

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

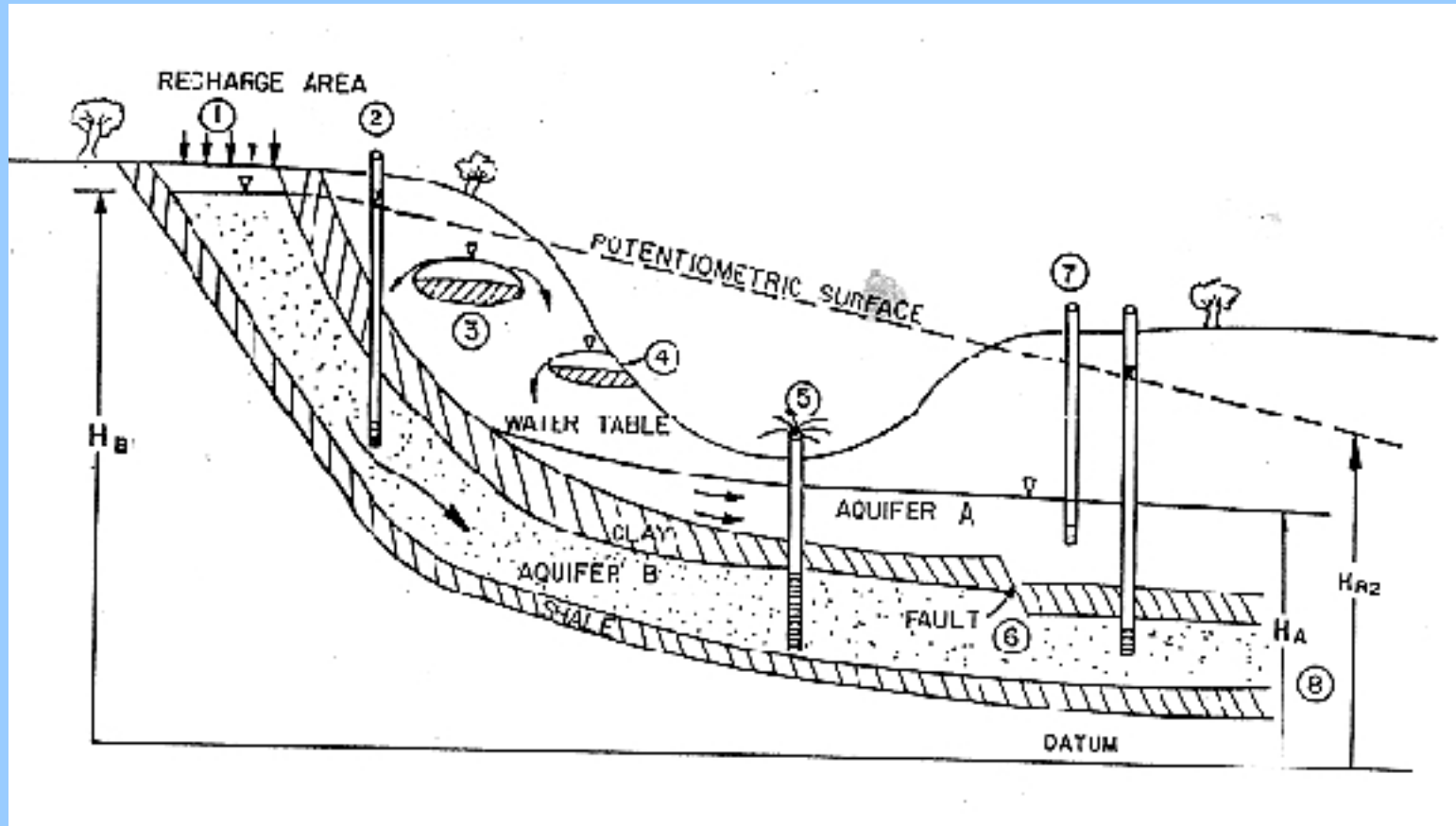
- Aquífero: formação geológica com porosidade e permeabilidade suficiente para armazenar e transmitir quantidade significativa de água.
- Significante em termos de um aquífero para abastecimento municipal é algo em torno de 1000-4000m<sup>3</sup>/dia/poço. Para abastecimento residencial é em torno de 20 m<sup>3</sup>/dia/poço.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- 2 tipos de aquíferos: não confinado e confinado dependendo, da presença ou ausência de nível de água ou superfície freática.
- Superfície freática: superfície superior de uma zona de saturação em contato direto com a pressão atmosférica, através dos poros da camada geológica.
- A profundidade da superfície freática pode variar de 10m em regiões úmidas a 100m em áridas.

