

## MEDIDOR PNEUMÁTICO / ELETRÔNICO

**José Bosco Fernandes de Castro<sup>1</sup> e Lidio Martins dos Anjos<sup>2</sup>  
Marcelo José Prado<sup>3</sup>**

**Resumo** - As experiências de automação no saneamento são ainda muito recentes. Porém, o caminho para a modernização do setor é tímido e lento. A Unidade de Negócio do Vale do Paraíba/Sabesp já vem em busca para a integração de todas essas etapas, o que vem de encontro para a melhoria no abastecimento de água e preservação do meio ambiente nas regiões onde atuamos.

Atentando para o caso, começamos a observar vários problemas que motivariam o início da busca de um sistema de medição de nível que eliminasse as dificuldades encontradas e atendesse com eficiência e precisão, a um custo satisfatório.

A medição de nível de água em poços profundos é indispensável durante os ensaios de bombeamento e operacionalização, a profundidade dos níveis de água é um dos fatores que irá determinar a escolha do tipo de equipamento de bombeamento a ser colocado no poço.

A medição periódica do nível de água, outrossim, é uma providência que deve ser tomada como parte dos trabalhos de operação e manutenção de poços, tendo-se em vista o controle dos recursos hídricos subterrâneos ou o controle do estado de conservação do filtro e dos meios permeáveis circundantes.

Dispositivos para medição, existe uma grande variedade, porem nenhum deles, é universal. Alguns são apropriados para medições instantâneas do nível de água, outros podem fornecer medições contínuas. Em certos poços é conveniente a instalação permanente de dispositivo para medição. De um modo geral podem ser utilizados, entre outros, os seguintes dispositivos:-trena de aço - flutuador - sonda de empuxo - sonda elétrica - tubulação de ar comprimido, para o nosso caso vamos detalhar o Medidor pneumático ou Tubulação de ar comprimido, dando ênfase a aplicação de manômetro

---

<sup>1-2</sup> Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP -Av. Heitor Vila Lobos, 1229 - cep - 12.243-260 - São José dos Campos - Fone - (xxx12 321 8681 ou xxx 12 322 7489 - Fax. 12 341 7927) e – mail: jcastro@sabesp.com.br

<sup>3</sup> Hytronic Engenharia e Industria e Comercio Ltda – Rua Lord Cockrane, 328 – Ipiranga – São Paulo – Tel/Fax – (xxx11 6914-5717 ) e mail – hytronic@mandic.com.br

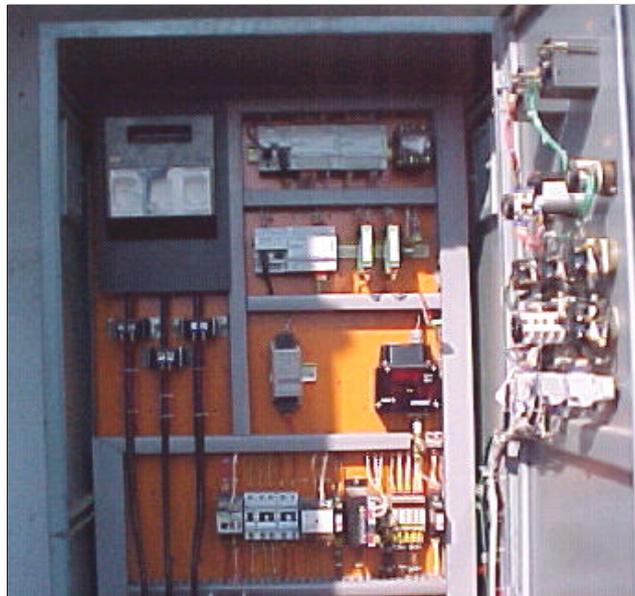
eletrônico, que é um dos dispositivos mais usados e proporciona medidas satisfatórias da profundidade do nível de água.

**Palavras-chave** - Medidor pneumático / Eletrônico

## **MEDIÇÃO DE NÍVEL DE ÁGUA EM POÇOS**

PROFUNDOS

( RESPOSTA A UM DESAFIO )



