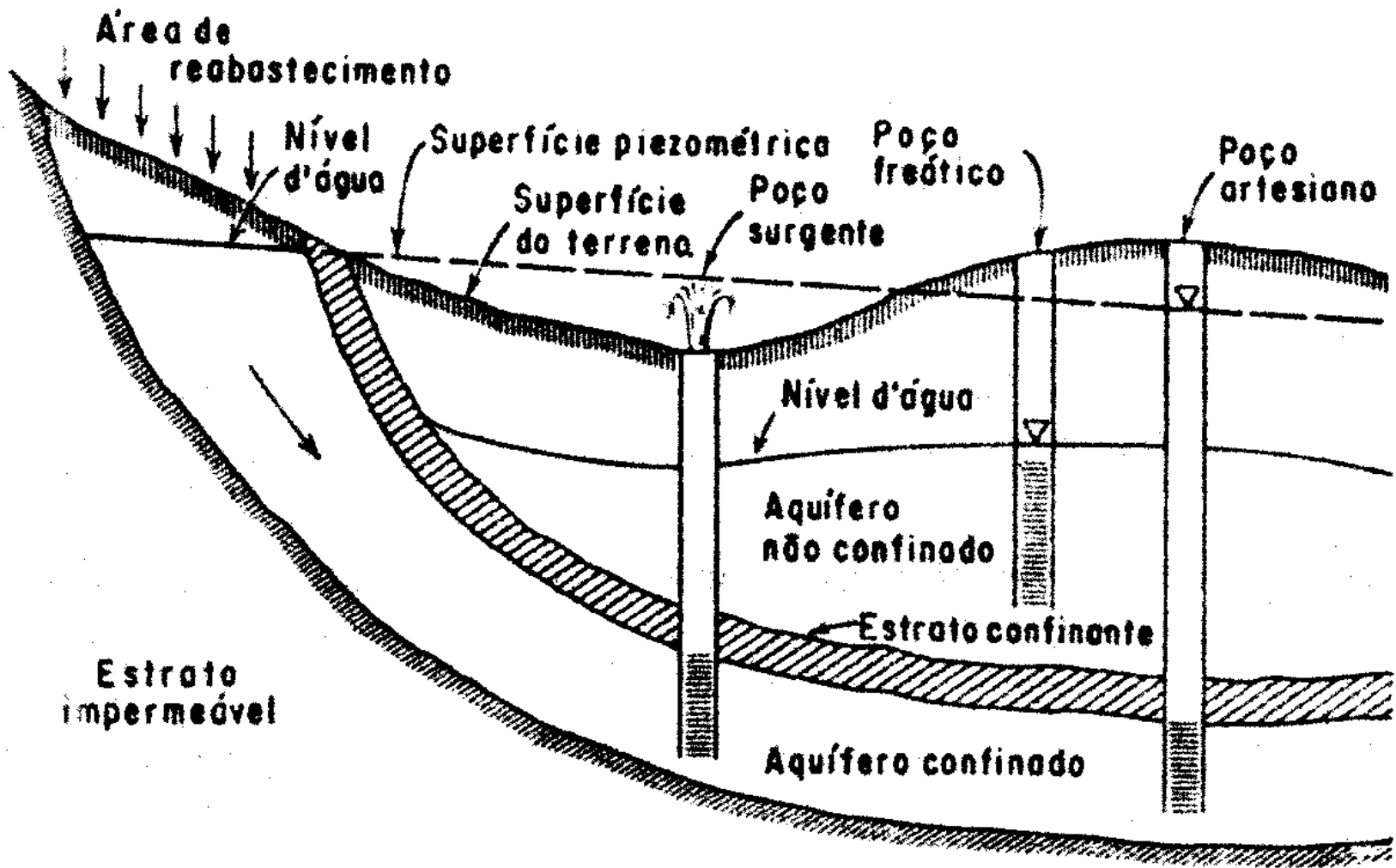
De acordo com a pressão de água:

- aquíferos livres ou freáticos
- aquíferos artesianos ou confinados



Aquíferos livres ou freáticos

- Aquífero onde existe uma superfície livre de água que está em contato direto com o ar, ou seja, à pressão atmosférica.
- Não existe confinamento.
- São superficiais ou subsuperficiais, o que facilita a sua exploração, recarga e contaminação.
- Num furo que atravesse, total ou parcialmente, um aquífero livre, o nível da água ou nível freático coincidirá com o limite superior do aquífero, pois a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica.