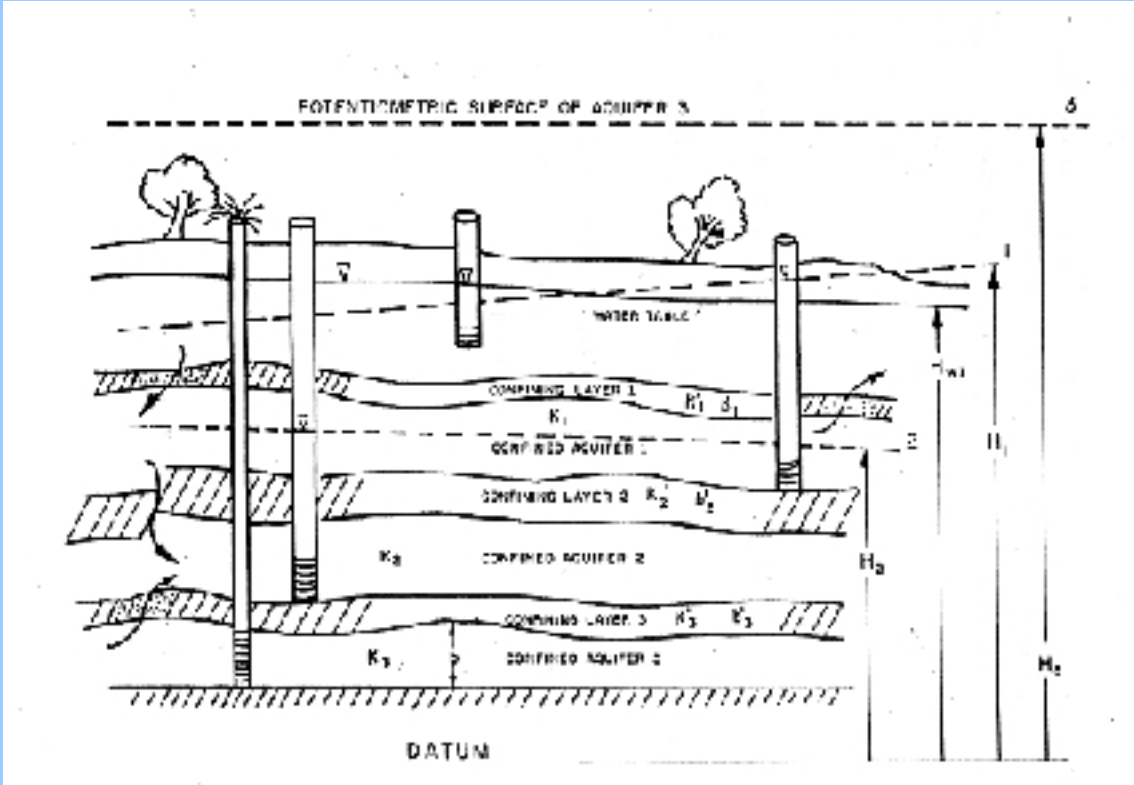
# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Aquífero não confinado: nível freático no poço em estado de não bombeamento é virtualmente o mesmo que o nível freático fora do poço, sob condições de fluxo horizontal.
- Aquífero suspenso: aquífero não confinado com extensão horizontal limitada.
- Aquífero confinado: são formações geológicas permeáveis limitadas acima e abaixo por material geológico impermeável e que estão sob pressão superiores à atmosférica.



# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Quanto mais alta a elevação do nível de água acima de um datum, mais alta é a superfície potenciométrica.
- A água subterrânea está sempre em movimento e flui de áreas com alto potencial para áreas de baixo potencial.
- Poços em aquíferos cujas superfícies potenciométricas estão acima da superfície topográfica são artesianos.



# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- A fonte primária de recarga natural da maioria dos aquíferos é precipitação. Em alguns casos, rios, lagos e reservatórios podem ser importantes fatores na recarga de aquíferos.
- A proteção de áreas de recarga de aquíferos tem tomado atenção nos últimos anos. O tamanho dessas áreas depende de muitos fatores: orientação física do aquífero, quantidade de precipitação, superfície topográfica e tipo de solo.