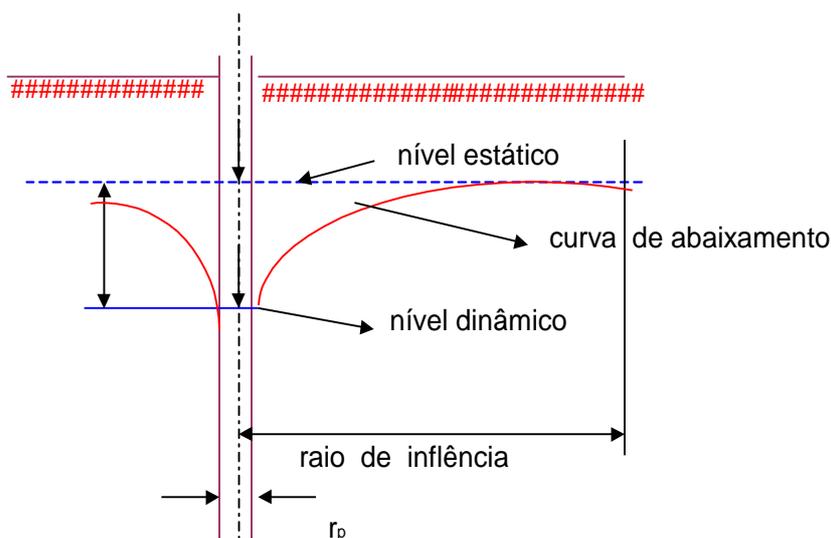
## INTRODUÇÃO

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### DEFINIÇÕES

**Nível estático do poço** ----- É o nível de equilíbrio da água, no poço, quando o mesmo não está sendo bombeado.

**Nível dinâmico do poço** --- É o nível de água no poço, sob o efeito de bombeamento, o nível dinâmico está relacionado com a vazão de água retirada e com o tempo decorrido desde o início do bombeamento. Quando, para uma dada vazão, o nível se estabiliza, nessa posição é denominado nível dinâmico de equilíbrio, relativo à vazão em causa. Neste caso, portanto, estabelece-se um regime permanente.



**Abaixamento ou depressão** ----- É a distância vertical compreendida entre os níveis estático e dinâmico no interior do poço.

**Superfície piezométrica de depressão ou cone de depressão** --- Em poços freáticos, é a superfície real formada pelos níveis de água em volta do poço quando em bombeamento. Em poços artesianos, é a superfície imaginária formada pelos níveis piezométricos. Tem, em ambos casos, a forma de um funil com o vértice no próprio poço. Curva de rebaixamento ou depressão ---- É a curva formada pela intercessão da superfície piezométrica por um plano vertical que passa pelo poço. Os dois ramos da curva nem sempre são simétricos.

A assimetria é mais acentuada em lençóis freáticos e no plano coincidente com a direção de escoamento da água subterrânea. Pode-se conhecer a curva de abaixamento abrindo poços de observação num plano diametral em relação ao poço em bombeamento e medindo os respectivos níveis.

**Zona de influencia do poço** ----- É constituída por toda a área atingida pelo cone de depressão de um poço. Um outro poço qualquer, perfurado dentro dessa zona, terá uma redução em seus níveis estático e dinâmico, sendo, portanto, prejudicado pelo bombeamento do primeiro. Não é possível, sem conhecer as características do aquífero e a vazão de bombeamento de um poço, prever a extensão da zona de influência.

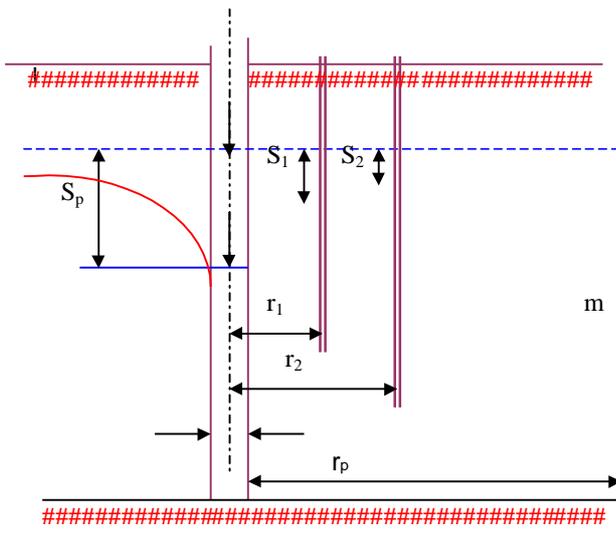
**Regime de equilíbrio** ----- Situação que se verifica em um poço quando o nível dinâmico no seu interior, para uma vazão de bombeamento constante, mantém-se inalterável no decorrer do tempo. Essa condição ocorre quando a vazão de escoamento da água subterrânea, na faixa abrangida pela zona de influencia do poço, equilibra a vazão retida. Portanto, atingido o regime de equilíbrio, a superfície piezométrica de pressão, a curva de abaixamento e a zona de influencia do poço não mais variam com o tempo necessário. O tempo necessário para se obter o equilíbrio do nível dinâmico varia amplamente de conformidade com a vazão de bombeamento e as características do aquífero.

Relações do escoamento de água para poços no regime permanente ( “regime de equilíbrio” ). A primeira relação de escoamento aplicável a poços foi deduzida por Dupuit (1863), a partir de condições hipotéticas ideais, difíceis de serem reproduzidas na prática.

