

# Ensaio de bombeamento e métodos granulométricos para determinação das características hidrodinâmicas do Aquífero Ponta de Pedras MARAJÓ.

## ABSTRACT

Determination of hydrodynamic characteristics of an aquifer by pumping tests, is a complex and expensive procedure, especially in regions with difficult access and lack of infrastructure.

The inconvenience of granulometric methods in calculating the aquifer permeability (K) stems from the discrepancy of results obtained by the use of each method.

To resolve this problem in the Ponta de Pedras area of Marajó, a pumping test has been carried out in a representative spot of the aquifer-system.

The aquifer can be considered as relatively homogenous in his sedimentologic composition. The  $d_{10}$  values are approximately equal to 0,10 mm and the total porosity (m) is about 40% in nearly all the granulometric analyses (in about 50 spots of the aquifer).

The results of the pumping test have been compared with the values of K obtained by granulometric computation. The formula of A.HAZEN (2) (B. HÖLTING, 1980) proved to be the most accurate method to evaluate hydrodynamic characteristics for the aquifer system of Ponta de Pedras.

## RESUMO

A determinação das características hidrodinâmicas de um aquífero (K, T, S) por ensaio de bombeamento, é um processo custoso e complexo em regiões de difícil acesso e falta de infraestrutura, como no caso das regiões amazônicas.

Por outro lado, os métodos granulométricos para calcular a permeabilidade (K) de um aquífero apresentam o inconveniente de grande divergência dos resultados obtidos por cada método.

Para resolver este problema na área de Ponta de Pedras (Ilha de Marajó), foi realizado um ensaio de bombeamento num poço perfurado localizado em um ponto representativo do sistema aquífero.

O aquífero pode ser considerado bastante homogêneo, sendo que os valores de  $d_{10}$  estão em torno de 0,10 mm e a porosidade total aproximadamente de 40% na maioria das análises granulométricas realizadas em diversos pontos do aquífero.

A comparação dos resultados do ensaio de bombeamento e dos cálculos de K por granulometria mostraram que a relação de A. HAZEN (2) (B. HÖLTING, 1980) é a mais adequada para calcular as características hidrodinâmicas do sistema aquífero de Ponta de Pedras.

#### INTRODUÇÃO

Os estudos hidrogeológicos na área piloto de Ponta de Pedras - Ilha de Marajó (Fig. 1), mostraram que a formação geológica do sistema aquífero é bastante homogênea e pode ser considerada, no seu conjunto, como aquífero raso e semiconfinado.

A composição sedimentológica do aquífero é areia quartzosa com uma certa porcentagem de argila. Os valores de  $d_{10}$  estão em torno de 0,1 mm e a porosidade total acerca de 40% (PIUCI, 1979).

Para determinar as condições hidrodinâmicas, os métodos granulométricos são os mais simples e mais baratos, já que temos à disposição mais de 100 análises granulométricas de 48 amostras realizadas no aquífero de Ponta de Pedras.

Numa primeira tentativa foram aplicadas as relações de SCHLICHTER e TERZAGHI (Schoeller, 1961), HAZEN(1) (Custódio e Llamas, 1976) e HAZEN(2) (Höltting, 1980) para determinar a permeabilidade (K) e a transmissibilidade (T) do aquífero, mostrando porém resultados divergentes.

Para poder escolher o método granulométrico conveniente, foi realizado um ensaio de bombeamento num poço perfurado, com informações granulométricas detalhadas.

Os resultados do ensaio mostraram que a relação de HAZEN(2) é o método mais adequado para determinar as características hidrodinâmicas do aquífero Ponta de Pedras.

#### D ENSAIO DE BOMBEAMENTO

O ensaio foi realizado num poço perfurado de 4 polegadas de diâmetro, totalmente penetrante. As medidas do abaixamento do nível piezométrico foram efetuadas num piezômetro situado a  $r=4,7$  m do poço bombeado.

O perfil geológico apresenta uma camada de 5,70 m de argila no topo do aquífero de  $b=6,90$  m de espessura (Fig. 2).

O poço foi bombeado com uma vazão constante de  $Q=10,08$  m<sup>3</sup>/h durante 12 horas e 30 minutos, segundo a modalidade apresentada na tabela 1.

Os resultados foram plotados num papel bilogarítmico de forma:  $\text{Abaixamento (cm)} = f(t(\text{min}))$  segundo o método de Theis (em JOHNSON, 1978 e CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976).

