

## EXECUÇÃO DE TESTE DE BOMBEAMENTO

Ivanir Borella Mariano  
Elcio Linhares Silveira  
João Carlos Polegato

Departamento de Águas e Energia Elétrica

Parameters like optimum well discharge, head-loss and well efficiency, can be taken from well tests data. The proceeding to performance this well tests are usually lasy for any qualified techmician. Never theless, a previous well test design and Know leage are needed, to provide acceptable data and best results from the work. The test must be organized regarding local hidro geological conditions, well characteristics, pumping equipment and the test design. The real drawdown measured into the well is the sum of the drawdown from head-loss of the aquifer, and the drawdown from head-loss of the well. The first depends of the well diameter and of the aquifer characteristics as permeability and porosity and answer for the laminar flow of water to the well. The purpose of this paper is a guide to develop well tests and its results, intending to determine a correct interpretation of the aquifer parameters, discharger, well's dimentions, and forecasting a best yield of ground water exploration.

Logo que a investigação qualitativa de água subterrânea em uma região determinada demonstra a existência de aquífero exploráveis, é necessário definir a quantidade relativamente segura na exploração de poços, o regime de exploração e a configuração mais efetiva dos poços para efetuá-la.

As respostas a estes e outros problemas similares, são obtidas com o uso dos parâmetros hidráulicos dos aquíferos. A obtenção destes parâmetros efetua-se por meio de testes de bombeamento e a sua interpretação é preciso conhecer as características hidráulicas dos poços para efetuar uma exploração e manutenção. Os testes de produção permitem estabelecer condições relativamente seguras na exploração de poços, tanto dos volumes de extração como dos equipamentos a serem utilizados na operação do sistema.

## FUNDAMENTOS

O rebaixamento real, medido num poço em bombeamento, é uma soma tória de rebaixamentos devidos a perdas de carga no aquífero e as perdas de carga no poço (figura 1).

As perdas de carga no aquífero produzem o rebaixamento necessário para que a água flua para o poço em regime laminar e dependem, fundamentalmente, das características do aquífero (permeabilidade e porosidade) e do diâmetro do poço.

As perdas de carga do poço produzem um sobre-rebaixamento que é uma soma dos seguintes fatores :

- perdas de carga em torno do poço, devido ao aumento de velocidade da água. Este tipo de perda pode ser significativo em poços com filtros subdimensionais, ou mal desenvolvidos;
- perdas de carga devidas a ascensão da água no poço, desde a zona filtrante até a bomba. Este tipo de perda só é significativo quando essa distância é grande ou quando o diâmetro da tubulação é pequeno em relação a vazão;
- perdas de entrada na bomba; quando o espaço entre o corpo da bomba e a parede da tubulação é muito pequeno.

Segundo Jacob o rebaixamento real em um poço bombeado obedece a proximadamente a equação :

$$s = BQ + CQ^{2*} \quad (1)$$

onde s é o rebaixamento real, medido no poço em bombeamento, em metros.

B é o coeficiente de perda do aquífero.

C é o coeficiente de perdas do poço.

Q é a vazão, em m<sup>3</sup>/hora.

\* Nesta equação distinguem-se dois tipos de fluxo: um fluxo laminar cuja equação (BQ) é linear segundo Darcy, e um fluxo turbulento cuja equação é não linear. Na realidade esta última é do tipo CQ<sup>n</sup> e Jacob usou a forma quadrática para simplificar assumilando-a à fórmula de Manning (fluxo em canais). A resolução da equação CQ<sup>n</sup> efetua-se por interações sucessivas, ou por métodos gráficos (Custódio). O custo da equação simplificada é muito gegeneralizado e não produz distorções apreciáveis nos resultados na maioria dos casos.

O termo BQ da equação representa o rebaixamento devido as perdas do aquífero, O coeficiente B é função do tempo de bombeamento. O termo CQ<sup>2</sup> representa o sobre-rebaixamento devido as perdas de carga do poço. O coeficiente C independe do tempo.