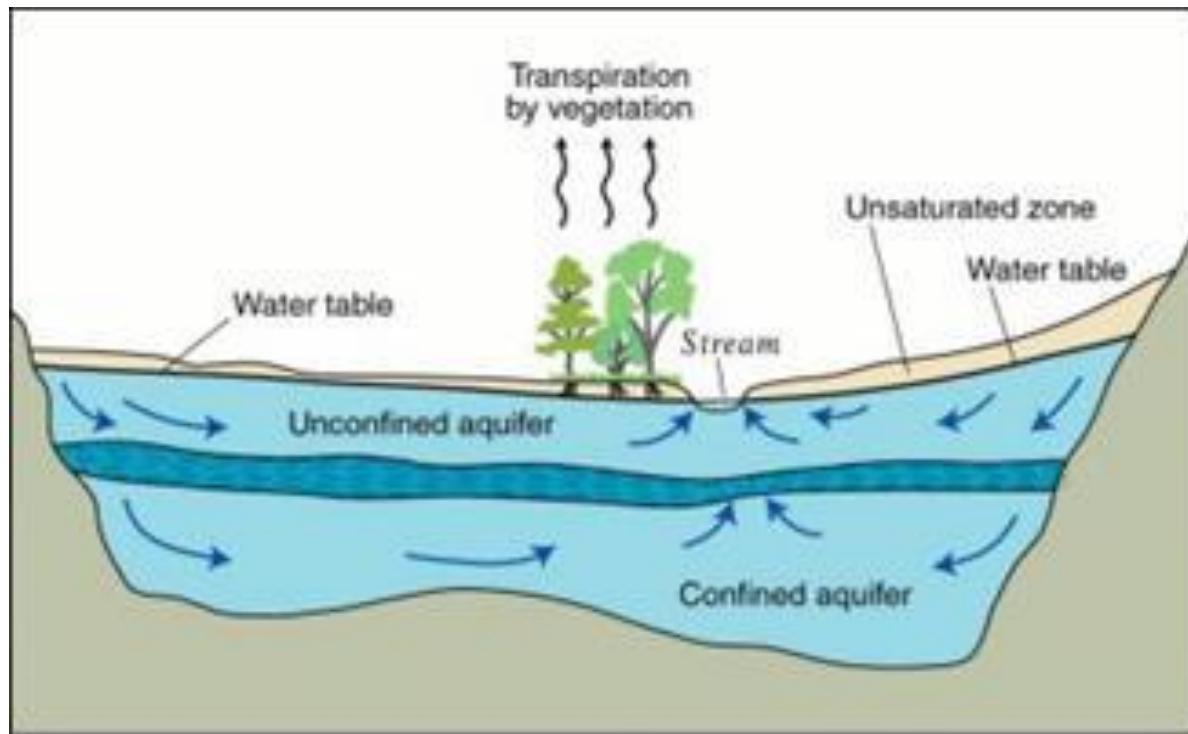
Aquíferos artesianos ou confinados

- Aquífero limitado superior e inferiormente por formações impermeáveis ou praticamente impermeáveis.
- A água está submetida a uma pressão superior à pressão atmosférica.
- Todos os poros da formação estão saturados.
- Num furo que intersecte um aquífero confinado, a superfície da água subirá até estabilizar num determinado nível, devido ao peso das camadas confinantes sobrejacentes (artesianismo).



Aquíferos artesianos ou confinados

- Muitas vezes, o termo artesiano é utilizado como sinônimo de um aquífero onde a água tem pressão suficiente para atingir a superfície e jorrar devido ao artesianismo (aquífero artesiano repuxante ou surgente).
- Portanto: aquífero artesiano repuxante ou surgente é aquele cujo nível piezométrico ultrapassa a superfície do terreno.



EXPLANATION



High hydraulic-conductivity aquifer



Low hydraulic-conductivity confining unit



Very low hydraulic-conductivity bedrock



Direction of ground-water flow



Classificação de aquíferos

De acordo com a pressão e a capacidade de transmissão de água:

- aquíferos livres ou freáticos
- aquíferos artesianos ou confinados

aquíferos confinados drenantes (camadas confinantes são semipermeáveis, podendo transmitir ou receber água de camadas adjacentes)

aquíferos confinados não drenantes (camadas confinantes são impermeáveis, não permitindo a passagem da água)



Classificação de aquíferos

De acordo com a geologia da zona saturada:

- aquíferos porosos
- aquíferos fraturados ou fissurados
- aquíferos cársticos



Aquíferos porosos

- Aquífero onde a água circula através dos poros de grandeza milimétrica (rochas sedimentares consolidadas, sedimentos não consolidados e solos arenosos decompostos in situ).
- Os aquíferos porosos geralmente constituem aquíferos importantes, pelo grande volume de água que armazenam, e também por a sua ocorrência abranger grandes áreas.



