

POTENCIAL DO AQUIFERO BOTUCATU NA REGIÃO DE ARARAQUARA - SP

POR

J. Piuci* e H.C.N.S. Campos*

RESUMO -- O presente trabalho visa ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos que regulam parte do abastecimento público da cidade de Araraquara, fornecendo informações para auxiliar projetos de captações de água subterrânea, de modo a viabilizar o uso desses recursos como alternativa de suprimento da demanda atual e futura. As atividades desenvolvidas consistiram na atualização do cadastro dos poços existentes, mapeamento geológico, sondagens elétricas verticais, cálculo das partes do ciclo hidrológico e estimativa da evolução da demanda de água. O aquífero Botucatu na área mergulha para N, sob rochas basálticas da Formação Serra Geral, constituindo um pacote de sedimentos com espessura total estimada de 230 a 250 m. Os basaltos aumentam de espessura na direção N e chegam a atingir 180 m de capeamento na área. Dos 52 poços cadastrados, 64% (33 poços) exploram o aquífero Botucatu. As profundidades do topo do aquífero, nas partes confinadas, aumentam para N (até 250 m). As vazões específicas variam predominantemente no intervalo de 3,0 a 6,0 m³/h/m. O balanço hidrológico simplificado mostra que 18%(243 mm) da precipitação média anual, alimenta as reservas sazonais do aquífero, nas partes aflorantes. O consumo atual de água é de 430 l/s, dos quais 360 l/s, provêm de captações superficiais, cujo sistema já se encontra no limite. A demanda prevista para o final desta década é de 574 l/s, devendo haver um incremento significativo na exploração de água subterrânea. Poços profundos, construídos com técnicas adequadas para a exploração do aquífero Botucatu, poderão fornecer vazões de 200 a 250 m³/h de água por poço.

INTRODUÇÃO

A microregião de Araraquara é área de ocupação antiga, cafeeira e depois pecuária, em transformação. Observa-se a crescente substituição da pecuária leiteira e de corte pela lavoura e pela citricultura, que anima algumas indústrias, e uma tendência a maior integração ao conjunto metropolitano. Nos anos mais recentes, a lavoura de cana para finalidades de produção de álcool substituiu outros tipos de ocupação dos solos em extensões significativas.

Existe, em toda extensão da microregião, uma tendência natural para a utilização dos recursos hídricos subterrâneos no abastecimento das cidades e núcleos de população dos municípios. O uso crescente das águas subterrâneas-particularmente aquele destinado ao abastecimento público-implica obrigatoriamente no conhecimento detalhado das potencialidades dos aquíferos. Isso objetiva a procura da otimização do binômio custo-productividade e, fundamentalmente, compreender a evolução e o comportamento desses recursos, para que seu uso, e o constante incremento deste, possa se dar de forma ordenada e sem riscos de comprometer sua natureza.

O conhecimento hidrogeológico atual de Araraquara não é suficientemente detalhado para o uso ideal de seus sistemas aquíferos, implicando na maioria das vezes

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

zes, em custos nem sempre adequados e rendimentos aquém das possibilidades reais-naturais de exploração dessas reservas aquíferas.

Foi identificada a existência de três sistemas aquíferos, atualmente explorados: Grupo Bauru, Formação Serra Geral e Formação Botucatu-Pirambóia, sendo que no presente estudo foi dado especial destaque para este último, por ser ele o mais importante para o abastecimento da cidade. Na sequência dos estudos hidrogeológicos de Araraquara, etapas foram sendo conhecidas, atacadas e superadas, em função disso novas frentes de investigação foram sendo detectadas como necessárias de serem enfrentadas para ampliar os níveis de conhecimento.

A primeira etapa deste trabalho - e com certeza a mais importante e fundamental - foi a pesquisa realizada nas fichas de poços cadastrados em anos anteriores por equipes do DAEE. Essas informações encontram-se arquivadas e a disposição dos interessados no setor de informática.

Plotando esses poços em base cartográfica do IBGE (SF-22-X-D-VI-1; 2; 3 e 4/esc. 1:50.000) e com uso de fotografias aéreas convencionais, imagem de satélite e mapas geológicos existentes, construiu-se seções hidrogeológicas preliminares. A observação destas seções foi suficiente para concluir pela necessidade de se completar e enriquecer esses conhecimentos inclusive com trabalhos de campo.

O plano de trabalho que se traçou consistiu em atualizar o cadastramento já existente com poços ainda não conhecidos, se fazer um mapa geológico na esc. 1:50.000 através de perfis de poços e afloramentos das formações geológicas e se enriquecer esse mapa geológico através de sondagens eletroresistivas - já que se tinha, no DAEE, equipamento e pessoal especializado disponível para isso. A partir do momento em que se estabeleceu essas novas etapas de investigação, passou-se a elas, sistematicamente.

Para facilitar a compreensão da variabilidade espacial dos dados geológicos e hidráulicos, foram elaboradas superfícies de tendência (programa TRENDSUP) com o contorno estrutural da Formação Botucatu, a espessura do basalto, a capacidade específica e a superfície piezométrica, a partir dos dados na tabela 3.

No que tange as dificuldades para se levar a cabo o presente estudo globalizador, temos, em particular, a pesquisa relacionada com as superfícies piezométricas. Problemas ligados ao estudo dessas superfícies dizem respeito aos bloqueamentos existentes nos poços, impedindo a medida de seus níveis d'água e ao fato de estarem com seus cones de rebaixamento em pleno funcionamento, não permitindo que possamos conhecer seus níveis estáticos - a menos que se faça um desligamento de suas bombas durante tempo suficiente para haver recuperação representativa. Isso porque, infelizmente não existem piezômetros para registrar as variações dessas superfícies.

No estudo da evolução do uso de águas subterrâneas em substituição aos recursos de superfície, é possível criar-se um modelo analógico válido para muitas cidades do Estado de São Paulo que estão dentro dos mesmos moldes de desenvolvimento. Assim sendo, esta pesquisa em Araraquara poderá vir tornar-se um exemplo a ser seguido por pesquisadores e técnicos ligados a recursos hídricos. Isso permitiria planejar globalmente e acompanhar sistematicamente a evolução desses recursos naturais prevenindo eventuais colapsos nos sistemas de abastecimento em anos hidrológicos difíceis.

Além de cuidar para que esses recursos não venham sofrer contaminações perigosas de difícil reversão, principalmente nas regiões de afloramento da Formação Botucatu-Pirambóia.

GEOLOGIA

A geologia é descrita atendo-se somente às formações geológicas que possam caracterizar-se como aquífero, mapeadas conforme a figura 4.

A cidade de Araraquara esta assentada, em sua maior parte, sobre sedimentos areno-lamíticos da Formação Adamantina com espessura estimada em algumas dezenas de metros. Nas outras partes, a cidade assenta-se sobre derrames basálticos da Formação Serra Geral identificada principalmente pela presença de solo vermelho argiloso com espessura aproximada de 20 a 30 m que é característico da alteração do basalto.

Na parte periférica da cidade, à SE e SW, acompanhando a sequência estratigráfica, subjacentes aos derrames, afloram arenitos eólicos da Formação Botucatu, que sobrepostos aos lamíticos flúvio-lacustres da Formação Pirambóia, constituem um pacote de sedimentos clásticos psamíticos com espessura total variando de 230 a 250 metros.

Em várias perfurações foi registrada a ocorrência de sill (às vezes com espessura aproximada de 10m) dentro do pacote de arenito/Botucatu-Pirambóia, além do sill que ocorre no contato entre as Formações Pirambóia e Estrada Nova.

