

# PROBLEMAS GEOTÉCNICOS ASSOCIADOS À EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA - UM EXEMPLO RELEVANTE NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Leila Nunes Menegasse V. 1  
José Antônio Beltrão Sabadia 2  
Uriel Duarte 3

## RESUMO

Este trabalho resultou de um estudo hidrogeológico de caráter local, realizado em área de aquífero cristalino sob clima tropical úmido, no Bairro Pq. Anhanguera, Município de São Paulo. O motivo do estudo foi a ocorrência de recalque do solo devido ao teste de bombeamento em um poço com vazão excepcional de 142 m<sup>3</sup>/h, causando vários danos às casas próximas. O estudo pretendeu verificar se o processo de recalque já se estabilizara para garantir uma exploração segura. Os resultados indicaram que existe uma forte conexão hidráulica entre o manto de intemperismo e as zonas de fraturas aquíferas, que o poço poderia ser explorado seguramente a uma vazão de até 90 m<sup>3</sup>/h e que o recalque já estava consolidado. É aqui apresentada a metodologia utilizada no estudo e a interpretação dos resultados obtidos.

## I. INTRODUÇÃO

Reconhecidamente, a exploração de água subterrânea pode induzir o abatimento ou recalque do solo em diversos contextos hidrogeológicos, podendo acarretar, muitas vezes, danos materiais consideráveis nas áreas urbanas. Um exemplo que tipifica este tipo de problema ocorreu em 1988, no Bairro Parque Anhanguera, região NW do Município de São Paulo (Fig.1).

O fenômeno ocorrido foi o recalque do solo no decorrer do teste de bombeamento de um poço de abastecimento público pertencente à Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Seis casas próximas ao poço foram afetadas, apresentando rachaduras de variadas dimensões nas paredes, tetos e pisos, alcançando até 2,4 cm de largura (Figs.5 e 6). Tal acontecimento gerou uma situação de pânico entre os moradores locais e levou à desativação do poço a partir de então.

Em 1989, por meio de convênio firmado entre o Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS) e a SABESP foi realizado um novo teste com a finalidade de se verificar se o recalque já havia se consolidado ou não e encontrar uma vazão de exploração ótima, compatível com a demanda local, sem, contudo, expor as residências ao risco de incidências de novas rachaduras ou aumento daquelas existentes.

Ressalta-se que o poço em questão apresentou uma vazão máxima medida de 142 m<sup>3</sup>/h, considerada excepcional no contexto dos aquíferos cristalinos da RMGSP, onde normalmente as vazões situam-se abaixo da média de 7,8 m<sup>3</sup>/h (DAEE 1975).

## II. OBJETIVOS

Os objetivos principais deste trabalho são:

- a. divulgação do incidente ocorrido, de forma a alertar para a importância de se tomar medidas preventivas quando da realização de testes de bombeamento, em especial nos poços de altas vazões nos locais de ocupação urbana, independentemente do sistema aquífero considerado.
- b. apresentar o método de trabalho que foi possível utilizar no teste de bombeamento para conclusão do estudo.

---

1. Geóloga da Prefeitura Municipal de São Paulo. Pós-Graduada do Inst. de Geociências da Universidade de São Paulo.

2. Professor do Dept° de geologia da Univ. Federal do Ceará. Pós-Graduando do Inst. Geociências da Universidade de São Paulo.

3. Professor Doutor do Inst. de Geociências da Universidade de São Paulo.

c. Apresentar uma análise interpretativa dos processos hidrodinâmicos envolvidos na deflagração do recalque ocorrido, e da relação desses com as características hidrogeológicas locais.

d. Mostrar a interconexão hidráulica existente entre o manto de intemperismo e a zona aquífera fissural subjacente.

