

PROGESTÃO

Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas

2ª Oficina Progestão:
Intercâmbio sobre outorga de
direito de uso da água



São Luís - MA
Maio/2019



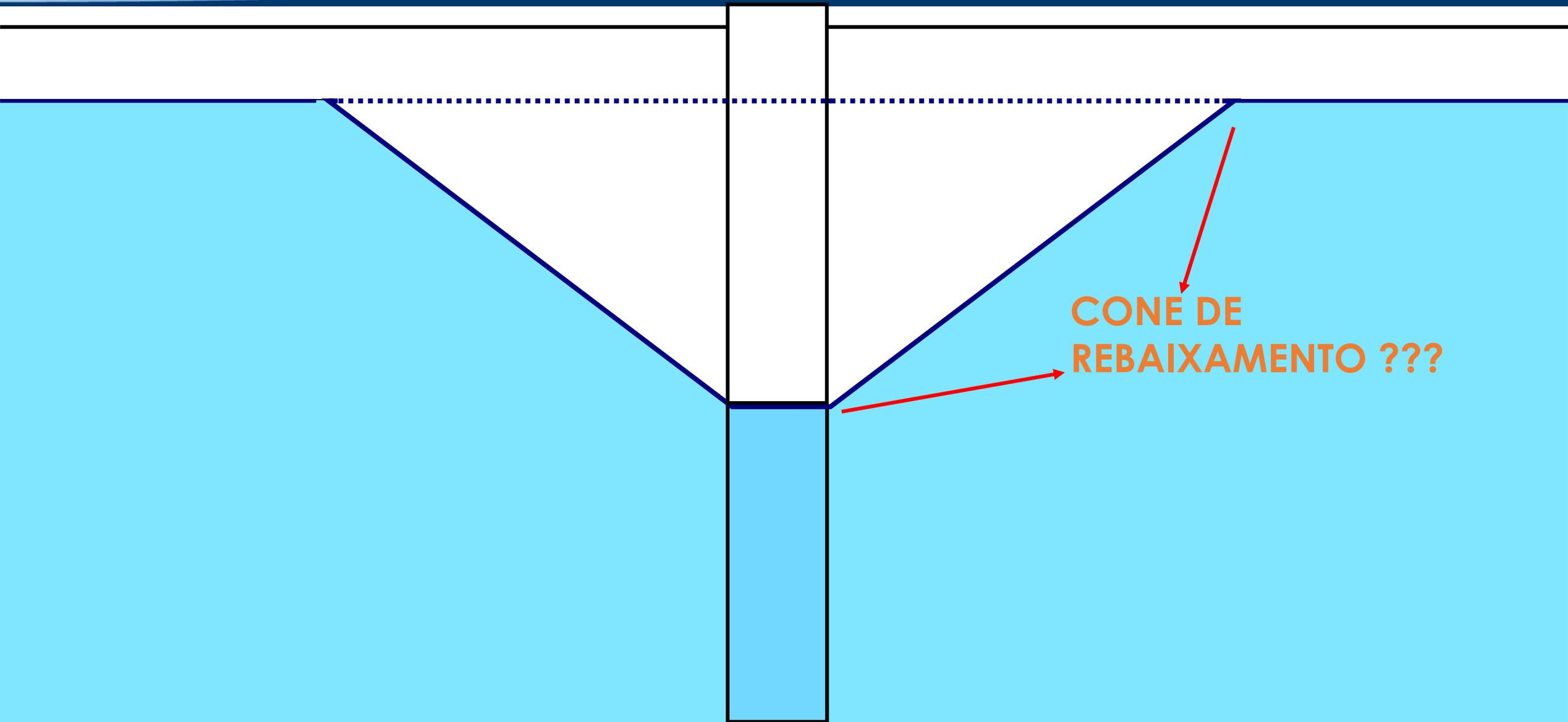
MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Cálculos Hidrogeológicos

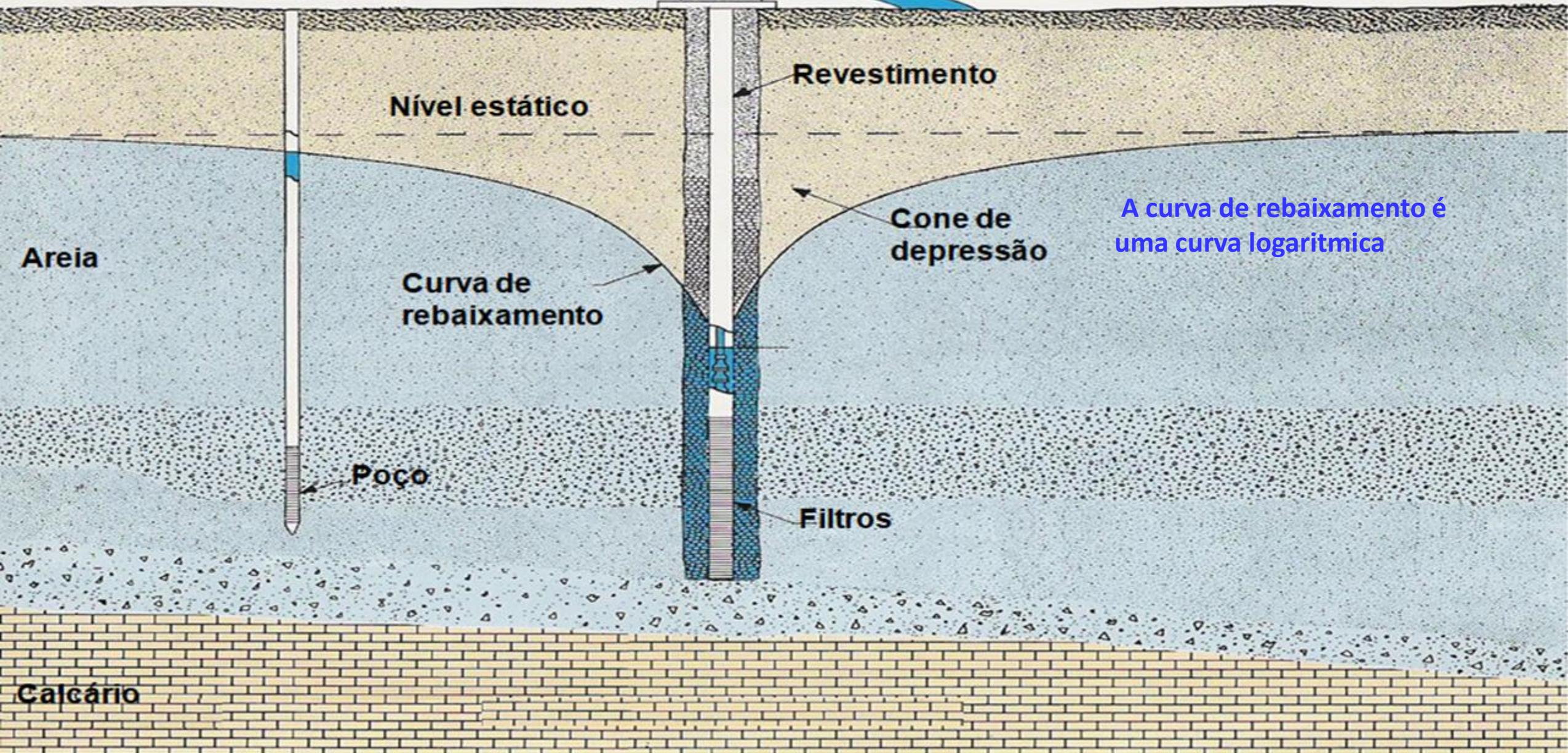
A photograph of several divers exploring a cave. The scene is dimly lit with a strong blue light source, possibly from a camera or a specific light fixture. The divers are silhouetted against the lighter blue background. One diver in the center is holding a bright yellow object, possibly a light or a piece of equipment. Bubbles of air rise from the divers. The cave walls are rocky and uneven. The overall atmosphere is mysterious and technical.

Por que fazer testes de aquífero???



CONE DE
REBAIXAMENTO ???

