

Boletim IG. Instituto de Geociências, USP, V. 9 : 213-228, 1978  
ASPECTOS TÉCNICOS E FINANCEIROS DA EXPLORAÇÃO DO  
ARQUÍFERO BOTUCATU NO BRASIL

*ALDO DA CUNHA REBOUÇAS*

Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada

## RESUMO

São analisados os aspectos técnicos, financeiros e as perspectivas de exploração das águas do Aquífero Botucatu.

A exploração desse reservatório subterrâneo é cada vez maior, devido os problemas de poluição criados pelo rápido desenvolvimento industrial e agrícola, a despeito da abundância de recursos hídricos superficiais nessa região. Trata-se de um manancial não contaminado e muito bem protegido. A proteção do aquífero é proporcionada por uma espessa camada de rochas basálticas que constitui o seu confinante.

No domínio brasileiro da bacia geológica do Paraná, o reservatório subterrâneo tem cerca de 800.000 km<sup>2</sup> de área e espessuras que crescem da periferia para o centro da bacia, onde atingem perto de 800 metros.

As vazões dos poços, cujas profundidades podem atingir mais de 2 000 metros, variam de 100 a mais de 1 000 metros cúbicos por hora.

Os custos de produção do metro cúbico variam de 40 a 200 centavos de cruzeiro, ou seja de 2,4 a 11,5 centavos de dolar americano. Tais custos correspondem à cerca da metade daqueles relativos às fontes superficiais mais comumente utilizadas para o abastecimento público.

Dentre as perspectivas de exploração destacam-se o abastecimento das cidades mais importantes da área e uso do seu grande potencial hidrotermal para desenvolvimento de centros de lazer, etc.

## ABSTRACT

In the present paper a technical and financial approach of the Botucatu Aquifer exploitations is discussed.

Serious pollution problems created by growing industrial and modern agricultural activities, call for the development of this uncontaminated and very well protected ground water reservoir, in despite of the abundance of surface water in this region. This protection is provided by a thick basaltic confining bed.

In the brazilian portion of the Paraná geological basin, this huge aquifer has about 800.000 km<sup>2</sup> and its thickness increases from the borders toward the center of the basin where it may reach 800 meters.

The yield of the wells, whose depths range from one hundred to more than two thousand meters, is very high between one hundred to more than one thousand cubic meters per hour.

Costs of pumped water range from 40 to 200 cents of cruzeiro or about 2,4 to 11,5 cents of US dolar. Such costs mean half the costs of the surface water currently in use for the purpose of public water supply.

Among the perspectives of exploitation appear the water supply systems for the most important cities in the region and the use of the hot geothermal water potential for househeating in winter, air conditioning in summer and for the development of recreation centers.

## INTRODUÇÃO

O aquífero Botucatu é o principal manancial subterrâneo da vasta Bacia Sedimentar do Paraná, a qual abrange uma área de 1.600.000 km<sup>2</sup>. A parte brasileira da Bacia do Paraná atinge cerca de 1.000.000 km<sup>2</sup> e está compreendida entre os paralelos 16° e 32° de latitude sul e os meridianos 47° e 56° de longitude W (Figura 1). O aquífero Botucatu, objeto desta análise ocupa cerca de 800.000 km<sup>2</sup> deste domínio.

O contingente populacional da porção brasileira da Bacia do Paraná é de cerca de 40 milhões, isto é, perto de 1/3 da população nacional. A densidade atinge 150 habitantes/km<sup>2</sup> no Estado de São Paulo, 50 habitantes/km<sup>2</sup> nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e menos 10 habitantes/km<sup>2</sup> nos domínios goiano, matogrossense e mineiro (IBGE, 1974).

A constituição litológica, os caracteres tectono-estruturais e a disposição estratigráfica das formações sedimentares, aliados à configuração climática altamente favorável e privilegiada, fazem com que esta unidade geológica reserve para o Brasil uma grande riqueza em recursos hídricos subterrâneos, próximo às regiões relativamente mais povoadas e economicamente mais desenvolvidas do País.