A Formação Pirambóia (Grupo São Bento) assentada discordantemente sobre a Formação Estrada Nova, tem características genéticas flúvio-lacustres com depósitos de canal e de planícies de inundação incluindo arenitos finos a médios, friáveis, avermelhados, sílico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano paralela, lamitos e arenitos-argilosos de cores variadas e raras intercalações de natureza areno-conglomerática.

A Formação Botucatu (Grupo São Bento) é constituída por arenitos eólicos avermelhados, de granulação fina a média, bem selecionados, friáveis e com estratificações cruzadas de médio a grande porte, depósitos fluviais restritos de natureza areno-conglomerática e camadas localizadas de siltitos e argilitos lacustres.

A Formação Serra Geral (Grupo São Bento) é constituída por rochas vulcânicas-toleíticas de derrames basálticos, com espessuras variáveis de algumas dezenas de metros, de coloração cinza a negra, podendo ocorrer intercalações de arenitos intertrap, finos a médios, de estratificação cruzada tangencial. Análise do mapa da distribuição da espessura total dessas rochas basálticas (fig. 6) mostra duas tendências principais de espessamento: uma com direção NW e outra com direção NE, podendo atingir 180 m na porção norte da cidade de Araraquara.

A Formação Adamantina (Grupo Bauru) é constituída por depósito flúvio-lacustres com predominância de arenitos finos e muito finos, cores creme e vermelho, as vezes com cimentação e nódulos carbonáticos e lentes de siltitos arenosos e argilitos, ocorrendo em bancos maciços, podendo apresentar estratificação plano paralela e cruzada de pequeno a médio porte.

Ocorrem ainda, aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calhas e/ou terraços.

Controle estrutural da Fm. Botucatu

O topo da Fm. Botucatu apresenta-se de modo particularmente interessante.

Enquanto em alguns locais essa formação arenosa está aflorando em cotas de 720m, em outros ela está coberta em cotas de 450 m por basaltos que chegam a atingir uma ou duas centenas de metros de espessura. Essa diferença de cotas é resultado de mergulhos relativamente fortes desses arenitos, nas direções NENW (fig. 5), que implicam em pelo menos duas interpretações hipotéticas distintas.

Uma maneira simples de ser entendido o comportamento espacial do topo desses arenitos é considerar as duas hipóteses prováveis, separadamente: 1ª) a deposição da Fm. Serra Geral recobriu um páleo relevo da Fm. Botucatu, com diferença de cota na ordem máxima de três centenas de metros. Isso é possível, quando se considera que o deserto de Botucatu apresentava pacotes de dunas com mais de uma centena de metros de altitude. Assim sendo, o contato entre a Fm. Serra Geral e a Fm. Botucatu na parte E-SE de Araraquara (Córrego das Furnas) seria do tipo "contato de borda normal" com derrames basálticos sobrepostos ao arenito eólico; 2ª) movimentação tectônica (por provável arqueamento) provocando basculamento de blocos por falhamentos normais (falha de gravidade) facilitou as exposições atuais do arenito Botucatu na parte SE e SW da cidade de Araraquara. Nesse caso, as principais direções dessas falhas normais seriam de N45-60E, onde se encaixariam a drenagem do córrego das Furnas e ribeirão das Cruzes; o ribeirão do Ouro estaria encaixado em falhas com direção N20-30E e o Rio Chibarro em direções E-W, predominantemente, com desvios para N45W.

Sondagens elétricas verticais -- A geofísica é uma ferramenta de trabalho muito importante nas investigações hidrogeológicas. Porém, quando não se tem o conhecimento geológico da região estudada, essa ferramenta se torna bastante limitada.

Para auxiliar os estudos de águas subterrâneas, o método eletroresistivo tem sido largamente aplicado com resultados excelentes. A grande vantagem das investigações por eletroresistividade é o baixo custo que esse método dispense, possibilitando obtenção de parâmetros bastantes representativos de situações hidrogeológicas potencialmente duvidosas.

Por exemplo: com equipamento nacional (PERGEO ER - 300 - Resistivímetro/Volímetro, com espaçamento AB/2 variando de 1 a 400 metros e arranjo tipo Schlumberger, já amortizado) é possível uma definição expedita em campo - as vezes em apenas 1 ou 2 dias - para saber sobre as potencialidades de sistemas aquíferos onde se tem pretensão de perfuração de poços.

Na região de Araraquara, essa ferramenta de trabalho foi e continua sendo usada, trazendo resultados plenamente satisfatórios. Para o presente trabalho foram realizadas 10 sondagens elétricas verticais com esse equipamento citado, pertencente ao DAEE.

As sondagens elétricas verticais em locais onde a Formação Botucatu não está capeada por rochas basálticas, apresentam características que permitem agrupá-las em família de curvas com duas partes distintas e fundamentais, aqui denominadas de zonas geoeletricas. A primeira zona geoeletrica da curva, formada pelo primeiro ramo ascendente e início do primeiro ramo descendente, representa o horizonte de sedimentos insaturados (zona de aeração) com espessuras maiores (até 48,0 m) nas topografias mais elevadas e menores (1,5 a 5,0 m) nas partes mais próximas ao freático. Nessa primeira zona geoeletrica a resistividade média varia entre 850 a 13.750 Ohm.m, sendo que em várias curvas é possível separá-la em três partes distintas: zona das raízes (zona de água do solo) geralmente com as resistividades menores; zona intermediária de altas resistividades e zona capilar (transição para o freático).

A segunda zona geolétrica da curva, formada pelo primeiro ramo descendente, caracterizada por resistividades bruscamente menores (50 a 300 Ohm.m), representa a zona de saturação dos arenitos com altas porosidades efetivas. A localização desse horizonte aquífero com espessura variando entre 50 a 200 m - favorece sobremaneira a colocação dos filtros em poços tubulares.

Em várias sondagens é possível distinguir uma terceira zona geolétrica, caracterizada pelo último ramo ascendente da curva e que apresenta aumento de resistividade (da ordem de 600 a 2.300 Ohm.m). Esses casos estão sendo interpretados como sendo partes do sistema aquífero Botucatu, onde as porosidades efetivas são menores, devido provavelmente ao fenômeno da silicificação desses arenitos.

Da campanha geofísica realizada na região, deve-se fazer ainda as seguintes observações: a) ER 300 não tem potência suficiente para atravessar camadas de basalto quando são pouco alterados e/ou muito espessos, de tal modo que nessas circunstâncias geológicas a informação útil que poderá ser aproveitada diz respeito ao tipo de cobertura (p.e.: Grupo Bauru; solo residual; aluviões) que capeia a rocha. Esse tipo de limitação implica no mesmo raciocínio também para as partes da região onde a Formação Botucatu está suficientemente cimentada pelo fenômeno da silicificação, a ponto de reduzir bruscamente a porosidade efetiva; b) AB 600 m implica que as investigações têm limite teórico de profundidade na ordem de grandeza de 300 m, porém na prática tem-se conseguido investigar profundidades entre 150 a 200 m, assim sendo, as informações necessárias para poços mais profundos ficam limitadas às partes superiores dos materiais geológicos a serem perfurados; c) algumas sondagens realizadas nos períodos vespertinos são prejudicadas por fenômenos interferentes de natureza provável magneto-telúrica.