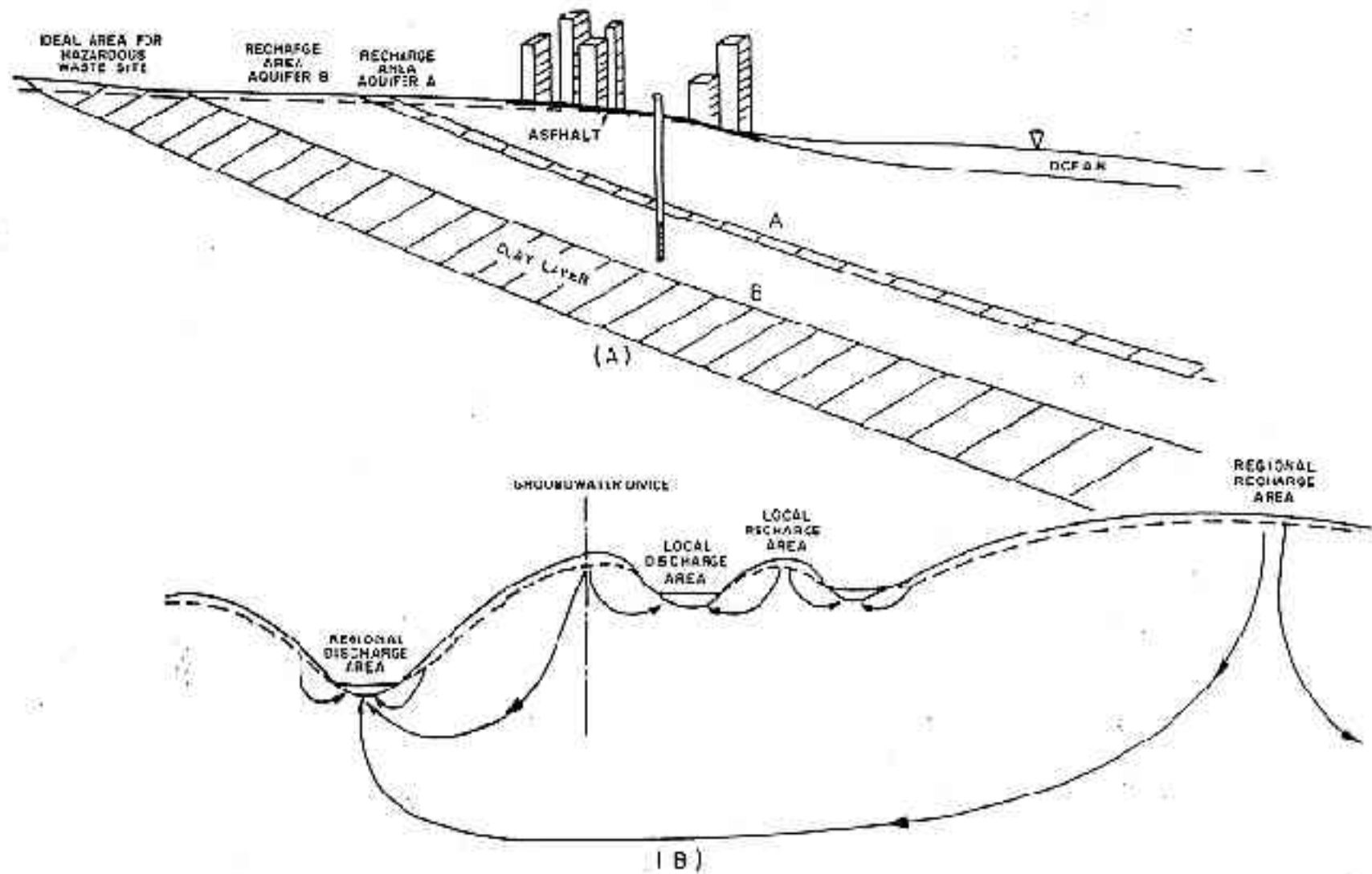


FIGURE 2-5



# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- O movimento vertical da água subterrânea é extremamente lento e para alguns aquíferos profundos, pode levar séculos até a água penetrar nas suas profundidades.
- Fluxo horizontal em aquíferos confinados pode ser também um processo bastante lento, levando décadas a milhares de anos para finalmente chegar às áreas de descarga.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Geralmente, quanto mais profundo um aquífero, maior o tempo que uma partícula de água leva para viajar de uma área de recarga para uma área de descarga. Durante este longo período, a água dissolve lentamente o material geológico, tornando-se rica em minerais. Isto explica o porque da água de aquíferos profundos apresentar altos níveis de sólidos dissolvidos.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Estimativa de que o tempo de residência médio da água subterrânea seja 200 anos, se estiver a menos de 800 m da superfície e 10.000 anos se estiver abaixo desta profundidade.
- Altos tempos de residência significam baixas taxas de recarga em grandes aquíferos.
- Esses aquíferos podem levar séculos para se descontaminarem através de processos naturais de descarga.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

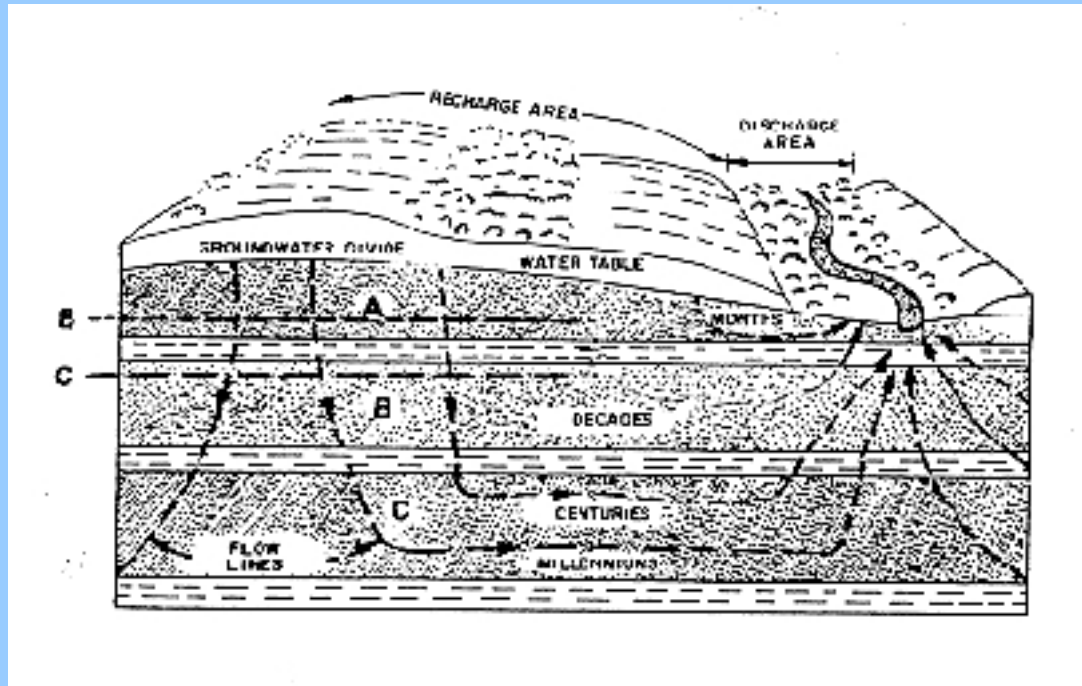
- O tempo de residência da água num aquífero é