A curva padrão superposta à curva obtida através do ensaio, revelou o ponto de coincidência (Pc) com as seguintes coordenadas em cada curva:

$$W(u) = 0,64$$

$$\frac{1}{u} = 23$$

$$s = 0,13 \text{ m (abaixamento em Pc)}$$

$$t = 1 \text{ hora (tempo de bombeo em Pc)}$$

A relação de Theis permite a partir destes dados o cálculo de T e de S (JOHNSON, 1978).

$$T = \frac{0,0795}{s} \cdot Q \cdot W(u)$$

$$T = 3,96 \text{ m}^3/\text{h.m}$$

$$S = \frac{4 \cdot u \cdot T \cdot t}{r^2}$$

$$S = 0,031$$

$$K = \frac{T}{b} = 0,57 \text{ m/h}$$

ou  $K_1 = 0,015 \text{ cm/s}$

Este resultado indica uma classe de aquífero REGULAR e uma permeabilidade MÉDIA (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976).

CÁLCULO DE K E T POR GRANULOMETRIA

Os dados granulométricos do material aquífero do poço perfurado são:

$$m = 0,42$$

$$d_{10} = 0,088 \text{ mm}$$

K E T SEGUNDO A RELAÇÃO DE SCHLICHTER (SCHOELLER, 1962)

$$K = \frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{10,0219}{K_1} : d_{10}^2 \text{ em cm/s}$$

com:  $d_{10}$  em cm

$$\frac{1}{K_1} = 0,057 \text{ para } m = 0,42 \text{ (SCHOELLER, 1962)}$$

$$\frac{\gamma}{\mu} = 1,244 \text{ valores em Schoeller (1962)}$$

aplicação numérica:

$$K = 5 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$$

ou  $K_2 = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/h}$

e  $T = Kb$

ou  $T_2 = 12,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h.m}$

K E T SEGUNDO A RELAÇÃO DE TERZAGHI (SCHOELLER, 1962)

$$K = \left(\frac{c}{\mu_0}\right) \left(\frac{\mu_0}{\mu_\theta}\right) \left(\frac{m-0,13}{3\sqrt{1-m}}\right)^2 (d_{10})^2 \text{ em cm/s}$$

com:  $\mu_0 = 1,301$

$\mu_\theta = 0,836$  Valores tabelados em Schoeller, 1962

$$\frac{c}{\mu_0} = 700$$

$m = 0,42$

aplicação numérica:

$$K = 0,0092 \text{ cm/s}$$

ou  $K_3 = 0,33 \text{ m/h}$

$$e \quad T = Kb^3$$

$T_3 = 2,27 \text{ m}^3/\text{h.m}$

K e T SEGUNDO A RELAÇÃO DE HAZEN(1) (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976)

$$K = 100.(d_{10}^2) \text{ em cm/s}$$

com  $d_{10}$  em cm

aplicação numérica:

$$K = 0,0081 \text{ cm/s}$$

ou  $K_4 = 0,29 \text{ m/h}$

$$e \quad T = Kb^3$$

ou  $T_4 = 2,0 \text{ m}^3/\text{h.m}$

K e T SEGUNDO A RELAÇÃO DE HAZEN(2) (HOLTING, 1980)

$$K = C. d_{10}^2 \text{ em m/s}$$

$$\text{Com } C = \frac{0,7 + 0,03 t^0}{86,4}$$

$$t^0 = \text{temperatura da água} = 28^\circ\text{C}$$

$d_{10}$  em mm

aplicação numérica:

$$K = 0,014 \text{ cm/s}$$

ou  $K_5 = 0,49 \text{ m/h}$

$$e \quad T = Kb^3$$

$T_5 = 3,38 \text{ m}^3/\text{h.m}$

## RESUMO DOS RESULTADOS

### PERMEABILIDADE

- Ensaio de bombeamento:  $K_1 = 0,57 \text{ m/h}$
- Relação de SCHLICHTER:  $K_2 = 1.6.10^{-3} \text{ m/h}$
- Relação de TERZAGHI:  $K_3 = 0,33 \text{ m/h}$
- Relação de HAZEN(1):  $K_4 = 0,29 \text{ m/h}$
- Relação de HAZEN(2):  $K_5 = 0,49 \text{ m/h}$

### TRANSMISSIBILIDADE

- Ensaio de bombeamento:  $T_1 = 3,96 \text{ m}^3/\text{h.m}$
- Relação de SCHLICHTER:  $T_2 = 12.42.10^{-3} \text{ m}^3/\text{h.m}$
- Relação de TERZAGHI:  $T_3 = 2,27 \text{ m}^3/\text{h.m}$
- Relação de HAZEN(1):  $T_4 = 2,00 \text{ m}^3/\text{h.m}$
- Relação de HAZEN(2):  $T_5 = 3,38 \text{ m}^3/\text{h.m}$

## CONCLUSÃO

A correspondência dos resultados de ensaio de bombeamento e da relação de HAZEN(2) é surpreendentemente e permite nas condições do sistema aquífero Ponta de Pedras uma determinação simples e rápida das características hidrodinâmicas em todos os pontos onde uma análise granulométrica é disponível. Apesar dos excelentes resultados obtidos, será necessário repetir no mínimo 2 outros ensaios de bombeamento localizados em regiões menos representativas do sistema aquífero, para confirmar a validade da relação de HAZEN(2) em condições menos favoráveis.