Para determinar os coeficientes B e C é necessário conhecer os rebaixamentos correspondentes a várias vazões distintas, ou seje, precisa-se efetuar um teste de bombeamento em etapas ou teste de produção.

#### EXECUÇÃO

Antes de ligar a bomba faz-se 3 medidas de nível d'água, de meia em meia hora, a fim de certificar-se da posição do nível estático.

Estabelece-se o escalonamento das vazões de teste levando em conta a vazão prevista do poço e a capacidade de extração da bomba (a vazão do poço é avaliada durante o desenvolvimento).

As vazões devem ser, aproximadamente, de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da vazão prevista do poço (ou capacidade máxima da bomba) correspondentes a 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> etapas. Este número de etapas é tentativo, e pode ser incrementado ou diminuído de acôrdo com o critério do encarregado do teste e das condições de fluxo detectados no teste de vazão completa .

Decorridos os primeiros minutos de teste, passe a colocar as medidas em gráficos. Em papel "monolog" coloque os pontos de medi

da de nível d'água (ou de rebaixamento) em ordenadas e os tempos correspondentes em escala logarítmica.

Uma vez estabilizado o nível dinâmico para a 1ª vazão, passe para a 2ª etapa, procedendo da mesma maneira, isto é, obedecendo a sequência de tempos como se fosse um novo bombeamento. Ao final de cada etapa deve revisar-se o valor da vazão específica (Q/s). Um poço em condições normais deverá ter vazões específicas iguais, ou ligeiramente decrescente. Se os valores são crescentes, em circunstâncias normais, o poço está com desenvolvimento incompleto e deve executar-se um novo desenvolvimento. Se a vazão específica decresce fortemente entre uma etapa a outra, devem ser efetuados testes em etapas intermediárias. Trata-se de obter a maior quantidade de pontos possíveis para observar a mudança de fluxo laminar a turbulento (ponto de inflexão).

Concluindo o teste, faz-se a representação gráfica dos rebaixamentos com o tempo, tal como indicado na figura 2.

Por fim, com os resultados do teste postos em gráfico (figura 2), organize o seguinte quadro sumário :

Etapa	Q (m <sup>3</sup> /h)	s (m)	s/Q (m/m <sup>3</sup> /h)	Duração (min)
1a.				
2a.				
3a.				
4a.				

Outras etapas

Os valores de s (rebaixamento) correspondentes a cada etapa devem ser tomados a intervalos de tempo iguais e sempre referidos ao nível estático, para eliminar o fator tempo da equação

#### DETERMINAÇÃO DAS PERDAS DE CARGA E DA VAZÃO MÁXIMA EXPLORÁVEL

A equação (1) dos rebaixamentos, pode também ser escrita da seguinte forma :  $s/Q = B + CQ$  (2)

Esta equação caracteriza uma reta. Em um gráfico, em papel milimetrado, em escala conveniente, colocam-se em abscissas os valores  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$  do teste, e em ordenadas os valores  $s_1/Q_1, s_2/Q_2, s_3/Q_3, \dots, s_n/Q_n$  (rebaixamento específico), calculados (figura 3).

Os coeficientes de perda de carga do aquífero (B) e do poço (C) são determinados graficamente. Os valores determinados são substituídos na equação (1) obtendo-se a equação característica do poço.

Com base nos resultados do teste, constroem-se um outro gráfico "vazão-rebaixamento", que é a curva característica do poço (figura 4).

A curva característica é constituída de duas partes: um setor OP, praticamente uma reta, correspondente a rebaixamentos relativamente pequenos. Para rebaixamentos acentuados, a inclinação da curva aumenta rapidamente com o aumento da vazão. Existe um ponto P a partir do qual o aumento dos rebaixamentos é bastante desproporcional a pequenos aumentos de vazão. É o ponto crítico. A vazão máxima ou vazão crítica corresponde ao rebaixamento no ponto crítico e não pode ser ultrapassada na exploração do poço. Acima desta vazão o fluxo entraria em regime turbulento.

