

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO ADMINISTRATIVA DE
SOROCABA - ESTADO DE SÃO PAULO

POR

J.E.CAMPOS¹ e M.F.C.LOPES¹

RESUMO -- Este trabalho constitui-se numa síntese da Hidrogeologia do Estudo de Águas Subterrâneas da Região Administrativa nº 4 - Sorocaba, realizado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica em 1981/82, e que concluiu um Plano de Estudos das condições de ocorrência da água subterrânea em todo Estado de São Paulo a nível de reconhecimento, iniciado em 1972 e desenvolvido através dos Estudos Regionais nos anos subsequentes. A região abrange uma área de aproximadamente 40.000 Km², correspondendo a 16,2% do território paulista, com uma população superior a 1,5 milhão de habitantes, e uma demanda de água atual da ordem de 27 m³/seg. para fins de abastecimento público, industrial e irrigação. Nela ocorrem quase todos os principais sistemas aquíferos da Bacia do Paraná, além da Província Cristalina. A água subterrânea mostra-se como alternativa viável para o atendimento de pequenas e médias demandas de água para as várias finalidades, especialmente o abastecimento público. Assim, as características hidrogeológicas, a situação atual de exploração, os potenciais, e as perspectivas de utilização são abordadas para cada sistema aquífero da Região.

ASPECTOS GERAIS

A Região Administrativa de Sorocaba está localizada a sudoeste do Estado de São Paulo, ocupando uma área de 40.244 Km², o que representa 16,23% da superfície total do território paulista como mostrado na figura 1.

De acordo com o Censo/80 do IBGE, a sua população total é estimada em 1.474.000 habitantes, correspondendo a 6% do total do Estado, com uma densidade demográfica média de 37 hab./Km².

A Região é predominantemente agrícola, com uma área de pastagens superior à cultivada. E as áreas de reflorestamento, em 1980 correspondiam a quase 10% da sua área total.

Nota-se uma grande variedade climática e geológica, ocorrendo daí notáveis variações nas condições topográficas, hidrológicas, fitográficas e pedológicas. A rede hidrográfica compreende parte das seguintes bacias (figura 1):

. Bacia do Médio rio Tietê que se localiza a norte e nordeste da região, com uma área de drenagem de 11.739 Km².

. Bacia do rio Paranapanema, a mais importante, localizada na parte Central da Região com uma área de drenagem de 23.249 Km².

. Bacia do rio Ribeira de Iguape, localizada na parte sul e sudeste da Região, correndo em direção ao oceano, e com uma área de drenagem de 5.256 Km².

¹Geólogos, Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo, SP.

GEOLOGIA

Tendo em vista os objetivos hidrogeológicos do trabalho, a geologia e suas características litológicas e estruturais foram divididas em duas províncias, e consideradas de forma sumária em:

Província cristalina

As rochas cristalinas constituídas pelas rochas pré-cambrianas dos complexos granitóides, grupo Açungui, grupo São Roque e complexo Gnáissico-Migmatítico, e pelas rochas cretáceas intrusivas e extrusivas da formação Serra Geral pertencentes à coluna estratigráfica da bacia do Paraná, correspondem a cerca de 36% das rochas aflorantes na Região.

As litologias predominantes constituem-se de granitos, migmatitos, gnaiesses, xistos, filitos, quartzitos, calcários e outros metassedimentos na porção do embasamento pré-cambriano, além dos basaltos e diabásios que ocorrem dentro da sequência sedimentar da bacia, na forma de derrames sobre os arenitos eólicos da formação Botucatu, e na forma de sills, diques e outras formas intrusivas em meio a praticamente todas as formações sedimentares excetuando-se o grupo Bauru.

Estruturalmente a Região apresenta intensos falhamentos, principalmente do tipo transcorrente e normal com direções predominantes NE ou NW que colocam em contato diferentes unidades lito-estruturais, com um aspecto geral de um mosaico de blocos tectônicos.

Província sedimentar

Em toda a parte oeste da Região concentram-se as rochas sedimentares da bacia do Paraná, numa sequência estratigráfica praticamente complexa, desde o Devoniano até o Cretáceo superior.

No limite sul da bacia na Região encontram-se assentados discordantemente sobre o embasamento cristalino, os arenitos marinhos da formação Furnas do grupo Paraná, com uma espessura variando de poucos a 180 metros. Sobreposto ao arenito Furnas, e na ausência da formação Ponta Grossa, encontram-se os sedimentos de origem glacial e flúvio lacustre do sub-grupo Itararé, constituídos por arenitos finos a grosseiros, lamitos, ritmitos, siltitos, diamictitos e folhelhos, que alcançam uma espessura de até 1.200 metros. Segue-se na sequência estratigráfica, ainda dentro do grupo Tubarão, os siltitos e arenitos da formação Tatuí, e acima destes, de forma concordante, os sedimentos marinhos do grupo Passa Dois, que se inicia pela formação Irati constituída por lamitos, folhelhos e calcários, com uma espessura média de 40 metros, e recobertos pela formação Corumbataí, mais espessa, atingindo até 250 metros, constituída por lamitos e folhelhos.

No triássico iniciou-se a deposição do Grupo São Bento com os arenitos fluviais e eólicos das formações Pirambóia e Botucatu com espessuras respectivas de 300 e 150 metros. Esses arenitos foram capeados em discordância pelos derrames basálticos da formação Serra Geral que atingem na área espessuras de até 150 metros. Sobre os basaltos depositaram-se, durante o cretáceo superior, em discordância erosiva, os arenitos fluviais da formação Marília pertencentes ao Grupo Bauru, com uma espessura da ordem de 100 metros. Em várias áreas da Região os mesmos são recobertos por sedimentos Cenozoicos, também presentes nos vales dos principais rios sob forma de terraços, e que correspondem a uma superfície total

de 3.150 Km².

Toda esta sequência sedimentar, mostrada na coluna estratigráfica da figura 2, apresenta um mergulho geral suave, na direção NW e foi, também, afetada por falhamentos de pequena extensão, de direção NW dominante. Modificações de mergulho foram constatadas em zonas de intenso falhamento, e nas vizinhanças de corpos de rochas intrusivas básicas ou alcalina como a que ocorre na região da fazenda Ipanema.

Geomorfologicamente a região de Sorocaba é das mais variáveis e apresenta quase todas as unidades que compõem o quadro físico do Estado. Dentro deste enfoque a Região abrange: a Província Costeira, o Planalto Atlântico, a Depressão Periférica, e as Cuestas Basálticas.

SISTEMAS AQUÍFEROS

Os reservatórios de água subterrânea que ocorrem na Região 4 foram caracterizados em função de sua distribuição espacial, parâmetros hidráulicos, modo de circulação da água e condições de armazenamento. Assim, consideram-se quatro sistemas aquíferos que se apresentam como unidades práticas para investigação e exploração em escala regional: Cristalino, Tubarão e Basalto, conforme mostrado na figura 3.

O Grupo Passa Dois devido a sua constituição litológica assume regionalmente o comportamento de um aquíclode podendo, entretanto, apresentar localmente zonas aquíferas representadas, principalmente, pelos bancos de calcáreo e por zonas de rochas lamíticas fissuradas. Os sedimentos das formações Furnas e Marília, assim como os de idade Cenozóica, que ocorrem na área, não foram caracterizados hidrogeologicamente devido ao caráter regional do levantamento efetuado, que considerou apenas os aquíferos com expressão em superfície e profundidade.

As características hidráulicas utilizadas para o reconhecimento do potencial dos sistemas aquíferos foram: a capacidade específica, a transmissividade e a permeabilidade aparente. Dentre estas a que mais se prestou para a comparação qualitativa dos aquíferos foi a capacidade específica, por ter sido determinada em maior número e também por refletir diretamente o potencial de produção dos poços.