### III. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS LOCAIS

A região de estudo é dominada pelos aquíferos fraturados metassedimentares pelíticos e psamíticos pertencentes ao Grupo São Roque, de idade do Proterozóico Superior, de acordo com a coluna estratigráfica apresentada pelo PRÓ-MINÉRIO/IPT, 1981. Os metassedimentos predominantes são xistos, filitos, quartzitos, com intercalações subordinadas de anfíbolitos, calcossilicáticas e calcários, cobertos por um considerável manto de intemperismo, normalmente acima de 10 metros de espessura, conforme constatado em 79% dentre 38 poços cadastrados na região, segundo MENEGASSE, 1991. Ainda de acordo com a autora, os valores de vazão mais frequentes estão abaixo de 20 m<sup>3</sup>/h em 67% de 47 poços cadastrados na região.

O poço de abastecimento público em questão, conforme já mencionado, apresentou uma vazão excepcional de 142 m<sup>3</sup>/h, tendo sido locado na interseção de dois lineamentos estruturais por DUARTE, 1987, e aproximadamente 10 metros de um córrego que corre na direção paralela à rua de acesso ao poço.

As litologias atravessadas pela perfuração do poço foram, segundo relatório da empresa perfuradora:

- Até 8 m Solo de alteração argiloso passando a apresentar um pouco de areia muito fina em profundidade

- 8 a 20 m. Rocha alterada a semi-alterada

- De 20 a 58 m. Anfíbolito

- De 58 a 84 m Micaxisto

- De 84 a 98 m Anfíbolito (?)

As entradas d'água (E.A.) atravessadas pelo poço estão associadas às fraturas na rocha, situadas a 23, 28 e 45 metros, logo abaixo do revestimento de 20,15 m de profundidade.

Dadas as características geomorfológicas e de ocupação do local nas imediações do poço, verifica-se que o terreno foi aterrado para sua recomposição na época do seu loteamento, constatado por meio de análise de campo e de fotografias aéreas. O córrego, atualmente retificado, meandrava mais próximo de onde atualmente se encontram as residências, cujos depósitos aluvionares foram posteriormente cobertos pelo material do aterro.

### IV. METODOLOGIA DO ESTUDO

O teste de bombeamento efetuado à época da perfuração do poço em 1988, foi executado em uma só etapa, com vazão inicial de 111,8 m<sup>3</sup>/h, atingindo, depois de uma hora, a vazão de 141,6 m<sup>3</sup>/h, com tempo total de bombeamento de 22 horas.

Na realização do novo teste, foram praticadas vazões escalonadas de 70, 90 e 142 m<sup>3</sup>/h, mantidas constantes durante 6, 12 e 7 horas de bombeamento, respectivamente, de modo a caracterizar o regime hidráulico/hidrodinâmico do aquífero.

Para se constatar a existência da conexão hidráulica entre o manto de intemperismo e a zona de fraturas aquíferas, foram utilizados seis (06) poços de observação, sendo que dois deles eram do tipo cacimba, e quatro foram perfurados a trado (Fig. 1A), cujas profundidades são: P1:2,8 m; P2:3,0 m; P3:2,8 m; P4:3,0 m; P5:4,0 m e P6:3,5 m. Foram tomadas nestes poços, medidas dos níveis d'água antes durante e após o bombeamento.

Com o intuito de se observar o comportamento das aberturas das rachaduras surgidas no decorrer do teste anteriormente executado, selecionou-se aquelas mais proeminentes, tendo suas aberturas sistematicamente medidas antes, durante e após o término do bombeamento. O instrumento de medição utilizado foi um paquímetro com precisão de 0,001 cm.

### V. RESULTADOS

Os resultados das medidas dos rebaixamentos no poço bombeado (Poço P7) nas três etapas do bombeamento é mostrado graficamente na Fig.2, encontrando-se os níveis estáticos no poço P7 e nos poços de observação P1, P2, P3 e P4 a 1,80 m.

O primeiro estágio (vazão de 70 m<sup>3</sup>/h) ficou caracterizado por um acentuado rebaixamento inicial nos primeiros 40 minutos no poço de produção (até 5,2 m), atingindo a profundidade de 7,0 m a partir do nível do terreno ao final das 6 horas totais deste ensaio.