A exploração das águas subterrâneas da área é tão antiga quanto o próprio povoamento. Avalia-se em quinze mil o número de poços já perfurados. Assinala-se uma profusa bibliografia tratando de diferentes aspectos da exploração das águas subterrâneas da Bacia do Paraná, destacando-se Hausmann, 1956, 1966; Leinz & Sallentien, 1962; Mezzalira, 1967, 1974; Arid, 1970; Perez et al., 1970; Maack, 1970; e Dae 1974, dentre outros. Não obstante, os recursos hídricos da Bacia são conhecidos apenas a nível preliminar. Esta situação decorre, fundamentalmente, do fato de que os milhares de poços não fornecem informações suficientemente consistentes para o

discernimento de resultados práticos ou científicos. A grande maioria não atinge sequer o aquífero Botucatu. Ressalte-se ainda que, face a abundância de mananciais de superfície na região, bem como ao desconhecimento sobre os aspectos hidrogeológicos e de alcance econômico dos recursos armazenados nos aquíferos, as águas subterrâneas não eram sequer cogitadas como importante fonte de abastecimento. Por outro lado, apenas recentemente é que os progressos realizados nos domínios das ciências hidrogeológicas e das técnicas de perfuração e bombeamento tornaram possível a obtenção de água do aquífero Botucatu, rico e profundo, mas que estava fora do alcance dos conhecimentos e dos meios de exploração tradicionais.

A definição das potencialidades, não apenas em termo de volumes armazenados ou disponíveis, mas em termos financeiros, é suscetível de ser melhor entendida por todos. Assim, os setores onde os custos de produção são relativamente os mais baixos, na medida em que as boas condições de utilização forem reunidas, constituem as zonas prioritárias para a realização dos investimentos. Ao contrário, nos setores com custos elevados, a água do aquífero Botucatu poderá ter, em princípio, uma utilidade apenas social ou estratégica. Ressalte-se ainda que será possível, também, uma comparação, do ponto de vista puramente financeiro, com outras fontes de abastecimento.

Insiste-se sobre os aspectos metodológicos dos estudos aqui desenvolvidos e ressalta-se que as configurações delineadas representam, apenas, as tendências das potencialidades do aquífero Botucatu no domínio brasileiro da Bacia do Paraná. Esses estudos constituem subsídios de caráter geral que deverão ser continuados, na perspectiva de elaboração de modelos técnico-econômicos de simulação das condições ótimas de exploração integrada dos recursos hídricos da região.