$$T = V/Q$$

**T=Tempo de Residência**

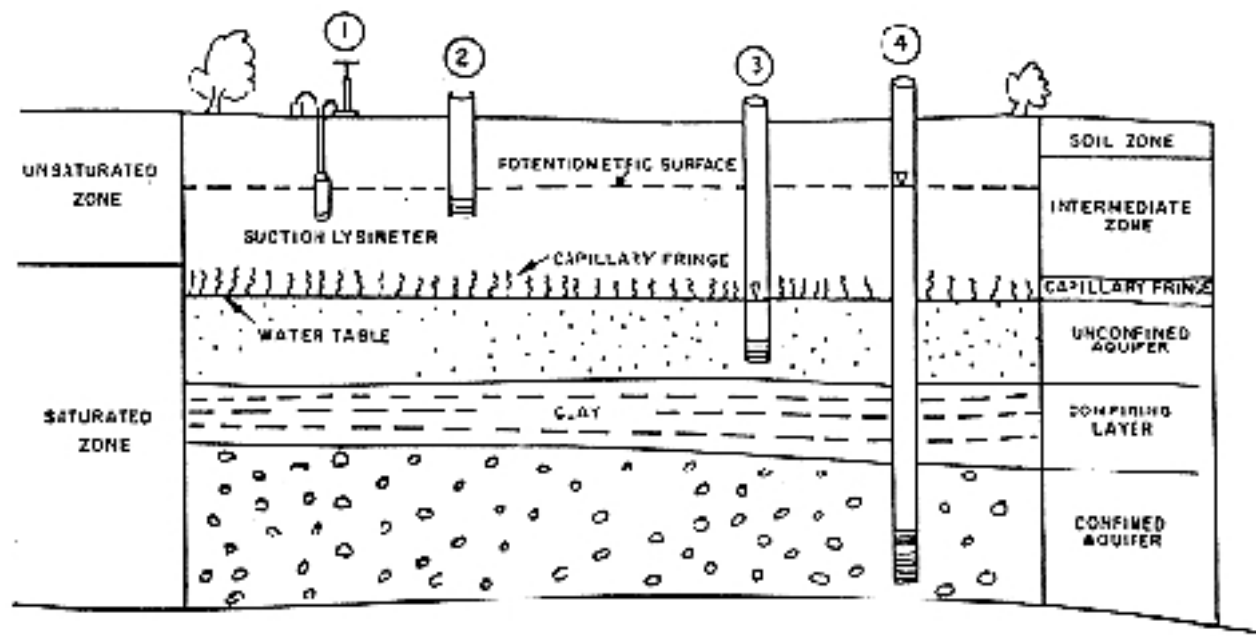
**V=Volume do Aquífero**

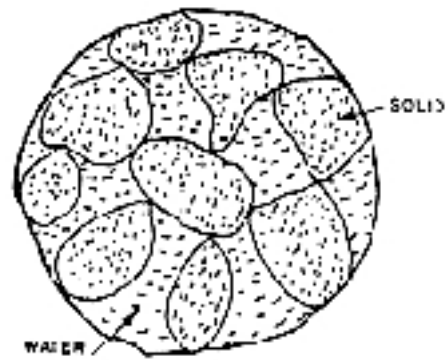
**Q=Razão de Recarga Volumétrica**



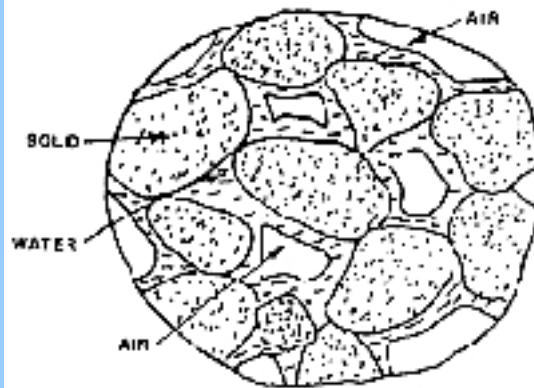
# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Zona Não Saturada: estende-se da superfície até o topo da franja capilar. Os poros são preenchidos com água e ar. Poços comuns não funcionam nesta zona. Devem ser usados, os lisímetros.
- Franja Capilar: separa a zona saturada da zona não saturada, pode ter de alguns centímetros a metros de espessura. Quanto mais fino o material geológico maior a franja capilar.
- Zona Saturada: todos os poros estão preenchidos com água.





SATURATED ZONE



UNSATURATED ZONE



# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- A hidrogeologia na zona saturada pode ser classificada em termos das propriedades de fluxo e características de armazenamento. A principal propriedade de fluxo é a condutividade hidráulica e a principal característica de armazenamento é a porosidade.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

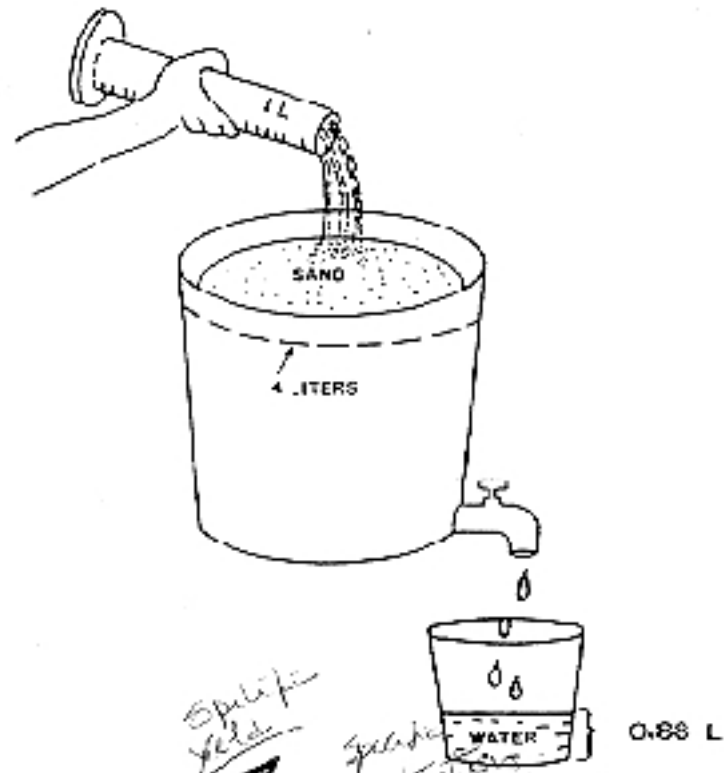
- **Condutividade Hidráulica:** é uma medida da capacidade de um material poroso conduzir água subterrânea. Esta propriedade depende do meio poroso e do fluido que está se movendo neste. Quanto mais elevada a condutividade, melhor o aquífero conduz a água.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Condutividade Hidráulica: é um dos poucos parâmetros naturais que pode variar em até 12 ordens de magnitude.
- Areia média =  $10^{-2}$  cm/seg
- Argila =  $10^{-7}$  cm/seg
- Granito =  $10^{-11}$  cm/seg