Uma vez conhecidas as perdas de carga e a vazão máxima explorável é, então, possível calcular o rebaixamento correspondente à vazão de extração desejada, de acordo com a equação característica do poço (1).

#### DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA

A eficiência e de um poço é definida como relação entre a vazão específica teórica e a vazão específica real, ambas referidas a um tempo igual de bombeamento. Para o cálculo do rebaixamento teórico é necessário conhecer os coeficientes de transmissividade (T) e armazenamento (S) do aquífero e o raio efetivo do poço, mediante ensaio de bombeamento com piezômetro. Em situações reais bastantes frequentes, quando não se conhece os parâmetros do aquífero, a eficiência pode ser calculada admitindo-se que o termo

$BQ$  da equação do poço ( $s = BQ + CQ^2$ ) representa o rebaixamento teórico. Deste modo:  $e = \frac{BQ}{BQ + CQ^2} = \frac{1}{1 + CQ/B}$

A eficiência é um dado importante que permite comparar as características de poços construídos numa mesma formação. Quando, porém, se deseja avaliar o desempenho de um poço ao longo do tempo, o valor absoluto da eficiência carece de maior significado. Procura-se, neste caso, trabalhar com a eficiência relativa do poço, isto é, efetuar determinações periódicas da eficiência e analisar cada resultado em comparação com os valores anteriormente obtidos.

#### FIXAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO

Para dimensionar as condições de exploração de um poço, uma vez conhecidos os resultados do teste de produção, torna-se necessário :

- determinar a vazão segura ou vazão ótima de exploração; como foi visto, a curva característica indicará o ponto crítico, com a correspondente vazão máxima. A vazão ótima deve ser fixada um pouco abaixo do valor correspondente ao ponto crítico;
- determinar o rebaixamento total, correspondente à vazão ótima, o que é feito através da equação do poço, e calcular o nível dinâmico a esta vazão;
- verificar o diâmetro útil e a profundidade da câmara de bombeamento, cuidando para que o ponto de tomada de água (profundidade de colocação da bomba) fique sempre acima das seções filtrantes e não frontalmente a elas;
- fixar o ponto de colocação da bomba ou da tomada de água abaixo do nível dinâmico. Esta profundidade só pode ser determinada com segurança quando se dispõe 1) da previsão de evolução dos rebaixamentos no poço com o tempo, para o que são necessários os parâmetros do aquífero; 2) da variação sazonal do nível piezométrico regional, através de mapas piezométricos. Na prática, quan

do não se dispõe destes dados, como frequentemente ocorre, trabalha-se a favor da segurança colocando a bomba de 6 a 10 metros abaixo do nível dinâmico.

#### RECOMENDAÇÕES GERAIS

Os testes de produção permitem estabelecer condições relativamente seguras na exploração de poços. Sua realização deveria ser exigência contratual, principalmente por parte dos órgãos públicos, para cada poço que fosse construído. Num planejamento de operação sistemática é condição fundamental a realização de uma campanha de testes em todos os poços em funcionamento. A análise criteriosa dos resultados obtidos certamente conduzirá ao redimensionamento tanto dos volumes de extração como dos equipamentos de bombeamento, contribuindo para a otimização dos sistemas. É preciso advertir que os procedimentos descritos visam sobretudo a orientação metodológica e não devem ser entendidos como normas rígidas ou um receituário. O conhecimento das características físicas do aquífero em cada local é o fator que comanda a análise das condições hidráulicas dos poços. Em geral, nos poços perfurados em terrenos granulares os parâmetros hidráulicos seguem mais de perto as formulações teóricas, ensejando maior margem de segurança na interpretação dos resultados de ensaios. O mesmo não se dá nos poços perfurados em terrenos cristalinos ou em rochas fissuradas que, frequentemente, apresentam maior índice de anomalias, dificultando a interpretação. Nestes casos, são necessários cuidados e técnicas especiais, pois trata-se de conhecer o regime de alimentação das fendas e fraturas e distinguir os tipos de fluxo da água (laminar e turbulento) que caracterizam localmente o aquífero.