BALANÇO HÍDRICO

Segundo a classificação climática de Koeppen, Araraquara compreende clima tropical úmido do tipo Cwa, o que significa fluxo médio da água no solo, de cima para baixo, pois a precipitação sobrepuja a evapotranspiração em regiões de clima úmido (Setzer, 1972).

Os dados de temperaturas registradas no período 1975-1982 em termômetro de MAX. e MIN. diária, instalado no prédio da Anderson Clayton S.A., fornecidos pela Delegacia Agrícola de Araraquara da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, indicam temperaturas médias de 18,4°C para o mês mais frio (JUN), 27,8°C para o mês mais quente (FEV) e média anual de 23,4°C.

As médias mensais de direção do vento (SE-NW), obtidas regionalmente no "Diagnóstico Básico do Plano de Irrigação do Estado de São Paulo", indicam que as massas de ar que atingem Araraquara são sempre provenientes da Costa Atlântica.

Dados de umidade relativa e insolação são importantes em trabalhos de pesquisa mais específicos e detalhados, particularmente para o cálculo do balanço hídrico, porém ainda não foram conseguidos.

O conhecimento do ciclo hidrológico permite o cálculo do balanço hídrico de uma determinada bacia hidrográfica. As partes do balanço hídrico podem ser equacionadas em: P (precipitações); E (evaporação); T (transpiração); R (escoamento superficial); G (escoamento subterrâneo); I (infiltração) e S (armazenamento). De tal modo, é possível um equilíbrio na bacia onde: $P=E+T+R+G+S$.

A bacia do rio Jacaré-Guaçu (cód. DAEE 211600), afluente da margem direita do Tietê, faz parte da segunda zona hidrográfica do Estado de São Paulo, e sua área total é de 3.330 km².

O estudo do balanço hídrico dessa bacia foi feito apenas em área parcial de 2.430 km², que é a área de drenagem, com dados de vazões passíveis de serem computados. Dessa área de estudo, cerca de 1.000 km² são de arenito Botucatu, uns 520 km² são de terrenos basálticos, 650 km² de arenito Bauru, uns 160 km² de diabásios dos sills do mesmo magma basáltico e uns 100 km² de aluviões recentes.

As precipitações (P) registradas (período 1941 a 1970) naquela área da bacia nos postos pluviométricos de Araraquara (USINA GAVIÃO PEIXOTO C5-016; USINA CHIBARRO-C.P.F.L. C5-017; ESTAÇÃO-C.P. C5-019), São Carlos (ESTAÇÃO-C.P. D4-015; 7º DISTRITO METEOROLÓGICO D4-017) e Ribeirão Bonito (CASA DA LAVOURA D5-003), permitem concluir que as mesmas são regulares, sazonais e distribuídas em duas estações bem definidas no ano hidrológico: máximas no verão (estação chuvosa - outubro a março - 1.116 mm) e mínimas no inverno (estação seca - abril a setembro - 228 mm) e média anual de 1.344 mm. Essas precipitações totalizam um volume médio anual de 3.266×10^6 m³.

A evapotranspiração (E+T) é medida através de vários métodos, que tem sido desenvolvidos baseados em diferentes princípios. Um método natural, capaz de dar resultados bastante aceitáveis, consiste em se determinar a diferença entre a quantidade de água que entra na bacia com a chuva e a que sai pelo escoamento, essa diferença constitui a evapotranspiração procurada.

Assim, partindo da equação $E+T=P-(R+G)$, calcula-se uma evapotranspiração média anual de 2.494×10^6 m³, significando 76% das águas precipitadas. O restante das precipitações (24%) servem para alimentar o escoamento superficial e subterrâneo.

Os dados de vazões da bacia - computados em seu ciclo hidrológico - foram registrados no posto Faz. Candoca - USINA CPFL com prefixo 5C-14. Outros postos fluviométricos (5C-13 e 5C-21), foram instalados (em 04/1969 e 11/1970) a jusante do posto anterior, mas embora estejam ativos, seus dados ainda não estão analisados.

Na área de drenagem da bacia acima do posto 5C-14, com dados de 22 anos (1939 a 1961) analisados e publicados no Boletim Fluviométrico nº 5 (São Paulo, 1976), temos a vazão total (R+G) média anual de 772×10^6 m³.

O escoamento superficial (R) se dá substancialmente durante a estação chuvosa quando são formadas as exurradas que aumentam bastante a soma da vazão total de escoamento (R+G) porém sem contribuir significativamente com o escoamento subterrâneo (G). Na estação seca, ao contrário, as poucas precipitações encontrado nos solos não saturados, provocam praticamente o mínimo de escoamento superficial (R).

Para o cálculo do escoamento subterrâneo (G) anual (590×10^6 m³) dessa bacia, considerou-se a média ($49,2 \times 10^6$ m³) das vazões totais mensais (JUN; AGO; SET; OUT e NOV) que são os meses quando a contribuição de escoamento superficial (R) pode ser desprezível.

Assim, é possível que o escoamento subterrâneo (G) esteja representado por 76,4% do escoamento total (R+G) e por 18,1% da precipitação pluvial (P).

No cálculo do balanço das águas na bacia, a infiltração (I) funciona como equivalente ao armazenamento (S), e isso é verdadeiro também quando se diz inversamente.

Admitindo-se que o aquífero esteja em equilíbrio dinâmico aproximado, o volume de água infiltrada ou armazenada é igual ao volume de escoamento subterrâneo.

Assim, é possível obter as taxas médias de infiltração (%I) em relação às precipitações para cada km² da bacia:

$$\%I = \frac{\text{volume de escoamento subterrâneo}}{\text{volume das precipitações}} \times 100 = \frac{590 \times 10^6}{3.266 \times 10^6} \times 100 = \%I = 18,1\%.$$

Essa taxa de infiltração processa-se diretamente, a partir das precipitações nas partes aflorantes do aquífero, permitindo alimentação (recarga natural) no mínimo de 243,3 mm de água por ano em cada quilômetro quadrado de afloramento.

As recargas profundas, particularmente aquelas que alimentam o aquífero nas partes confinadas, ainda não são suficientemente conhecidas. Porém, cálculos preliminares através da aplicação da Lei de Darcy, em poços no aquífero Botucatu distribuídos no Estado de São Paulo, indicam que essas recargas profundas não atingem 10 mm da precipitação total anual por km² da bacia de recarga do aquífero Botucatu.

Volumes explorados

Atualmente a cidade de Araraquara é abastecida com recursos hídricos de superfície e subterrâneos.

Até o início da década de 40, não existia na cidade um sistema de captações e fornecimento de água propriamente dito, isso era feito de modo aleatório e particular.

A partir de meados dessa década, com a instalação e funcionamento da captação superficial no ribeirão das Cruzes, deu-se início ao sistema de fornecimento de água para a cidade, posteriormente complementado com a captação no ribeirão das Anhumas. Essas duas captações abasteceram a cidade, com um pequeno complemento de águas subterrâneas através de alguns poços em núcleos isolados, até os primeiros anos da década de 70.

Nos últimos anos, as captações de águas subterrâneas sofreram incremento através da perfuração de poços profundos, contribuindo significativamente com o abastecimento da cidade.

Atualmente, a Estação de Tratamento de Água (ETA) é alimentada com aproximadamente 1.296 m³/h pelas duas captações superficiais existentes: no ribeirão das Cruzes, que fornece 240 l/s e pode ficar comprometido nos períodos de secas, e no ribeirão das Anhumas, que fornece 120 l/s, embora este ribeirão tenha capacidade para fornecer 400 l/s, baseada em estudos de vazões realizados anteriormente.