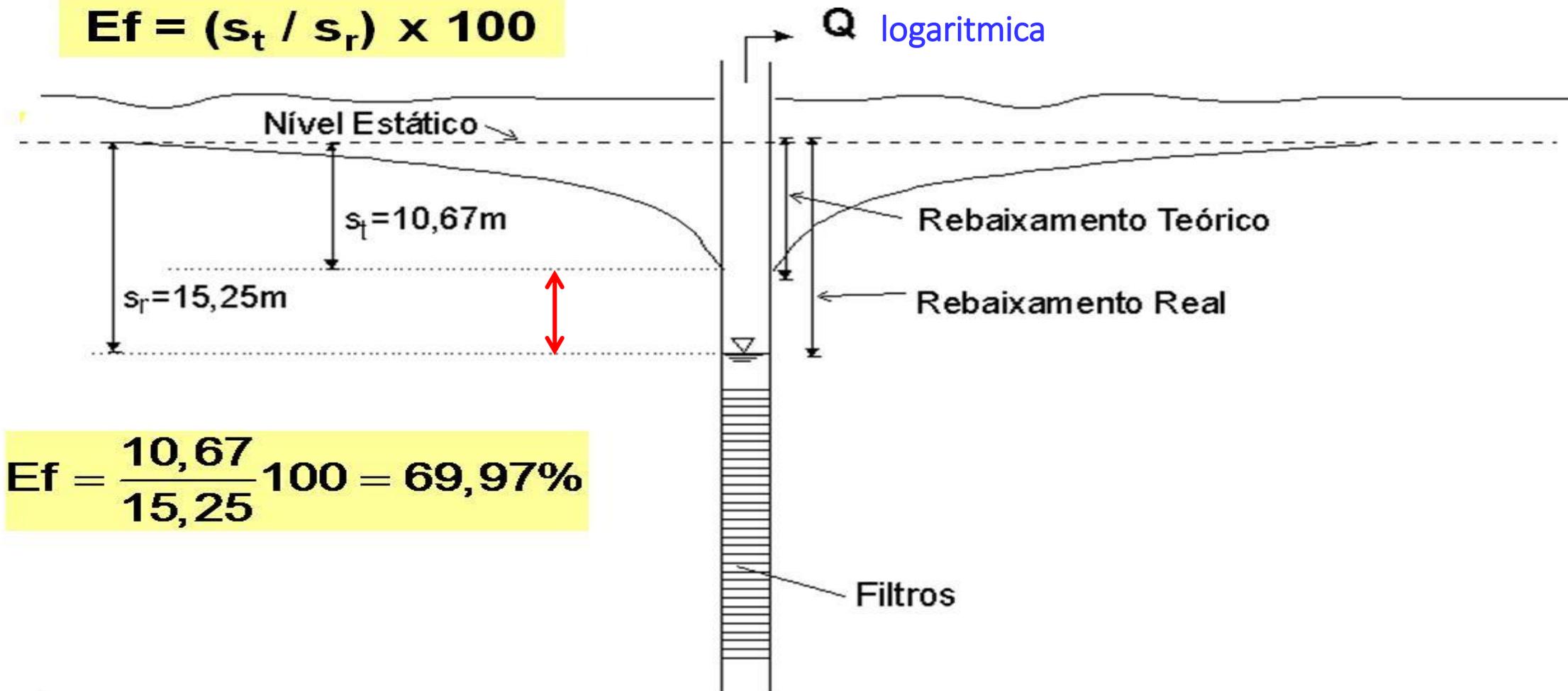
Cone de rebaixamento resultante de um poço



Eficiência de Poços

$$Ef = (s_t / s_r) \times 100$$

A curva de rebaixamento é uma curva logaritmica

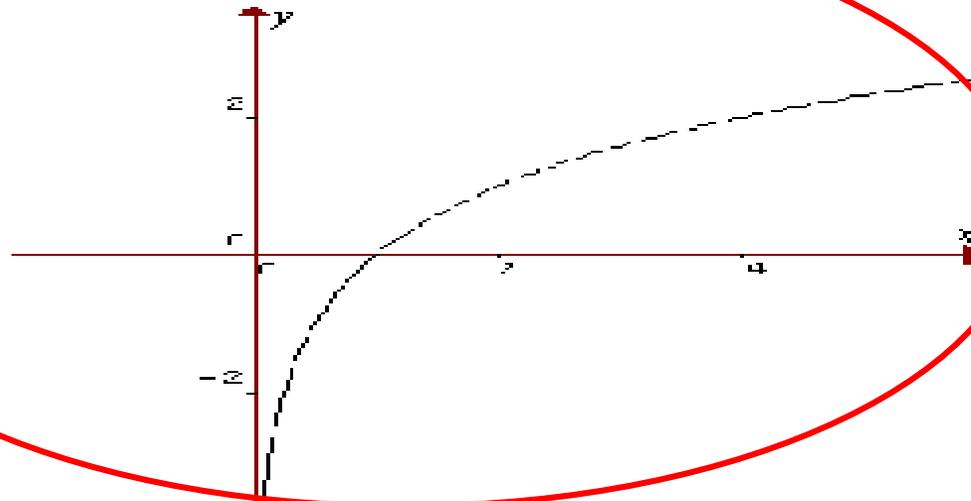


$$Ef = \frac{10,67}{15,25} \times 100 = 69,97\%$$

GRAFICOS FUNÇÃO LOGARÍTMICA



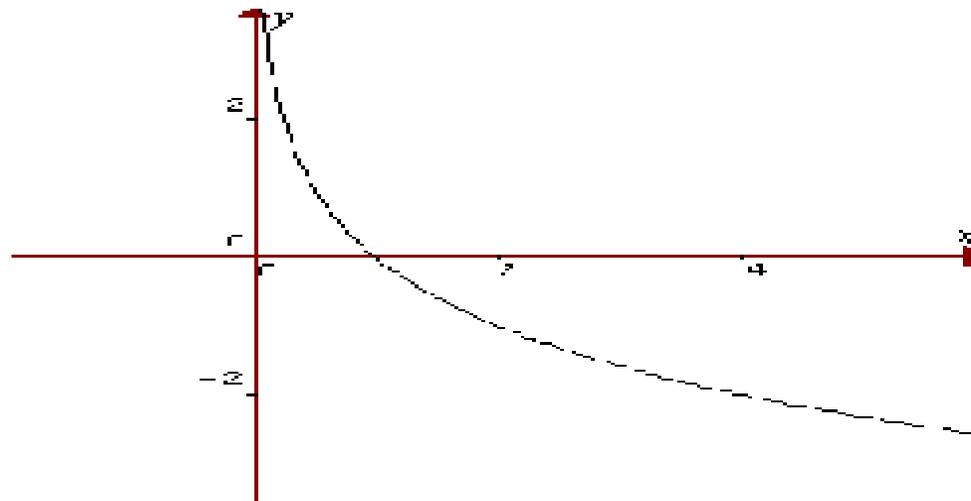
$a > 1$



$$y = \log_a x \quad (a > 1)$$

- Domínio $]0, \infty[$
- Contradomínio $] -\infty, \infty[$
- Crescente
- Contínua
- $\lim_{x \rightarrow \infty} (\log_a x) = \infty$
- $\lim_{x \rightarrow 0} (\log_a x) = -\infty$
- Pontos $(1, 0)$ e $(a, 1)$