Quando se trata de um campo ou bateria de poços é ainda mais recomendável a realização de estudos especiais, no sentido de quantificar os rebaixamentos produzidos e (re) dimensionar as taxas de bombeamento, minimizando as interferências.

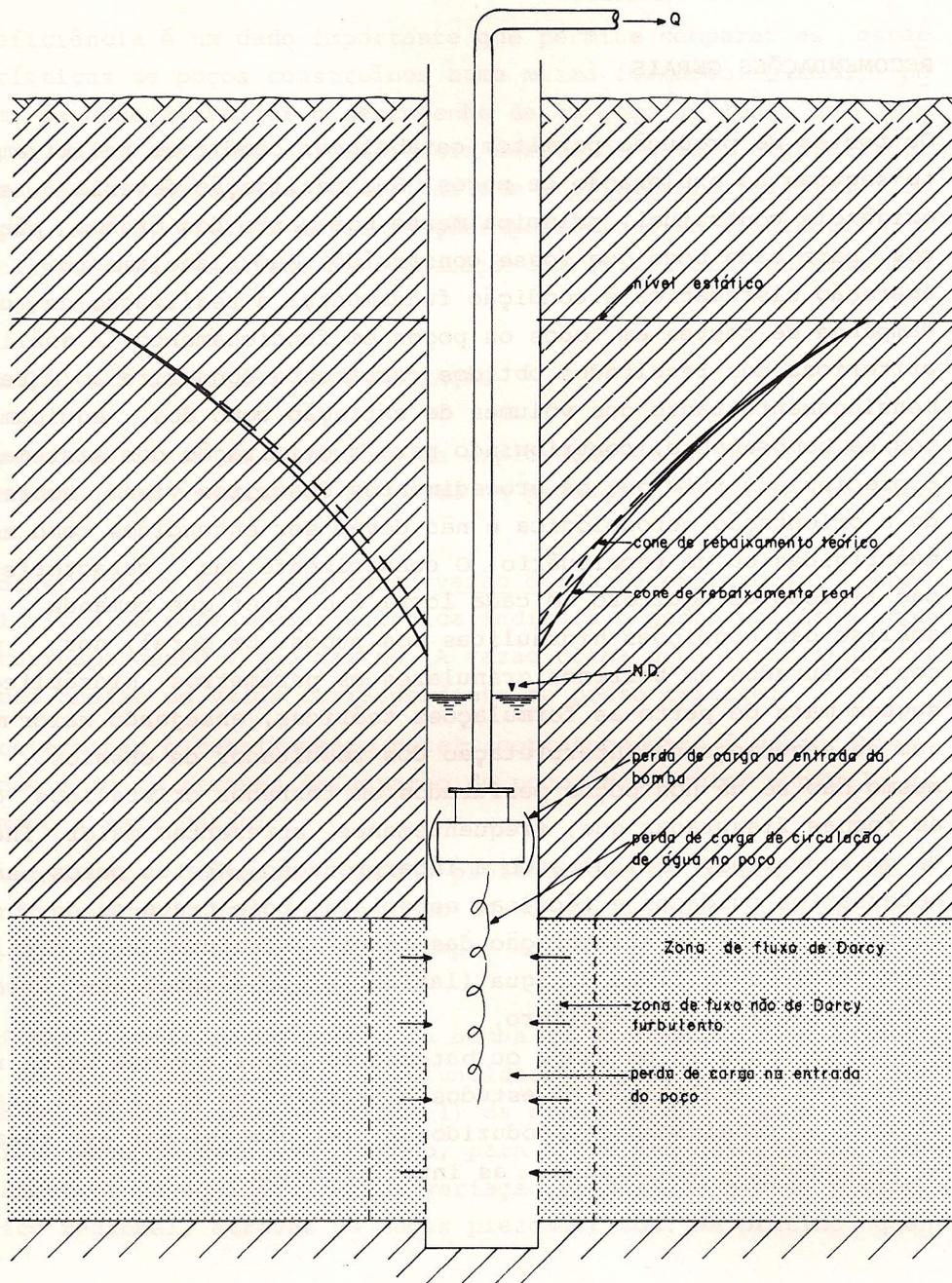


Figura 1 — CAUSAS DO REBAIXAMENTO EM POÇOS

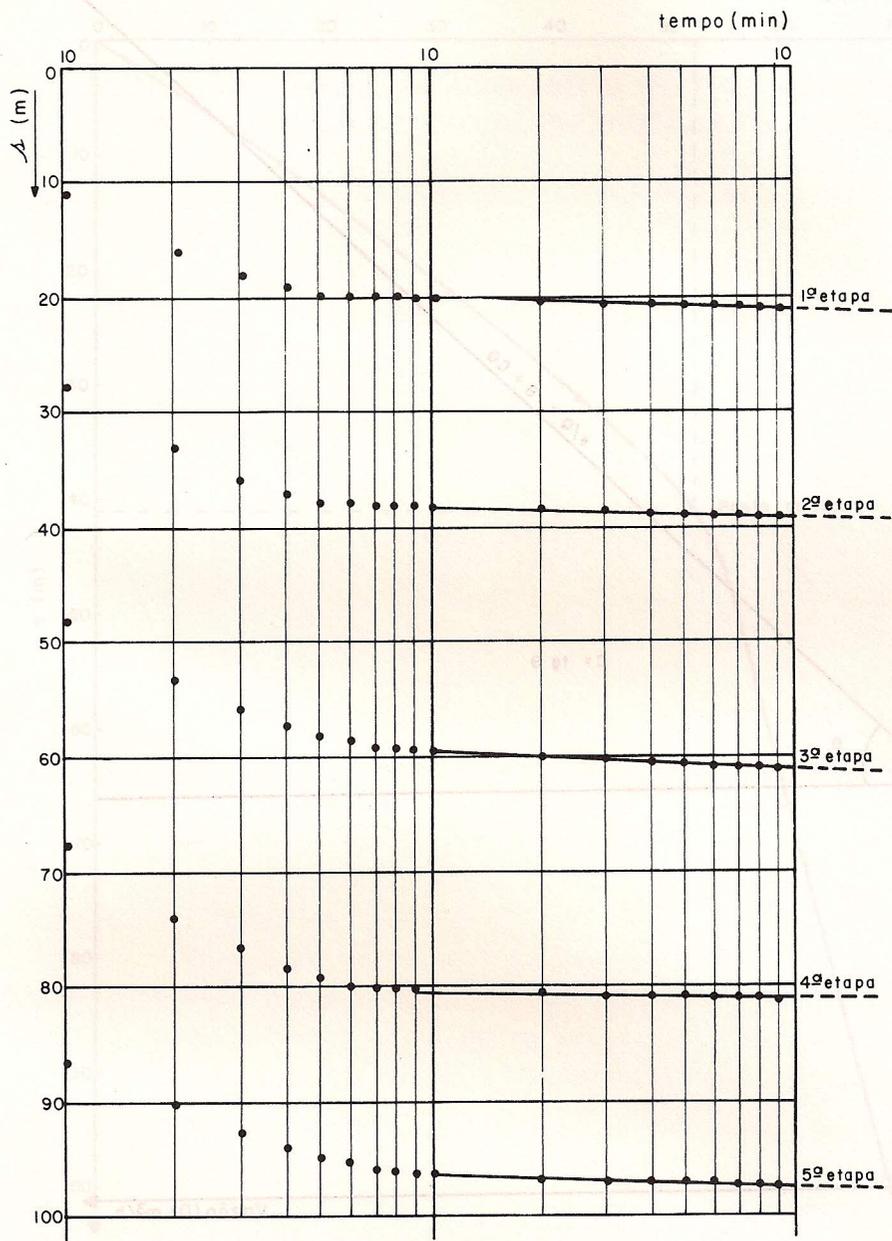


Figura 2- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO TESTE DE REBAIXAMENTO EM ETAPAS (papel monolog)