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Porosidade:  $n = \text{volume de poros} / \text{volume total}$
- O volume de água representado pela porosidade total é composto pela água que irá drenar livremente por gravidade e a água retida nas superfícies geológicas por tensão superficial.
- $n = S_y + S_r$  (capacidade específica + capacidade de retenção)



*Specific Yield*

*Specific Retention*

$$n = S_Y + S_R$$

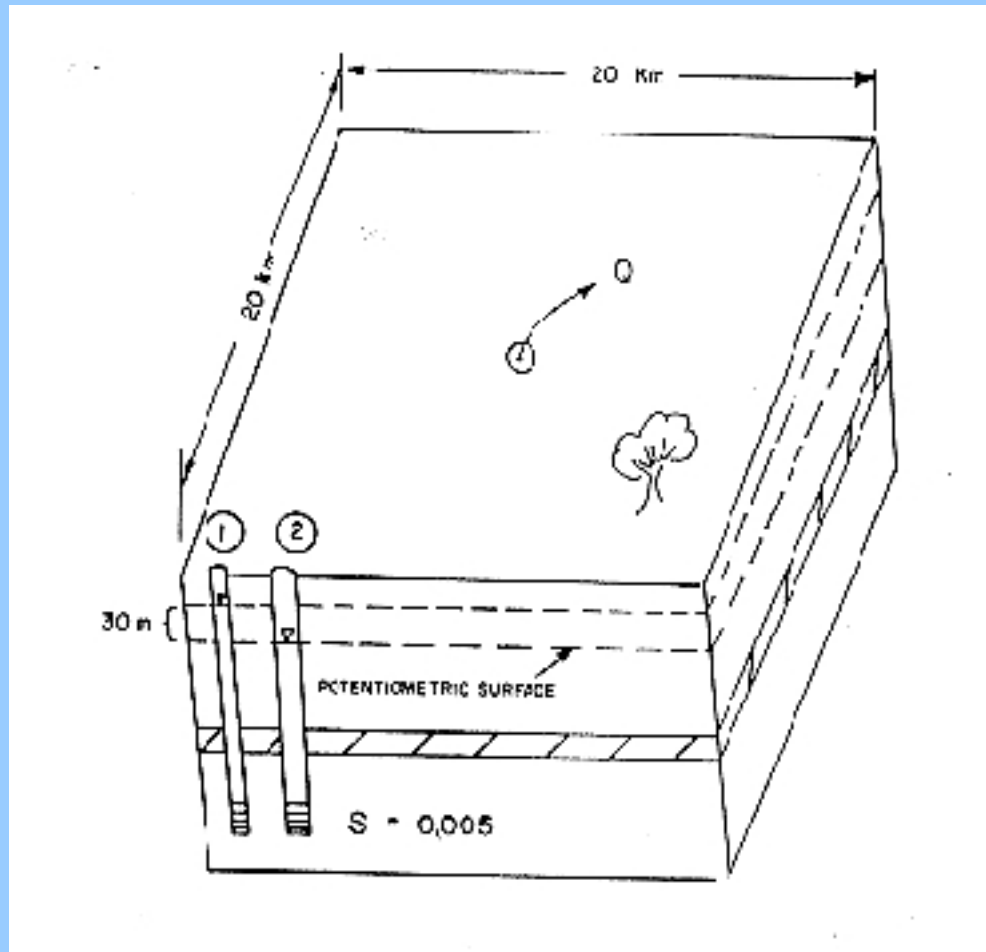
$$n = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$S_Y = \frac{0.88}{4} = 0.22$$

$$S_R = 0.25 - 0.22 = 0.03$$

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Coeficiente de Armazenamento (S): relaciona-se ao volume de água liberado ou absorvido por um aquífero quando o potencial sofre acréscimo ou decréscimo.
- Volume de água extraído/injetado =  $S \times \text{área} \times \text{acréscimo/decrécimo no potencial}$  e portanto  $V = 0,005 \times 400 \times 10^6 \times 30 = 60 \times 10^6$