Vale ressaltar ainda, que os dados utilizados são de poços que penetraram apenas em um sistema aquífero, e as condições de ocorrência dos sistemas é mostrada na tabela 1.

Aquífero cristalino

O meio aquífero cristalino é desenvolvido nas descontinuidades provocadas pelo fraturamento das rochas (porosidade de fissuras), caracterizando desta forma zonas aquíferas localizadas, com extensão e profundidades condicionadas pelo tipo e intensidade da estrutura tectônica original. É importante salientar a existência de uma camada de alteração ou manto de intemperismo destas rochas que apresenta grande influência na recarga do aquífero e conseqüentemente no escoamento básico da rede de drenagem superficial. Dependendo da natureza do tipo litológico, altitude, clima e fraturamento, o manto de intemperismo pode apresentar espessuras entre 10 e 60 metros.

A avaliação dos parâmetros hidráulicos deste aquífero, baseou-se na determi

nação da capacidade específica em 130 poços e da transmissividade em 8 poços, obtidos através de ensaios de bombeamento.

Para o cálculo da transmissividade o método proposto por Jacob (Custódio Llamas, 1976), onde se analisam as curvas de rebaixamento em função do logaritmo do tempo, é válido para poços completos, construídos em aquíferos confinados, homogêneos e isotrópicos. Porém, aplicado com o devido cuidado em meios fraturados, fornece de maneira aproximada uma média geométrica das transmissividades direcionais das fraturas que são interceptadas pelo poço, podendo-se, no caso, obter uma avaliação quantitativa do aquífero cristalino.

Os valores de transmissividade variaram de 0,3 a 196 m²/dia, e com os valores da capacidade específica observou-se uma correlação caracterizada pela equação:

$$\log T = 1,34 + 1,30 \log (Q/S) \quad (1)$$

onde T = transmissividade em m²/dia

Q/S = capacidade específica em m³/h/m;

com uma variação de $\pm 0,55$ para um intervalo de confiança de 95%.

Um critério utilizado na avaliação dos dados obtidos, foi a análise em separado dos poços associados e os não associados aos "lineamentos de drenagem", que correspondem às zonas baixas dos vales dos rios principais e secundários perceptíveis nos mapas de escala 1:50.000. Evidentemente um vale de drenagem não implica necessariamente, do ponto de vista geológico, em zona fraturada ou falhada, porém no escopo deste trabalho, devido a ausência de uma análise estrutural adequada do fraturamento, optou-se por este critério que permitiu as considerações estatísticas acerca do comportamento hidrogeológico das áreas potencialmente fraturadas dos terrenos cristalinos.

As figuras 4 e 5 mostram as distribuições da capacidade específica e curva acumulativa dos poços locados junto à "lineamentos de drenagem", fora deles, e do total. Os maiores valores foram obtidos para os poços do primeiro grupo, que apresentam uma mediana de 0,22 m³/h/m e cerca de 70% dos poços apresentam valores entre 0,1 e 1,2 m³/h/m. Poços locados fora destas zonas apresentam uma mediana de 0,038 m³/h/m, e cerca de 70% dos poços apresentam valores entre 0,015 e 0,25 m³/h/m.

Ainda que não se dispusesse de uma análise estrutural mais apurada, pode-se observar que o comportamento hidráulico do cristalino está associado às condições de ocorrência de zonas aquíferas devidas ao fraturamento na rocha sã, sua frequência, extensão, densidade, abertura e direções predominantes de ocorrência, além da espessura e tipo litológico do horizonte de rocha alterada.

Tais fatores caracterizam este aquífero como extremamente heterogêneo, descontinuo e anisotrópico, não tendo sido estudados em maior detalhe devido tratar-se de uma avaliação de caráter regional. Entretanto, decorrente dessa conceitualização, foi efetuada uma análise da importância da profundidade dos poços no aquífero cristalino, considerando-se o critério de locação, como mostra a figura 6, e verifica-se que:

. o aprofundamento dos poços não resulta em aumento da capacidade específica.

Este fato fica mais evidenciado quando se considera a capacidade específica por metro de penetração com relação à profundidade, como mostra a figura 7. Para poços situados fora dos "lineamentos de drenagem", notou-se que os valores de capacidade específica independem da penetração dos poços, tendo inclusive, os de maior profundidade apresentado os menores valores de capacidade específica.

Aquífero Tubarão

Estende-se numa determinada faixa, em forma de arco, de nordeste para o centro oeste da Região estudada, possuindo uma superfície de 12.850 Km² que corresponde aproximadamente a 32% da área total. Encontra-se cortado em diversos pontos por intrusões de diabásio, que localmente interrompem sua continuidade, sendo ainda recoberto em várias áreas por camadas de sedimentos cenozóicos.

O armazenamento e a circulação de água neste aquífero ocorre através dos interstícios dos sedimentos clásticos grosseiros (arenitos e conglomerados), os quais estão intercalados, na forma de pequenas a grandes lentes, com camadas de sedimentos finos (lamitos, siltitos, diamictitos e folhelhos) que dificultam o escoamento da água subterrânea tanto no sentido vertical quanto no horizontal, caracterizando uma situação de anisotropia, além de descontinuidade e grande heterogeneidade em áreas localizadas.

No sentido noroeste passa a ser confinado superiormente pela sequência sedimentar do grupo Passa Dois.

Em âmbito regional, mesmo em se tratando de aquífero sedimentar, o Tubarão comporta-se como um reservatório subterrâneo de produtividade limitada, contendo áreas localizadas com potenciais mais elevados, em contraste a áreas onde a predominância de sedimentos lamíticos condicionam baixas transmissividade e capacidade específica.

A avaliação dos parâmetros hidráulicos deste aquífero aqui apresentada, limitou-se na determinação da capacidade específica de 130 poços e da transmissividade de 28 poços, através de ensaios de bombeamento.

As figuras 8 e 9 mostram como varia a capacidade específica neste aquífero, onde 70% dos poços apresentam valores entre 0,03 e 0,5 m³/h/m, e uma mediana de 0,1 m³/h/m. A correlação entre a transmissividade e a capacidade específica foi determinada pela equação:

$$\log T = 1,4 + 1,3 \log (Q/S), \quad (2)$$

onde T = transmissividade em m²/dia, e

Q/S = capacidade específica em m³/h/m;

com uma variação de $\pm 0,73$ para um intervalo de confiança de 95%.

Uma verificação da capacidade específica em relação à espessura saturada do aquífero, mostrou que aquela independe da maior ou menor profundidade dos poços neste aquífero, caracterizando sua heterogeneidade e indicando que os valores da própria transmissividade dependem das camadas de sedimentos clásticos atravessados pelos poços.

Aquífero Botucatu

Este aquífero é constituído pelos arenitos fluviais e eólicos das formações

Pirambóia e Botucatu, que afloram na parte norte da Região, recobrendo os sedimentos do Grupo Passa Dois. Possui uma superfície aproximada de 3.400 Km² podendo atingir uma espessura de até 350 metros. Para oeste é recoberto pelos basaltos da formação Serra Geral que passam a confiná-lo.

As características hidráulicas do sistema aquífero Botucatu foram determinadas a partir da capacidade específica de 14 poços existentes na área, cujos valores evidenciam um contraste entre as duas unidades geológicas que compõem o sistema, como mostrado na figura 10. A razão deste contraste é a maior quantidade de matriz lamítica no arenito Pirambóia de origem fluvial, em relação aos arenitos eólicos do Botucatu o que confere maior condutividade hidráulica a este.