Aquíferos fraturados ou fissurados

- Aquífero que ocorre em formações geológicas que apresentam fissuras e fendas mais ou menos contínuas. A água encontra-se em espaços representados por fissuras ou fraturas, juntas ou ainda em falhas e, em casos particulares, em vesículas, aberturas de dissolução, zonas de decomposição, etc.
- Geralmente associado a rochas ígneas e metamórficas.



Aquíferos fraturados ou fissurados

- A capacidade de estas rochas armazenarem água depende da sua porosidade e permeabilidade, que por sua vez dependem da existência de fissuras ou fendas, da sua quantidade, abertura e intercomunicação.
- Geralmente este tipo de aquíferos não fornece vazões muito elevadas, permitindo apenas pequenas extrações locais.



Aquíferos cársticos

- Ocorrem em rochas solúveis, geralmente zonas calcárias e dolomíticas, onde ações mecânicas e químicas originam cavidades de dissolução do carbonato da rocha pela água, as quais podem atingir grandes dimensões. Quando há conexão entre as cavidades, formam-se cursos de água subterrânea, com rápida circulação da água.
- São extremamente vulneráveis à contaminação, podendo proporcionar vazões elevadas de forma irregular no espaço e no tempo.



Classificação de aquíferos

De acordo com as características da rocha de armazenamento:

- aquíferos contínuos
- aquíferos descontínuos



Aquíferos contínuos

- Caracterizados por uma fase sólida constituída por grãos de forma e dimensão muito variadas, com espaços vazios de pequenas dimensões, ocupados por água, ar ou vapor de água (porosidade primária).
- Estão associados a rochas sedimentares (com exceção dos calcários e dolomitos) e a sua maior ou menor potencialidade depende da percentagem de espaços vazios e da sua interconectividade.



Aquíferos descontínuos

- Constituídos por rochas duras cujos principais espaços vazios correspondem essencialmente a fraturas (porosidade secundária), por onde circula a água.
- Estão associados a rochas ígneas e metamórficas e também a rochas calcárias e dolomíticas, que são rochas sedimentares com porosidade secundária, devida à formação de zonas de dissolução do carbonato.



Classificação de aquíferos

De acordo com a localização geográfica:

- aquíferos costeiros
- aquíferos continentais ou interiores



Aquíferos costeiros

- Situados numa zona costeira, com conexão hidráulica com o mar.
- Nestes aquíferos, a exploração da água subterrânea deve ser feita com as devidas precauções, de forma a evitar problemas de intrusão marinha.



Aquíferos continentais ou interiores

- Sem conexão hidráulica direta com o mar.



Classificação de aquíferos

De acordo com a isotropia:

- aquíferos isotrópicos (propriedades hidráulicas não variam conforme a direção considerada)
- aquíferos anisotrópicos (propriedades hidráulicas variam conforme a direção considerada)



Classificação de aquíferos

De acordo com a homogeneidade:

- aquíferos homogêneos (propriedades hidráulicas praticamente uniformes em toda sua extensão)
- aquíferos heterogêneos (espessura variável, mudanças laterais de fácies ou camadas de diferentes permeabilidades).



Aquíferos suspensos ou empoeirados

- É um caso especial de um aquífero livre, formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada, situada entre a superfície freática regional e a superfície do terreno.
- Este tipo de aquíferos tem geralmente um caráter temporário, na medida em que drenam para o nível freático subjacente (a água escoá através da camada pouco permeável)