$0 < a < 1$

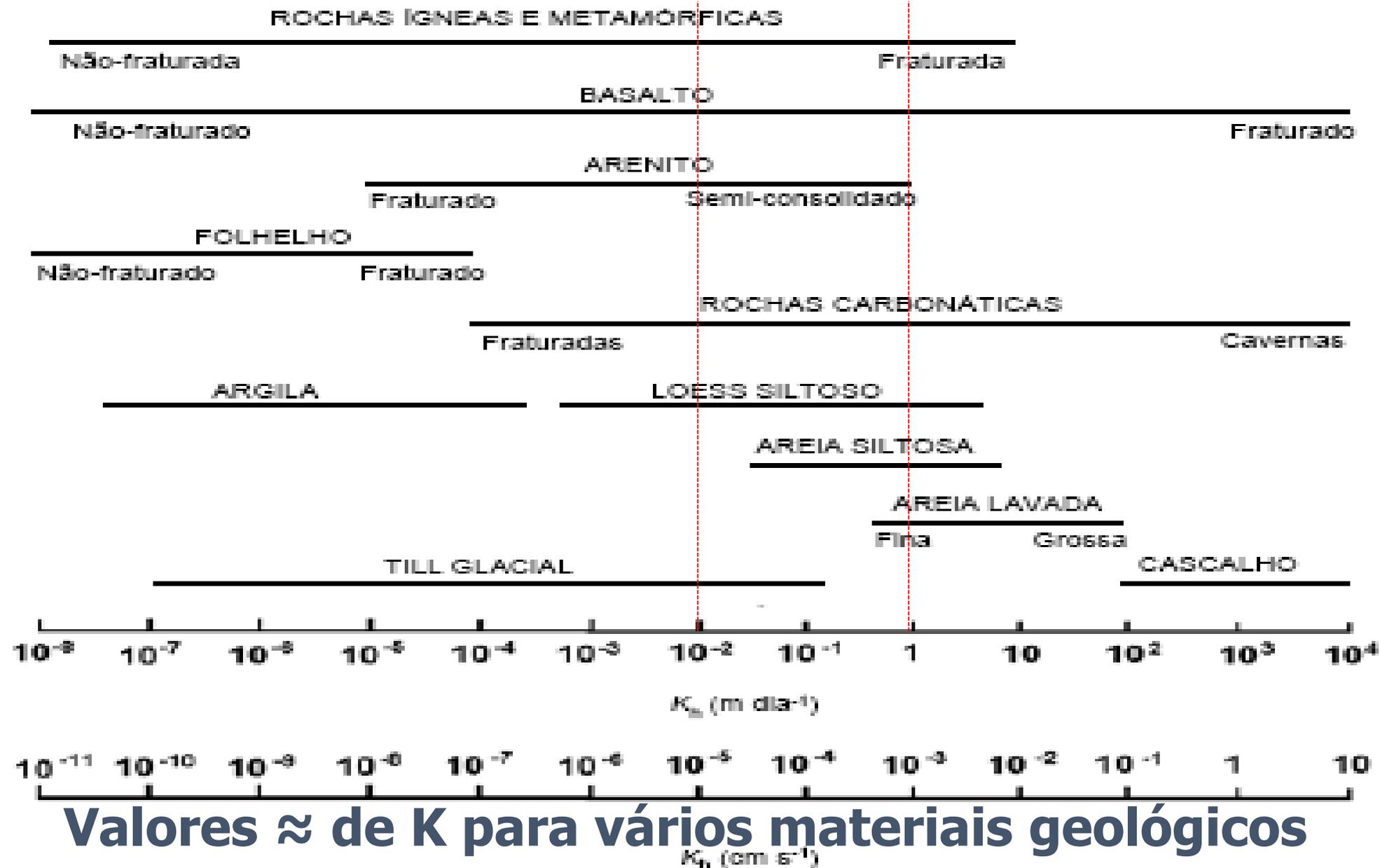


$$y = \log_a x \quad (0 < a < 1)$$

- Domínio $]0, \infty[$
- Contradomínio $] -\infty, \infty[$
- Decrescente
- Contínua
- $\lim_{x \rightarrow \infty} (\log_a x) = -\infty$
- $\lim_{x \rightarrow 0} (\log_a x) = \infty$
- Pontos $(1, 0)$ y $(a, 1)$

Conceitos Importantes

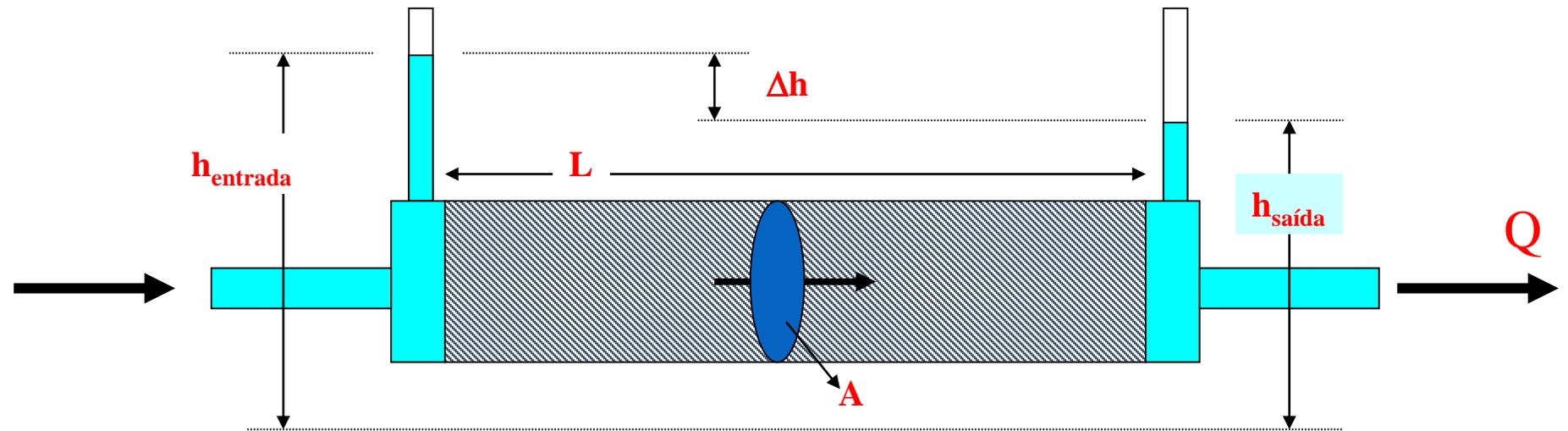
- **Condutividade Hidráulica K** \Rightarrow medida da habilidade de um aquífero conduzir água através do meio poroso;
 - Na areia a velocidade do fluxo é maior, então K é maior
 - Na argila a velocidade do fluxo é menor, então o K é menor.





Henry Darcy (1803 - 1858)

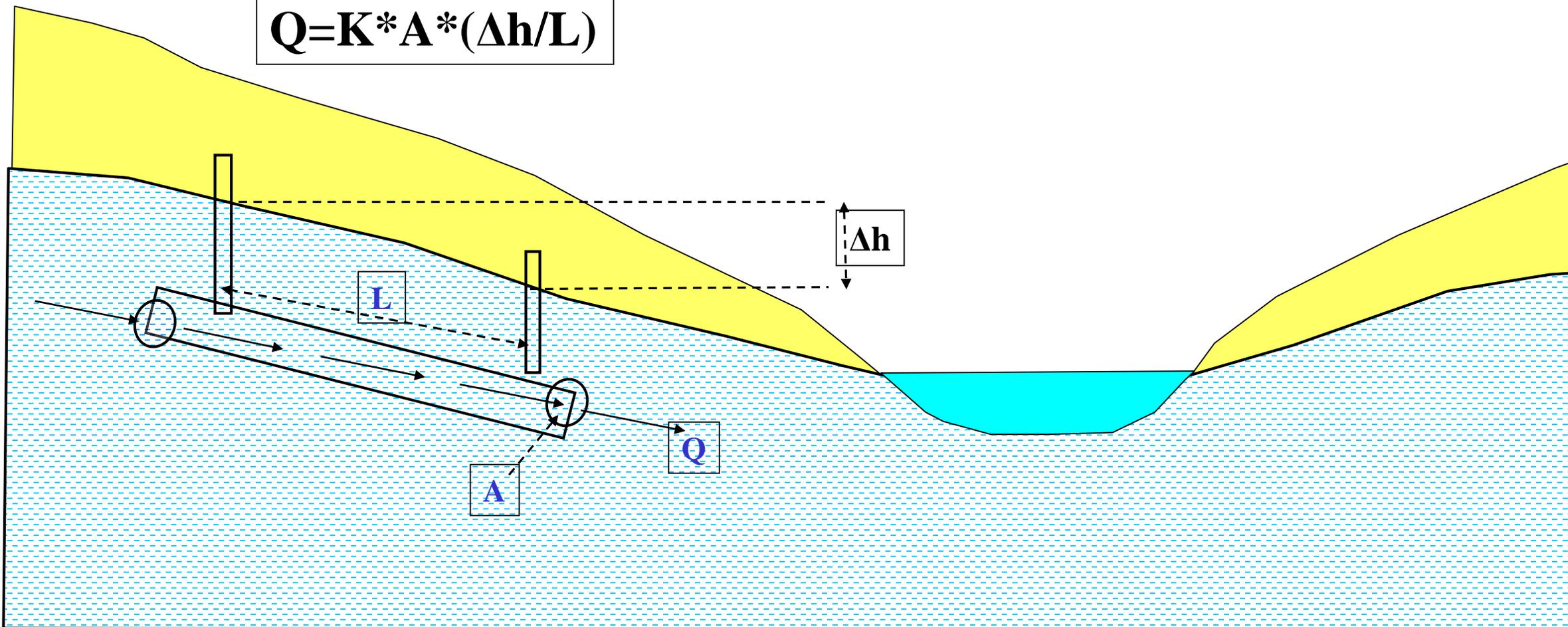
Darcy e Sua Lei.