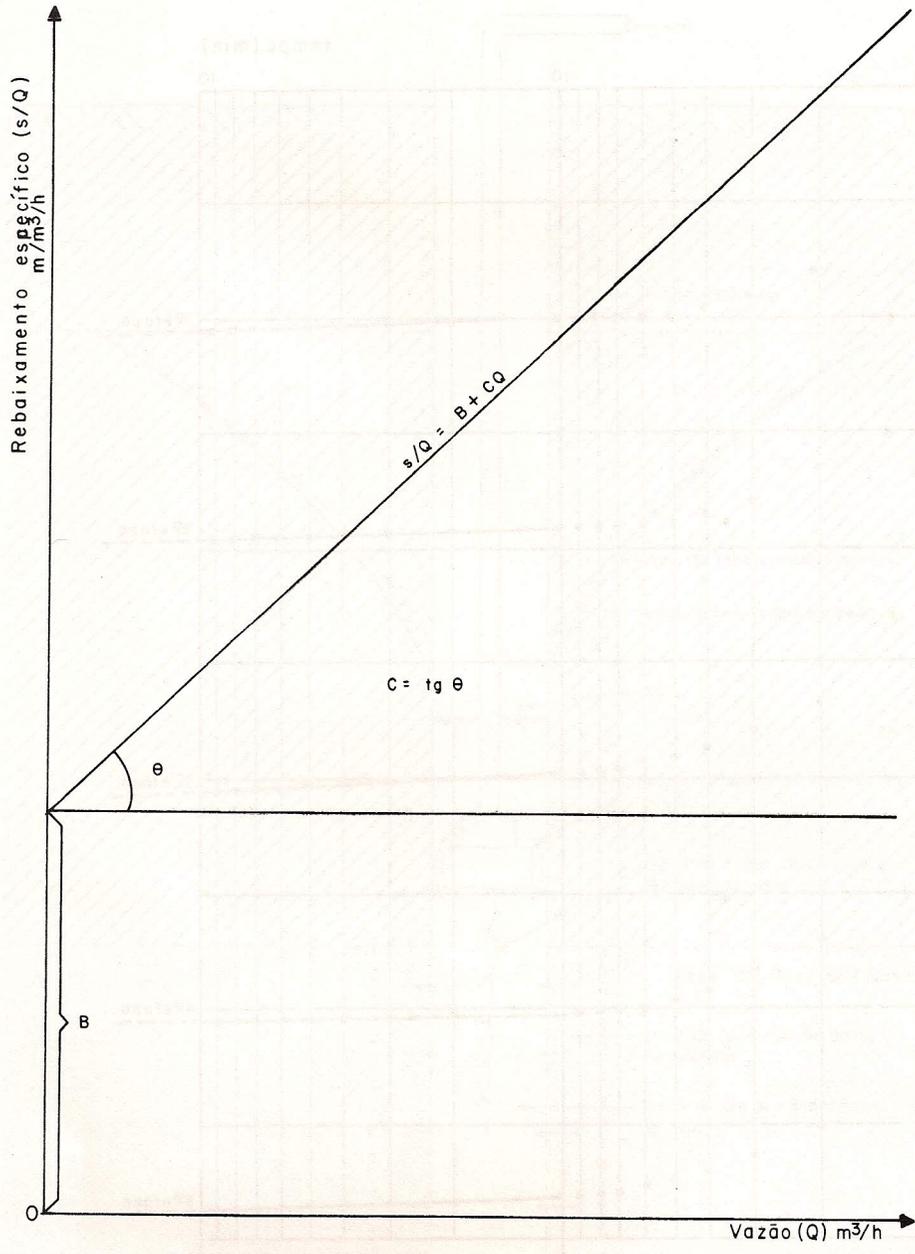


Figura 3 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA DO POÇO (papel milimetrado)

