

EFICIÊNCIA DE POÇOS PARCIALMENTE PENETRANTES

* José Pompeu dos Santos

* Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo S.A.

ABSTRACT

In this work, the author by using the Theis and Hantush equations for complete and partially penetrating wells in a confined aquifer study the well efficiency variation. This work point on that the "B" coefficient depend on geometric characteristic of well also.

On basis of Hantush equation, calculations were made for different well penetration and well efficiency, as shown in tables I and II.

INTRODUÇÃO

A construção de poço tubulares como obra de engenharia, envolve não somente os problemas relacionados à hidráulica das captações subterrâneas, mas também aqueles relacionados direta ou indiretamente à custos. Em se tratando de água subterrânea, as solicitações são feitas em termos de "vazão por poço", isto é, o projetista ou cliente necessita de uma determinada vazão ao mesmo tempo em que deseja obter resposta para as seguintes questões:

- a) qual a profundidade do poço;
- b) qual o diâmetro dos filtros e do revestimento;
- c) que quantidades de filtros.

Pode ocorrer e, muitas vezes ocorre, que se disponha de um ótimo aquífero (com 100 metros de espessura e a cerca de 200-300 metros de profundidade, p. exemplo) e que a vazão requerida seja constante ao longo do tempo e relativamente pequena. Neste caso, não se necessitam do penetrar todo o aquífero, cálculos deverão ser efetuados para definir, além de outros parâmetros, a melhor porcentagem de penetração para a qual a eficiência será máxima, evitando-se desse modo o sub ou super dimensionamento do poço.

Em considerando os aspectos acima citados, o autor, com base nas equações de Hantush e Theis-Jacob elaborou tabelas que mostram a variação da eficiência de um poço em função de porcentagem de penetração.

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

A equação de Theis, que descreve o rebaixamento de poços totalmente penetrantes em aquíferos confinados, e em regime transitório, tem a seguinte expressão:

$$s_{wt} = \frac{Q_t}{4 \pi T} \cdot W(u) \quad (1) \quad \text{ou ainda}$$

$$s_{wt}/Q_t = \frac{W(u)}{4\pi T} \quad (2)$$

Por outro lado, Hantush (1), formulou uma equação, na qual descreve o rebaixamento de um poço parcialmente penetrante em aquífero confinado (Figura 1) cuja fórmula geral é a seguinte:

$$s_{wp} = \frac{Q_p}{4\pi T} \cdot [W(u) + F] \quad (3) \text{ ou ainda}$$

$$s_{wp}/Q_p = \frac{W(u) + F}{4\pi T} \quad (4), \text{ onde}$$

$$F = \frac{4b}{\pi(\ell-d)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} K_n \left(\frac{n\pi r_w}{b} \right) \left[\left(\sin \frac{n\pi \ell}{b} - \sin \frac{n\pi d}{b} \right) \right] \cdot \cos \frac{n\pi(\ell+d)}{2b} \quad (5)$$

Quando o poço porém, tem filtros ao longo de toda a porção penetrada - condição em que o rebaixamento máximo coincide com o topo do aquífero e, portanto $z = 0$ e $d = 0$ - ou quando tem filtros somente na porção inferior do total penetrado e, a relação r_w/b é menor do que 0,01 (o que geralmente ocorre na prática), a equação (5) pode ainda ser reescrita das seguintes maneiras:

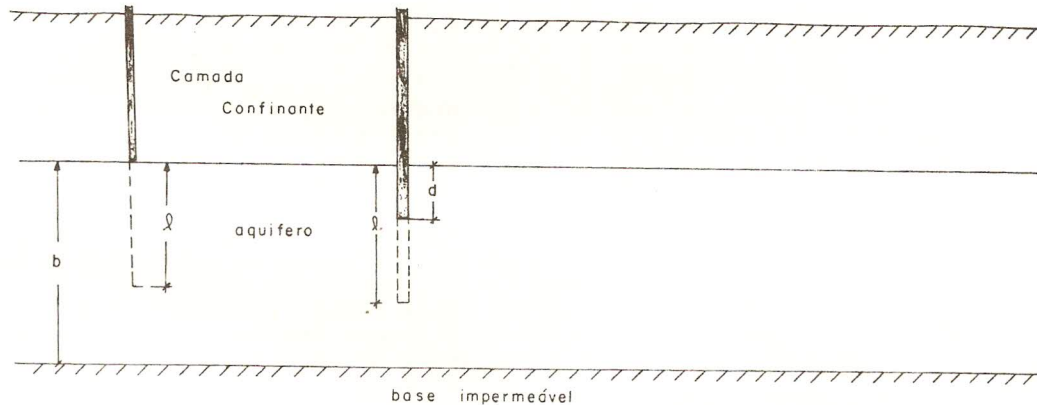
Para $z = 0$ e $d = 0$

$$F = \frac{4b}{\pi(\ell-d)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \ln(1,12b/n\pi r_w) \left[\left(\sin \frac{n\pi \ell}{b} - \sin \frac{n\pi d}{b} \right) \right] \cdot \cos \frac{n\pi(\ell+d)}{2b} \quad (6)$$