$$Q = K \frac{(h_{\text{entrada}} - h_{\text{saída}})}{L} A$$

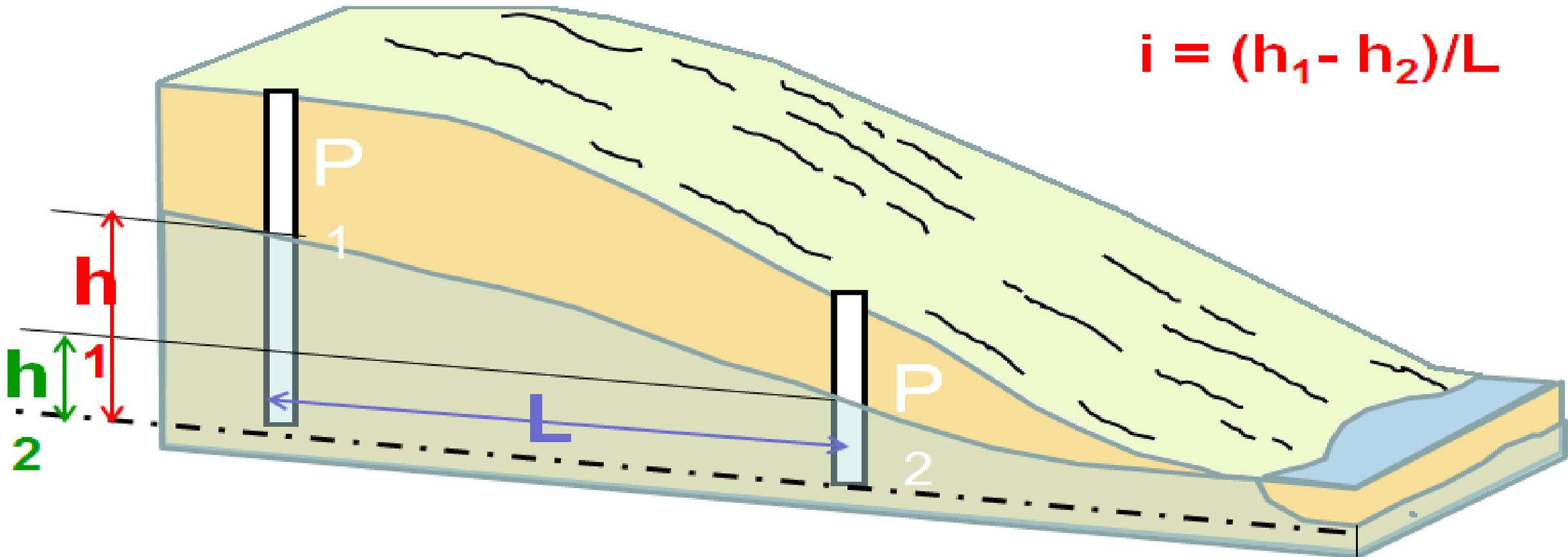


$$Q = K * A * (\Delta h / L)$$



O gradiente hidráulico (i)

$$i = (h_1 - h_2) / L$$



Lei de Darcy - Reescrevendo

$$Q = k \frac{(h_{\text{entrada}} - h_{\text{saída}})}{L} A$$

$$\frac{(h_{\text{entrada}} - h_{\text{saída}})}{L} = \textit{gradiente hidráulico} = i$$

$A = \textit{área da sessão transversal}$

Lei de Darcy

$$Q = kiA$$

Lei de Darcy

Sabendo da hidráulica que

$$Q = VA$$

Conclui-se que:

$$V_D = K (\Delta h/L)$$

V_D é a **descarga específica** do fluido, ou velocidade de Darcy, aumenta em função de h e utiliza unidades de velocidade.

Velocidade de Darcy

Pela continuidade da equação:

$$Q = A V_D = A_V V_e$$

Onde:

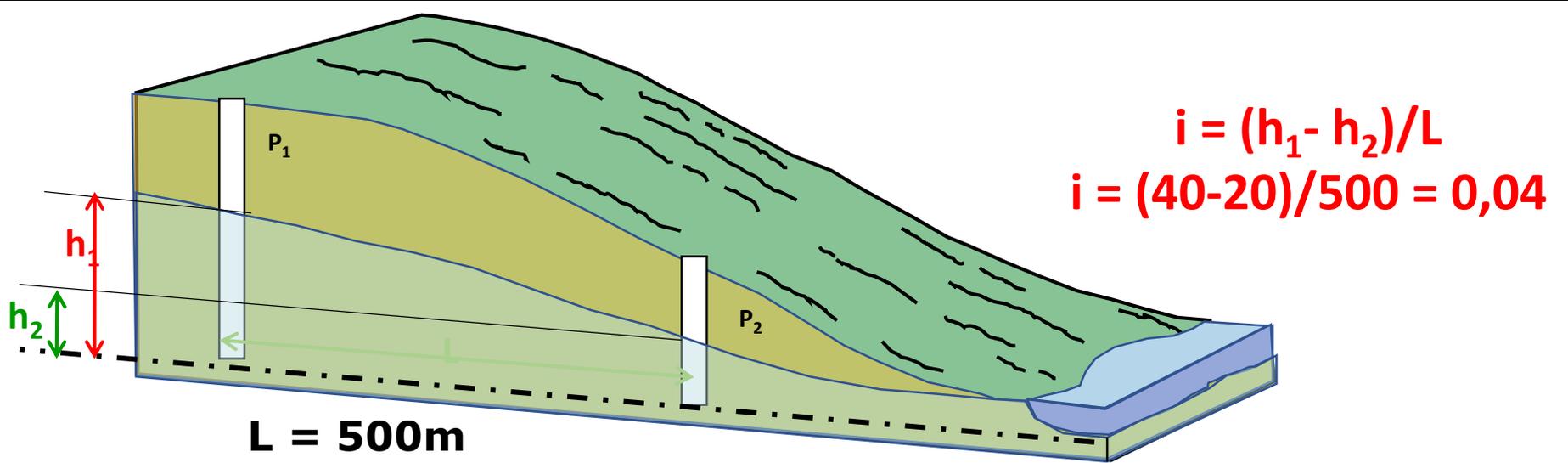
Q = Taxa de fluxo

A = Área da seção transversal do material

A_V = Área dos vazios da seção transversal do material (porosidade)

v_D = Velocidade de Darcy

V_e = Velocidade de Escoamento



Arenito

$K = 1 \text{ m/dia}$

$Q = K \cdot i \text{ (Para } A = 1 \text{ m}^2\text{)}$
 $Q = 1,0 \times 0,04 = 0,04 \text{ m}^3 / \text{dia}$

tempo de P1 para P2
 ~ 6 anos

Arenito

$K = 0,01 \text{ m/dia}$

$Q = K \cdot i \text{ (Para } A = 1 \text{ m}^2\text{)}$
 $Q = 0,01 \times 0,04 = 0,0004 \text{ m}^3 / \text{dia}$