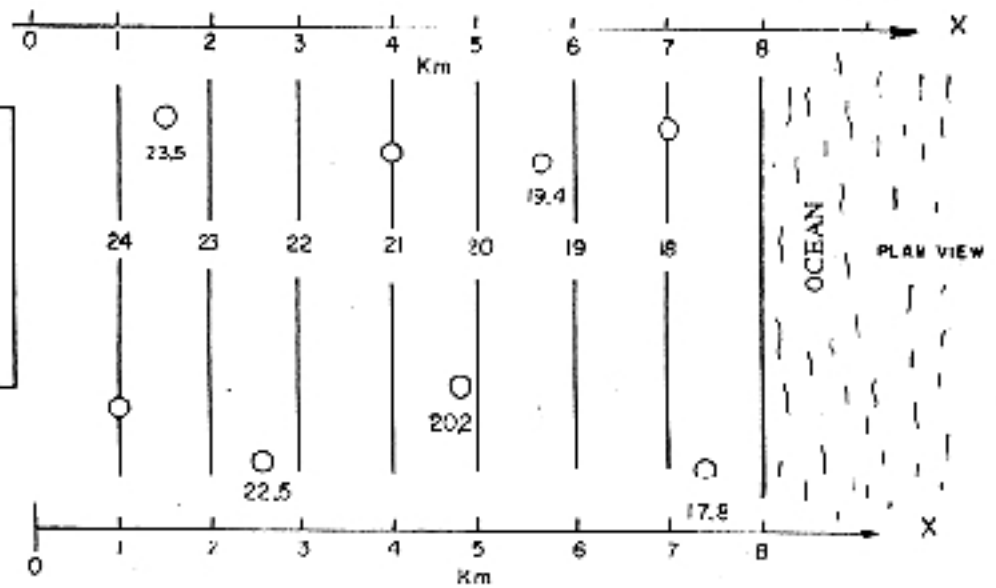
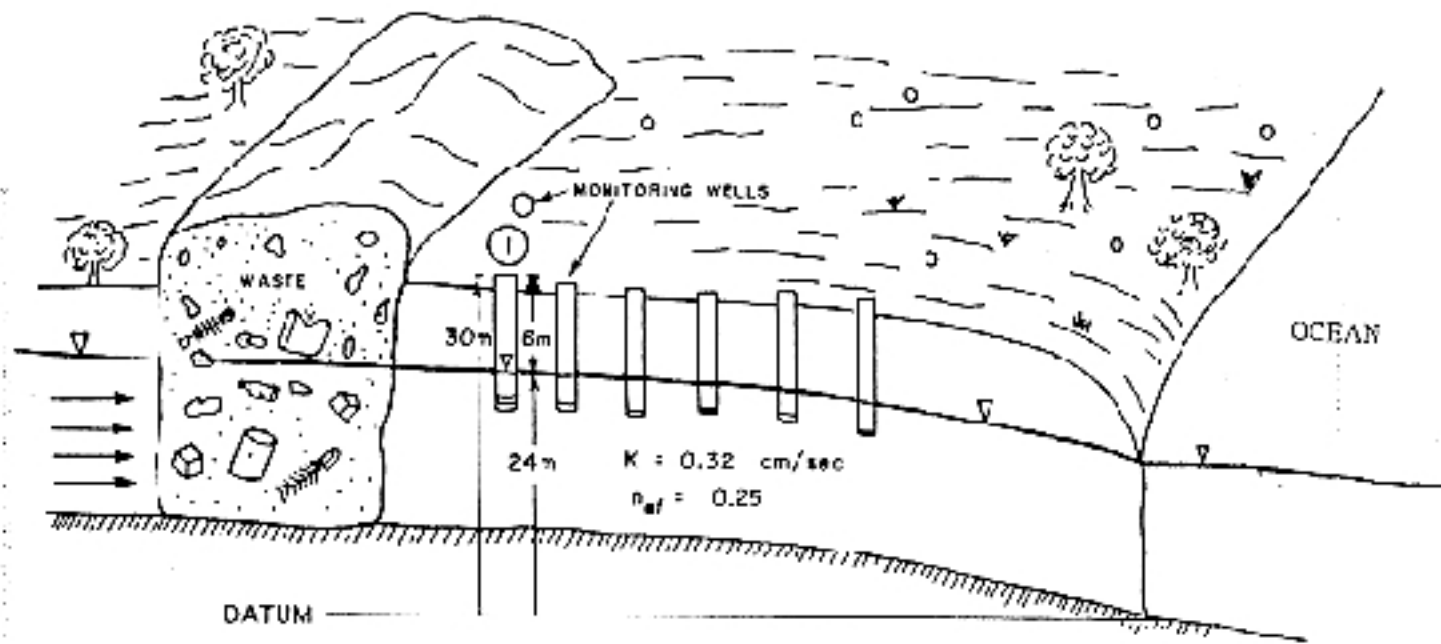
# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Lei de Darcy: baseia-se em experimentos de fluxo de água subterrânea através de coluna de areia. Provou que a razão volumétrica de água através de uma coluna é diretamente proporcional à perda de potencial através desta coluna e inversamente proporcional ao comprimento da coluna.



# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- $V_D = Q/A = -K \cdot \Delta H / \Delta X$  onde,
- $V$  = Velocidade de Darcy
- $Q$  = Razão volumétrica de fluxo
- $A$  = Área perpendicular a direção de fluxo
- $K$  = Condutividade Hidráulica
- $\Delta H / \Delta X$  = Gradiente Hidráulico
- $V_r = V_D / n_{ef}$