No segundo estágio (vazão de 90 m<sup>3</sup>/h) houve um rebaixamento contínuo, estabilizando o nível dinâmico a 9,7 m. de profundidade, 12 horas após.

E no terceiro estágio (vazão de 142 m<sup>3</sup>/h) houve um forte rebaixamento nos primeiros 18 minutos, seguido de uma queda mais lenta do nível d'água até o final do teste, a qual estabilizou-se a 15,7 m. de profundidade.

A relação das vazões em função dos rebaixamentos é mostrado na Fig.3.

As variações do nível estático nos poços de observação e no poço bombeado antes, durante e após a execução do teste estão representadas na Fig.4. No período que antecedeu o teste, os poços de monitoração sofreram uma pequena elevação do nível d'água por efeito de recarga devido a uma forte chuva que durou várias horas ocorrida no dia anterior.

Ressalta-se que os poços P1 e P2, durante todo o período de realização do teste, sofreram recarga da água bombeada que foi lançada nas proximidades destes, sendo por isso desconsiderados os seus dados de rebaixamento/recuperação.

As dimensões das aberturas nas rachaduras selecionadas variaram de 2,1 a 24,0 mm, tendo sido monitoradas oscilações na faixa de 0,1 a 3,1 mm ao longo do trabalho realizado. Observou-se que, no geral, as aberturas oscilaram bastante durante todo o teste, porém tiveram uma tendência sistemática a se abrirem. As maiores variações ocorreram nas casas mais intensamente abaladas (casas 45, 112, 214 e 222).

### VI. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir do teste escalonado nos três estágios pode-se observar pela Fig.3, que o ponto de vazão máxima ainda não foi atingido, ou seja, não houve um rebaixamento desproporcional do nível dinâmico com o aumento da vazão até 142 m<sup>3</sup>/h, evidenciando a alta capacidade do aquífero local.

A conexão hidráulica entre o manto de intemperismo e as zonas de fraturas aquíferas foi evidenciada pela resposta rápida dos poços de observação, já na primeira hora de bombeamento, muito embora a recuperação dos níveis d'água, medida após 18 horas, tivesse sido bem mais lenta em relação ao rebaixamento nos poços de observação, conforme mostrado na Fig.4.

É possível, a princípio, identificar na área de influência do poço, uma heterogeneidade na condutividade hidráulica do subsolo local, comprovada pelas diferentes respostas dos níveis d'água ao bombeamento e recuperação entre o conjunto de poços de observação P4, P5 e P6 em relação ao poço P3.

As variações medidas nas aberturas das rachaduras só puderam ser interpretadas sob o ponto de vista qualitativo, uma vez que foram insignificantes (0,1 a 3,1 mm.), podendo inclusive estarem mascaradas pela dilatação térmica do material de construção. O fato de não ter havido modificações significativas com relação à evolução na aberturas ou aparecimento de novas rachaduras na paredes, pisos e tetos das casas próximas, mostraram que o solo já se havia estabilizado e que os recalques significativos já teriam ocorrido na sua totalidade.

### VII. DISCUSSÃO

O problema ambiental da ocorrência de movimentos de terra em função da exploração de água subterrânea além das vazões seguras, pode-se dar de forma lenta e gradual, como também bruscamente. A subsidência e/ou os abatimentos ocorridos podem afetar casas, pontes, túneis, estradas, canais, poços, linhas de transmissão de energia, etc., sendo hoje reconhecidos em amplas áreas na Califórnia e Louisiana (USA), parte da Cidade do México, em Venice (Itália) e na Nova Zelândia, dentre outras (BOWER, 1978 E JUDSON & KAUFFMAN, 1990), podendo também ocorrer de maneira mais restrita, como no presente caso.