Para $r_w/b < 0,01$

$$F = (2b/\ell) \left\{ \ln(2\ell/r_w) - (\ell/b) \cdot \ln(4b/r_w) - \ln \left[\Gamma(1+\ell/2b) / \Gamma(1-\ell/2b) \right] \right\} \quad (7)$$

Figura 1 - Esquema de poços parcialmente penetrantes em aquífero confinado



Sabe-se ainda que, de acordo com Rorabaugh (3), a expressão do rebaixamento num poço é dada pela seguinte equação.

$$s_w = BQ + CQ^n \quad (8)$$

onde o termo "BQ" representa a "perda de carga" da formação por unidade de vazão, e o fator "B" representa o coeficiente de "perda de carga" do aquífero. Caso o poço não tivesse "perda de carga" nos filtros e na tubulação de revestimento a expressão (8) se reduziria a forma $s_w = BQ$ ou $B = s_w/Q$. Esta última expressão de "B", substituída na equação (4) produz:

$$B = \frac{W(u) + F}{4 \pi T} \quad (9)$$

A equação (9) mostra que o coeficiente "B" é também afetado pelas características geométricas do poço. Assim pois, depreende-se desse fato, que o valor de "B" é uma característica específica do poço, não podendo, portanto, ser utilizado noutro mesmo que capte água do mesmo aquífero, salvo se as características geométricas forem iguais. O coeficiente "B" será tanto maior quanto menor for a penetração e a porcentagem de filtros relativamente à espessura do aquífero; esse aumento é causado pelo encurvamento das equipotenciais e das linhas de fluxo em torno do poço, como bem o demonstra Muskat (1937, pg. 263-276).

Posto o que até agora foi dito, e considerando como nulas as "perdas de carga" no poço, devido ao diâmetro e comprimento do revestimento e às aberturas e diâmetros dos filtros (termo CQ" de (8)), define-se como "eficiência de um poço" (E) a relação entre as "vazões específicas" de poços parcialmente penetrantes e totalmente penetrantes, desde que permaneçam constantes os parâmetros T, K, S e r_w , pode-se escrever que:

$$(Q_p/s_{wp}) / (Q_t/s_{wt}) = B_t/B_p = E = \frac{W(u)}{W(u) + F} \quad (10)$$

Com base nas equações (6) e (7) precedentes e na equação (10) foram executados cálculos para diferentes situações e elaborado os Quadros I e II. À guisa de ilustração são mostrados abaixo, dois exemplos de um poço em um aquífero confinado, cujos parâmetros são os seguintes:

Exemplo I

$$b = 100 \text{ m}; l/b = 0,5; b/r_w = 1.000; T = 50 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$S = 5.10^{-4}; r_w = 0,1 \text{ m}; t = 100 \text{ horas}$$

Substituindo os valores nas equações (7) e (10) obtêm-se: $E = 0,64$, isto é, este poço teria uma eficiência de 64%, o que quer dizer que, para um mesmo rebaixamento, a vazão do poço parcialmente penetrante é 36% inferior ao poço totalmente penetrante (mantidos os demais parâmetros T, S, K e r_w).

Exemplo II

$$b = 100 \text{ m}; b/r_w = 1.000; l = 50 \text{ m}; d = 10 \text{ m}; T = 50 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$S = 5.10^{-4}; r_w = 0,10 \text{ m}; t = 100 \text{ horas}$$

Substituindo os valores acima nas equações (6) e (10) obtêm-se: $E = 0,48$ ou seja, este poço terá uma vazão igual a 48% da vazão de um poço totalmente penetrante. É interessante observar que neste exemplo, o poço baixou em 16% a sua eficiência relativamente ao poço anterior para uma mesma porcentagem de penetração mas, revestindo-se 20% da porção penetrada com tubos cegos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HANTUSH, M.S. - 1964 - Hydraulic of wells - in Advances in Hydroscience - Vol. I - Academic Press Inc. N. York.
- MUSKAT, M. - 1937 - The Flows of Homogeneous Fluids Trough Porous Media - McGraw-Hill - N. York.
- RORABAUGH, M.I. - 1953 - Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian wells - Trans. Am. Soc. Civil. Engineers, 79, 362.
- STERNBERG, Y.M. - 1973 - Efficiency of Partially Penetrating wells - G. Water - may.june; Vol. 11 - nº 3.
- HANDBOOK OF MATHEMATICAL FUNCTIONS (with formulas, graphs, and Mathematical Tables) - Nat. Bureau of Standar - Applied Mathematical Series - 55 - 1964.