De um modo geral, nos poços localizados em áreas onde predomina a formação Pirambóia estima-se os valores de capacidades específicas inferiores a 2 m³/h/m, e nos poços localizados na formação Botucatu os valores variam entre 1 e 4 m³/h/m nas áreas aflorantes e pouco confinadas, podendo atingir até 11 m³/h/m nas áreas mais confinadas pelos basaltos, no extremo NW da Região.

Aquífero Basalto

Ocupando a parte N^o NW da Região estudada, e estando encoberto em grande parte por sedimentos cenozóicos e pela formação Marília, aflora em algumas áreas localizadas e ao longo dos vales dos principais rios e ribeirões dessa parte da Região. Possui uma área de ocorrência da ordem de 2.200 Km², e espessura média em torno de 100 metros, podendo atingir 250 metros.

As propriedades hidráulicas dos basaltos estão relacionadas às condições de armazenamento e circulação de água que ocorrem nestas rochas, isto é, nas zonas de descontinuidades de origem primária (juntas de resfriamento), nos planos de separação dos derrames superpostos e preferencialmente nos locais de fraturamento resultante de esforços secundários (tectônicos). Desta maneira, forma-se, então, um meio aquífero fortemente heterogêneo, anisotrópico e descontínuo.

Dados de capacidade específica de 14 poços que penetraram exclusivamente neste aquífero apresentaram valores extremos de 0,02 e 1,8 m³/h/m, sendo que 50% dos poços são inferiores a 0,3 m³/h/m, como mostrado na figura 11.

EXPLORAÇÃO E UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Cadastro de poços

De acordo com levantamentos efetuados junto às principais companhias perfuradoras, além de uma varredura de campo, foram cadastrados 910 poços tubulares profundos. Distribuídos de forma heterogênea por toda a Região, observa-se uma concentração maior próximo às cidades cujo desenvolvimento urbano e industrial é mais elevado.

Do número total de poços, 66 ou 7% encontravam-se abandonados em razão de não terem atingidos as vazões requeridas pelas demandas do empreendimento a que se destinavam; 639 ou 70,2% encontravam-se equipados e em funcionamento; e os demais não se achavam em operação por motivos diversos.

Os poços estão distribuídos pelos vários aquíferos de maneira irregular conforme mostra a tabela 2, onde se nota um grande número de poços sem definição de aquífero, devido a ausência ou não confiabilidade dos perfis geológicos e da

dos de profundidade.

A maioria dos poços (58%) têm diâmetro de 6", e os demais não ultrapassam 12 1/4". A profundidade média dos poços é de 100 metros, variando entre 40 e um máximo de 420 metros. Cerca de 30% dos poços possuem coluna de revestimento, e as bombas submersas equipam 65% do total de poços.

Volumes explorados

Para o cálculo do volume explorado foram considerados somente os poços com dados confiáveis de vazão e período de funcionamento, utilizando-se, desta maneira apenas 42,4% (386 poços).

Nesta estimativa, considerou-se uma vazão média anual por poço de $41,2 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$, estabelecida a partir da divisão do volume total explorado pelos 386 poços. Determinou-se, a seguir, para os 639 poços equipados e em funcionamento, um volume total da ordem de $26,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ explorados para os diversos fins. O abastecimento público consome mais da metade (55%) deste volume, e, quase 20% destina-se ao consumo industrial (tabela 3).

QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Do ponto de vista qualitativo, as águas dos diversos aquíferos da Região apresentam-se, geralmente, muito pouco mineralizadas, adequadas do ponto de vista de potabilidade, para utilização no abastecimento público, com aptidão para uso agrícola em irrigação, e sem restrições nos diversos processos produtivos da atividade industrial. Ocorrem, de forma isolada, alguns casos de águas com teores salinos excessivos em relação aos padrões desejáveis, observados em sua maioria nos poços que atravessam o Grupo Passa Dois, onde a presença de folhelhos e calcareos fornecem materiais solúveis em maior abundância, contribuindo para a salinização destas águas.

POTENCIAL DE EXPLORAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Considerando apenas o consumo de água atual para os abastecimentos público e industrial, da ordem de 300 milhões de m^3/ano , em toda a Região Administrativa de Sorocaba, verifica-se que a utilização de águas subterrâneas é bastante pequena atingindo um valor total estimado de 26,3 milhões de m^3/ano , correspondendo a menos de 9% daquele consumo.

No caso da Região 4, três fatores principais justificam a reduzida utilização das águas subterrâneas. Primeiro é a existência de uma rede hidrográfica que atende, em geral, quantitativa e qualitativamente as demandas até agora observadas.

O segundo fator está relacionado com as condições de ocorrência bastante heterogênea de dois dos quatro principais sistemas aquíferos: o Cristalino e o Turbarão, que se localizam em áreas de maior concentração da demanda. O aquífero Botucatu, de características homogêneas, ocorre em áreas de baixa concentração ocupacional e o Basalto que além deste fato, tem comportamento de aquífero eventual semelhante ao Cristalino.

O terceiro fator deve-se aos baixos índices de produtividade média dos poços da Região em praticamente todos os aquíferos, estando intimamente relacionado com o fator anterior: características heterogêneas e caráter eventual dos aquíferos, à exceção do Botucatu. Além disso, a grande maioria dos poços não obedece a qualquer critério hidrogeológico de locação e muitos apresentam características construtivas inadequadas, principalmente quanto à sua profundidade e revestimento.

A insignificância do volume de água subterrânea utilizado anualmente fica mais acentuada ainda quando comparação se faz com a recarga média multianual dos aquíferos da Região, representada por um volume de praticamente 10 bilhões de m³ de água por ano. Deste volume, apenas uma parcela, cujo montante é de difícil de terminação, seria possível aproveitar através de captação por poços tubulares profundos e outros métodos convencionais como cisternas, drenos e galerias. A razão da dificuldade de se quantificar esse volume potencial reside no fato de que em 63% da área da Região 4 ocorrem os aquíferos Cristalino e Tubarão os quais são extremamente heterogêneos. O Cristalino é um aquífero local e tem como principal característica a porosidade de fissuras, ou seja, toda a água circula pelo aquífero através de zonas limitadas por uma estrutura geológica condicionando zonas de rocha fraturada e ainda, por um horizonte superior do aquífero constituído pelas zonas de alteração das rochas cristalinas, que apresentam espessura e propriedades bastante variáveis. Estes aspectos limitam sobremaneira qualquer sistema de exploração do aquífero, uma vez que exigiria uma quantidade muito grande de poços, o que em muitas situações inviabiliza técnica e economicamente o aproveitamento da água. No aquífero Tubarão, a situação não é muito diferente no que diz respeito a quantidade de poços que seria necessária para explorar o aquífero em todo o seu potencial, uma vez que a sua heterogeneidade litológica implica numa permeabilidade descontínua tanto vertical quanto horizontal do aquífero.

Os potenciais de exploração da água dos poços a serem perfurados na Região estão associados diretamente ao tipo e características locais do ou dos aquíferos, conforme a situação, aos critérios hidrogeológicos de locação, e ao projeto adequado de cada poço. Levando em consideração estes aspectos, estabeleceu-se de forma generalizada para a Região as condições e estimativas dos potenciais dos diferentes aquíferos.

No aquífero Cristalino, de caráter eventual, descontínuo, com porosidade de fissuras e do tipo livre, os poços devem situar-se junto às estruturas geológicas, prevendo-se o aproveitamento quando ocorrem condições propícias, da zona alterada e semi-alterada da rocha a partir de 20 metros de espessura conjunta, além das fraturas nas zonas fissuradas da rocha sã. Não se recomenda o aprofundamento do poço acima do valor aproximado de 150 metros, a menos que aspectos geológicos-estruturais o justifiquem, sendo possível, desta forma, a obtenção de vazões da ordem de 5 a 60 m³/hora.