As deformações e os assentamentos produzidos são, em termos gerais, essencialmente irreversíveis, podendo entretanto, serem controlados com a administração de vazões seguras, fato que corresponde certamente a uma redução das vazões exploradas.

A nível granular, tais fenômenos podem ser explicados geotecnicamente pelo processo de diminuição da pressão neutra (hidráulica) e aumento da tensão efetiva (intergranular) do solo, em decorrência da retirada da água. Com o incremento da tensão efetiva há uma sobrecarga na pressão transmitida ponto a ponto na estrutura granular do meio (cascalho, areia, silte ou argila), permitindo que ocorra um rearranjo e consequente adensamento do material aquífero.

No caso presente, duas características do solo teriam contribuído para a deflagração do processo: a existência de um aterro heterogêneo, mal compactado e, portanto, não prudentemente construído e a natureza arenosa aluvionar (vazadoura), sotoposta ao aterro.

#### VIII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base na constatação de que a movimentação do solo já se havia estabilizado, concluiu-se que o poço poderia ser explorado sem maiores prejuízos materiais para as casas. A vazão máxima de exploração teve como critérios para sua recomendação a posição do nível dinâmico e o fator de segurança. Estabeleceu-se que o nível dinâmico não deveria ficar abaixo do manto de intemperismo (solo/ rocha alterada), isto é, abaixo de 20 m. de profundidade. Como fator de segurança, adotou-se que o nível dinâmico deveria ficar na metade da espessura do manto de alteração, ou seja, a aproximadamente 10 metros de profundidade. Verificou-se, então, que a vazão máxima que atendia a estes critérios era 90 m<sup>3</sup>/h, cujo nível dinâmico correspondente obtido no teste de bombeamento foi de 9,7 m de profundidade, conforme ilustrado na Fig.2.

Ficou evidenciado que é forte a conexão hidráulica entre o aquífero superior sedimentar (aterro, aluvião e manto de intemperismo, no caso) e a zona aquífera, mostrando a importante contribuição do primeiro como meio de recarga significativa para o contexto fissural em profundidade. Por isso os testes de bombeamento, devem prever tais tipos de ocorrência, cuidando-se para que eles sejam executados a vazões escalonadas evitando-se assim um rebaixamento rápido do lençol freático e consequente recalque súbito, permitindo um rearranjo lento e gradual dos grãos do solo.

A resposta rápida dos níveis d'água ao bombeamento nos poços de observação permite constatar-se o caráter permeável do aquífero freático.

É indispensável uma prévia investigação das características físicas ambientais do solo anteriores à ocupação atual, bem como uma boa caracterização litológica no início da perfuração, principalmente em aquíferos cristalinos com espessos mantos de alteração, ou sedimentos recentes e aterros. Uma análise das fotografias aéreas e de mapas afins, informações verbais e levantamento de campo são instrumentos indispensáveis para tal investigação.

Durante a realização dos testes, principalmente em poços de altas vazões, recomenda-se o controle da área no entorno do poço, observando-se o aparecimento de sinais indicativos de recalque nas construções e no solo (rachaduras em paredes e tetos, dificuldades de se abrir e fechar portas e janelas, etc.), resguardando-se assim, o contexto hidrogeológico de fenômenos que porventura venham a ocorrer com rebaixamentos maiores do nível freático. Estas medidas devem ser tomadas independentemente do sistema aquífero considerado (cristalino ou sedimentar), mesmo que o aquífero explorado seja fraturado e coberto por espesso manto de intemperismo, há possibilidade de forte conexão hidráulica entre os dois compartimentos do sistema, como se constatou neste estudo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOWER, H - 1978 - Groundwater Hydrology - International Student Edition - Mc Graw-Hill Kogakusha, LTD. - Tokyo - Japan. 480p.