tempo de P1 para P2
 ~ 140 anos

**Condutividade
 hidráulica**

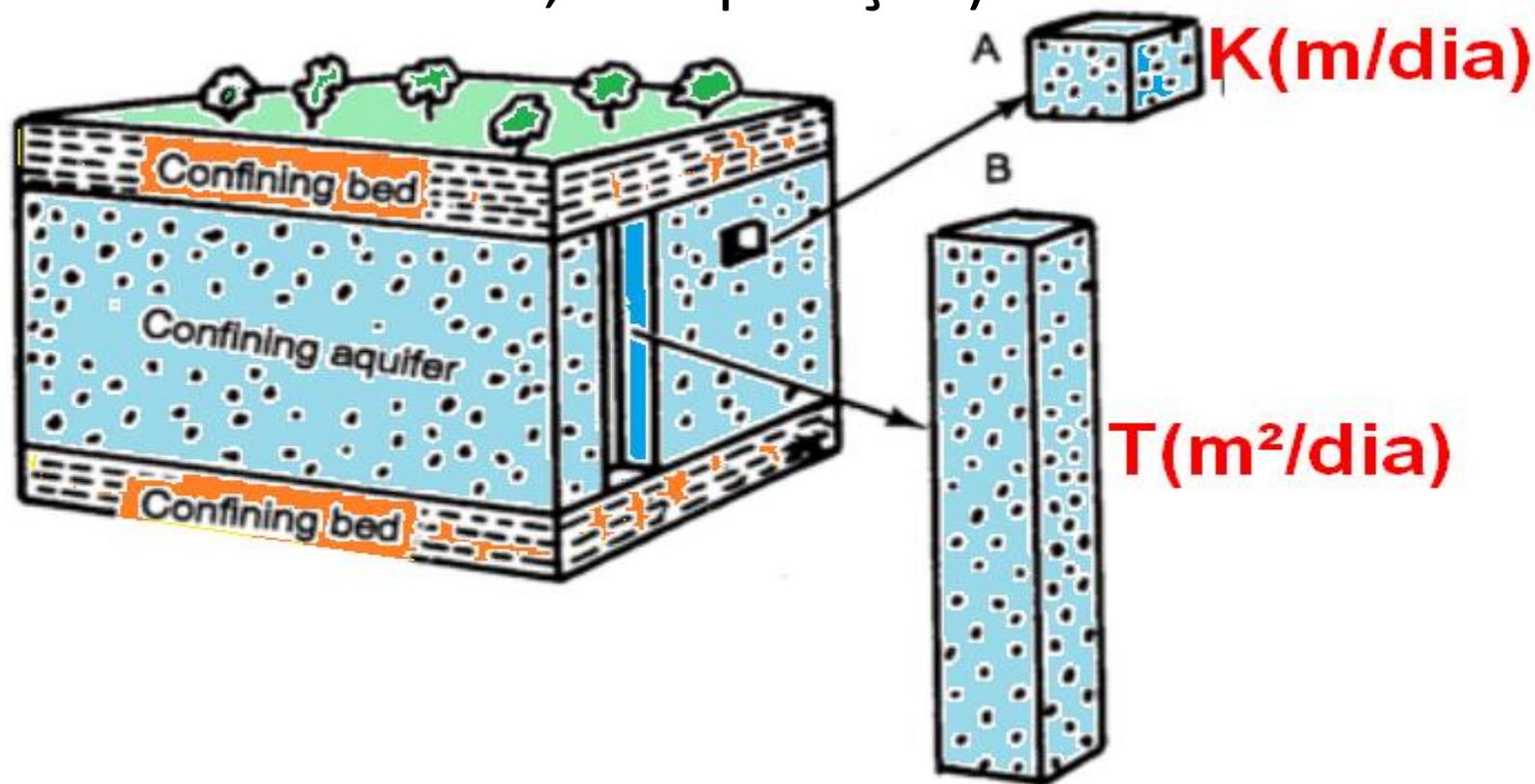
K

m/dia

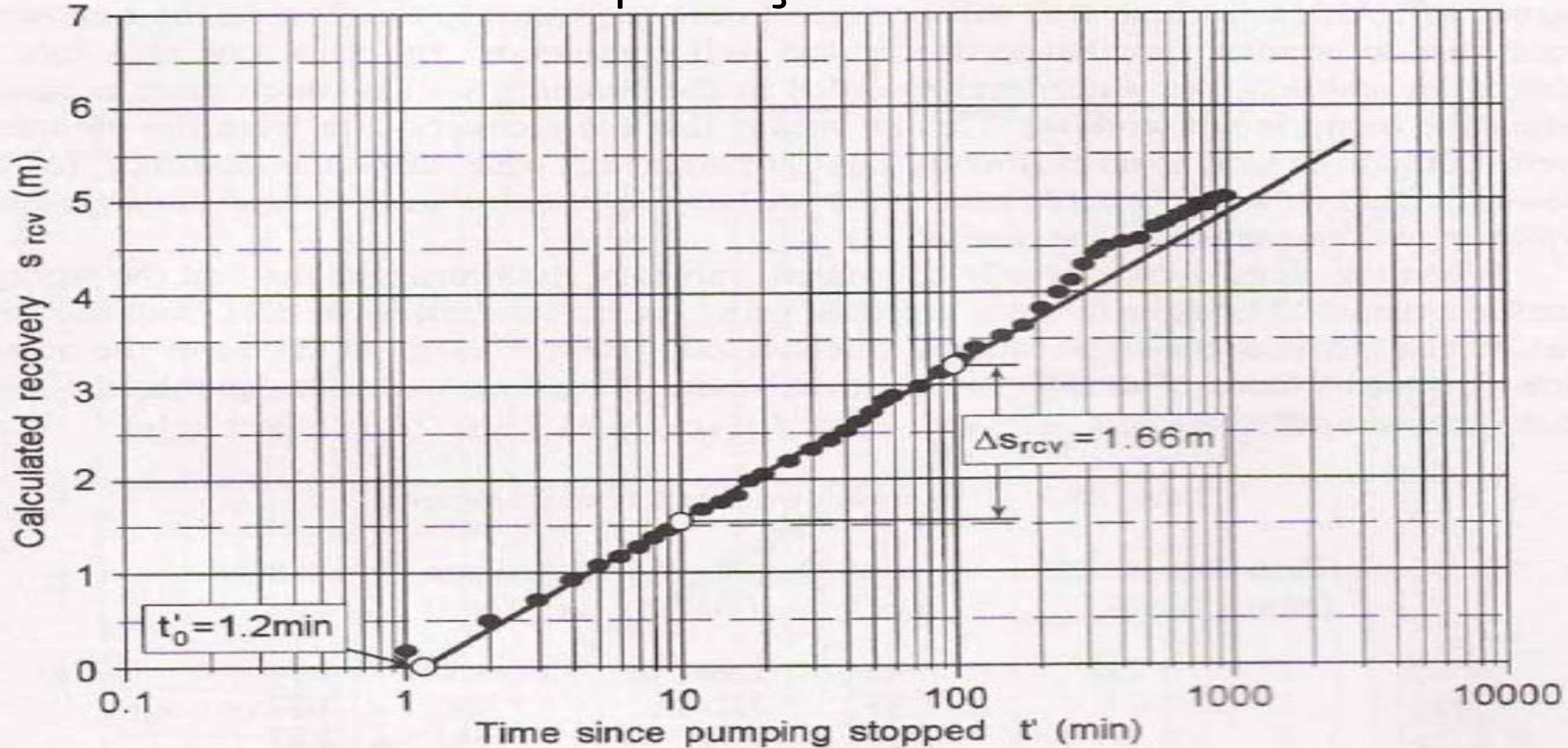
~ medida da velocidade com que a água se desloca no aquífero sob um gradiente hidráulico = Vazão que atravessa uma área unitária do aquífero submetida a um gradiente hidráulico

Transmissividade (T)

Geralmente expresso em m^2/dia , é o parâmetro resultante da condutividade hidráulica vezes a espessura do aquífero. (Determinada por testes de bombeamento, recuperação)



Testes de Recuperação

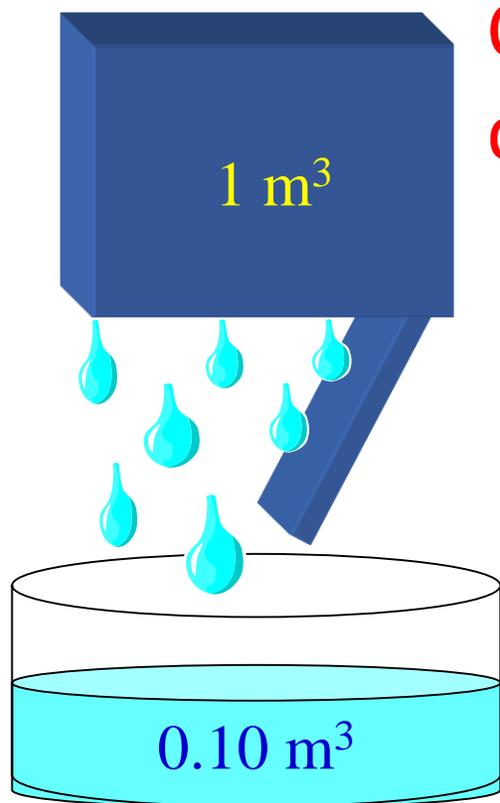


Coeficiente de Armazenamento

O coeficiente de armazenamento “S”, é o volume em m^3 de água aproveitável por poços, por m^3 de aquífero.

$$S \Rightarrow m^3 / m^3$$

O coeficiente de armazenamento é quem descreve a capacidade do sistema aquífero de armazenar água. É adimensional.



Coeficiente de Armazenamento – S

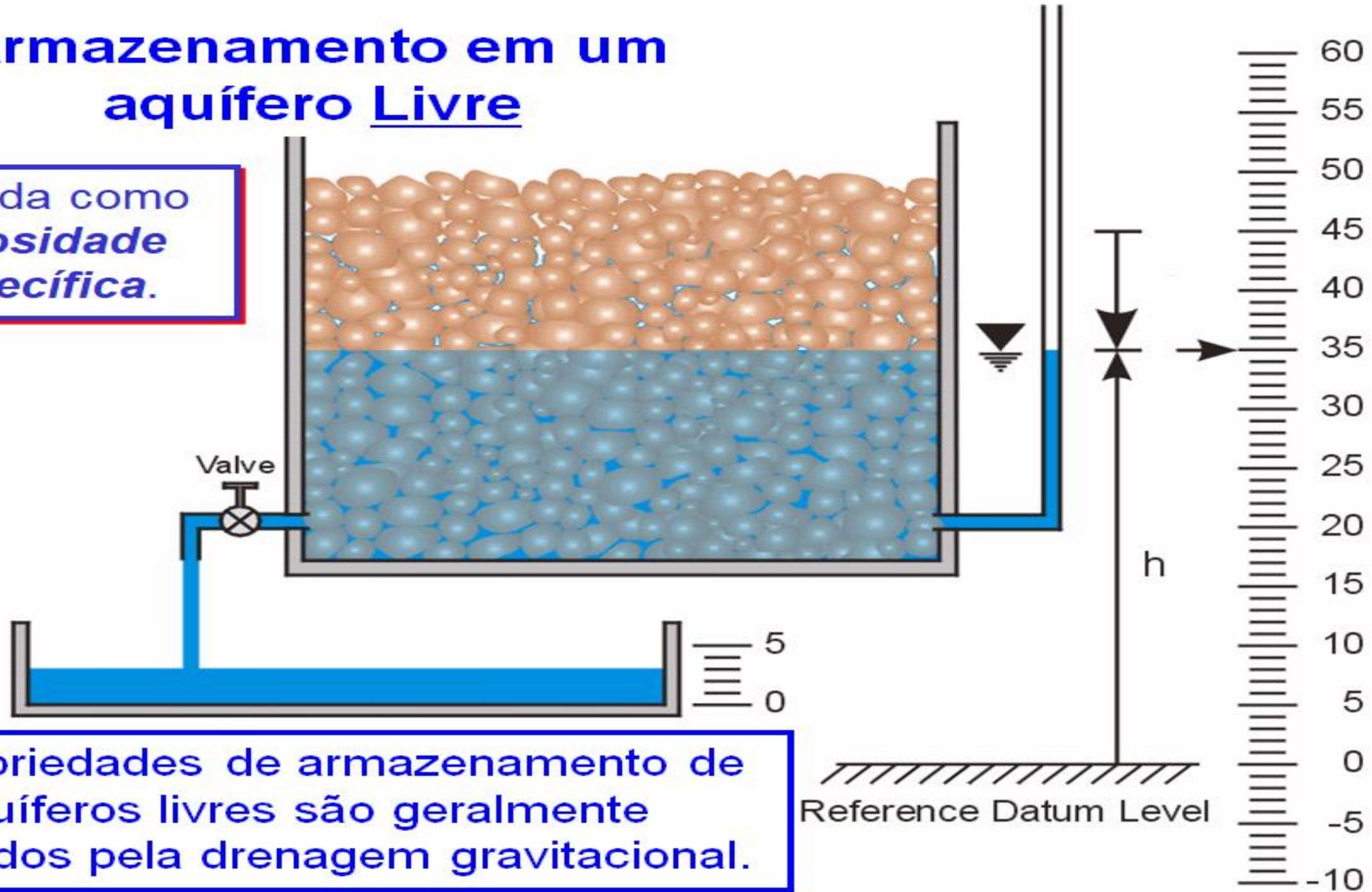
Em aquíferos confinados e semi-confinados, medimos S_s (armazenamento elástico) [L^{-1}], que pode variar entre $\approx 0,00001$ a $0,001/m$.