A tabela 1 mostra os volumes de água bruta bombeada nas duas captações superficiais que alimentaram a ETA durante o mês de abril de 1983, totalizando 1.040.950 m³.

Nesse mesmo mês, o volume total de água subterrânea captada foi de 233.160

m³, possibilitando uma quantidade total de água para o abastecimento da cidade de 1.274.110 m³, contribuindo assim com 18,3% de seu abastecimento.

Tabela 1. Captações de água superficial durante o mês de abril de 1983.

Captação	horas de bombeamento	vazão teórica das bombas (m ³ /h)	volume bombeado (m ³)	bomba
Ribeirão das Cruzes	394	760	299.440	1
	139	378	52.542	2
	376	378	142.128	3
	348	378	131.544	4
Ribeirão das Anhumas	354	360	127.440	1
	354	216	76.464	2
	367	360	132.120	3
	367	216	79.272	4

Existe um período de quatro meses considerados mais críticos, devido ao incremento das demandas, supostamente por ser o período mais quente do ano. Para esses meses foi feita comparação entre os volumes, em metros cúbicos, de água superficial e subterrânea captada para suprir o abastecimento, conforme mostrado na tabela 2.

Tabela 2. Comparação entre volumes de água de captações superficiais e subterrâneas.

Água Superficial				
Totais	1.004.516	1.016.073	1.028.482	893.923
	169.485	211.023	220.179	187.622
SANTANA	37.553	50.096	50.298	47.470
SANTA LÚCIA	24.000	—	—	—
STANDARD	42.346	65.983	73.385	48.900
PAIVA	65.586	94.944	96.496	91.252
Poços				
Período	novembro/82	dezembro/82	janeiro/83	fevereiro/83
Água Subterrânea				

O sistema de captação de água subterrânea em Araraquara tem passado por evolução técnica excepcionalmente exemplar, tanto que, novos poços profundos no aquífero Botucatu estão sendo construídos. O poço do Ouro (180 m³/h) entrou em operação em março de 1983, o poço Santa Lúcia foi substituído por um outro (210 m³/h) em início de 1984 e existe ainda um poço projetado para o Sítio Pinheirinho (230 m³/h) que será perfurado durante este ano.

Previsão da demanda de água -- Para as cidades interioranas do Estado de São Paulo a taxa média de crescimento natural da população pode ser considerada como sendo 1,8% ao ano. Porém, a imigração de outras partes do país, bem como o êxodo rural localizado, atingiu 1,5% ao ano causando uma explosão demográfica anual da ordem de 3,3%, durante as duas últimas décadas.

Para a cidade de Araraquara, a população residente por situação do domicílio em 1990, está sendo estimada em 160.000 habitantes, possibilitando previsões da demanda de água para os próximos anos.

Por outro lado, conhecendo-se o quociente entre a população urbana residente por situação do domicílio e o número de domicílios particulares ocupados (C=4,22), e sabendo-se que até 27/05/83 existiam 30.217 ligações de água, é possível estimar que 127.516 pessoas estavam sendo beneficiadas na cidade.

Na Vila Xavier, agrupamento populacional da cidade de Araraquara, foi possível conhecer com maior precisão o consumo per capita e a demanda de água.

Durante o ano de 1982 (364 dias) foram fornecidos pela ETA, e registrados em hidrômetros instalados na Vila Xavier, cerca de 3.003.383 e 2.744.423 metros cúbicos de água, respectivamente. Essa diferença (258.960 m³ = 8,6% do volume fornecido) representa as perdas por vazamento eventuais e ligações sem hidrômetros (consumo público e/ou clandestino).

Em alguns meses foram registrados consumos de volumes de água maiores (até 7,7%) que os fornecidos, indicando existirem hidrômetros na Vila Xavier que registram eventualmente ar no lugar de água.

Nota-se um ligeiro decréscimo no número de pessoas sem abastecimento de água. Entre os anos de 1981 e 1982 a porcentagem destas caiu de 12,5% para 11,2% da população urbana estimada residente por situação do domicílio na Vila Xavier.

O Consumo per capita no período estudado (03/1981 a 03/1982) variou de 179 a 343 l/dia/habitante, com valor médio de 220 l/dia/habitante.

Para cidades do porte de Araraquara, está sendo previsto no âmbito do DAEE, um consumo per capita de 310 l/dia, que implica na necessidade de 574 l/s, até o ano 1990.

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO AQUÍFERO

A denominação Aquífero Botucatu para os arenitos eólicos da formação geológica de mesmo nome, é um termo já consagrado pelo uso. Por outro lado, as características hidráulicas dos arenitos flúvio-lacustres da Formação Pirambóia, são muito semelhantes àquelas apresentadas pela Formação Botucatu, embora com um potencial hidráulico inferior. Assim, o termo Aquífero Botucatu passa a ser mais abrangente, englobando também a Formação Pirambóia que somada aos arenitos eólicos formam um único pacote que é o sistema aquífero estudado.

Regionalmente, este aquífero apresenta transmissividade (T) entre $2,6 \times 10^{-3}$ e $5,8 \times 10^{-4}$ m²/s e coeficientes de permeabilidade (K) entre $0,9 \times 10^{-5}$ e $4,1 \times 10^{-6}$ m/s.

Superfície piezométrica

A superfície piezométrica do aquífero Botucatu, na região de Araraquara, está sendo definida, no presente trabalho, com auxílio de análise de tendência 7 superfície de grau 4, a partir dos níveis d'água medidos em cada um dos poços, quando foram perfurados (período 1969 a 1983). Portanto, essa superfície, com a configuração ilustrada na figura 7, é apenas uma primeira tentativa de conhecê-la com mais detalhe, relativamente àquilo que se tinha conhecimento a nível regional.

Alguns aspectos particulares da superfície piezométrica do aquífero, comentados aqui devido a importância que representam, aparecem nitidamente na configuração obtida. Um deles, visualizado de imediato quando se observa a figura ilustrativa, reflete o contorno estrutural da Formação Botucatu, que é coincidente com o topo do aquífero.

Desse modo, nas partes onde o aquífero é livre e alto, as cotas de seus níveis d'água são as mais elevadas da região estudada, chegando a atingir 633 m a SE da área. É nessa parte, onde se processa infiltração proveniente das precipitações pluviiais, que o aquífero recebe recarga direta, originando fluxos com direções NW, alimentando-o inclusive em suas zonas de confinamento a SE do perímetro da cidade de Araraquara.

Por outro lado, nas partes livres e baixas do aquífero, a SW da região estudada, seus níveis d'água apresentam as menores cotas, na ordem de 500 m de altitude, e funcionam como nível de base. Nessa parte, está encaixada a drenagem do rio Jacaré-Guaçu com os afluentes: rio Chibarro e ribeirões das Cruzes e do Ouro.

Capacidade específica dos poços -- A capacidade específica do aquífero Botucatu, na região de Araraquara, foi calculada para os poços profundos listados na tabela 3. A distribuição deste parâmetro hidráulico está ilustrada na figura 8, obtida com auxílio de análise de tendência/superfície de grau 3.

Existe uma tendência principal para o aumento da capacidade específica, na direção NW. É nesta direção que o aquífero, saindo de sua parte livre e alta, mergulha para o confinamento, onde atinge os maiores valores de capacidade específica (máx. $6,33$ m³/h/m).

Os menores valores (min. $0,21$ m³/h/m) estão localizados nas partes livres do aquífero: a SE da periferia da cidade (próximo ao aeroporto) e a SW, onde se encaixa o ribeirão das Cruzes.