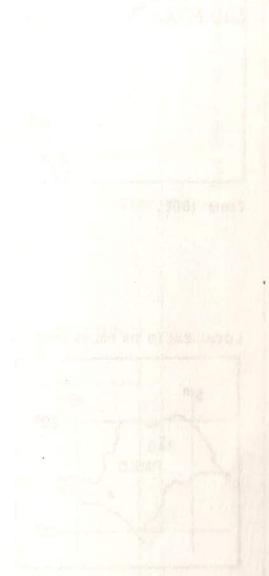
DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1975 - Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 1. Vol. 1.

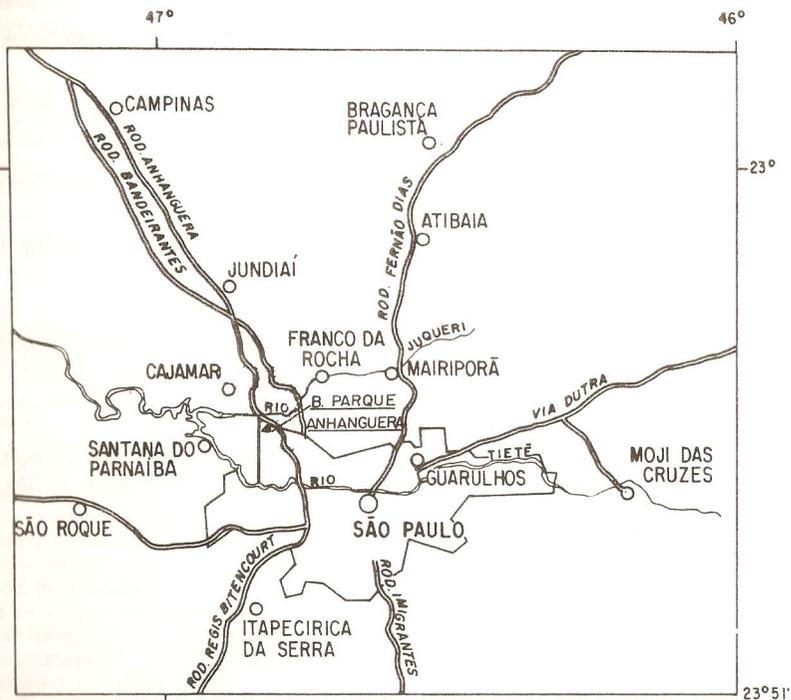
DUARTE, U. - 1987 - Estudo hidrogeológico de poços profundos na região do Parque Anhanguera - SP. Relatório Técnico CEPAS-SABESP. Inédito.

JUDSON, S. & KAUFFMAN, M.E - 1990 - Physical Geology - Eighth Edition - Prentice - Hall, Inc. New Jersey - USA. 534 p.

PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS MINERAIS (PRÓ-MINÉRIO)/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) - 1981 - Mapa geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000. Vol.1.

MENEGASSE V., L.N. - 1991 - Estudo hidrogeológico das rochas metassedimentares do Grupo São Roque a NW da Grande São Paulo - Critérios para locação de poços profundos. Universidade de São Paulo. 104p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências).