Para aquíferos livres, medimos S_y (porosidade eficaz) (adimensional) que pode variar entre $\approx 0,01$ e $0,25$.

$S = S_y + S_s.b$, onde b é a espessura do aquífero.

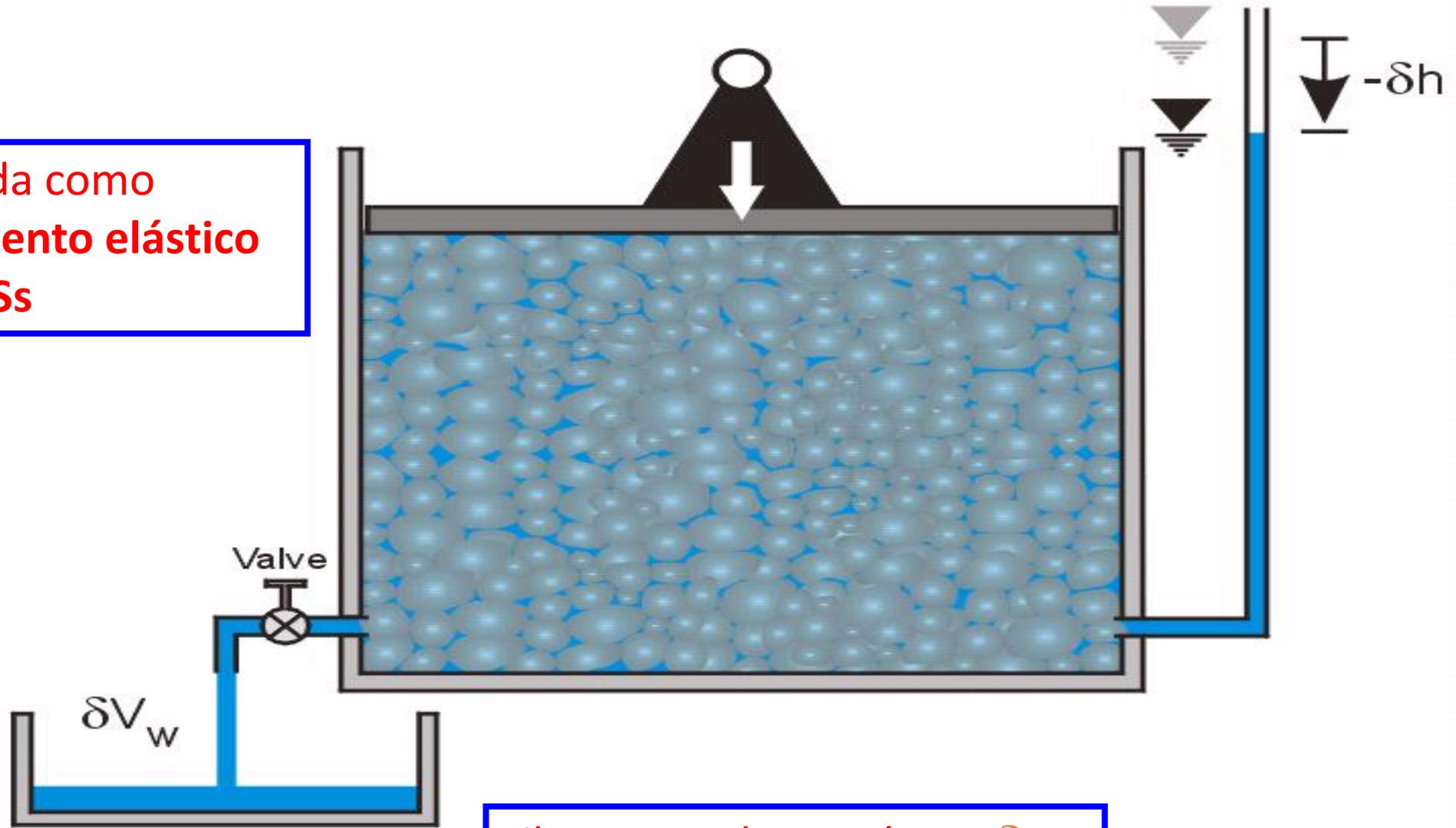
Armazenamento em um aquífero Livre

Definida como *Porosidade Específica*.



As Propriedades de armazenamento de Aquíferos livres são geralmente dominados pela drenagem gravitacional.

Definida como
armazenamento elástico
 S_s



Liberamos alguma água: δV

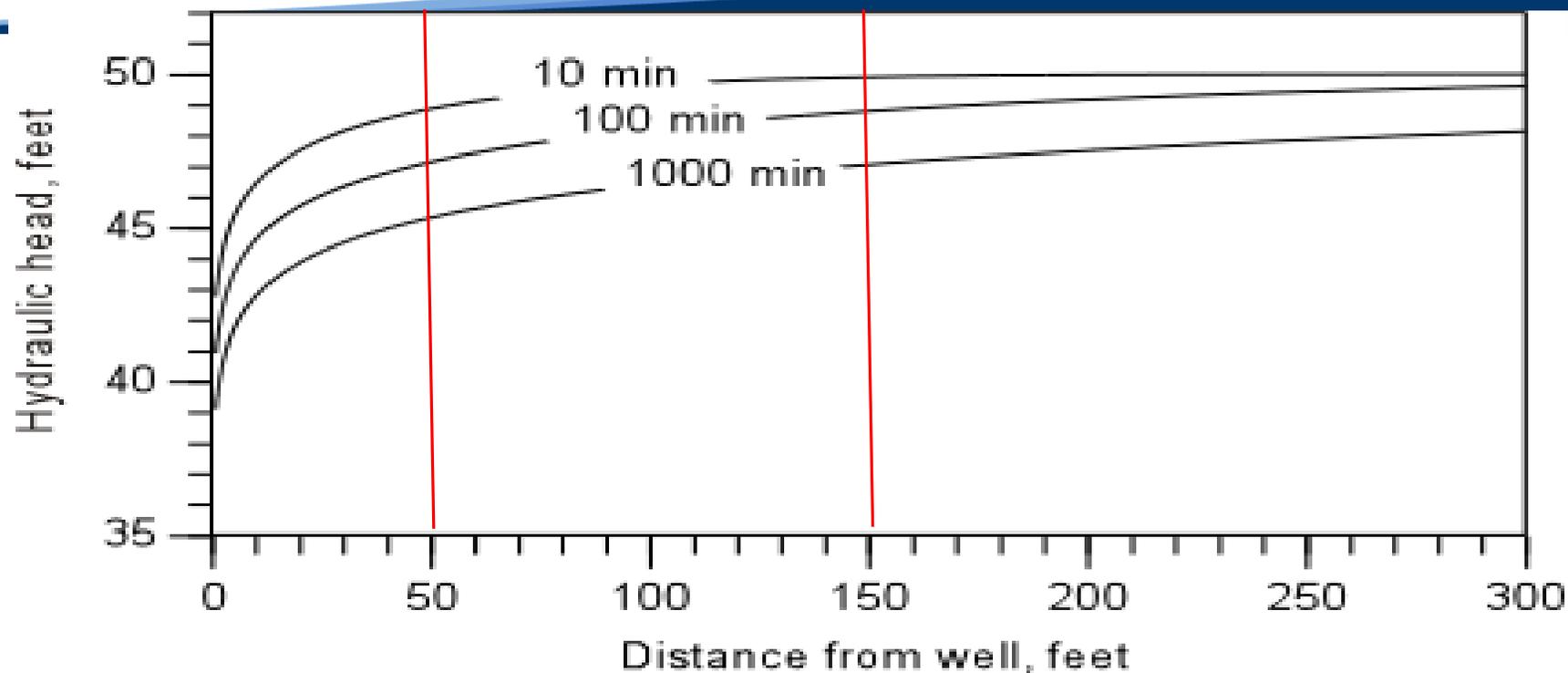
Hidráulica de Poços

O rebaixamento do nível d'água possui a forma cônica, cujo eixo é o próprio poço.