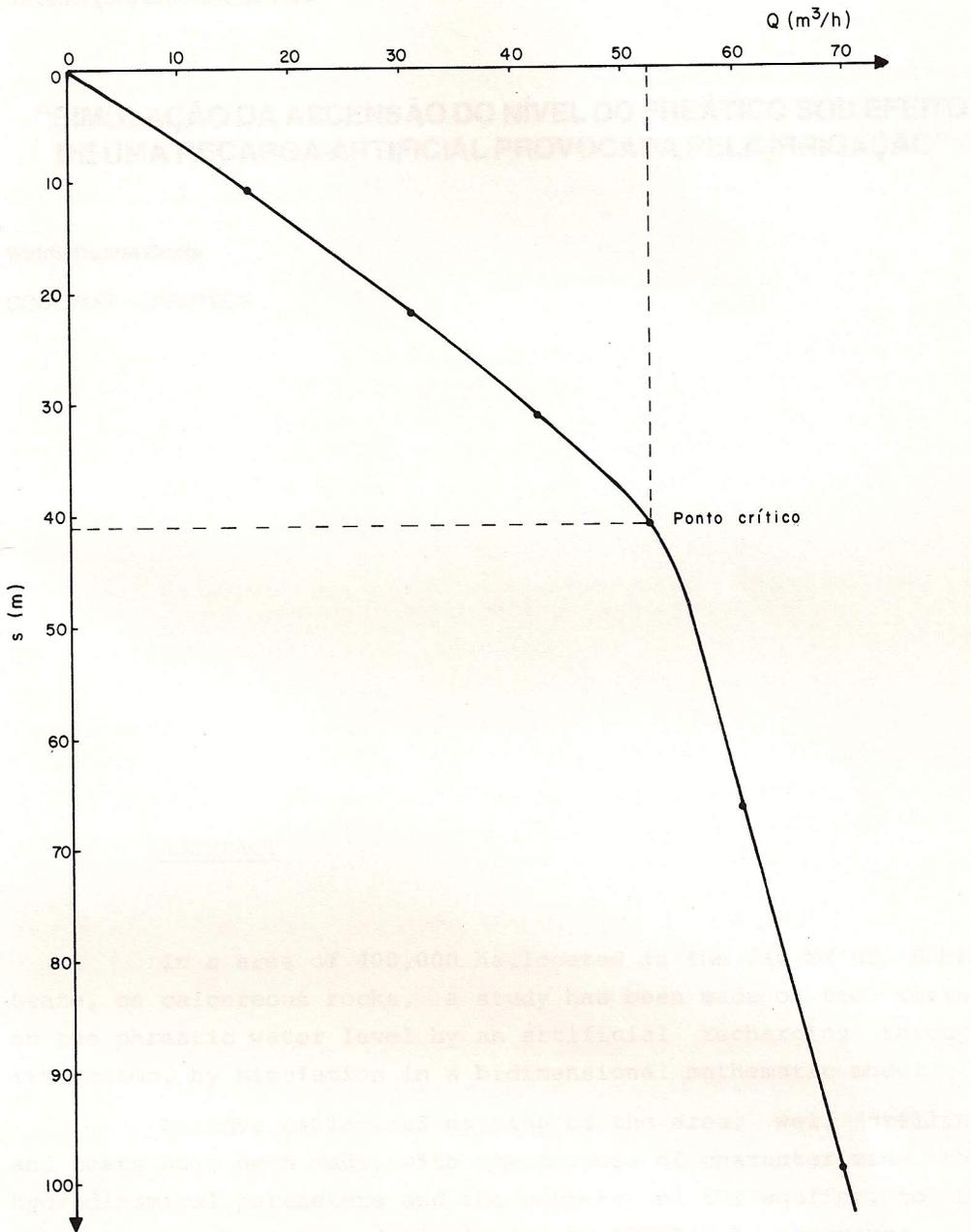


Figura 4 — CURVA CARACTERÍSTICA DE POÇO  
(papel milimetrado)