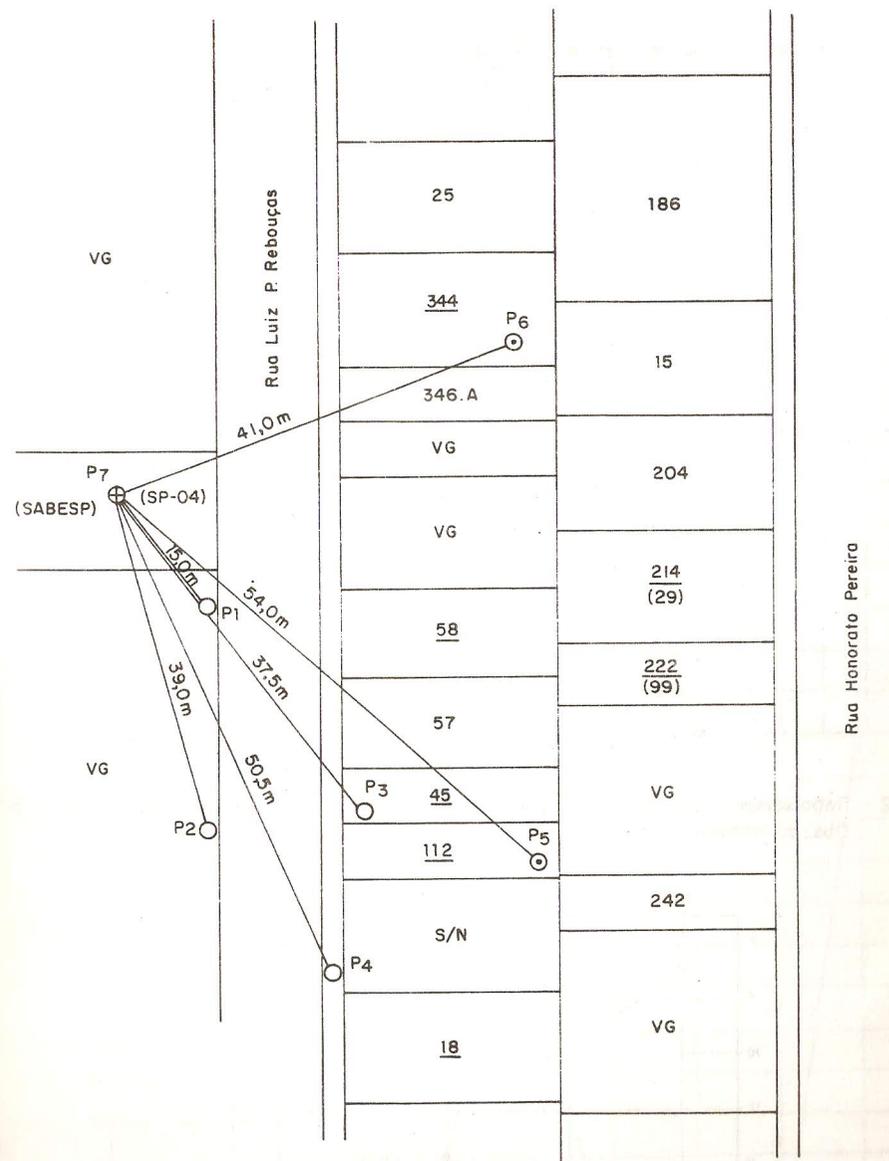
Fonte: IBGE, 1974



LOCALIZAÇÃO DA FOLHA NO ESTADO



FIG. 1 - MAPAS DE LOCALIZAÇÃO E ACESSOS



LEGENDA

- 344 - Número do imóvel
- 344 - imóvel com paredes abeladas
- VG - Lote vago
- - Poço de observação perfurado (Ø 3")
- ⊙ - Poço de observação tipo cacimba
- ⊕ - Poço profundo SABESP (SP-04)