O presente trabalho constitui um extrato

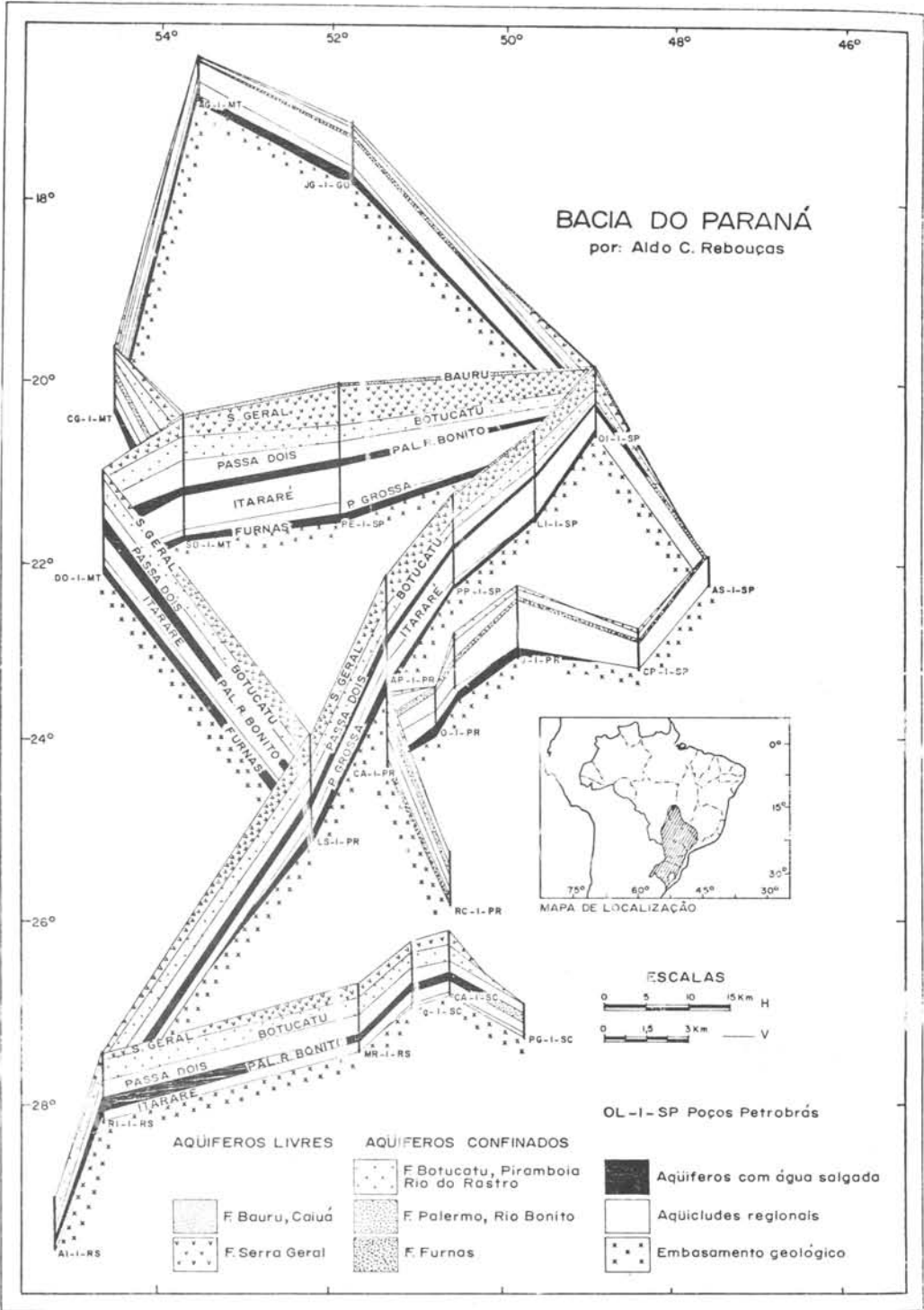


Fig. 1- DIAGRAMA PAINEL DAS CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

FIGURA 1

DIAGRAMA PAINEL DAS CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

de parte da Tese apresentada ao concurso de Livre-Docência nas disciplinas da área de Hidrogeologia do Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, sob o título: Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Paraná – Análise de Pré-Viabilidade – 1976.

## O SISTEMA AQUIFERO BOTUCATU

Corresponde à espessa seqüência sedimentar integrante das unidades litoestratigráficas conhecidas sob a denominação de Formações Botucatu, Piramboia e outras cronocorrelatas, tais como Morro Pelado, Serrinha, Santa Maria e Rosário do Sul.

Vale ressaltar que, enquanto o arenito Botucatu é caracterizado pelos valores excepcionais de permeabilidade e porosidade, típicos de uma formação de origem eólica, bem selecionada, com grãos arredondados, com, geralmente, pouco ou nenhum cimento e diagênese fraca, as demais formações, de ambiente fluvio-lacustre, apresentam variações facio-litológicas extremas, com interdigitações nos diversos sentidos e com presença de camadas lenticulares de arenitos. Conquanto neste sistema coexistam formações completamente diferentes, as relações hidráulicas recíprocas estão intimamente ligadas, bem como a problemática exploratória de cada uma, de forma que a conceituação de sistema aquífero único é plenamente justificada.

Funciona como capa deste sistema aquífero o pacote de basaltos e, como nível relativamente impermeável, as camadas argilosas da Formação Estrada Nova. O aquífero origina-se livre na estreita e perturbada faixa de afloramentos, longitudinal à escarpa da Formação Serra Geral, e confina-se, gradativamente, para o interior da bacia, em função do mergulho regional e por imposição das rochas encaixantes relativamente muito menos permeáveis.