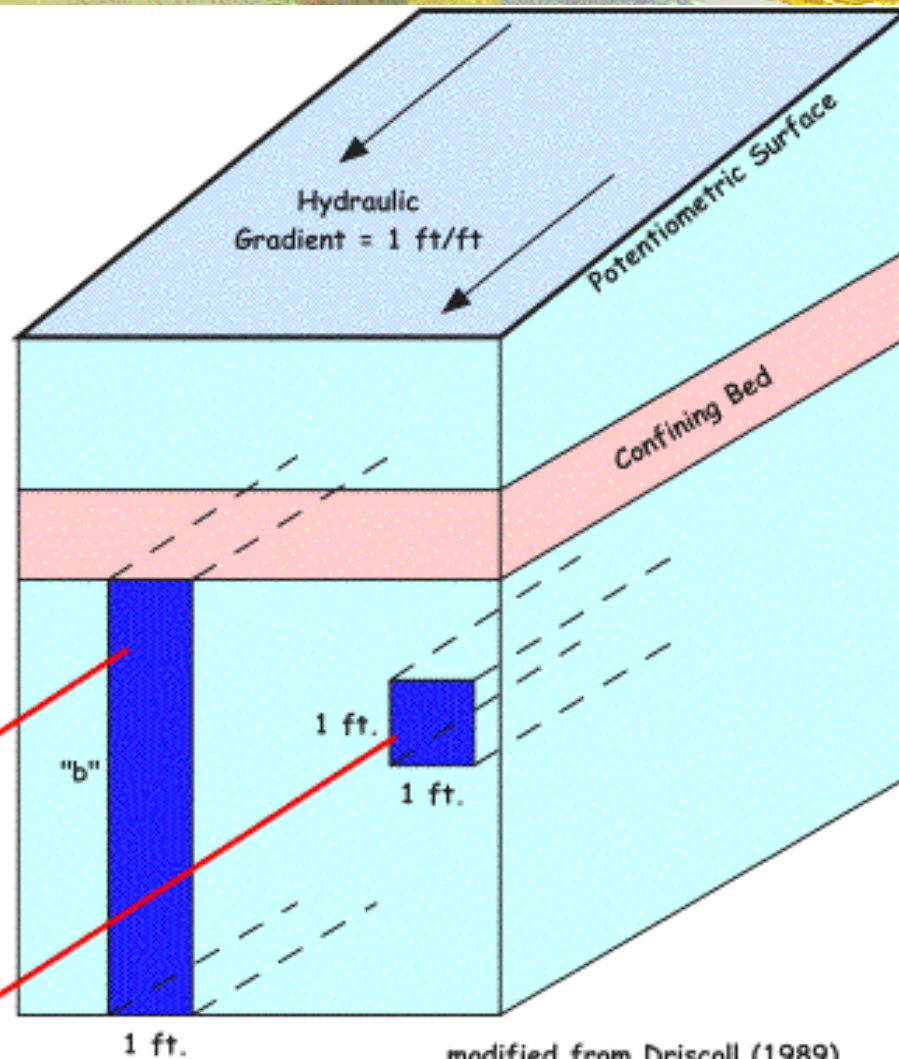
Aquíferos multicamadas

- Aquífero constituído por várias camadas produtivas, separadas por aquicludos ou aquitardos.



Propriedades dos aquíferos

- Transmissividade (T): volume de água que escoar por um determinado tempo através de uma área vertical de largura unitária e altura igual à espessura do aquífero sob um gradiente unitário, ou seja, a vazão por unidade de largura do aquífero para um gradiente unitário.
- A partir da lei de Darcy, a transmissividade pode ser calculada como o produto da condutividade hidráulica horizontal pela espessura saturada do aquífero, com dimensão L^2T^{-1} , por exemplo, m^2/dia .



"T" Transmissivity = the volume of water flowing through a cross-sectional area of an aquifer that is 1 ft. x the aquifer thickness (b), under a hydraulic gradient of 1 ft./ 1 ft. in a given amount of time (usually a day).

"K" hydraulic conductivity = the volume of water flowing through a 1 ft. x 1 ft. cross-sectional area of an aquifer under a hydraulic gradient of 1 ft./ 1 ft. in a given amount of time (usually a day).



Propriedades dos aquíferos

- Coeficiente de armazenamento (S): volume de água que um aquífero é capaz de receber ou liberar por área unitária de seção transversal ao fluxo em função de uma variação unitária da carga hidráulica. É um parâmetro adimensional.
- Coeficiente de armazenamento específico (Ss): volume de água que um volume unitário de aquífero é capaz de receber ou liberar em função de uma variação unitária da carga hidráulica. Tem dimensão L^{-1} , por exemplo, 1/m.