Não obstante, foi empregada por outros autores durante muito tempo e em situações bem diferentes das que foram pressupostas na dedução teórica.

As relações de Thiem (1906), que constituem uma extensão das relações de Dupuit, apresentam-se a certos casos práticos, embora na sua dedução tenham sido admitidas algumas hipóteses simplificadoras, isto é :-

- a) camada aquífera homogênea, isotrópica e infinita, com superfície piezométrica horizontal;
- b) o poço penetra em toda a espessura do aquífero;
- c) coeficiente de permeabilidade constante;
- d) fluxo laminar;
- e) linhas de fluxo radiais;
- f) nível dinâmico equilibrado com bombeamento a vazão constante.



Escoamento de água em poços freáticos

Para poços freáticos a relação de Thiem é a seguinte,

$$Q = \pi K \frac{(m - s_2)^2 - (m - s_1)^2}{2,303 \log \frac{r_2}{r_1}}$$

Onde ,

Q = vazão de bombeamento

K = coeficiente de permeabilidade do material da formação

m = espessura do lençol de água

s<sub>1</sub> e s<sub>2</sub> = abaixamentos verificados nos pontos de distâncias r<sub>1</sub> e r<sub>2</sub> do poço em bombeamento.

Se as medidas de r<sub>1</sub> é feita junto ao próprio poço bombeado, as relações se simplificam ficando,

$$Q = \pi K \frac{(m - s_2)^2 - (m - s_p)^2}{2,303 \log \frac{r_2}{r_p}}$$

Sendo s<sub>p</sub> o abaixamento verificado junto ao poço em bombeamento e r<sub>p</sub> o raio do poço, o valor de s<sub>p</sub> pode ser medido dentro do próprio poço, desde que sejam desprezíveis as perdas de carga no filtro de entrada.

Uma vez determinado o valor do coeficiente de permeabilidade  $K$ , mediante um bombeamento a vazão constante, podem-se prever outros abaixamentos no poço, para outras vazões de bombeamento.

Fazendo-se  $s_2 = 0$ , as relações permitem estimar a amplitude da zona de influência, através do correspondente valor de  $r_2$  dado pelas referidas relações. Este valor tem sido denominado de **raio de influencia do poço para vazão  $Q$** . Nos casos gerais da prática, entretanto, esta denominação é imprópria uma vez que a zona de influencia não é uma superfície de revolução.

Nos casos mais freqüentes, os poços captam água de lençóis dotados de escoamento natural segundo linhas de corrente paralelas entre si ( lençol em escoamento permanente e uniforme) ; assim sendo, consegue-se regime de equilíbrio quando a zona de influencia do poço passa a permitir que este seja alimentado por uma faixa de lençol, de largura  $L$ , em que a vazão de escoamento natural iguala a vazão de bombeamento. Portanto:

$$\text{Vazão do poço} = Q = T J L$$

Onde,  $J$  é a declividade natural da superfície do lençol e  $T = Km$  é o coeficiente de transmissividade do aquífero.

Em tais casos, os valores de  $s$ , para um mesmo  $r$ , dependem da posição em que se situem os poços de observação com relação ao poço bombeado. Da mesma forma, o valor do raio de influencia deste ultimo.

Ensaio de bombeamento, feitos por Wenzel, evidenciaram que as relações de Thiem conduzem, nestes casos, a bons resultados permitindo determinar-se, com certa precisão, o coeficiente de permeabilidade. Desde que se obedeça, porém, ao se aplicarem aquelas relações, as seguintes recomendações :-

- a) O valor de  $s_1$ , a ser introduzido na formula deve ser tomado igual à média dos valores,  $s'_1$  e  $s''_1$ , medidos em dois poços de observação, estes devem localizar-se a uma mesma distância  $r_1$  do poço sujeito a bombeamento e em posições-diametralmente opostas entre si;
- b) O valor de  $s_2$ , analogamente, deve ser a média das alturas dinâmicas da água em dois poços à distância  $r_2$ , situados em posições opostas entre si em relação ao poço bombeado;
- c) Todos os poços de observação devem se encontrar dentro da área onde a depressão do lençol praticamente tenha estabilizado, mas fora da área

imediatamente circunvizinha ao poço bombeada, onde a permeabilidade pode ter-se alterado devido à preparação granulométrica do poço e, ainda, onde podem ocorrer linhas de corrente ascendentes quando a profundidade do poço não atinge toda a espessura da camada aquífera;

- d) Devem ser usados mais de dois pares de poços de observação, a fim de que se possa averiguar a discrepância dos valores de  $K$  obtidos com dados independentes e assim, averiguar a validade da aplicação do método no caso particular em estudo.