Importa ressaltar que, face as grandes profundidades que atinge e por imposição da camada basáltica confinante, praticamente impermeável, as águas armazenadas no sistema aquífero Botucatu apresentam temperaturas relativamente elevadas. Nos poços jorrantes

de Três Lagoas e Paraguaçu Paulista, assinalam-se temperaturas de 70° e 80°C, respectivamente.

Os parâmetros dimensionais foram obtidos através de análise das seções geológicas e perfis dos poços, de modo especial daqueles pertencentes a PETROBRÁS, tendo em vista que os demais são parcialmente penetrantes.

As características hidrodinâmicas foram obtidas através de testes de bombeamento, análises granulométricas e interpretação de diagrfias elétricas.

Os poços, total e parcialmente penetrantes, coligidos para o sistema Botucatu, no domínio brasileiro da Bacia do Paraná, atingem uma centena.

Os volumes de água armazenadas neste aquífero são muito importantes, conforme pode-se ver dos números abaixo:

Reservas totais 48 trilhões de m<sup>3</sup>.

Recarga anual 160 bilhões de m<sup>3</sup>.

A qualidade química, física e bacteriológica das águas subterrâneas do Botucatu é, via de regra, adequada ao consumo humano e industrial, segundo os padrões de potabilidade vigentes. A mineralização total é, na maioria dos casos, inferior a 200 mg/l. Em casos muito raros assinala-se a presença de ferro e manganês. A sua utilização para irrigação necessita ser analisada, ao nível dos projetos, devido à abundância de sódio.

## TENDÊNCIA DOS PARÂMETROS FUNDAMENTAIS

Os dados disponíveis são ainda pouco numerosos em relação à grande extensão territorial do sistema aquífero. Porém, o procedimento estatístico permite uma análise objetiva. Dentre os métodos estatísticos recomendados, ressalte-se o "Trend Surface Analysis". A superfície de tendência pode ser definida como a forma de tratamento que permite separar os dados de representatividade regional daqueles de importância local.

No domínio da hidrogeologia, o problema geralmente apresentado consiste em se determinar a distribuição de um valor P (parâmetro geométrico ou hidrodinâmico) que é a função das coordenadas cartesianas X e Y. Trata-se, de fato, de mapear a superfície que melhor

se ajusta aos valores P num espaço bidimensional.

Os cálculos foram realizados em computador, a partir de um programa escrito em linguagem FORTRAN IV, adaptado aos equipamentos Burroughs B 6600/B 7 700, do Centro de Computação da Universidade de São Paulo. O programa "TREND" desenvolvido por Amaral (1975) desenvolve as matrizes até o 8º grau, e calcula os parâmetros estatísticos destinados a avaliar o nível de ajuste das várias superfícies obtidas. Os polinômios são tratados pelo método dos mínimos quadrados e as matrizes são resolvidas pelo método de Gauss, com refinamento de solução e dupla precisão, de tal forma que os coeficientes obtidos têm erro inferior a 0,5%.

Através de uma sub-rotina, os mapas correspondentes as superfícies de 1º ao 8º graus, são diretamente impressos pelo computador.

A análise dos resíduos serve para orientar as campanhas de campo com vista à obtenção de dados complementares. O pequeno número de parâmetros disponíveis, em relação com a extensão do domínio, não permite uma análise estatística mais aprofundada. O enfoque realizado visou, tão somente, chamar a atenção dos interessados sobre o grande alcance científico e prático dessas técnicas na abordagem hidrogeológica regional. O assunto é muito vasto e foge ao escopo imediato dessa análise, preferindo-se, assim, voltar a ele oportunamente.

#### *Superfície de Tendência do Coeficiente de Transmissividade ( $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ).*

Esse coeficiente interpreta as aptidões do aquífero em transportar a água nele armazenada. O seu conhecimento é de fundamental importância para estudo do comportamento geral dos fluxos e avaliação da produtividade dos poços.