CONCLUSÕES

Até o final desta década, haverá necessidade de suprir um déficit de aproximadamente 144 l/s (3.754 m³/h) de água no abastecimento da cidade de Araraquara.

Na opção por captações de água subterrânea através de poços profundos, será necessário uma bateria de 20 poços com vazões de 225 m³/h cada um, em regime de bombeamento de 20 horas diárias.

O aquífero Botucatu na região excede as necessidades da cidade. No entanto, para construir essa bateria de poços, será muito importante o desenvolvimento de um modelo analógico simulado da superfície piezométrica do aquífero. Esse modelo, funcionando como um visor de quando e onde o aquífero estará exposto aos riscos de um rebaixamento excessivo, alertará para que o aquífero não se torne vulnerável à exaustão e à poluição.

AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos a Gerônimo A. Rocha pelas críticas e sugestões, a Waldir F. da Silva pelas sondagens elétricas. Agradecemos ainda a Cláudio D. Guedes por ter feito a revisão do texto e ao Raimundo pelos desenhos das figuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse preliminar do senso demográfico: IX recenseamento geral do Brasil. Rio de Janeiro, - FIBGE, 1981. v.1, t.1, n. 18.
- CAMARGO, A.P. de. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. 3.ed. São Paulo, Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, Instituto Agrônomo. Divisão de Atividades Técnicas Básicas e Auxiliares. Seção de Climatologia Agrícola, 1971. (Bol. 116).
- GILBOA, Y & MERO, F. & MARIANO, I.B. The Botucatu aquifer of South America, Model of an untapped continental aquifer. Journal of the hydrology, New York, 29:165-179, 1976.
- LINSLEY, JR., R.K. et al. Applied hydrology. New York, McGraw-Hill, 1949. 688p.
- SÃO PAULO. (Estado). SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Atlas: Diagnóstico básico do plano de irrigação do Estado de São Paulo. São Paulo, 1973
- SÃO PAULO. (Estado). SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Centro Tecnológico de Hidráulica. Divisão de Hidrologia. Boletim Fluviométrico nº 5. São Paulo, 1976.
- SÃO PAULO. (Estado). SECRETARIA DA AGRICULTURA. COORDENADORIA DA PESQUISA DE RECURSOS NATURAIS. INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo: Projeto de água subterrânea. (Relatório Final). São Paulo, 1977.
- SETZER, J. Atlas pluviométrico do Estado de São Paulo (período: 1941-1970). São Paulo, 1972.
- SILVA, R.B.G. da. Estudo Hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. São Paulo, 1983. Tese de

Doutoramento, Instituto de Geociências da USP. 133.p.

- SINELLI, O. et al. Hidrogeologia da região de Ribeirão Preto - São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1. Recife, 1980, Anais. Recife, ABAS, 1980. p.319-335.
- SINELLI, O. & REBOUÇAS, A. da C. Custo de exploração de água subterrânea. Ribeirão Preto - São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1. Recife, 1980. Anais. Recife, ABAS, 1980. p.311-317.
- TEISSEDRE, J.M. & SANCHES; J.L. & LOPES, M.F.C. Geometria e condições de exploração do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2. Salvador, 1982. Anais. Salvador, 1982, p.53-63.
- THORNTHWAITE; C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38:55-94, 1948.

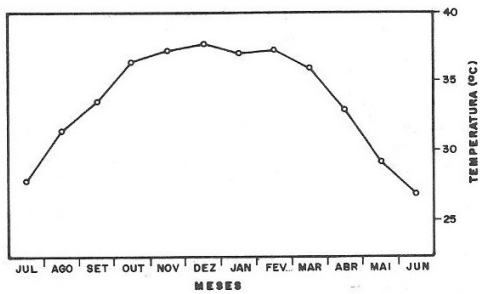


Figura 1 - TEMPERATURAS MÁXIMAS MENSIS MÉDIAS DO PERÍODO 1975 a 1982 (Registradas em termômetro de máxima e mínima diária instalado no prédio da Anderson Clayton S.A.)

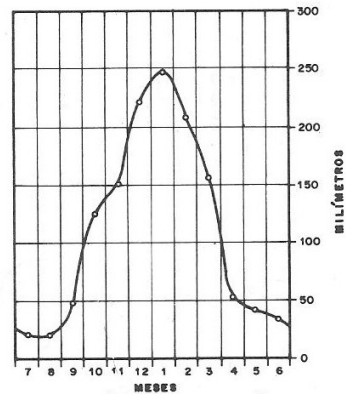


Figura 2 - MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS MENSIS (mm).

Bacia Jacaré- Guacu

Prefixo: C5-016 D4-015 D5-003

C5-017 D4-017

C5-019

Anual: 1344 mm

Estação seca/inverno (ABR a SET): 228 mm

Estação chuvosa/verão (OUT a MAR): 1116 mm

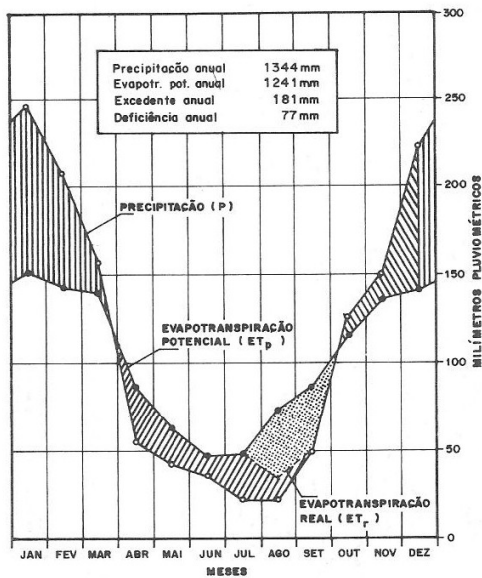
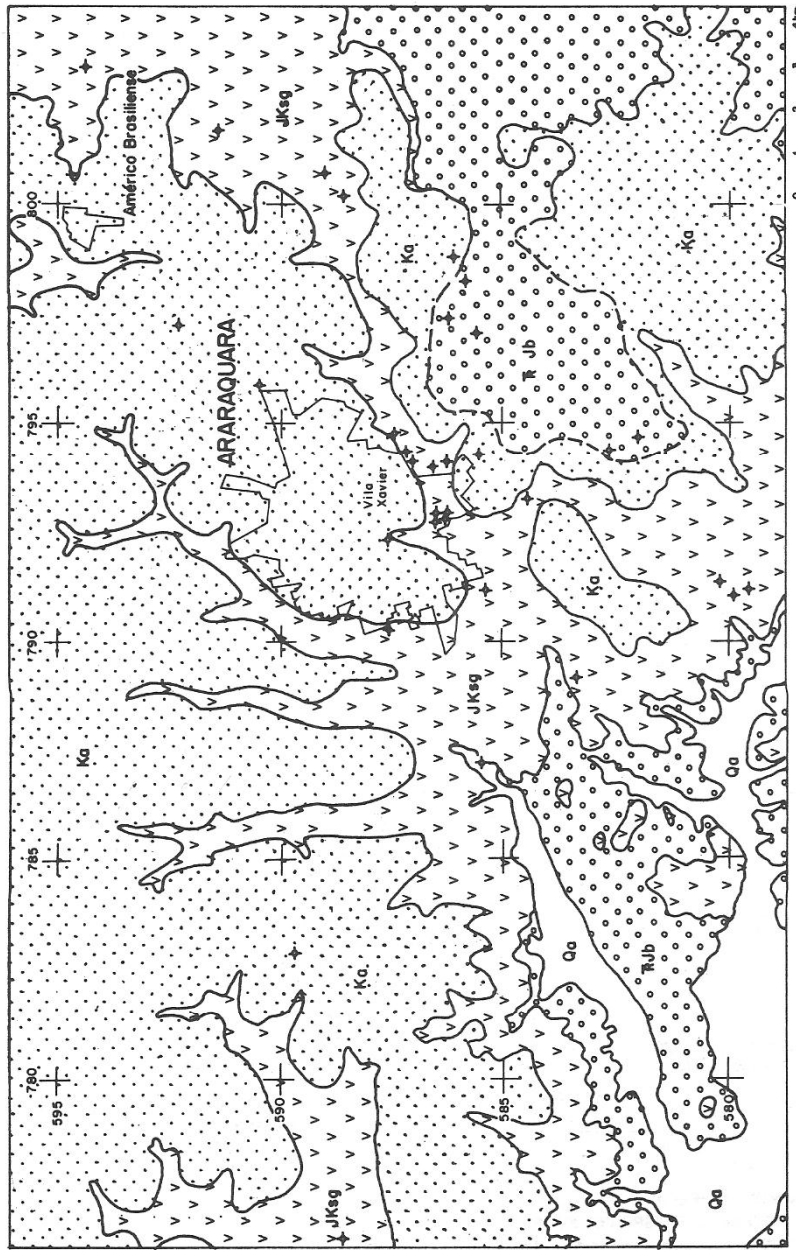