A aplicação das relações de Thiem, com as precauções indicadas por Wenzel, constitui o que, na técnica das águas subterrâneas, tem sido designado “ Relações Limitante “. Admite que, no caso particular de sua aplicação, a superfície de depressão é um cone deformado. E que, em cada ponto da zona de influencia, as partículas adquirem um movimento resultante da zona geométrica de dois outros:

- o movimento geral, Inicial, pré – existente no lençol;
- o movimento radial definido pelas relações de Thiem.

As relações de Thiem permitem deduzir que o diâmetro do poço não constitui fator ponderável na vazão a ser extraída. Dobrando-se o diâmetro , a vazão que poderá ser extraída, para um mesmo abaixamento será aumentada da ordem de 10 a 20% .

Nota:-

Devemos também nos preocupar com sistemas que apresenta um escoamento em regime de nível não equilibrado.

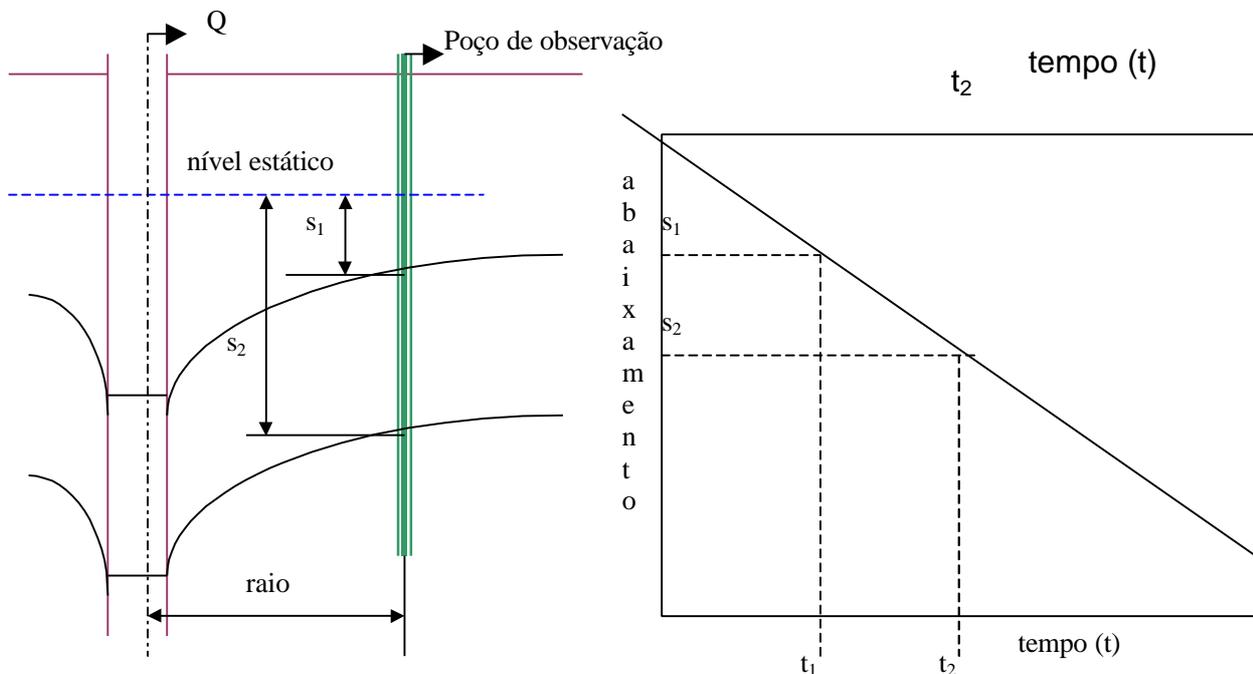
Método do tempo-abaixamento, efetua-se, num poço, um bombeamento a vazão constante, e anotam-se os tempo,  $t$ , e os correspondentes abaixamentos,  $s$ , medidos em um poço de observação distanciado de  $r$  do poço em bombeamento.

Num diagrama, representam-se:

os valores de  $t$  em abcissas, segundo escala logarítmica;

os valores de  $s$  em ordenadas, com escala regular.

Conforme se depende da relações, esses pontos definem uma linha reta,  $s = f(\log t)$ , exceto no seu trecho inicial, onde  $u$  ainda não é desprezível.



Método de tempo-abaixamento para a determinação dos coeficientes T e S do aquífero.