O aquífero Tubarão, de caráter regional, contínuo, com porosidade granular e do tipo livre a confinado, apresenta características hidrogeológicas heterogêneas marcantes. Assim, foi efetuado o zoneamento do aquífero em quatro áreas diferentes de ocorrência, de acordo com os perfis litoestratigráficos regionais previstos, determinando-se as seguintes características técnicas principais dos poços:

- a) Áreas de ocorrência da formação Tatuí: profundidades da ordem de 100 a 200 metros, geralmente necessitando de revestimento e com possibilidades de vazões da ordem de 10 a 100 m³/hora. Neste caso, o objetivo é a exploração da zona de ocorrência da formação Itararé superior sotoposta.

- b) Áreas de ocorrência da formação Itararé superior: profundidades de até 150 metros, geralmente necessitando de revestimento e com possibilidades de vazões da ordem de 10 a 80 m³/hora.
- c) Áreas de ocorrência da formação Itararé médio: profundidades variando entre 300 a 400 metros, geralmente sem necessidade de revestimento e com possibilidades de vazões da ordem de 5 a 20 m³/hora.
- d) Áreas de ocorrência da formação Itararé inferior: profundidades de até 300 metros, geralmente sem necessidade de revestimento e com possibilidades de vazões da ordem de 5 a 30 m³/hora.

O aquífero Botucatu, de caráter regional, contínuo e homogêneo, com porosidade granular e do tipo livre passando a confinado, permite a obtenção de vazões da ordem de 5 a 50 m³/hora nas áreas onde ocorre a predominância da formação Pirambóia para poços com profundidade de até 200 metros. Nas áreas de domínio da formação Botucatu, para poços com profundidade de até 300 metros, aproveitam-se também a formação Pirambóia, as vazões são da ordem de 20 a 150 m³/hora. Nas áreas onde o aquífero Botucatu ocorre confinado pela formação Serra Geral, os poços devem atravessar todo o basalto, penetrar o arenito em toda sua espessura, podendo eventualmente prosseguir nos arenitos da formação Pirambóia. Estes poços terão uma profundidade máxima de 500 metros e as vazões da ordem de 50 a 300 m³/hora.

No sistema aquífero Basalto, de caráter eventual, descontínuo, com porosidade de fissuras e do tipo livre, os poços devem situar-se junto às estruturas geológicas e com profundidades de até 150 metros. Nestas condições, os poços devem apresentar vazões entre 5 a 50 m³/hora.

Um quinto aquífero constituído pela formação Furnas, com reduzida ocorrência e restrita à porção oeste da Região, junto à divisa com o Estado do Paraná, não foi considerado no âmbito deste estudo em virtude da absoluta falta de dados de poços que permitissem avaliar seu potencial hidrogeológico.

CONCLUSÕES

Diante de um quadro hidrogeológico que apresentava até o ano de 1980, uma vazão média da ordem de 6 m³/hora entre todos os poços equipados e em funcionamento, não seria de se esperar, com este índice de produção tão baixo, maior desenvolvimento na exploração da água subterrânea. Entretanto, este valor de vazão média obtido está praticamente próximo do limite mínimo das vazões estabelecidas para os diferentes aquíferos da Região e avaliadas a partir das condições hidrogeológicas definidas para cada sistema, tornando perfeitamente viável o incremento do aproveitamento da água subterrânea.

O volume anual explorado em toda a Região 4 poderia ser aumentado em pelo menos uma dezena de vezes em qualquer dos aquíferos existentes, sem que isso traga problemas de recarga e manutenção dos volumes explorados, a exceção de locais onde ocorra alta concentração de exploração. Um incremento daquela ordem no volume explorado seria suficiente para atender a metade do consumo público e industrial, cuja demanda total é estimada em 570 milhões de m³ para o ano 2000.

Diante dos aspectos citados verifica-se a importância da continuidade dos trabalhos a um nível maior de detalhamento, tendo em vista otimizar o aproveitamento das águas subterrâneas como alternativa para solução de problemas de pe

quenas e mesmo médias demandas, principalmente em pequenas cidades, áreas restritas, empreendimentos industriais e agrícolas, e comunidades isoladas.

Nos casos em que a água subterrânea se apresenta como uma alternativa, é recomendável o desenvolvimento de uma avaliação hidrogeológica detalhada da área de interesse, com utilização do mapeamento geológico 1:50.000 ou 1:100.000 existente para praticamente toda a Região 4, além de foto-geologia e em particular da geofísica, através do método da eletro-resistividade, nas áreas de ocorrência do aquífero Tubarão. Caberia ainda uma avaliação das condições da recarga e do efeito do bombeamento intenso em áreas específicas, com base nos subsídios fornecidos neste estudo e em observações locais obtidas nos estudos detalhados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUSTODIO, E.G. & LLAMAS, M.R. - 1976: Hidrologia Subterrânea. Ediciones Omega, Barcelona, 2 volumes.
- DAEE - Dez. 1982: Estudos de Águas Subterrâneas - Região Administrativa 4 - Sorocaba. DAEE, DP - São Paulo.
- DAEE/UNESP - 1982: Mapeamento Faciológico do Super Grupo Tubarão. esc. 1:50.000. DAEE, DP - São Paulo.
- IBGE - 1980: Sinopse Preliminar do Censo Demográfico, 1980.
- SOARES, P.C. et al - 1977: Associações Litológicas do Sub-Grupo Itararé e sua Interpretação Ambiental. Rev. Bras. Geoc., 7 (2): 131-149.



FIGURA 1. DIVISÃO ADMINISTRATIVA DA REGIÃO 4 – SOROCABA

ERA	IDADE em milhões de anos	PERÍODO	GRUPO	FORMAÇÃO	ESPESSURA MÁXIMA (m)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENOZOICA	2	QUATERNÁRIO		Formações superficiais, aluvionares, colúvionares e terrços fluviais	60	Arenitos lamínicos inconsolidados, com níveis de lamitos e conglomerados na base.	Continental: fluvial, lacustre e coluvionar
	65	TERCIÁRIO	BAURU	MARÍLIA	100	Arenitos grosseiros conglomeráticos lamitos vermelhos e calcários.	Continental fluvial, clima árido.
MESOZOICA	100	CRETÁCEO	SUP	SERRA GERAL	150	Basaltos	extrusivo
	INF		INTRUSIVAS BÁSICAS	250	Diabásios (diques e sills)	Vulcanismo intrusivo	
	140	JURÁSSICO	BENTO	BOTUCATU	150	Arenitos bem selecionados com pouca matriz lamítica.	Continental: eólico
	195	TRIÁSSICO		PIRAMBÓIA	300	Arenito fino com matriz lamítica e níveis de lamitos	Continental: flúvio-lacustre
225	PASSA DOIS		CORUMBATAÍ	250	Siltitos, lamitos, níveis de arenitos finos.	Misto: lacustre e planície de maré.	
PALEOZOICA	280	PERMIANO	SUP	IRATI	70	Siltitos, calcários dolomíticos e folhelhos.	Marinho: lagoas e planície de maré.
			MED.	TATUÍ	100	Siltitos, siltitos arenosos e arenitos muito finos avermelhados.	Misto: planície de maré e delatício.
		CARBONÍFERO	SUP	ITARARÉ	1200	Arenitos finos a grosseiros lamínicos, lamitos, siltitos, ritmitos e diamictitos.	Continental: glacial, fluvial e lacustre.
			INF				
345	DEVONIANO	PARANÁ	FURNAS	180	Arenitos finos a grosseiros feldspáticos, lentes de argila na base.	Marinho	
PROTEROZOICA	>600	PRÉ-CAMBRIANO		EMBASAMENTO CRYSTALINO		Granitos, migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos.	