Figura 3 - CURSOS ANUAIS DA PRECIPITAÇÃO E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL E DISPONIBILIDADES NORMAIS DE ÁGUA NO SOLO. Segundo o método de balanço hídrico de Thornthwaite (1948) para Araraquara (Lat. 21°47'), usando-se o roteiro sugerido por Camargo (1971).

LEGENDA

- EXCEDENTE HÍDRICO: Água do solo acima da capacidade de retenção, sujeita a percolação (181mm). Há excesso de água de dezembro ate março.
- REPOSIÇÃO HÍDRICA: Água reposta no solo, até a capacidade máxima de retenção, quando a chuva excede a evapotranspiração potencial.
- RETIRADA HÍDRICA: Água retirada do solo através da evapotranspiração quando esta excede a precipitação pluvial.
- DEFICIÊNCIA HÍDRICA: Água que deixa de ser evapotranspirada pela falta de umidade no solo, corresponde a quantificação da seca (77 mm).



CONVENÇÕES

Perímetro urbano
 Contato definido
 Contato inferido
 Poço profundo no aquífero Bauru

UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS

HOLOCENO

Qa Depósitos aluviais, areias e argilas, conglomerados na base.

CRETÁCIO

Qa Formação Adamantina - Arenitas finas a muito finas, com abundância de veredas, lamitas e siltes, cor de creme a vermelho.

TRIÁSSICO-CRETÁCIO

Jksg Formação Serra Geral - Basaltos toleíticos em derrames tabulares superpostos e arenitos intertrap.

Qa Formação Baturucatu - Arenitos finos a médios, estratificados abo cruzada de grande parte, cores creme a vermelho.

ESCALA GRÁFICA

0 1 2 3 4 km

Figura 4- MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE ARARAQUARA

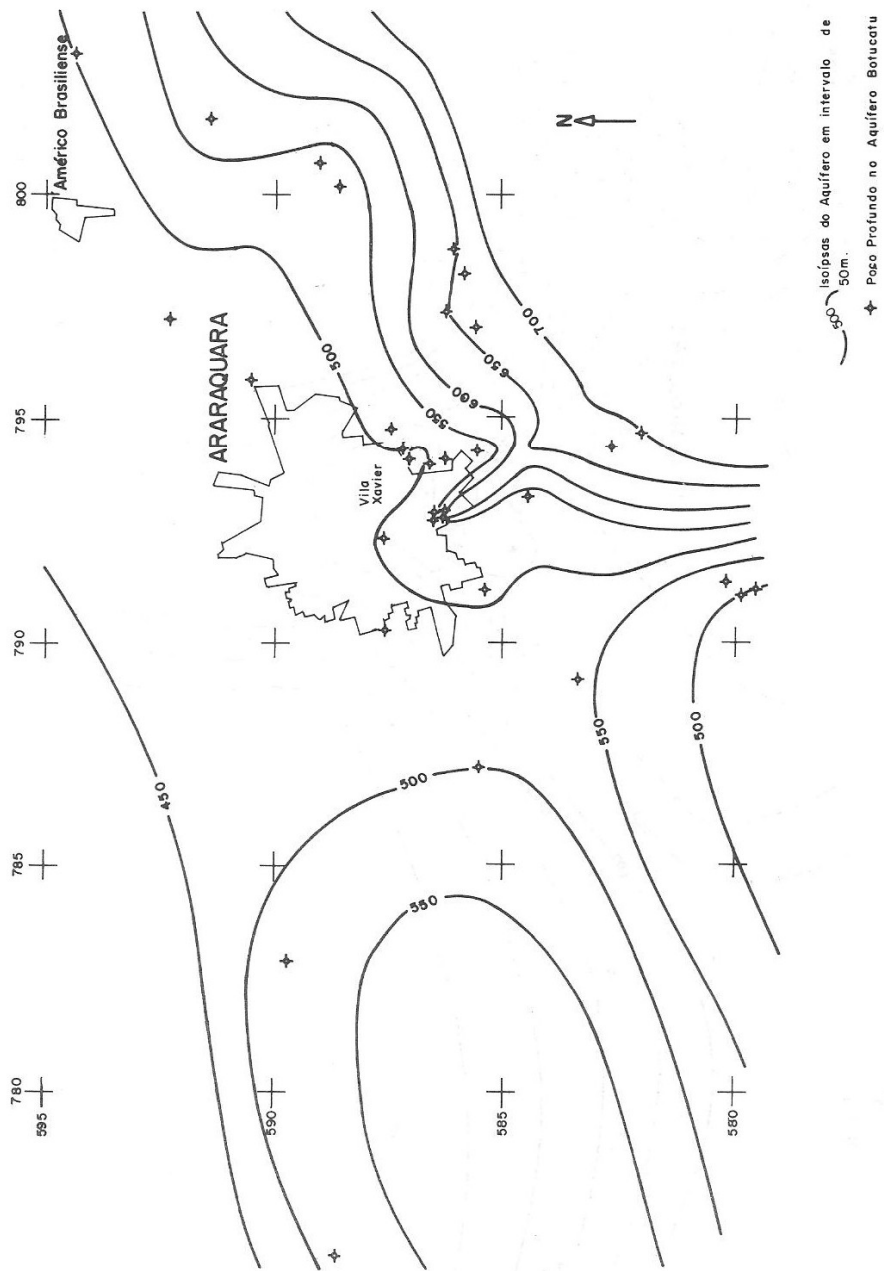


Figura 5 - CONTOURNO ESTRUTURAL DA FORMAÇÃO BOTUCATU
Com auxílio de Análise de Tendência/Superfície de Grau 3