Escolhendo-se dois conjuntos de valores,  $(t_1, s_1)$  e  $(t_2, s_2)$ , obtém-se T pela relação :

$$T = \frac{0,183 Q}{S_2 - s_1} \log \frac{t_2}{t_1}$$

Escolhendo-se  $t_2$ , e  $t_1$  de modo que  $t_2 = 10 t_1$ , a relação se simplifica para:

$$T = \frac{0,183 Q}{S_2 - s_1}$$

O coeficiente de armazenamento S é obtido, em seguida, pela relação:

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

também deduzida a partir da relação

$$s = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t_0}{r^2 S}$$

Na qual,  $t_0$  é o tempo em horas obtido, no gráfico, pelo prolongamento do trecho reto da “curva” tempo –abaixamento (  $t_0$  é o valor de  $t$  para  $s = 0$  ).

Nota :-

Existe também o método da distância - abaixamento

Aplicação pratica

a ) – Condições de funcionamento de um poço

Tomando-se  $r = r_p$  = raio do poço e conhecidos  $T$  e  $S$ , resulta  $s = s_p$  = abaixamento no poço bombeado

A relação

$$s = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t_0}{r^2 S}$$

Se transforma em

$$s_p = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t_0}{r_p^2 S}$$

### **DENOMINADA EQUAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO POÇO.**

Ela permite determinar qualquer das variáveis  $s_p$  ,  $Q$ ,  $t$ , ou  $r_p$  fixando as 3 outras, o que é de grande interesse no projeto ou na análise do comportamento de um poço.

Estimativa da eficiência de um filtro

A relação,

$$s_p = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t_0}{r_p^2 S}$$

Permite conhecer o abaixamento  $s_p$  do lençol junto do poço de raio  $r_p$ , quando dele se extrai a vazão  $Q$  durante um tempo  $t$  de bombeamento. O abaixamento dentro do poço pode ser medido diretamente, e usualmente dá um valor  $s_v$  maior que  $s_p$  devido às perdas de carga no escoamento através do filtro.

Logo, por definição, a eficiência do filtro é dada pela relação:

$$Ef. = \frac{s_p}{s_v}$$

c)- Interferência entre poços

Usando a relação,

$$s_p = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t_0}{r_p^2 S}$$

Considerando  $r$  como sendo a distância entre dois poços, e admitindo que apenas um poço esteja em operação, obtém-se :

$s'_A$  = abaixamento de nível no próprio Poço A;

$s''_A$  = abaixamento de nível no Poço B.

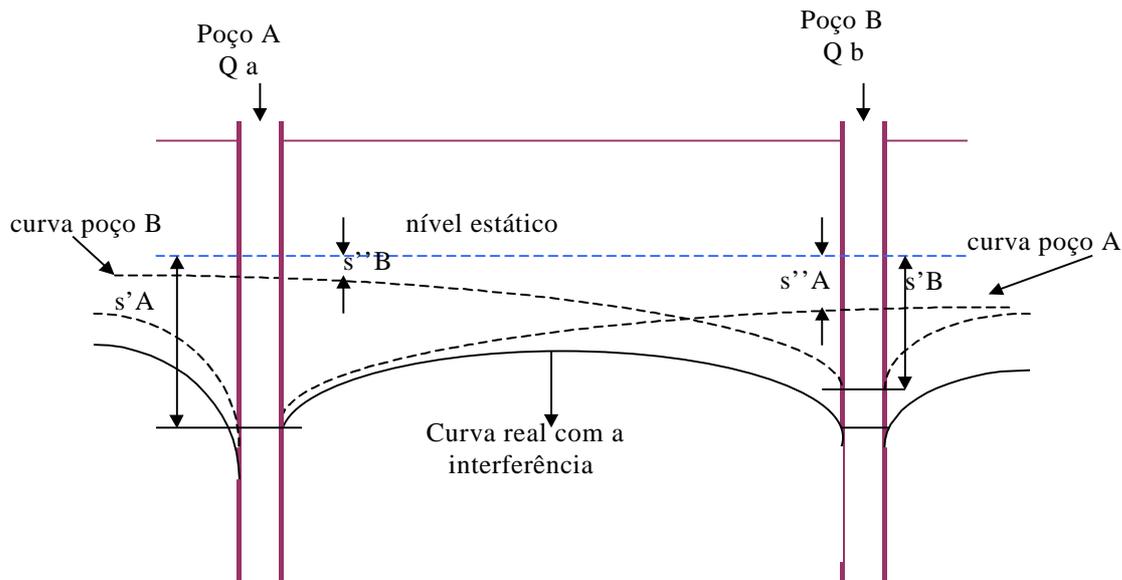
Analogamente, seriam obtidos os valores dos abaixamentos  $s'_B$  e  $s''_B$  na hipótese em que somente o poço B fosse bombeado.

Se os dois poços estiverem sendo bombeados simultaneamente, o abaixamento total verificado em cada poço será a soma dos abaixamentos parciais expressos nas duas hipóteses acima. Isto é, no caso de interferência entre poços, o abaixamento final, resultante em cada poço, é dado pela soma dos efeitos isolados.