FIGURA 2. COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ NA REGIÃO ADMINISTRATIVA DE SOROCABA.

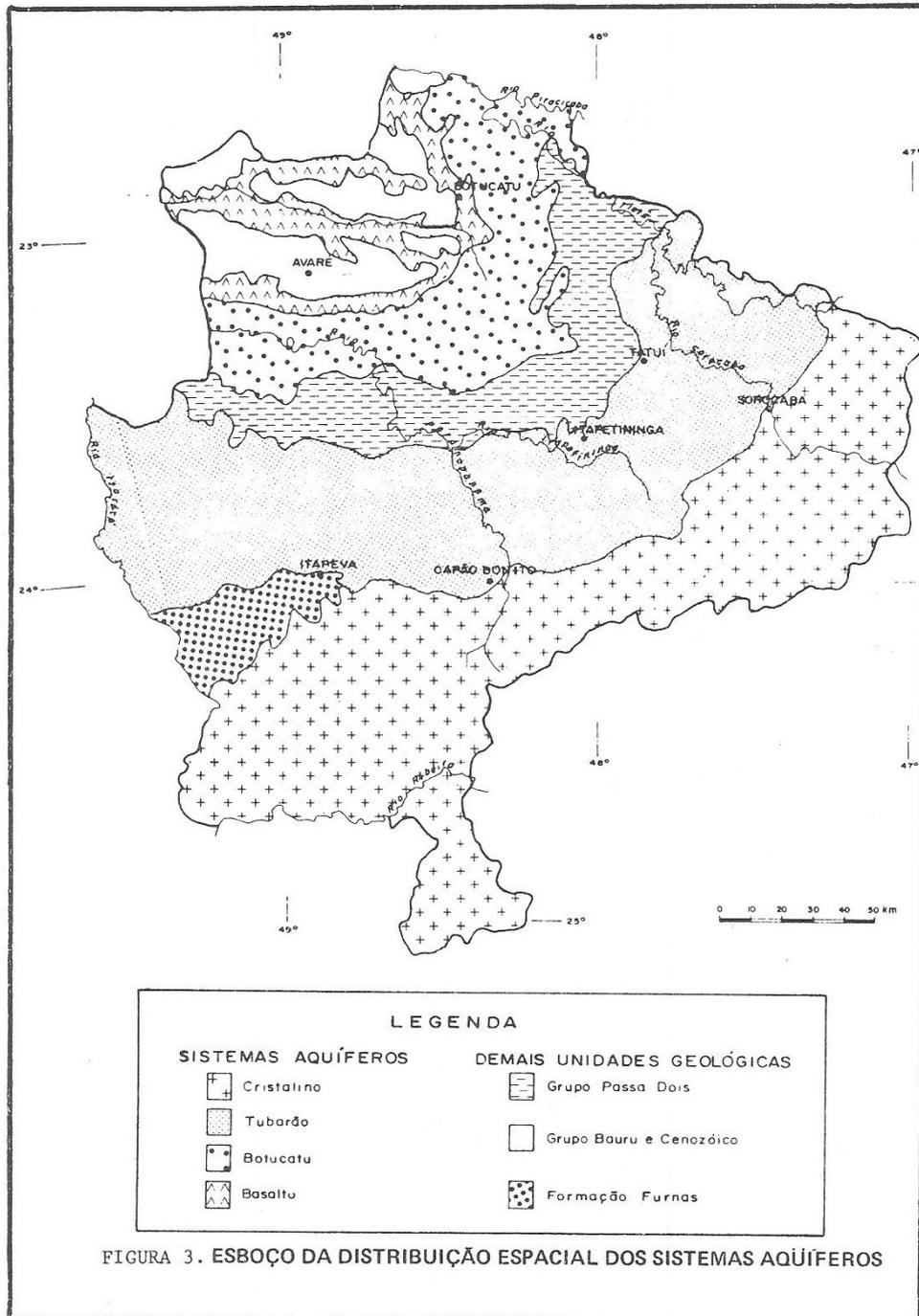


TABELA 1 CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS

AQUÍFERO	UNIDADES GEOLÓGICAS	LITOLOGIA	TIPO	POROSIDADE	OCORRÊNCIA	ÁREA DE OCORRÊNCIA (km ²)
Cristalino	Complexo gnáissico migmatítico, grupo Açungui, faixas cataclásticas.	Granitos, gnaisses migmatíticos, anfibolitos, xistos, quartzitos e filitos.	Livre	De fissuras	Descontínuo, heterogêneo, anisotrópico.	12 650
Tubarão	Subgrupo Itararé, formação Tatuí.	Arenitos finos a grosseiros, geralmente lamíticos, lamitos e diamictitos; siltitos.	Localmente confinados ou semi-confinados; regionalmente livres, passando a confinado.	Granular	Localmente heterogêneo e anisotrópico; regionalmente heterogêneo e isotrópico; contínuo.	12 850
Botucatu	Formação Botucatu, formação Pirambóia.	Arenitos eólicos e fluviais	Regionalmente livre passando a confinado.	Granular	Homogêneo, isotrópico, contínuo	3 400
Basalto	Formação Serra Geral.	Basaltos.	Regionalmente livre; localmente livre a semi-confinado.	De fissuras	Heterogêneo e anisotrópico.	2 200