Q U A D R O I

Eficiência (E) de poço parcialmente penetrante (%)

Porcentagem de penetração l/b	$b/r_w = 1.000$				$b/r_w = 1.300$						$b/r_w = 1.500$					
	W (u)				W (u)						W (u)					
	8	10	15	20	3	10	12	15	18	20	8	10	12	15	18	20
10	8,1	9,9	14,2	18,0	7,7	9,5	11,2	13,6	15,9	17,3	7,6	9,3	10,9	13,3	15,5	17,0
20	12,8	15,4	21,5	26,7	14,6	17,7	20,5	24,3	27,9	30,0	14,3	17,3	20,0	23,9	27,4	29,5
30	22,7	26,8	35,5	42,3	19,0	22,7	26,1	30,6	34,6	37,0	21,5	25,5	29,2	34,0	38,2	40,7
40	30,7	35,7	45,4	52,6	29,8	34,7	39,0	44,4	48,9	51,5	29,4	34,2	38,4	43,8	48,3	51,0
50	39,5	44,9	55,0	62,0	38,5	43,9	48,5	54,0	58,5	61,0	38,0	43,4	47,9	53,5	58,0	60,5
60	49,2	54,8	64,5	70,8	48,2	53,7	58,2	63,5	67,6	69,9	47,6	53,2	57,7	63,0	67,2	69,4
70	59,9	65,1	73,7	78,8	58,9	64,2	68,3	72,9	76,3	78,2	58,4	63,7	67,8	72,5	75,9	77,8
80	71,9	76,2	82,7	86,5	71,0	75,4	78,6	82,1	84,7	86,0	70,6	75,0	78,3	81,8	84,4	85,7
90	85,7	87,8	91,6	93,5	84,8	87,4	89,3	91,3	92,6	93,3	84,5	87,2	89,1	91,1	92,5	93,2
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Q U A D R O II

Eficiência (E) de poço parcialmente penetrante (%)

Porcentagem de penetração	b/r _w =1.000; l/d=0,10												b/r _w =500; l/d= 0,10												b/r _w =500; l/d = 0,20											
	W (u)												W (u)												W (u)											
	8	10	12	15	18	20	8	10	12	15	18	20	8	10	12	15	18	20	8	10	12	15	18	20												
10	8,1	10,0	11,7	14,2	16,6	18,1	9,4	11,5	13,5	16,4	19,0	20,7	9,0	11,0	13,0	15,7	18,3	20,0	9,0	11,0	13,0	15,7	18,3	20,0												
20	13,3	16,1	18,8	22,4	25,7	27,8	15,2	18,3	21,2	25,2	28,8	31,0	13,8	16,7	19,3	23,1	26,5	28,6	13,8	16,7	19,3	23,1	26,5	28,6												
30	23,1	27,3	31,1	36,0	40,3	43,3	25,4	30,0	33,8	39,0	43,4	46,0	22,6	26,7	30,4	35,3	39,6	42,2	22,6	26,7	30,4	35,3	39,6	42,2												
40	27,6	32,3	36,4	41,7	46,2	48,8	30,5	35,4	39,7	45,2	50,0	52,3	29,5	34,3	38,5	44,0	48,5	51,1	29,5	34,3	38,5	44,0	48,5	51,1												
50	37,3	42,7	47,2	52,8	57,3	59,8	40,4	46,0	50,4	56,0	60,4	63,0	34,5	39,7	44,1	49,6	54,2	56,8	34,5	39,7	44,1	49,6	54,2	56,8												
60	46,2	51,8	56,3	61,7	66,0	68,2	49,4	55,0	59,4	64,7	69,0	71,0	44,0	49,6	54,1	59,6	64,0	66,3	44,0	49,6	54,1	59,6	64,0	66,3												
70	53,5	59,0	63,3	68,3	72,1	74,2	56,8	62,2	66,4	71,2	75,0	77,0	52,2	57,7	62,1	67,2	71,0	73,2	52,2	57,7	62,1	67,2	71,0	73,2												
80	64,0	69,0	72,7	77,0	78,0	81,6	67,0	71,7	75,3	79,2	82,0	83,6	58,0	63,4	67,5	72,2	75,7	77,6	58,0	63,4	67,5	72,2	75,7	77,6												
90	77,6	81,2	84,0	86,6	88,6	89,6	79,5	83,0	85,4	88,0	90,0	91,0	68,6	73,2	76,6	80,4	83,1	84,5	68,6	73,2	76,6	80,4	83,1	84,5												