Portanto, chamando de  $s_A$  e  $s_B$  aos abaixamentos resultantes vem :

$$\begin{aligned} s_A &= s'_A + s''_B \\ s_B &= s'_B + s''_A \end{aligned}$$

De forma similar, podem ser obtidas as cotas da superfície piezométrica interferida, inclusive no caso de mais de dois poços em interferência mútua.



## BIBLIOGRAFIA

**EINZ, VIKTOR** : Geologia Geral Cia. Editora Nacional; São Paulo, 1963 - 2.<sup>a</sup> Edição.

**MEINZER, O. E.**: Hydrology. Dover Publications. Inc., New York, 1949

**ROUSE, H.**: Engineering Hydraulics. John Wiley & Sons, Inc.; New York, - 1950.

**TODD, D.K.** Ground Water Hydrology. John Wiley & Sons; New York, 1959

**WISLER, C.O. e BRATER, E.F.**: -Hidrologia . Ao livro Técnico S.A.: Rio de Janeiro, 1964

**YASSUDA, E.R.**: Apostila do Curso de Pós Graduação para Engenheiros. Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

A medição de nível de água em poços profundos é indispensável durante os ensaios de bombeamento, e deve-se sempre indicar se o nível medido é um Nível Estático ou um Nível Dinâmico.

A profundidade dos níveis de água é um dos fatores que irá determinar a escolha do tipo de equipamento de bombeamento a ser colocado no poço.

A medição periódica do nível de água, outrossim, é uma providência que deve ser tomada como parte dos trabalhos de operação e manutenção de poços, tendo-se em vista o controle dos recursos hídricos subterrâneos ou o controle do estado de conservação do filtro e dos meios permeáveis circundantes.

## DISPOSITIVOS PARA MEDIÇÃO

Existe uma grande variedade de dispositivos para medição do nível de água em poços profundos. Nenhum deles, entretanto, é universal. Alguns são apropriados para

medições instantâneas do nível de água ; outros podem fornecer medições contínuas. Em certos poços é conveniente a instalação permanente de dispositivo para medição.

De um modo geral podem ser utilizados, entre outros, os seguintes dispositivos:-

trena de aço - flutuador - sonda de empuxo - sonda elétrica - tubulação de ar comprimido

Para o nosso caso vamos detalhar o Medidor pneumático ou Tubulação de ar comprimido, dando ênfase a aplicação de manômetro eletrônico.

Medidor pneumático ou Tubulação de ar comprimido, é um dos dispositivos mais usados e proporciona medidas satisfatórias da profundidade do nível de água.

## INSTALAÇÃO

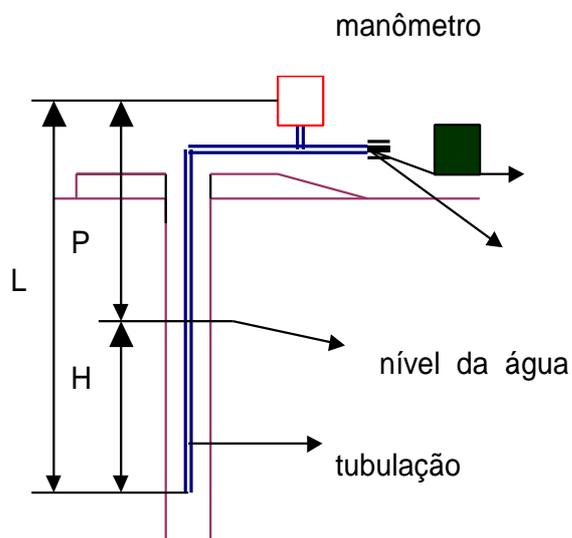


Um tubo em polipropileno, de pequeno diâmetro, aberto na extremidade, é descido no poço e mergulhado abaixo do nível a ser medido ( ponto zero ).

Introduz-se ar comprimido no tubo até que seja retirada toda a água contida no tubo, deve-se observar no processo de retirada da água do tubo, certificar que não existe vazamento de ar, quando o seu manômetro ficar em equilíbrio , isto é, parado em uma indicação enquanto se retira a água do tubo, isto significa que toda a água foi retirada e começa a borbulhar pela extremidade inferior do tubo, neste ponto podemos parar a injeção de ar no tubo, observa-se que a indicação no manômetro deve cair um pouco, devido a perda de carga na tubulação.

Usando um manômetro bem sensível como os da série BMP da HYTRONIC, a pressão de equilíbrio é medida, esta pressão é proporcional ao comprimento submerso da

tubulação de ar, conhecendo-se a distância vertical entre o centro do manômetro e a extremidade da tubulação de ar, teremos a profundidade do nível que será igual a diferença do valor comprimento vertical do tubo menos leitura do manômetro.