Propriedades dos aquíferos

- Produção específica (S_y): água armazenada em um aquífero que drena sob a influência da gravidade; é o parâmetro que indica a fração do volume total do aquífero que libera água por drenagem sob a força da gravidade, isto é, sob gradiente unitário.
- Capacidade específica: relação entre a vazão extraída de um poço e o respectivo rebaixamento do aquífero. Sua dimensão é L^2T^{-1} .



Propriedades dos aquíferos

- Como os materiais finos geralmente têm porosidades mais elevadas do que os materiais granulares, supostamente apresentariam maior facilidade de suprir água para poços. Contudo, a água fica retida nesses solos por capilaridade em poros muito pequenos ou como camada dupla em torno dos argilo-minerais.





Aquíferos brasileiros


- O Aquífero Botucatu (SP) tem porosidade média da ordem de 17%, coeficiente de permeabilidade de 0,02 m/dia até 4,6 m/dia, transmissividade entre 350 e 700 m²/dia e coeficiente de armazenamento entre 10⁻⁴ e 10⁻⁶ (DAEE 1976).
- O Aquífero Urucaia (BA) tem transmissividade de 10⁻⁴ a 10⁻⁶ m²/s, coeficiente de permeabilidade de 10⁻⁵ a 10⁻⁷ m/s, porosidade efetiva de 1 a 5.10⁻² (aquífero livre) e coeficiente de armazenamento de 10⁻⁴ (aquífero confinado) (Pedrosa e Caetano 2002).
- O Aquífero Bauru em Araguari (MG) apresenta transmissividade de 126 m²/dia, coeficiente de permeabilidade de 3,8x10⁻⁵ m/s e porosidade efetiva de 0,011 (Fiumari 2004).
- O Aquífero Emboré (RJ) apresenta transmissividade média de 190 m²/dia e coeficiente de permeabilidade de 0,86 m/dia (CRPM 2000).


Aquífero Guarani



- 
- Um dos maiores aquíferos do mundo .
 - Localizado na região centro-leste da América do Sul, com 1,2 milhões de Km² de área, sob a superfície de quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai.
 - Maior ocorrência em território brasileiro (2/3 da área total), abrangendo os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

- 
- Volume de cerca de 40.000 Km³, uma espessura entre 50 m e 800 m e uma profundidade máxima de 1.800 m.
 - Recarga total de cerca de 166 Km³/ano de precipitação
 - Coeficiente de permeabilidade da ordem de 3m/dia
 - Coeficiente de armazenamento entre 10⁻³ e 10⁻⁶
 - Porosidade estimada em 15 a 20%
 - Transmissividade entre 150 e 800 m²/dia.

- 
- Regional confinado; 90% da área recoberta por espessos derrames de lavas basálticas.
 - Arenitos depositados por processos fluviais e eólicos durante os períodos Triássico e Jurássico (200 a 130 milhões de anos atrás), sobrepostos por basalto de baixa permeabilidade depositado durante o período Cretáceo, agindo como um aquítardo e fornecendo um alto grau de confinamento.
 - Isto reduz significativamente a taxa de infiltração e recarga, mas também isola o aquífero contra as perdas por evapotranspiração.

- 
- Segundo a EMBRAPA (2007), as áreas de recarga localizam-se nas bordas da bacia em faixas alongadas de rochas sedimentares que afloram à superfície. A alimentação do aquífero se dá pela infiltração direta das águas de chuva nas áreas de recarga e pela infiltração vertical ao longo de descontinuidades no confinamento, num processo mais lento. Como as áreas de recarga são as regiões onde o aquífero se encontra mais vulnerável, para não comprometer a qualidade da água, nelas devem ser controladas a aplicação de agrotóxicos no solo e a disposição de produtos tóxicos e de resíduos urbanos e industriais. A gestão sustentável do Aquífero Guarani depende da identificação e controle das fontes de poluição em toda sua extensão, não só nas áreas confinadas, mas também e, principalmente, nas áreas de recarga.



Teste de aquífero

- Teste de aquífero é um ensaio realizado no âmbito da investigação hidrogeológica, consistindo basicamente em submeter um sistema aquífero a determinadas condições de forma controlada e monitorar a sua resposta. O objetivo principal do ensaio é a determinação das propriedades hidráulicas do aquífero, como a transmissividade e a condutividade hidráulica.