A superfície de tendência de grau 3 apresentada na Figura 2 revela o comportamento das transmissividades. Constata-se que o aumento sensível das espessuras, da periferia para o centro da bacia, compensa de forma marcável a redução dos valores da permeabilidade que é engendrada pelo aumento gradativo

do componente argiloso. Com efeito, os valores evoluem de  $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , na borda leste, para atingir  $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  na zona central da bacia. Vale ressaltar que, sendo o coeficiente de transmissividade sensivelmente afetado pelos fenômenos de perda de carga, os valores obtidos devem ser considerados como ordens de grandeza pessimistas.

Quanto ao coeficiente de armazenamento, uma dezena de testes de bombeamento interpretados, indica valores que variam de  $2 \cdot 10^{-1}$  a  $5 \cdot 10^{-2}$  nos domínios do aquífero livre e de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$ , no domínio confinado.

#### *Superfície de Tendência de Vazão Específica $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$*

A parcela efetivamente explorável por poço será função do nível dinâmico adotado e do tempo de exploração. As condições técnicas de exploração sugerem níveis dinâmicos de 100m e de 50m. Nestes termos, o volume explorável por poço pode ser avaliado através das equações de Theis (1935), considerados os valores dos coeficientes hidrodinâmicos dos aquíferos já referidos ao longo desta análise.

Considerando as condições hidrogeológicas predominantes, as vazões específicas podem ser avaliadas através da equação de Theis expressa assim:

$$\Delta = \frac{q}{4 \pi T} \cdot W(u)$$

em que  $\Delta$  é o rebaixamento em metros,  $q$  é a vazão do poço em  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T$  é o coeficiente de transmissividade em  $\text{m}^2/\text{s}$  e  $W(u)$  é a integral exponencial denominada "função de poço". O argumento  $u$  é dado por:

$$u = \frac{R^2 S}{4 T t}$$

em que  $R$  é a distância em metros do poço de observação ao poço de bombeamento,  $S$  é o coeficiente adimensional de armazenamento e  $t$  é o tempo de bombeamento em segundos.

Com base nos valores de transmissividade de tendência e adotando-se  $S = 10^{-4}$  e  $5 \cdot 10^{-2}$  para os domínios em condições de confinamento e livre respectivamente, avaliamos as vazões específicas.