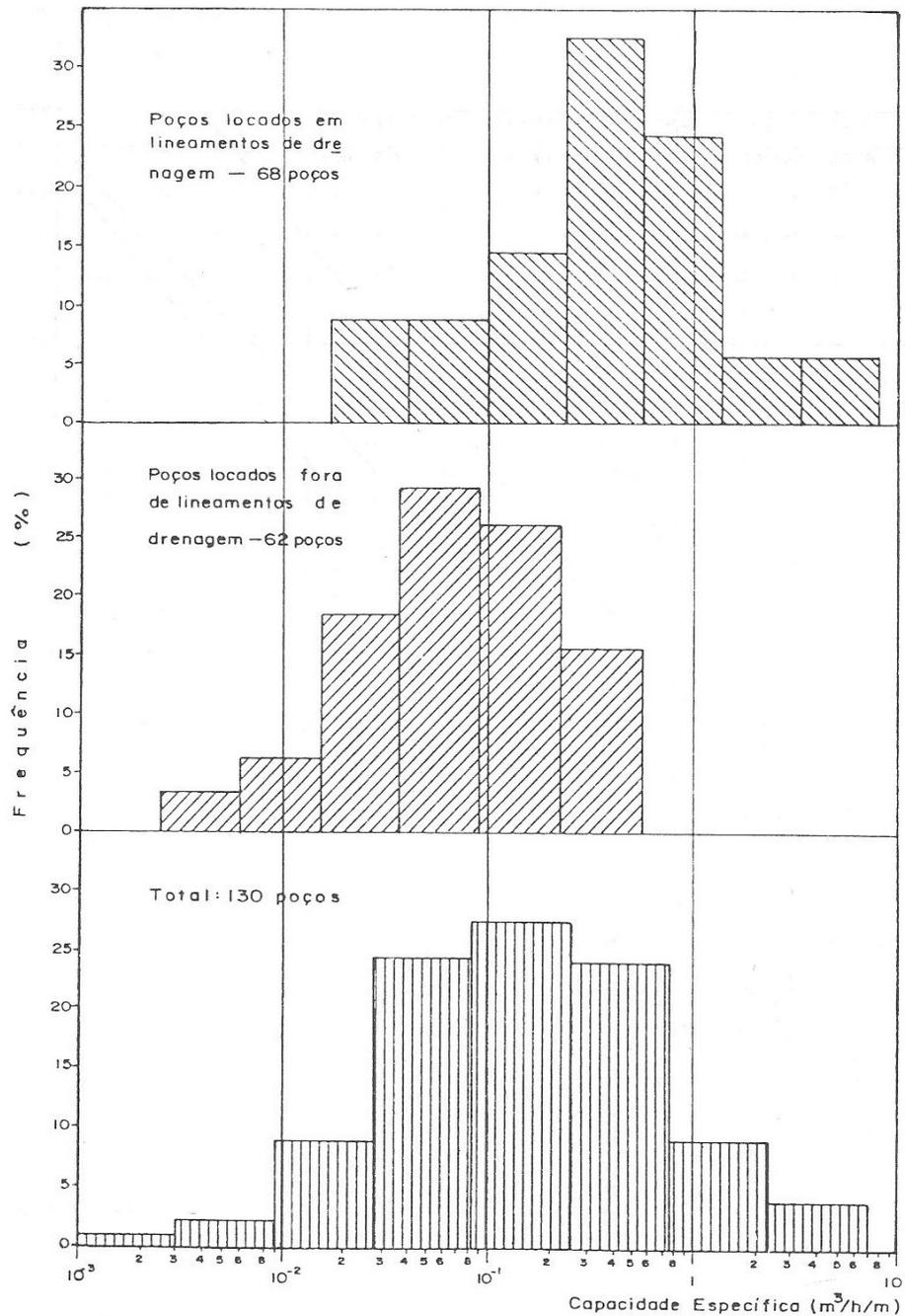


FIGURA 4 DISTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS PARA O AQUIFERO CRISTALINO

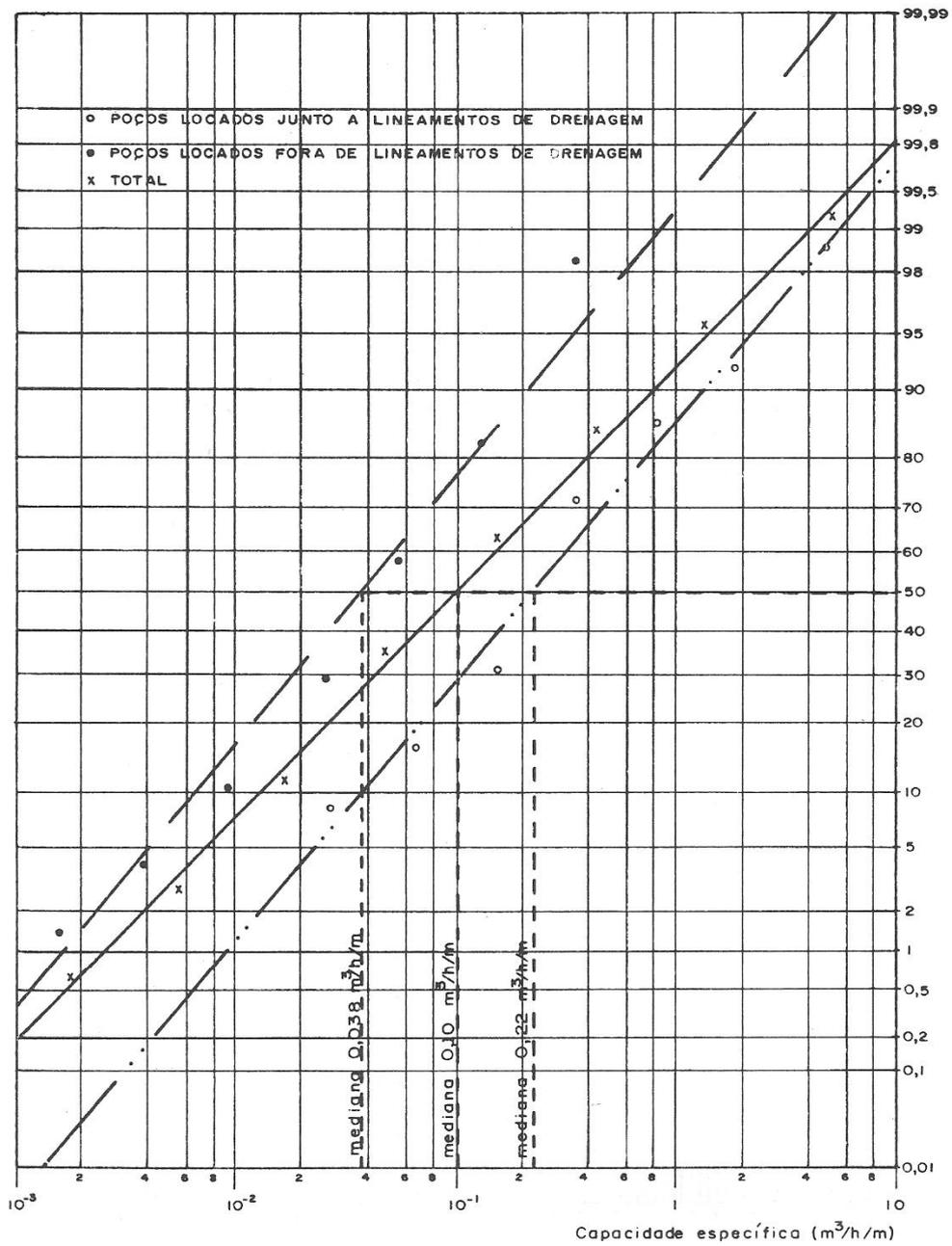


FIGURA 5. CURVA ACUMULATIVA DE PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA CAPACIDADE ESPECÍFICA PARA O AQUIFERO CRISTALINO