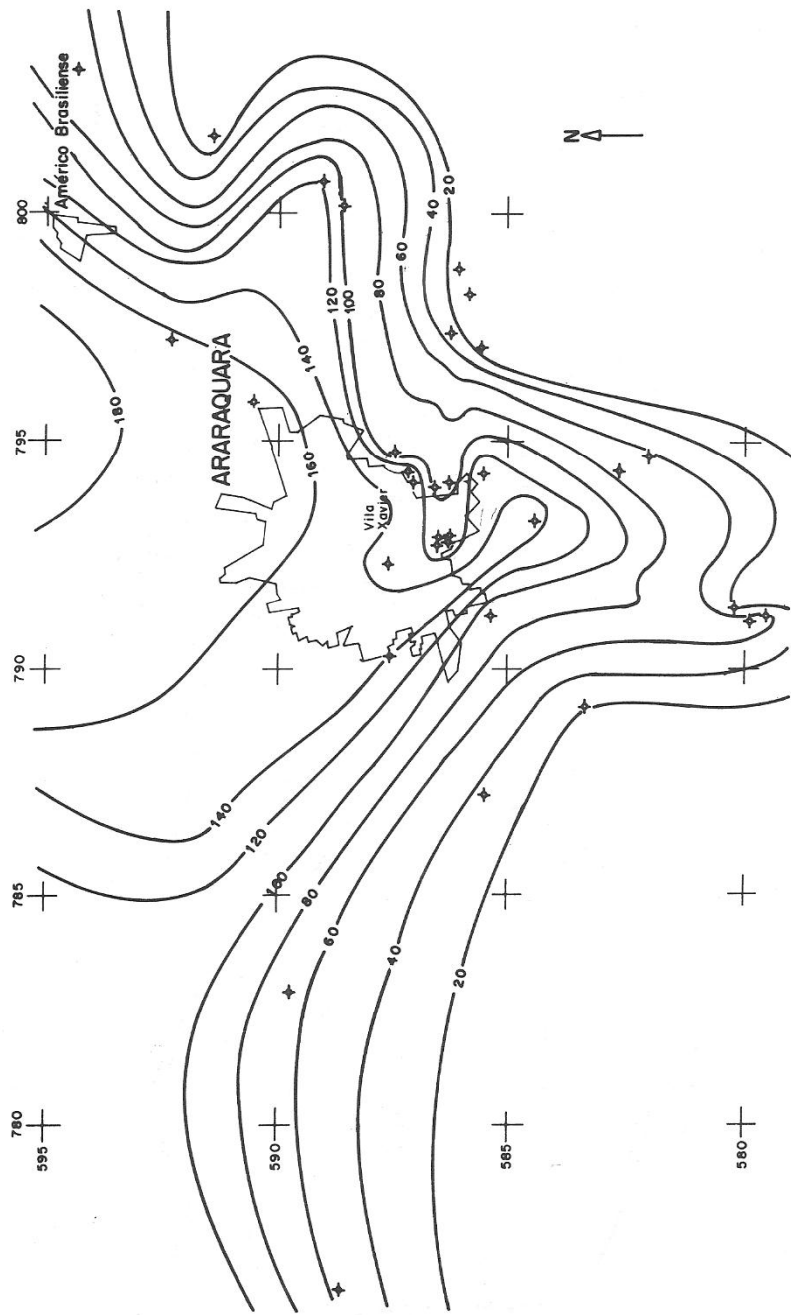


Figura 6 - DISTRIBUIÇÃO DAS ESPESSURAS DO BASALTO
 Com auxílio de Análise de Tendência/Superfície de Grau 3

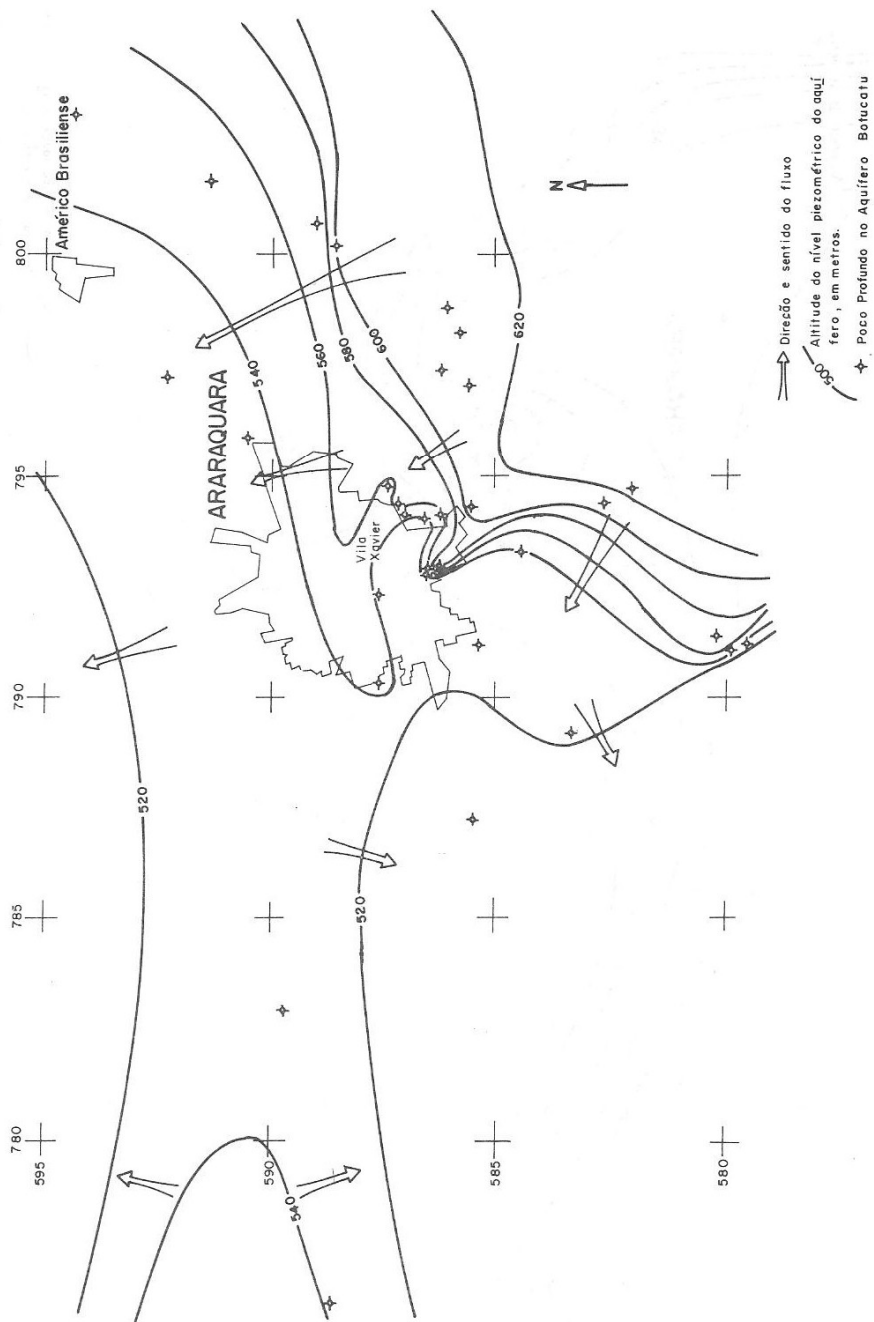
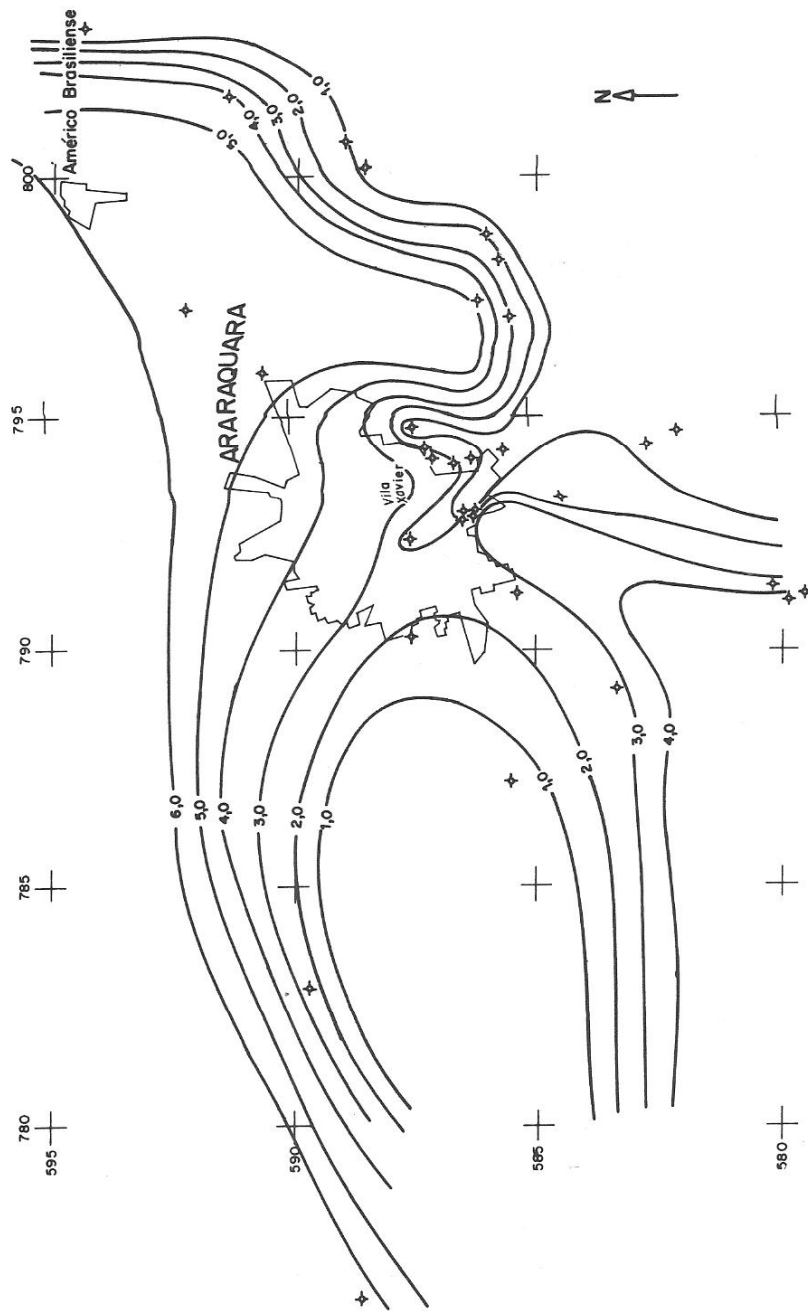