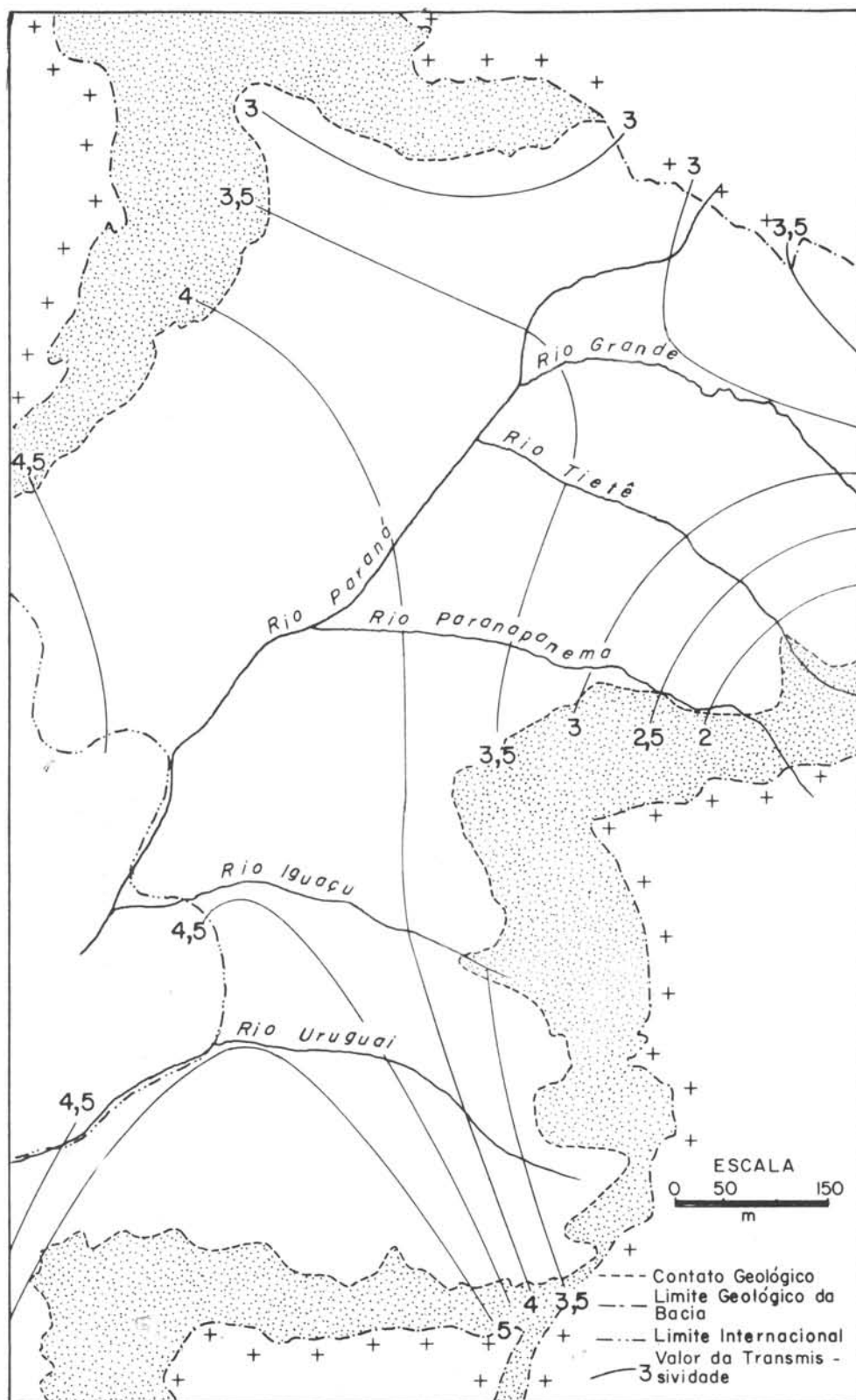


FIGURA 2

SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA DA TRANSMISSIVIDADE ( $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ )