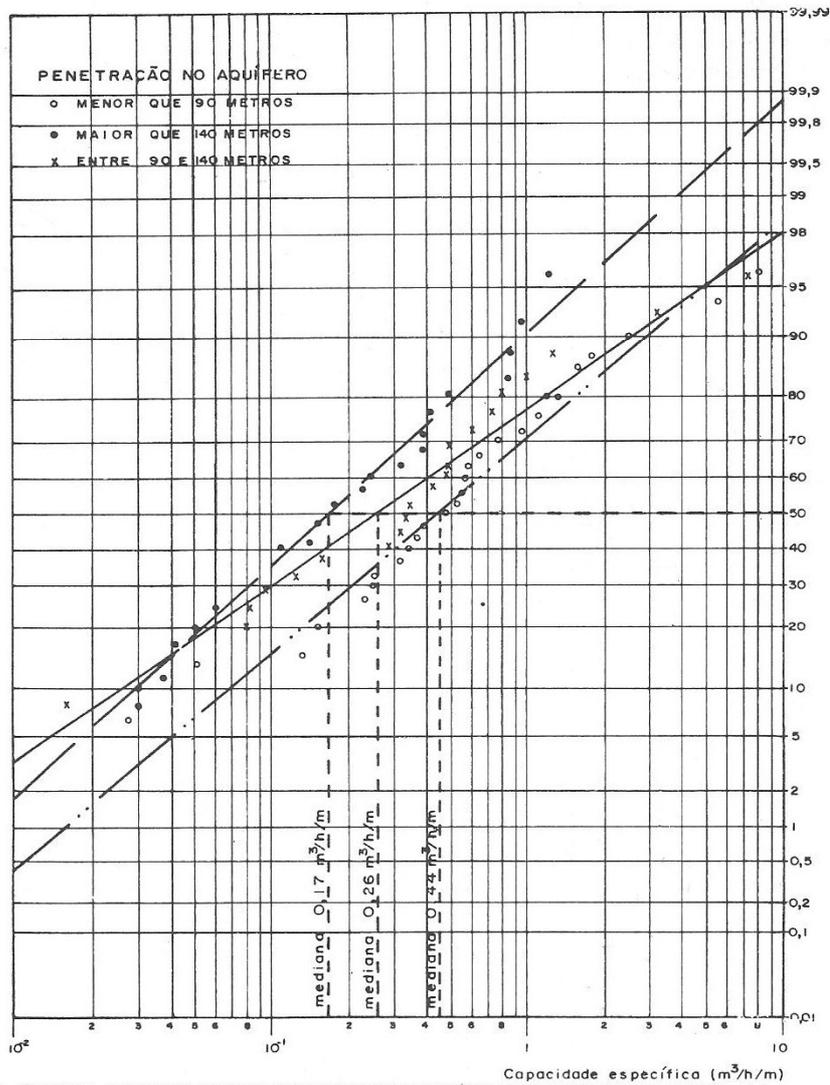


FIGURA 6. CURVA ACUMULATIVA DE PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA CAPACIDADE ESPECÍFICA, SEGUNDO A PENETRAÇÃO, DOS POÇOS LOCADOS EM LINEAMENTOS DE DRENAGEM, DO AQUIFERO CRISTALINO.

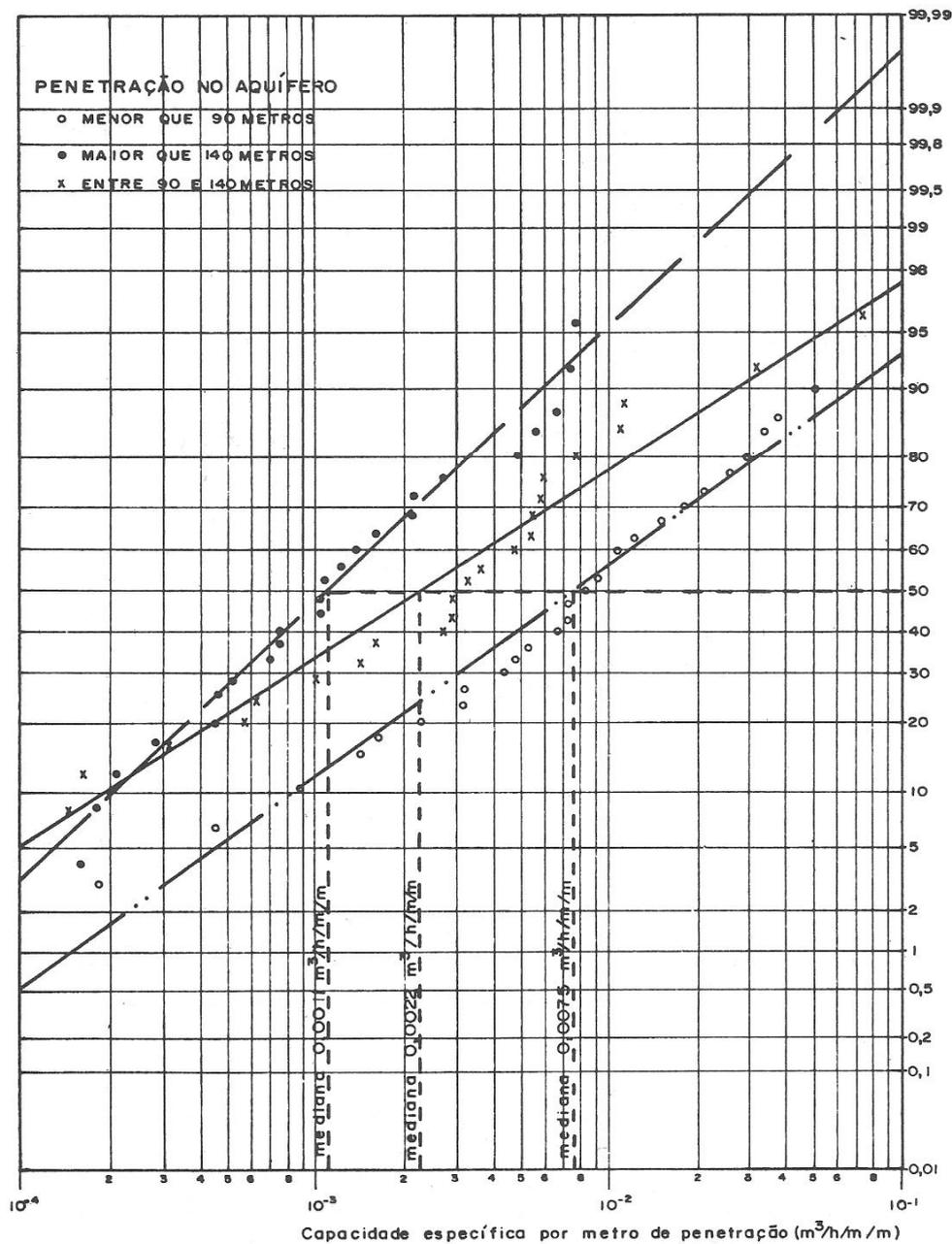


FIGURA 7. CURVA ACUMULATIVA DE PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA CAPACIDADE ESPECÍFICA POR METRO DE PENETRAÇÃO, SEGUNDO A PENETRAÇÃO, DOS POÇOS LOCADOS EM LINEAMENTOS DE DRENAGEM, DO AQUIFERO CRISTALINO

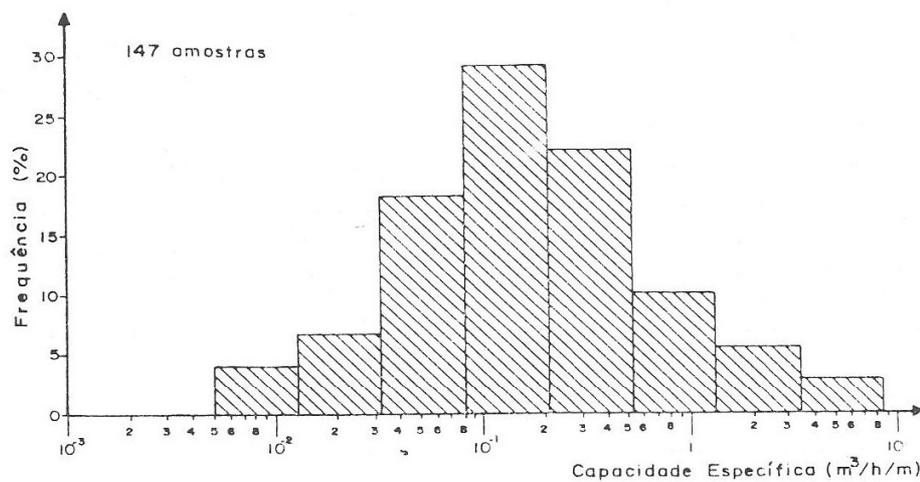


FIGURA 8 DISTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS DO AQUIFERO TUBARÃO

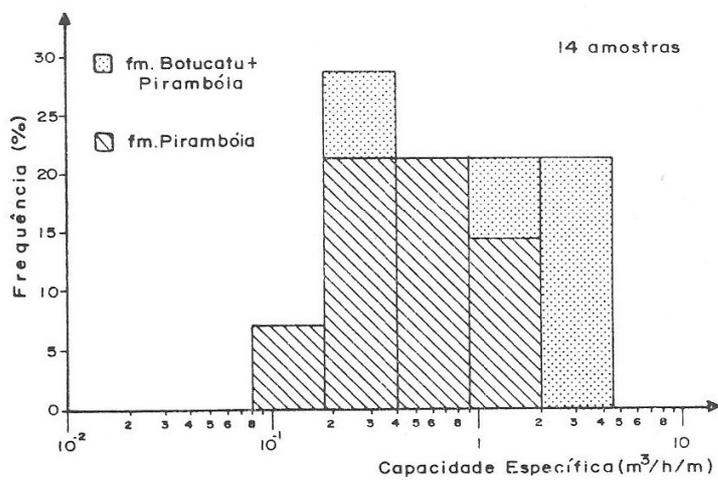


FIGURA 10 DISTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS DO AQUIFERO BOTUCATU