A profundidade, P, do nível de água é calculada pela expressão

$$P = L - H$$

Onde :-

L = profundidade da extremidade mergulhada do tubo de ar a partir do centro do manômetro; é dada diretamente pelo comprimento vertical do tubo de ar.

H = altura da coluna de água, da parte submersa do tubo de ar; é dada pela leitura do manômetro.



Utilizando manômetro eletrônico da série BMP da HYTRONIC, tem uma sensibilidade comprovada, podemos ter valores que são lidos diretamente nos dígitos de

sete segmentos, na unidade metro de coluna da água ( mCA ), neste caso P profundidade do nível da água é dado por :-

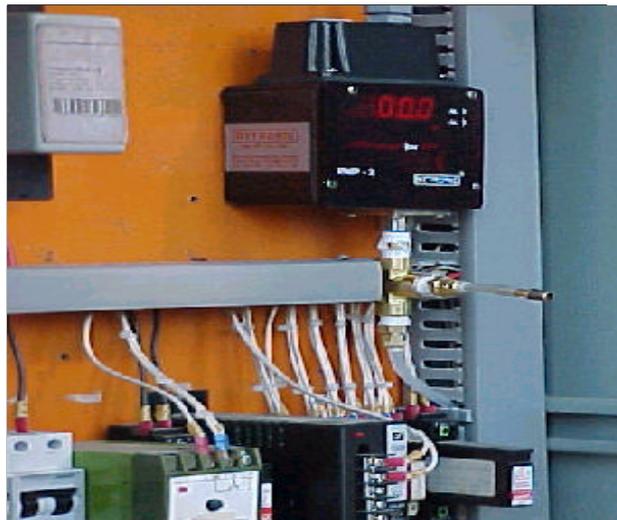
$$P = L - (\text{leitura do manômetro})$$

como L e dado em metro, logo P será em metro, podendo ter uma precisão de até duas casas após a virgula, leitura direta.

Caso o manômetro fornecer pressões, lidas em Kg/cm<sup>2</sup> , logo profundidade P do nível da água é dado por :-

$$P = L - ( 10,3 \times \text{leitura do manômetro} )$$

como L e dado em metro, P será em metro, pois a relação converte a unidade



Caso o manômetro fornecer pressões, lidas em libra por polegada quadrada , logo profundidade P do nível da água é dado por :-

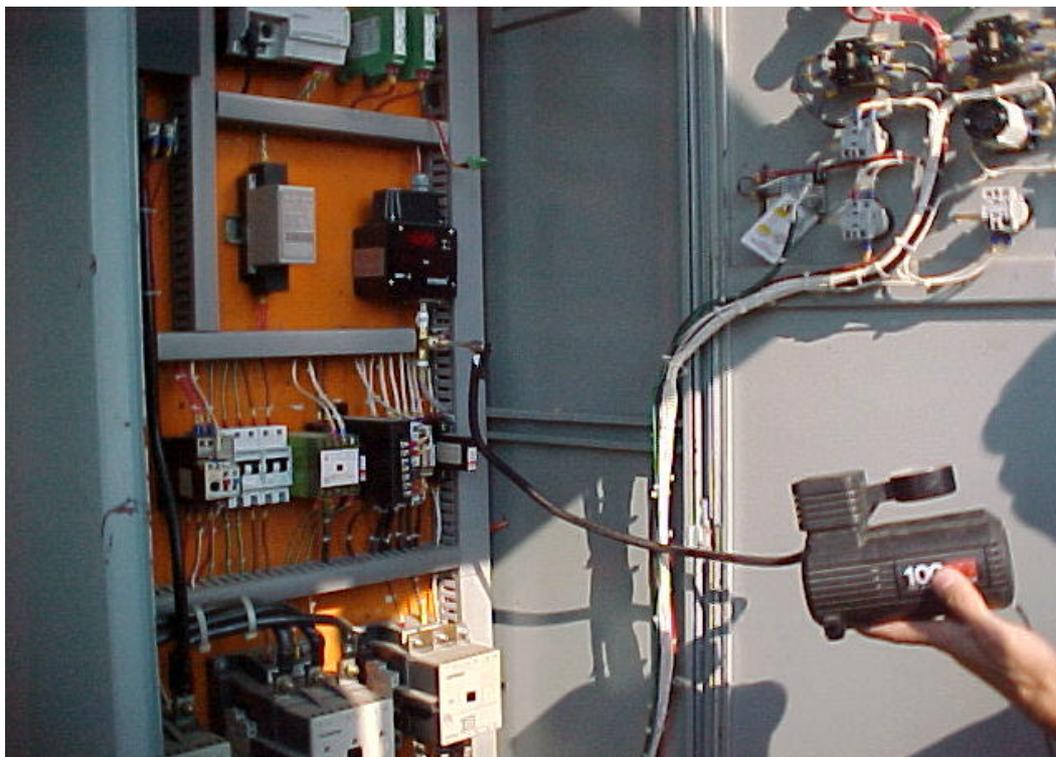
$$P = L - ( 0,7 \times \text{leitura do manômetro} )$$