O resultado não invalida a relação de TERZAGHI, que em muitas ocasiões permite uma boa aproximação às condições hidrodinâmicas de um aquífero. O problema parece ser o fator  $\frac{C}{\mu^0}$  que foi escolhido igual a 700 (SCHOELLER, 1962) por semelhança à outros sedimentos. O tamanho desse fator parece determinar o resultado neste caso.  $\frac{C}{\mu^0}$  teria que ser determinado empiricamente para as condições específicas do presente aquífero.

A relação de SCHLICHTER não pode ser considerado aceitável nas presentes condições.

## BIBLIOGRAFIA

- CUSTÓDIO, E., LLAMAS, M.R. - (1976) - Hidrologia subterrânea. 2 tomos, Ed. Omega, Barcelona (Espanha).
- HÖLTING, B. - (1980) - Hydrogeologie - 340 p., Ed. F. Enke Stuttgart.
- JOHNSON - (1978) - Água subterrânea e poços tubulares. 1 tomo, CETESB, São Paulo.
- PIUCI, J. - (1978) - Hidrogeologia da área piloto Ponta de Pedras - Marajó - Tese de Mestrado. UFPA/NCGG, Belém.
- SCHOELLER, H. - (1962) - Les eaux souterraines. 1 tomo, Masson, Paris.

MODALIDADE DE MEDIDA	MEDIDAS	TEMPO DE BOMBEAMENTO (MINUTOS)	ABAIXAMENTO DO POÇO OBSERVADO (M)	ABAIXAMENTO DO POÇO BOMBEADO (M)
1 EM 1 MINUTO	1	1	2,23	2,35
	2	2	2,24	3,05
	3	3	2,24	3,07
	4	4	2,24	3,07
	5	5	2,24	3,08
	6	6	2,25	3,08
	7	7	2,26	3,09
	8	8	2,26	3,09
	9	9	2,26	3,10
	10	10	2,26	3,11
5 EM 5 MINUTOS	11	15	2,27	3,13
	12	20	2,28	3,13
	13	25	2,29	3,13
	14	30	2,31	3,14
	15	35	2,31	3,15
	16	40	2,33	3,15
	17	45	2,33	3,15
	18	50	2,34	3,15
	19	55	2,35	3,15
	20	60	2,36	3,16
20 EM 30 MINUTOS	21	70	2,38	3,16
	22	80	2,40	3,16
	23	90	2,42	3,17
	24	100	2,43	3,17
	25	110	2,45	3,17
	26	120	2,46	3,18
15 EM 15 MINUTOS	27	135	2,48	3,18
	28	150	2,49	3,18
	29	165	2,51	3,20
	30	180	2,52	3,21
	31	195	2,54	3,23
	32	210	2,55	3,23
	33	225	2,57	3,24
	34	240	2,58	3,24
30 EM 30 MINUTOS	35	270	2,58	3,25
	36	300	2,61	3,26
	37	330	2,62	3,27
	38	360	2,63	3,28
HORA EM HORA	39	420	2,66	3,32
	40	480	2,69	3,35
	41	540	2,71	3,36
	42	600	2,73	3,39
	43	660	2,75	3,41
	44	720	2,76	3,41