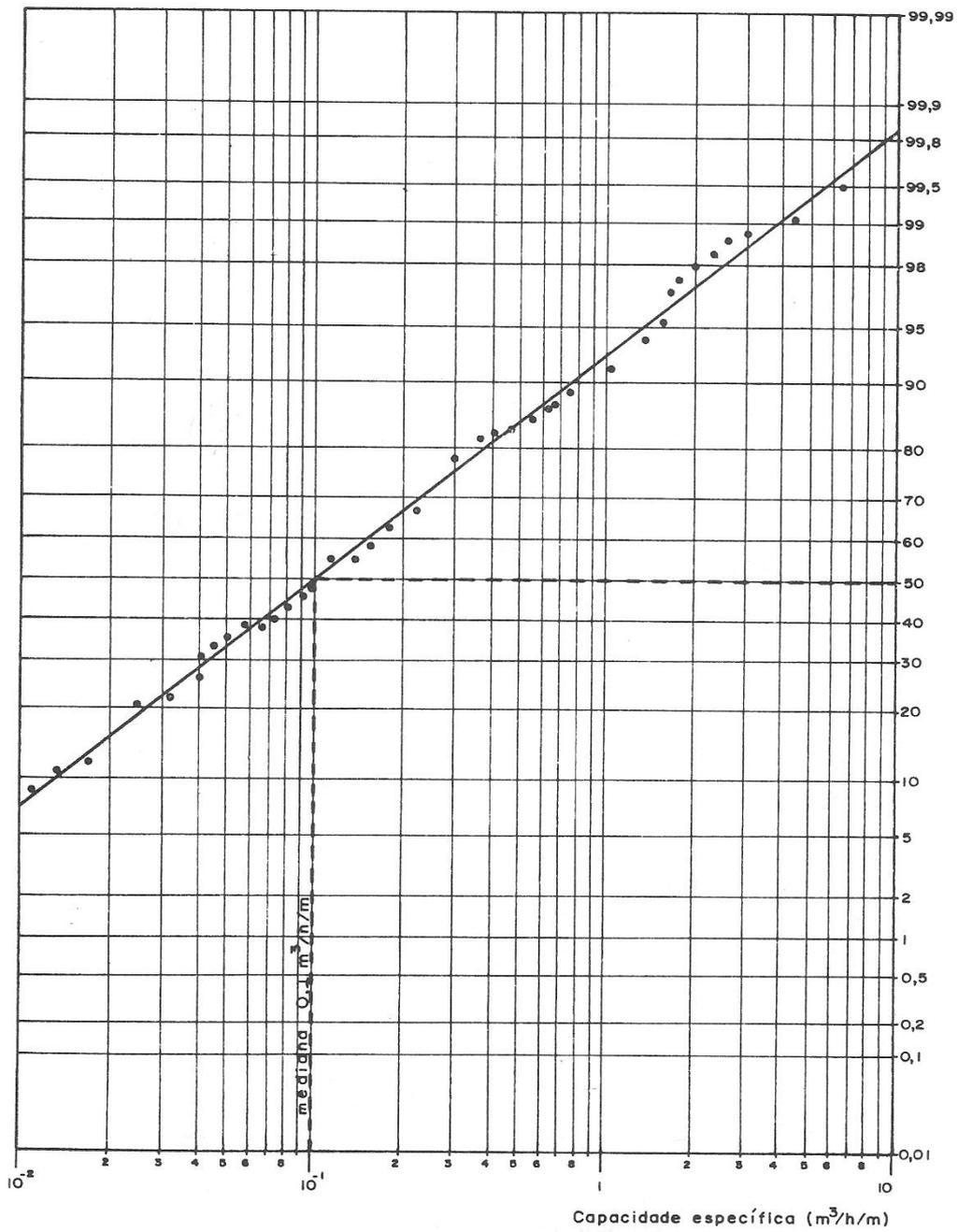


FIGURA 9. CURVA ACUMULATIVA DE PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA CAPACIDADE ESPECÍFICA PARA O AQUÍFERO TUBARÃO

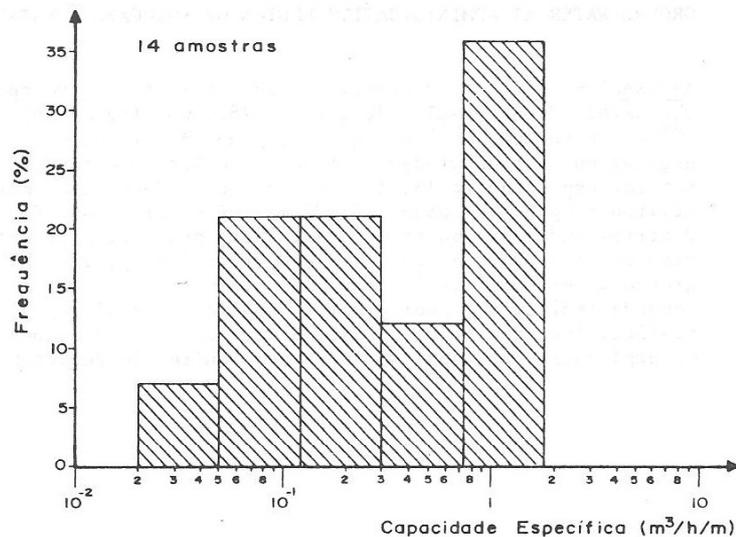


FIGURA 11 DISTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POCOS DO AQUÍFERO BASALTO

TABELA 2 DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS, POR AQUÍFERO.

SISTEMA AQUÍFERO	NÚMERO DE POÇOS	FREQÜÊNCIA %
Não definido	260	28,6
Cristalino	232	25,5
Tubarão	233	25,6
Botucatu	5	0,5
Basalto	35	3,9
Tubarão/Cristalino	52	5,7
Outros	93	10,3
Total	910	100,0

TABELA 3 CONSUMO DE AGUA SUBTERRANEA SEGUNDO O USO EM 1980

TIPO DE USO	FREQÜENCIA %	VOLUME 10³ m³
Público	55,0	14 497
Industrial	19,2	5 061
Particular múltiplo	8,0	2 107
Particular doméstico/sanitário	7,9	2 082
Consumo animal	1,0	264
Recreação	0,2	53
Sem informação	8,7	22 293
Total	100,0	26 357

GROUND WATER AT ADMINISTRATIVE REGION OF SOROCABA - ESTADO DE SÃO PAULO

ABSTRACT -- The last Regional Ground Water Study developed by DAEE at the Estado de São Paulo, during 1981/82, was the Administrative Region n^{er} 4 - Sorocaba, ending a general plane of ground water resource evaluation in acknowledgment level. The Region extend for about 40.000 Km² corresponding to 16,2% of the state surface, with more than 1,5 million people, and about 27 m³/sec. of water demand for irrigation, industries and municipalities uses. The ground water is obtained from the main aquifers of Paraná basin and Cristaline province. Utilization of ground water consists in a viable alternative for little or mean demands, mainly for public water supplies. The hidrogeologic characteristics, the present withdrawn, potential resources, and perspectives of exploration are analysed for each aquifer in Region n^{er} 4.