como L e dado em metro, P será em metro, pois a relação converte a unidade

O tubo de ar poderá ser de aço, latão, cobre ou plástico duro, de pequeno diâmetro interno. Quando o tubo for instalado em um poço de para uso permanente, deverá ser de material não corrosível ( latão, cobre ou plástico duro ) e de preferência sem emendas.

Devemos evitar o uso de tubulação com emendas por juntas soldáveis ou não, pois para garantir um perfeito funcionamento do sistema temos que garantir a estanqueidade do as e das pressões internas que estiverem sujeitas.

A estanqueidade deverá ser observada por todos os demais pontos do sistema, tais como válvula de retenção e outros, e tomando todos os cuidados, é necessário conhecer com exatidão a profundidade atingida pela extremidade da tubulação de ar. Quando se utilizam tubos rígidos ligados entre si por conexões, será relativamente fácil conhecer a profundidade alcançada, contando e medindo os tubos que forem sendo montados. Se a tubulação for contínua, flexível surge o problema da medição da profundidade alcançada, pois essa tubulação poderá Ter, as vezes, a tendência de ficar enrolada quando



introduzida no poço, causando assim uma falsa leitura. Para isso, recomenda-se sempre que possível, fixar esse tipo de tubulação de ar a um suporte rígido, como por exemplo, ao tubo de elevação de água.

Para se obter uma correta medida da pressão é necessário que o manômetro seja previamente aferido com um manômetro padrão do laboratório, como são feitos com os manômetros eletrônicos da série BMP da HYTRONIC.

A extremidade do tubo de ar deverá ficar no mínimo a três metros acima da entrada de água do sistema de elevação

Os manômetros eletrônicos da série BMP da HYTRONIC, tem se comportado muito bem nestas instalações , fornece leitura direta em display de sete segmentos, reles com contatos reversores com regulagem de pontos mínimos e máximos sem a necessidade de instrumentos especiais para ser implementado na lógica de reles, saída de sinais analógicos de 4 a 20 mA ativo proporcional a sua escala de calibração para ser implementado a um CLP levando a informação a centro de controle através de um software supervisorio, alimentação 220 Vac, 110 Vac, 24 Vdc.

Os manômetros como todo equipamento de um modo geral requer cuidados no manuseio.

## CONCLUSÃO

Aplicando a teoria acima descrita com utilização deste equipamento ( Manômetro Eletrônico da série BMP da HYTRONIC ), podemos obter relatório para análise do cone de abaixamento conforme tabela abaixo :-

### Nova Caçapava poço 19

DATA	VAZÃO (m3/h)	N.DINAMICO (m)	N.ESTATICO (m)	PRESSÃO (mCA)	CORRENTE (A)
Jan/97	100.80	72.00	31.00	41.50	158.00
Abr/97	103.97	74.50	31.00	27.00	155.00
Jul/97	81.86	68.00	56.00	35.00	128.00
Out/97	100.80	78.00	58.00	42.50	170.00
Jan/98	81.29	75.50	58.00	42.50	170.00
Abr/98	103.97	74.50	59.00	42.50	150.00
Jul/98	92.27	74.50	59.00	42.50	176.00
Out/98	82.30	77.50	59.00	42.50	150.00
Jan/99	77.40	75.50	59.00	42.50	150.00
Abr/99	86.19	75.50	59.00	43.00	155.00
Jul/99	97.71	77.50	59.00	40.00	160.00
Out/99	82.80	77.00	59.00	44.00	145.00
Jan/00	65.99	84.00	65.40	44.00	140.00

Os dados aqui estão relacionados em uma frequência de 3 meses, porém o nosso sistema registra os dados automaticamente a cada minuto.

Nosso objetivo é focado na redução de custos, aumento da eficiência dos equipamentos, otimização da operação, aumentando a vida útil dos poços, propondo uma exploração adequada de cada poço, preservando assim o manancial, com aplicação de alta tecnologia.

Hoje na cidade de Caçapava, monitoramos, entorno de 15 poços com sistema de telemetria ( nível, vazão, pressão, energia elétrica etc. ), coletando e registrando dados para a Hidrogeologia e Hidráulica de poços.