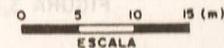


FIGURA 1A-  
Localção dos poços de observação

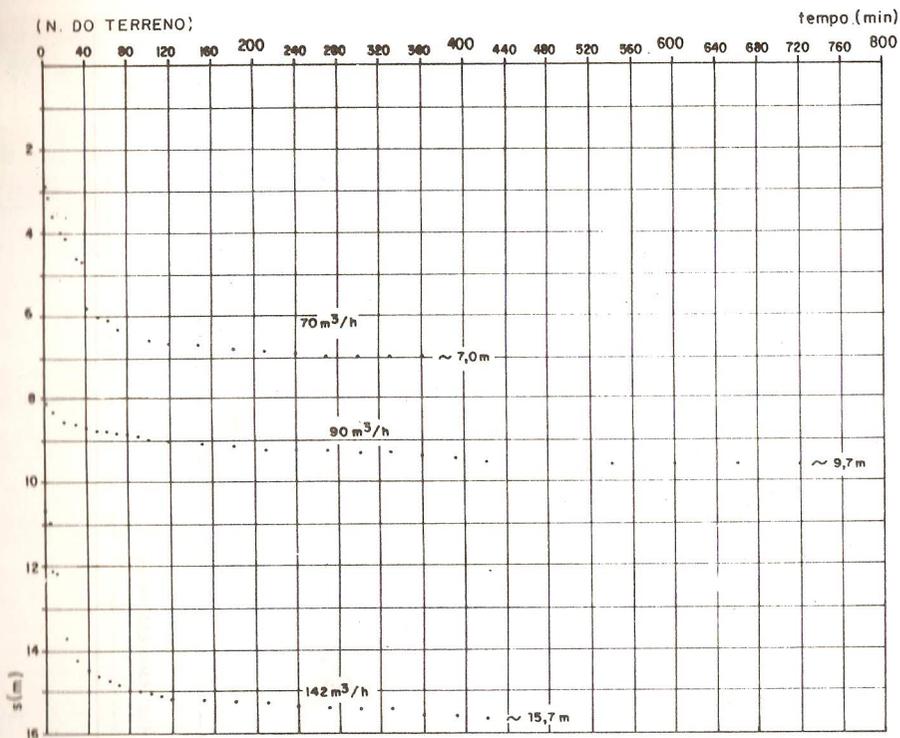


FIGURA 2 - Reboixo em função do tempo de bombeamento nos três estágios, no poço P7  
Obs.: as medidas do reboixo iniciam-se a partir do N.E. (1,80 m)

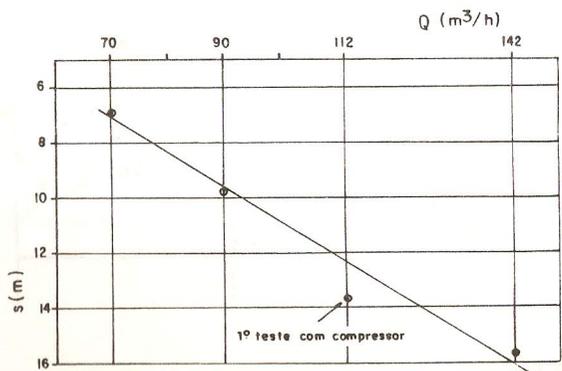


FIGURA 3 - Relação entre as vazões nos três estágios e o reboixo.  
Obs.: as medidas do reboixo iniciam-se a partir do N.E. (1,80 m)