Este cone corresponde ao volume de água que flui gravitacionalmente em direção ao poço para repor a que está sendo extraída.

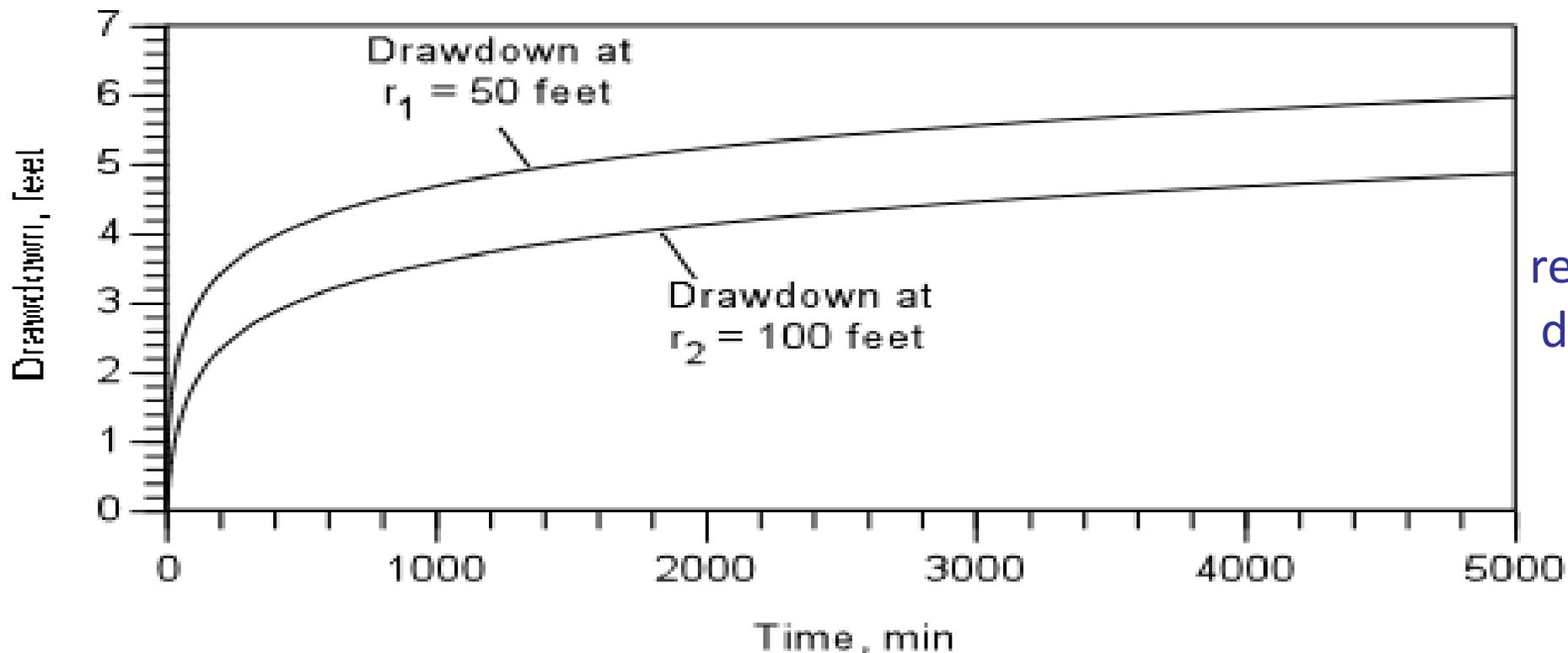
A forma do cone de depressão dependerá dos seguintes fatores:

1. Do volume de água que está sendo bombeado: um mesmo poço apresentará cones de tamanhos diferentes em função do volume de água que está sendo extraída.
2. Da permeabilidade do aquífero: esta determinará a velocidade com que a água se movimenta para o poço.



Exemplo de rebaixamento da carga hidráulica ("cone de depressão") na vizinhança de um poço bombeando um aquífero confinado em três instantes do tempo: 10, 100 e 1000 minutos.

Observe o rebaixamento persistente ao longo do tempo.



Observe que o rebaixamento aumenta de modo contínuo nas duas distâncias.

O rebaixamento com o tempo em dois poços de observação em distâncias de $r_1 = 50$ ft e $r_2 = 100$ ft do poço bombeado.

Testes de Recuperação

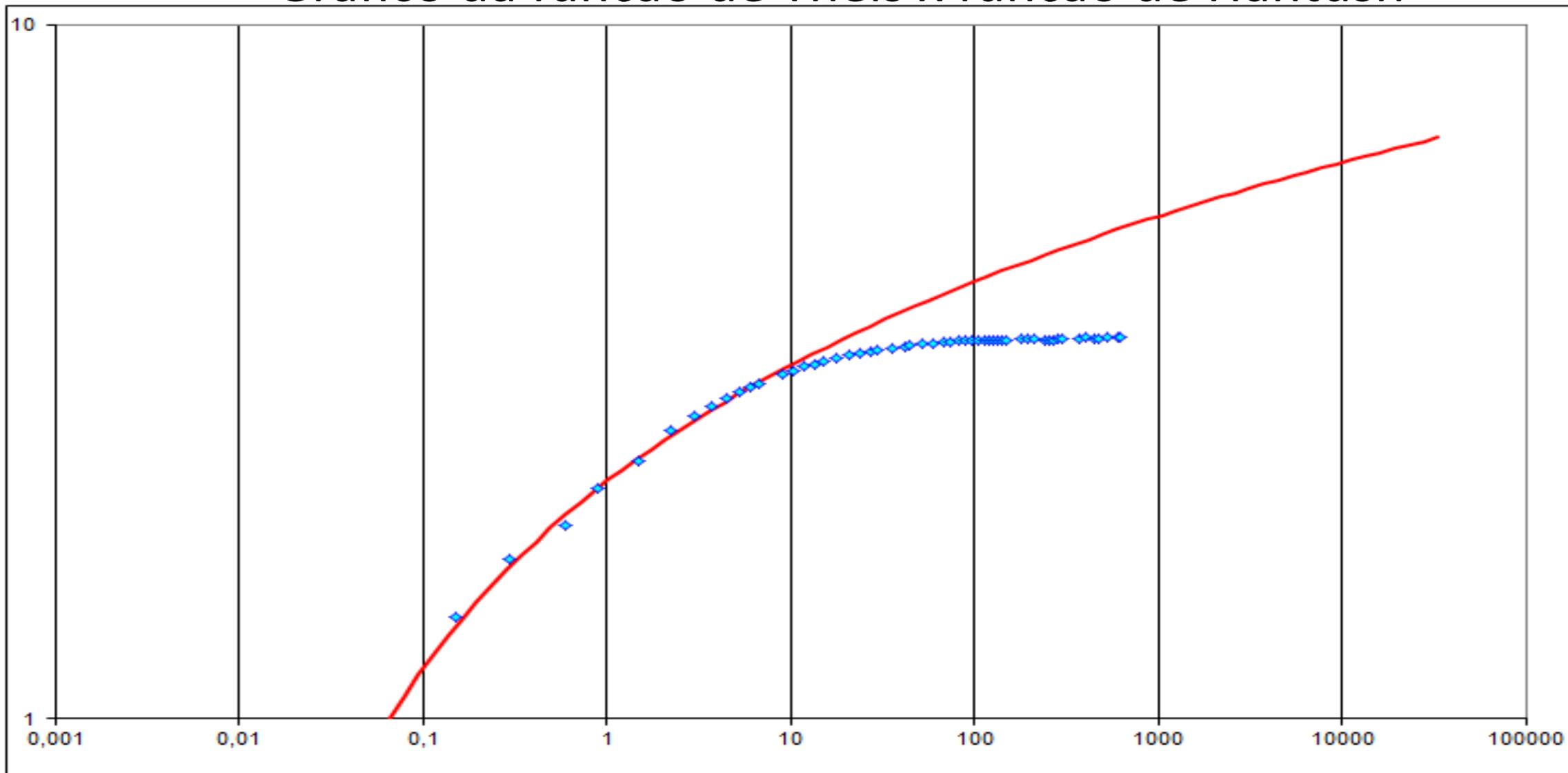
Quando o bombeamento é interrompido, ocorre a recuperação do nível da água, tendendo ao nível de pré-bombeamento. O rebaixamento resultante em qualquer tempo após a parada do bombeamento é a soma algébrica do (s) do poço e o acúmulo (recuperação do nível) da recarga imaginária do poço.