TAB. 1- RESULTADO DE CAMPO DO ENSAIO DE BOMBEAMENTO

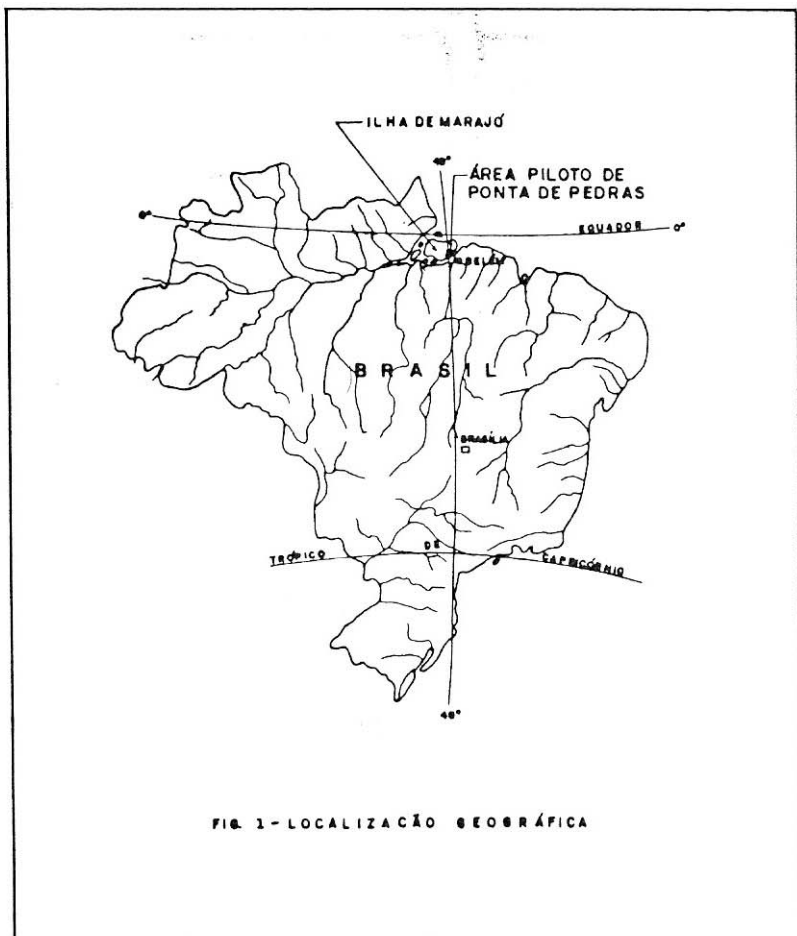


FIG. 1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

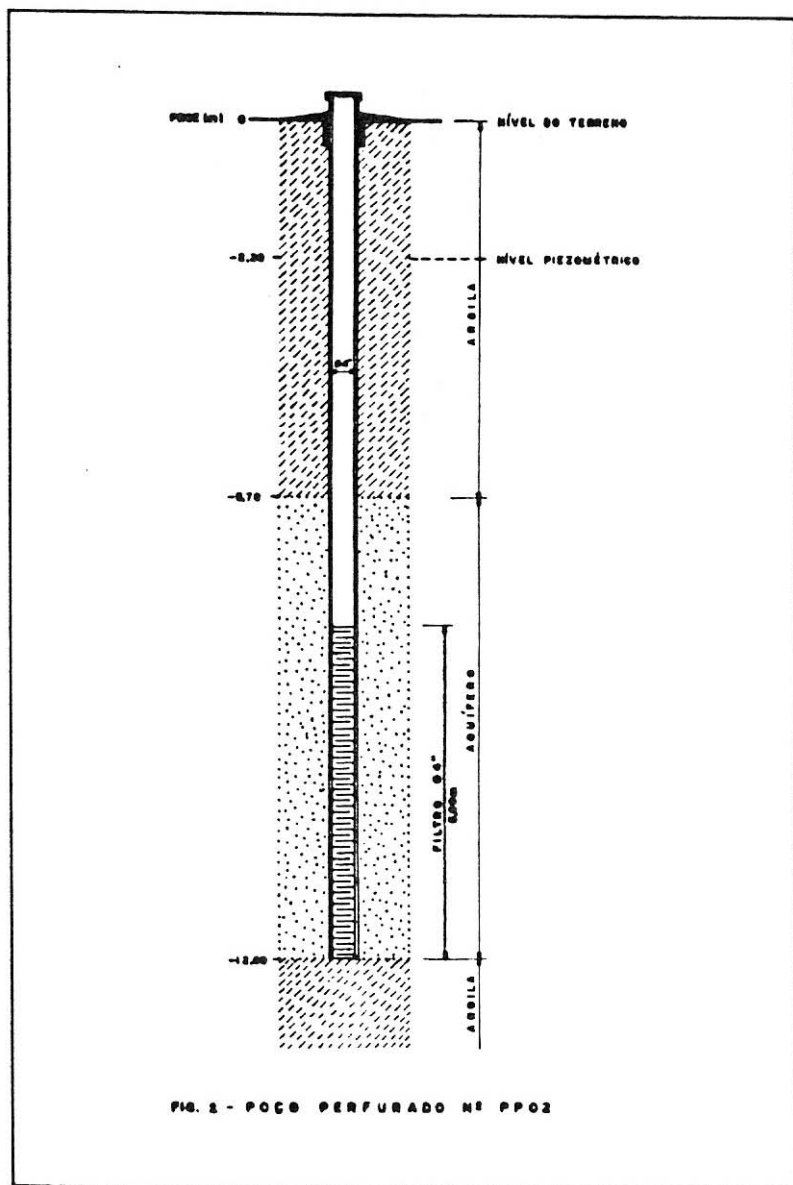


FIG. 1 - POÇO PERFORADO NO PPO2