Figura 7 - SUPERFÍCIE PIEZOMÉTRICA DO AQUÍFERO BOTUCATU
 Com auxílio de Análise de Tendência/Superfície de Grau 4



~~~~~ Isolinhas de capacidade específica em intervalos de 1,0 m<sup>3</sup>/h/m.  
 ✕ Poo Profundo no Aquífero Botucatu.

**Figura 8 - DISTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POCOS DO AQUÍFERO BOTUCATU.**

Com auxílio de Análise de Tendência/Superfície de Grau 3

Tabela 3 - RELAÇÃO DOS POÇOS PROFUNDOS NO AQUÍFERO BOTUCATU

| COORD.<br>E-O | COORD.<br>N-S | ESP. BAS.<br>(m) | COTA TOPO<br>BOTUCATU<br>(m) | COTA<br>N.E.<br>(m) | CAP. ESP.<br>(m <sup>3</sup> /h/m) |
|---------------|---------------|------------------|------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 794,20        | 585,55        | 130              | 501                          | 610                 | 0,73                               |
| 792,77        | 586,50        | 105              | 511                          | 596                 | 0,89                               |
| 792,70        | 586,32        | 103              | 504                          | 540                 | 3,75                               |
| 792,80        | 586,31        | 105              | 609                          | 547                 | 3,82                               |
| 792,25        | 587,65        | 127              | 519                          |                     |                                    |
| 794,18        | 587,15        | 127              | 490                          |                     |                                    |
| 794,05        | 586,28        | 96               | 515                          |                     |                                    |
| 794,62        | 582,00        | 00               | 700                          | 633                 | 0,21                               |
| 794,34        | 582,65        | 00               | 680                          | 617                 | 0,57                               |
| 800,63        | 589,00        | 122              | 520                          | 570                 | 1,10                               |
| 791,07        | 579,65        | 64               | 500                          | 508                 |                                    |
| 791,00        | 580,00        | 64               | 500                          | 559                 | 5,71                               |
| 791,30        | 580,15        | 40               | 542                          | 570                 |                                    |
| 794,33        | 587,35        | 133              | 502                          | 567                 | 2,88                               |
| 790,20        | 587,55        | 140              | 457                          | 546                 | 1,55                               |
| 800,10        | 588,60        | 88               | 521                          | 608                 | 0,95                               |
| 801,60        | 591,40        | 16               | 572                          | 542                 | 4,35                               |
| 792,65        | 586,50        | 113              | 507                          | 527                 | 2,92                               |
| 794,70        | 587,45        | 96               | 532                          | 555                 | 0,86                               |
| 798,70        | 586,10        | 4                | 645                          | 608                 | 2,14                               |
| 787,15        | 585,55        | 00               | 500                          | 501                 | 0,83                               |
| 791,00        | 585,35        | 92               | 510                          | 528                 | 2,30                               |
| 793,90        | 586,60        | 97               | 513                          | 529                 | 2,77                               |
| 793,20        | 584,50        | 154              | 476                          | 532                 | 1,65                               |
| 795,85        | 590,50        | 179              | 458                          | 531                 | 0,55                               |
| 797,30        | 586,25        | 00               | 650                          | 618                 | 5,25                               |
| 798,20        | 585,90        | 00               | 680                          | 618                 |                                    |
| 797,00        | 585,60        | 5                | 670                          | 606                 | 3,50                               |
| 789,10        | 583,35        | 20               | 552                          | 525                 |                                    |
| 776,25        | 588,60        | 49               | 505                          | 546                 | 6,33                               |
| 782,85        | 589,65        | 61               | 514                          |                     |                                    |
| 797,20        | 592,30        | 164              | 479                          | 538                 | 1,50                               |
| 803,10        | 594,30        | 73               | 503                          | 554                 | 0,32                               |

POTENTIAL OF THE BOTUCATU AQUIFER IN ARARAQUARA REGION, STATE OF SÃO PAULO

ABSTRACT -- This paper presents a hidrogeological study of the Botucatu aquifer in the Araraquara Region, State of São Paulo. The activities developed were: inventory of wells, geological mapping, vertical electric soundings, hidrological studies and estimate of future water needs. The Botucatu aquifer dip to north, under basaltic rocks, constituting a sediments packet with estimated total thickness of the 250 m. The thickness of basaltic rocks increase to north direction and reach 180 m of the covering. The specific capacity change predominately between 3.0 and 6.0 m<sup>3</sup>/h/m. A simpliflicated hidrological balance show that 18% (243 m) of the annual precipitation average increase the sazonal reserve of the Botucatu aquifer, in surface.