Ensaio de bombeamento

- Bombeamento de um poço durante um certo intervalo de tempo com o registro da evolução do rebaixamento ao redor em função do tempo.
- Um poço central com uma bomba de recalque submersa dotada de um hidrômetro para medir a vazão que está sendo retirada; radialmente, três linhas de piezômetros formando ângulos de 120° em planta. Retira-se água do poço até que a vazão e os níveis de água nos piezômetros se estabilizem. Geralmente, utilizam-se duas vazões. k obtido por retroanálise das medidas de campo com base nas equações gerais de rebaixamento.

Ensaio de bombeamento



Aquífero livre

$$k = \frac{Q}{\pi} \frac{\ln r_2 - \ln r_1}{h_2^2 - h_1^2}$$

$$k = \frac{Q}{\pi} \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta h^2}{\Delta \ln r}$$

Aquífero artesiano

$$k = \frac{Q}{2\pi D} \frac{\ln r_2 - \ln r_1}{h_2 - h_1}$$

$$k = \frac{Q}{2\pi D} \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}, \quad \operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta h}{\Delta \ln r}$$



Ensaio de infiltração

- Geralmente realizados em furos de sondagem à percussão.
- Nível constante, com leituras da vazão d'água por meio de hidrômetro e intercaladas a cada minuto.
- O comprimento do trecho ensaiado pode variar (trechos maiores quanto menor a permeabilidade estimada).



Ensaio de infiltração

$$k = \frac{Q}{h} \frac{1}{C_s r}$$

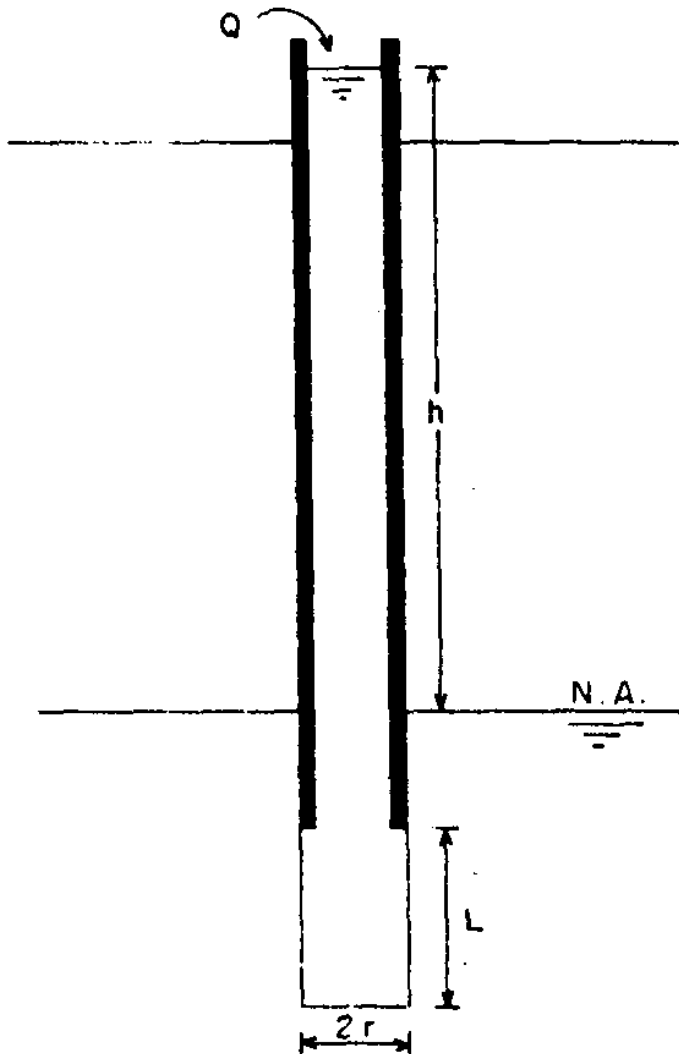
Q (cm³/s): vazão que mantém constante o nível de água superior

h (cm): perda de carga total

C_s: obtido de gráficos C_s = C_s(h/r, L/h) para ensaio acima do NA e C_s = C_s(L/r) para ensaio abaixo do NA

R (cm): raio da perfuração

Ensaio de infiltração



$$k = \frac{Q}{h} \frac{1}{C_s r}$$

C_s e K : ábacos

Obs. 1: Quando $L=0$, $C_s = 5$ a 6

Obs. 2: Quando o fundo for impermeável, $k \approx Q/(hL)$



Para a próxima aula

- Ensaio de perda d'água em rocha