THE PRINCETON GROUNDWATER COURSE  
R.W. CLEARY

24  
METERS ABOVE DATUM

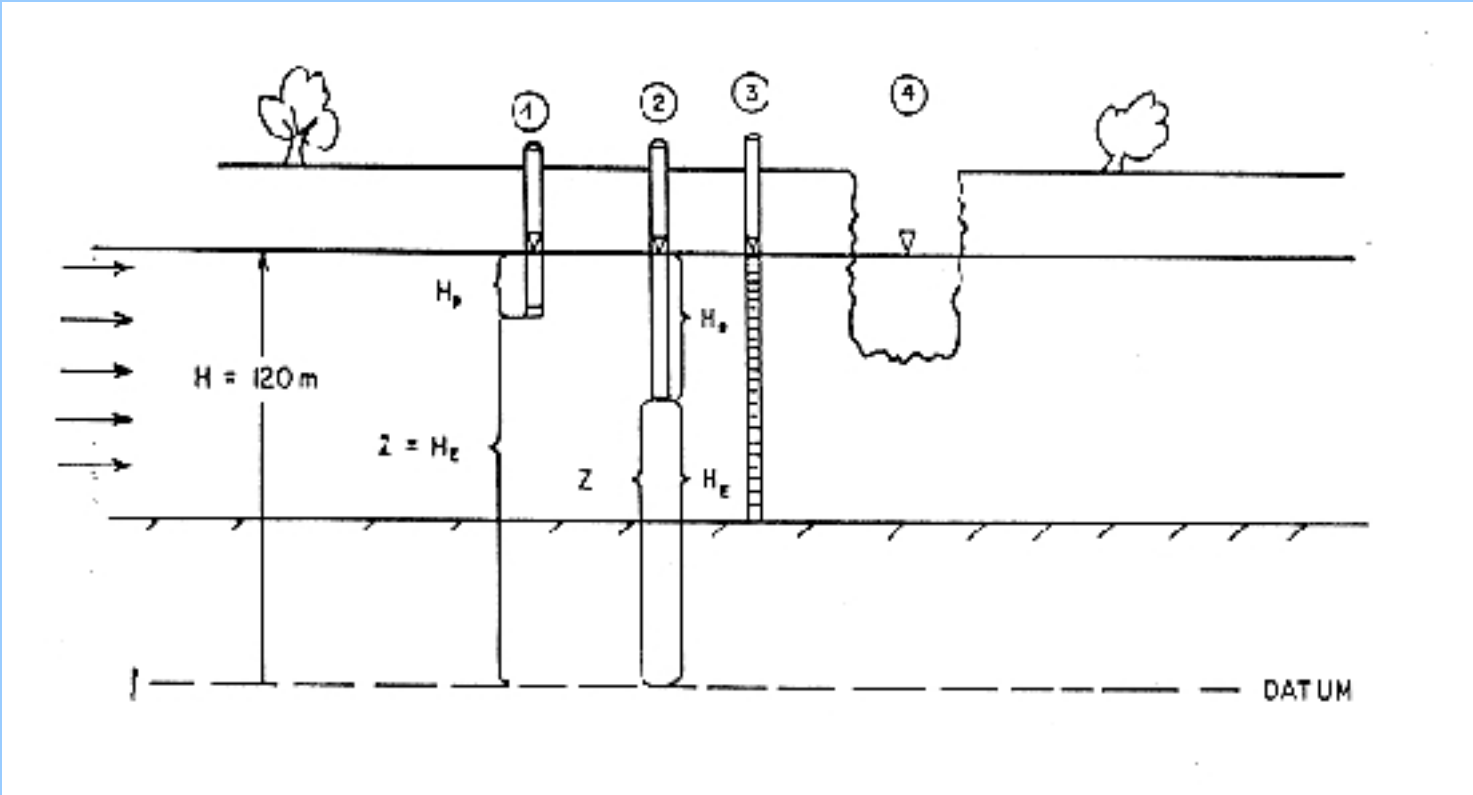
FIGURE 2-23

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- $V_r = -K/n \cdot \Delta H / \Delta X$
- onde,  $K=0.32 \text{ cm/seg} = 276.48 \text{ m/dia}$  e  $n = 0,25$
- $V_r = -(276.48/0,25) \cdot (22-23)/(3000-2000) = 1,1 \text{ m/dia}$
- O tempo que a água subterrânea leva para viajar do aterro até o oceano (que está a uma distância de 8.000 metros) é de aproximadamente 20 anos.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- No fluxo horizontal, 3 características são evidentes com relação a medida do nível de água a uma dada locação:
  - 1. posição vertical do piezômetro não importa
  - 2. comprimento do piezômetro não importa
  - 3. diâmetro do poço não importa



# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- A água subterrânea sob condição de fluxo não horizontal apresenta nível de água dependente do comprimento do filtro e de sua posição vertical.
- O nível de água em um poço sob condições de fluxo vertical é igual a média das linhas equipotenciais que o filtro atravessa.



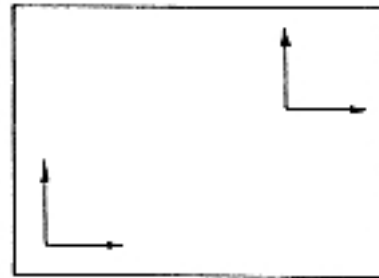
# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Embora, existam muitas incertezas no estudo do movimento da água subterrânea, uma coisa é certa: a geologia sempre será não homogênea.
- Em estudos de suprimento de água em aquíferos sedimentares, não há interesse pelas diferenças de velocidades nas camadas. Já, em estudos de poluição, a variação real das velocidades é importante.

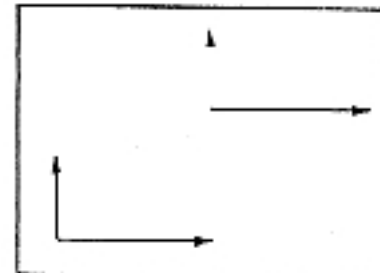


# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

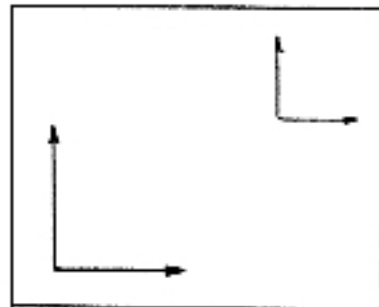
- Se a condutividade hidráulica é a mesma em todas as direções em um dado ponto, a geologia é caracterizada como isotrópica. Por outro lado, se a condutividade hidráulica depende da direção em um dado ponto do aquífero, a geologia é anisotrópica neste local.
- Em uma formação homogênea, a condutividade hidráulica pode ser isotrópica ou anisotrópica, mas não varia de local para local no aquífero