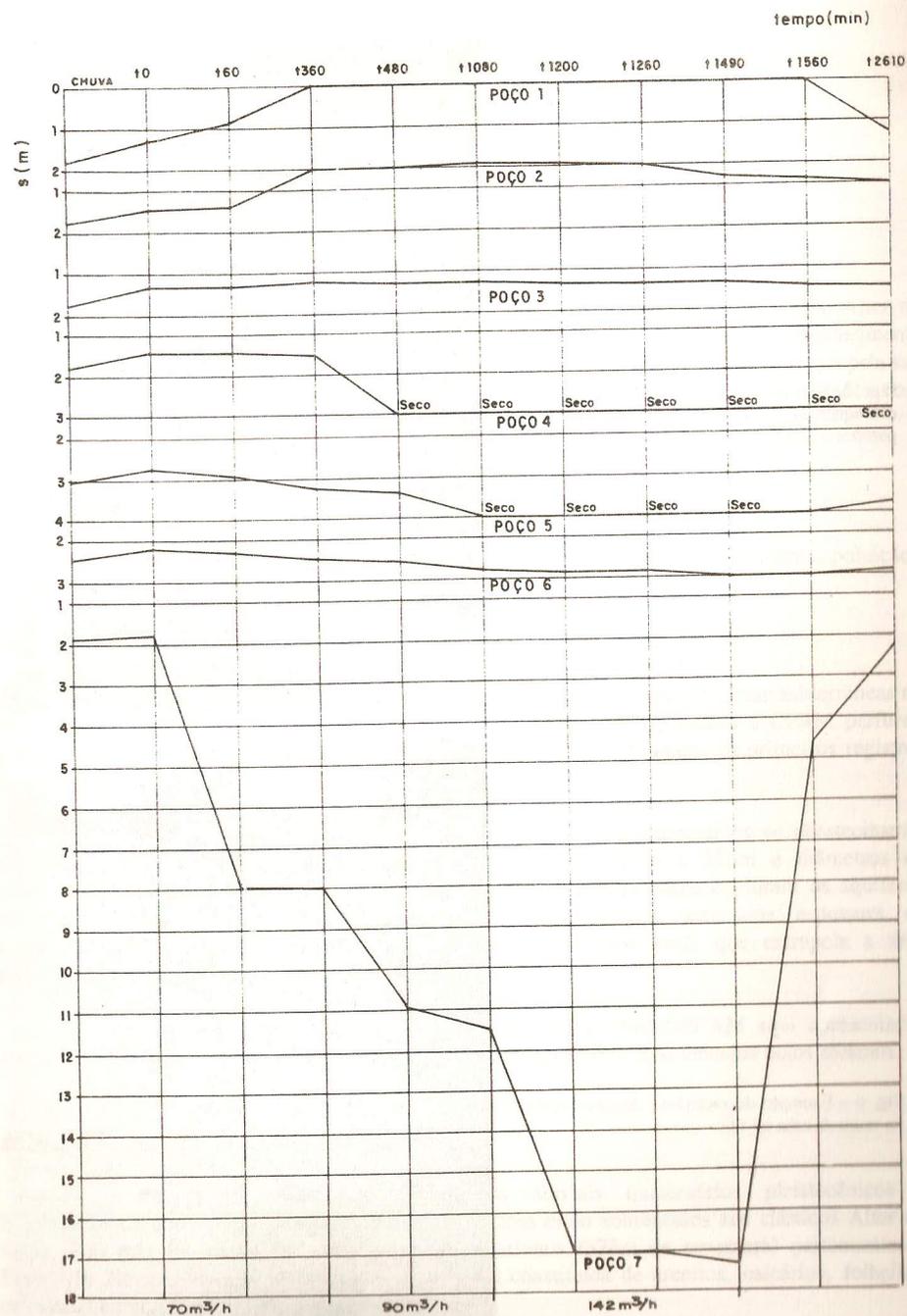


FIGURA 4 - Variação do nível d'água nos poços

Fig. 5 - Mancha de umidade observada em consequência das rachaduras ocorridas no teto e paredes externas da casa nº 222.

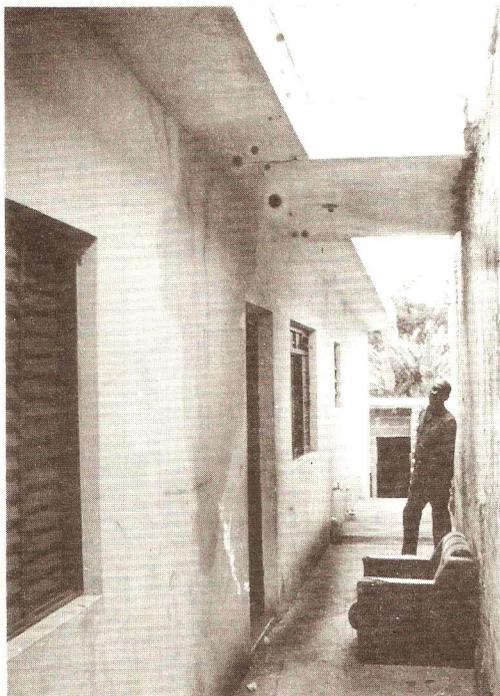


Fig. 6 - Exemplo de rachadura diagonal ocorrida no muro da casa nº 112.