Recomendação

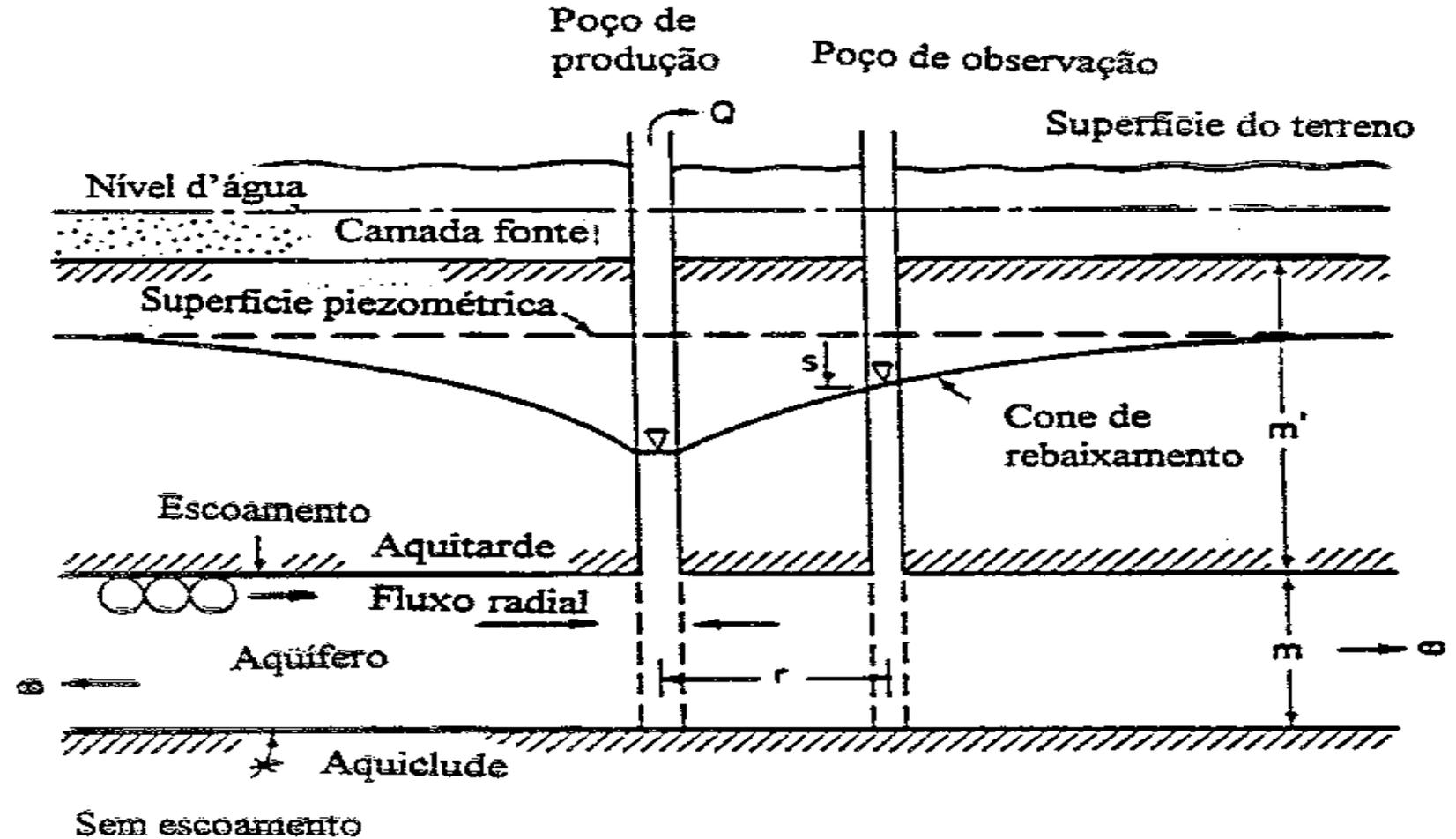
Lembrem-se!

O Método de recuperação de Cooper-Jacob é altamente recomendado para testes de bombeamento com um único poço.

Gráfico da função de Theis x função de Hantush



Rebaixamento do nível d'água dos poços em aquíferos semi-confinados



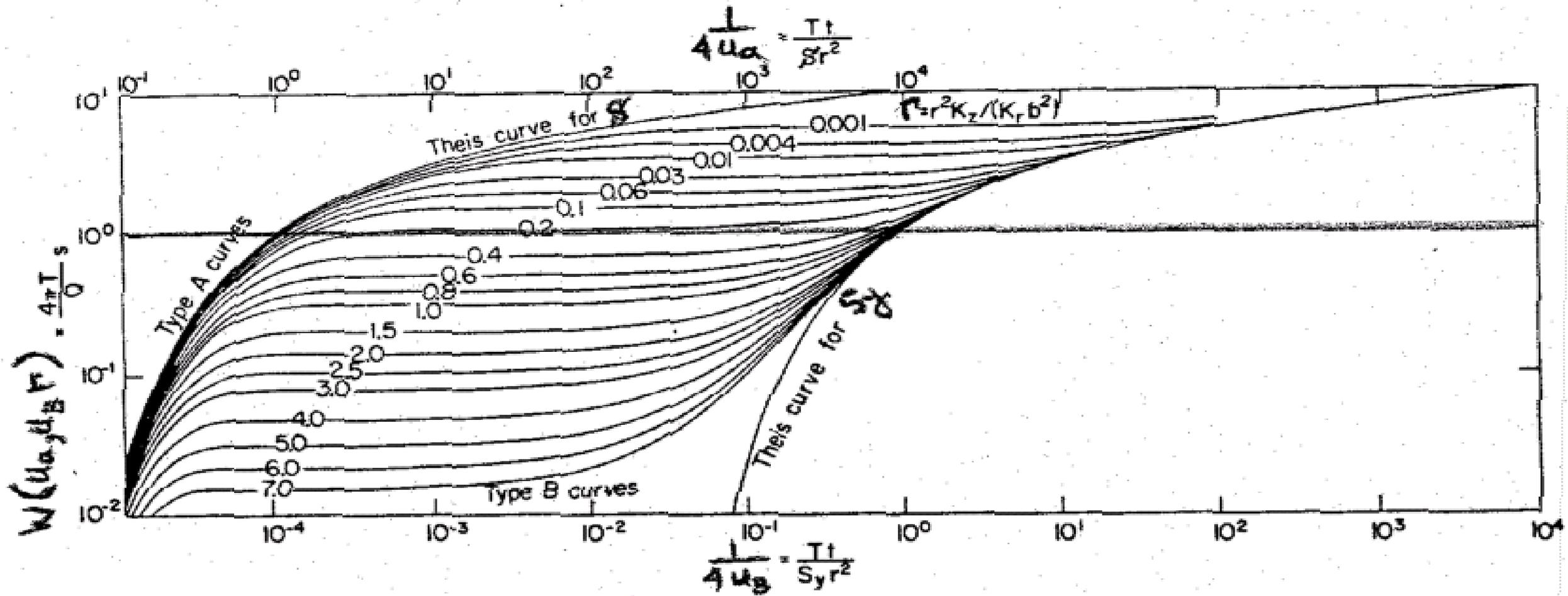
Poço inteiramente penetrante em um aquífero semi-confinado.
Modificado de Walton (1970).

De Onde Vem a Água Bombeada?

Fases na curva de rebaixamento:

1. Inicialmente, o fluxo horizontal de água é proveniente dos volumes sobre pressão (armazenamento elástico).
2. Posteriormente, chega a água proveniente da drenagem por gravidade. O fluxo passa a ter componentes horizontais e verticais.
3. Após um longo tempo, começa a ocorrer a drenagem livre, que reduz a velocidade de rebaixamento e o fluxo se torna horizontal

Curvas tipo de Neuman



A química como indicadora do fluxo de água subterrânea

- A água da chuva é geralmente ácida, com poucos sais. A tendência se inverte à medida que a água se move no ambiente subterrâneo.
- A água, ao seguir pelo fluxo do aquífero, fica cada vez mais parecida com a água do mar (as espécies iônicas dominantes vão mudando)



A química como indicadora do fluxo de água subterrânea

Em geral:

Atmosfera → Oxidante e ácida

Geosfera → Redutora e básica

A água subterrânea representa um intercâmbio entre ambas.

Os minerais tendem a aumentar o pH das águas.

A química como indicadora do fluxo de água subterrânea

Oxigênio dissolvido vs. Tipo de solo na zona de recarga

- Áreas de recarga em solos arenosos, pedregosos ou carbonatados: águas rasas com quantidades detectáveis de oxigênio dissolvido.
- Áreas de recarga em solos siltosos ou argilosos: águas rasas sem quantidades detectáveis de oxigênio dissolvido.
- Áreas com pouco desenvolvimento do solo em rocha fraturada: pode haver oxigênio dissolvido abundante em todo o caminho do fluxo.



Muito Obrigado

Zoltan Romero Cavalcante Rodrigues

zoltanr@gmail.com

071-99611-7222