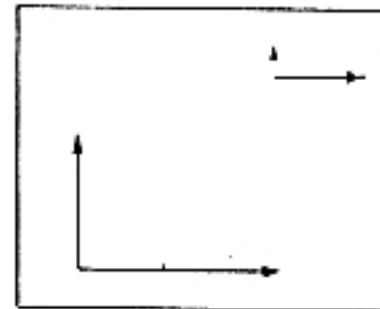
HOMOGENEOUS - ISOTROPIC



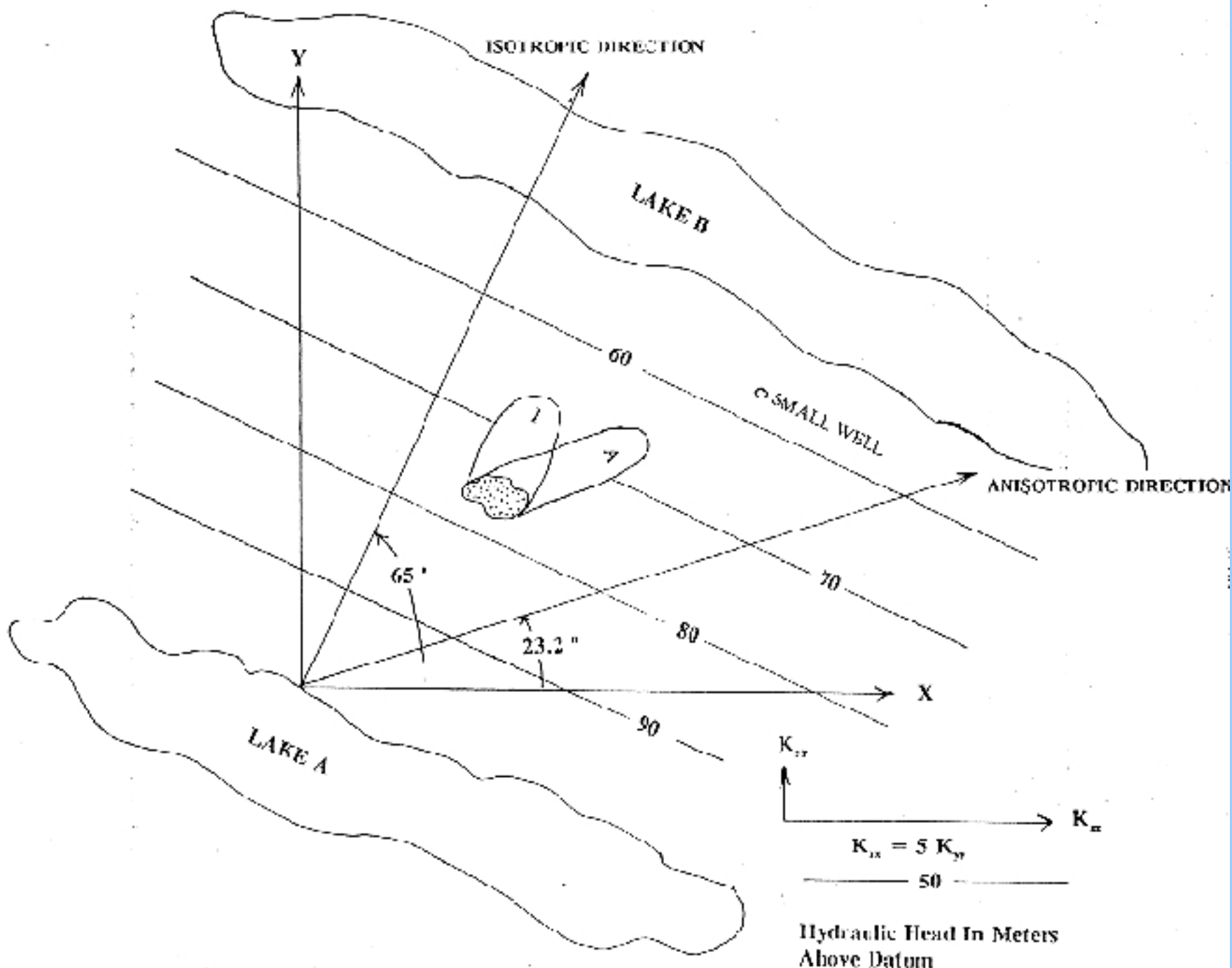
HOMOGENEOUS - ANISOTROPIC



HETEROGENEOUS - ISOTROPIC



HETEROGENEOUS - ANISOTROPIC



Hydraulic Head In Meters Above Datum

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Os principais processos de transporte e mecanismos de atenuação na migração de contaminantes são: advecção, dispersão, decaimento de primeira ordem e sorção.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Advecção envolve transporte por movimento de massa e é mecanismo primário responsável pela migração de contaminantes nos aquíferos. Assume-se que solutos dissolvidos viajem na mesma direção e com a mesma velocidade que a água subterrânea.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Dispersão é um importante mecanismo de atenuação o qual resulta na diluição do contaminante. Os contaminantes se espalham e tem suas concentrações atenuadas devido a difusão molecular e estratificação das velocidades em níveis microscópicos e macroscópicos.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Decaimento de Primeira Ordem pode ocorrer através de reações de biodegradação ou abióticas. Reações abióticas incluem hidrolização de hidrocarbonetos clorados conhecidas como decaimento radioativo ou decloração redutiva. Exemplos de biodegradação natural inclui decaimento de hidrocarbonetos de petróleo como benzeno, tolueno, etilbenzeno, e xileno.

# Conceitos em Hidrologia de Água Subterrânea

- Sorção (engloba adsorção e absorção) é a partição de uma espécie química (algumas vezes chamada sorbato) entre a solução (líquido) e o sorvente (sólido). O resultado prático desta partição é a retardação