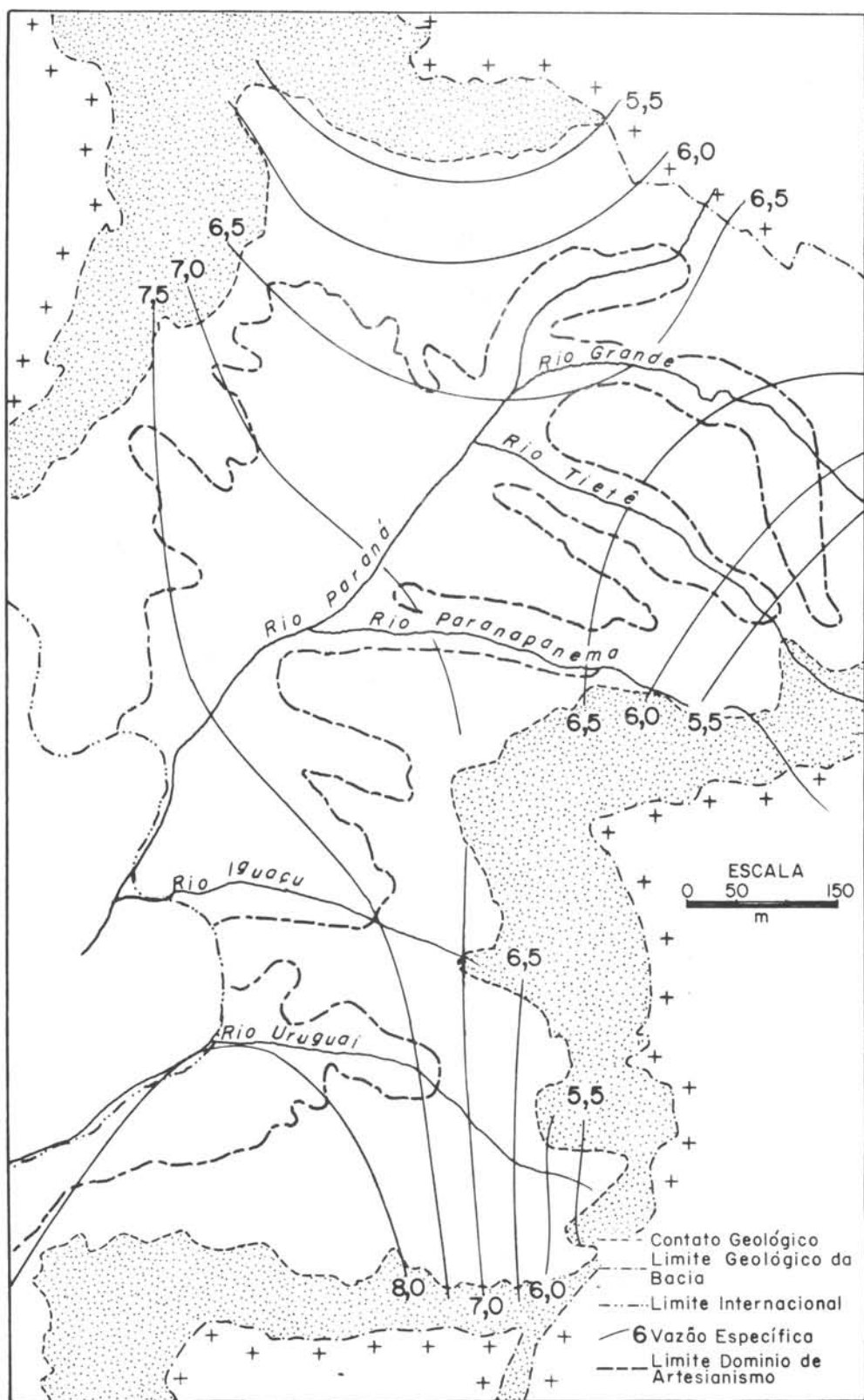


FIGURA 3  
 SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA ( $m^3/h/m$ ) E DOMÍNIO DE  
 ARTESIANISMO

A superfície de tendência de grau 3, apresentada na figura 3 revela um comportamento muito semelhante a evolução das transmissividades, em concordância, portanto, com os princípios básicos da hidráulica subterrânea.

Verifica-se que as vazões específicas assim avaliadas variam de 2,5 a 9 m<sup>3</sup>/h/m. Estes valores podem ser considerados como representativos.

Com efeito, nos poços inventariados pelas equipes técnicas do DAEE (op cit) no âmbito da região 6, a vazão específica média foi de 4,5 m<sup>3</sup>/h/m.

Em Fernandópolis a vazão específica variou de 5 a 8 m<sup>3</sup>/h/m.

## PERSPECTIVAS DE EXPLORAÇÃO

A explorabilidade desse sistema aquífero não está restrita apenas ao longo e nas imediações de suas áreas de afloramento. No interior da bacia, desde que se disponha de um mapa plano-altimétrico de boa precisão, aliado ao bom conhecimento dos fatores tectono-estruturais e afins condicionantes, pode-se local excelentes sítios de perfuração de poços para explorar o sistema aquífero Botucatu a níveis econômicos. Com base nos mapas plano-altimétricos na escala de 1:1.000.000, foi possível delinear os domínios geográficos com condições de artesianismo. Estes correspondem, praticamente, aos setores cujas cotas topográficas são inferiores a 400 metros. Nos domínios com cotas superiores a 400 metros, as posições da superfície piezométrica poderão variar de subflorantes à muito profundas. Nas áreas montanhosas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, os poços perfurados acusam níveis de até 400 m.

Os estudos de locação devem visar preferencialmente os pontos mais baixos do relevo, na perspectiva de um acesso mais fácil ao aquífero sotoposto e obtenção de nível piezométrico artesiano ou mais raso possível. Por outro lado, levando-se em conta os altos investimentos necessários à captação do aquífero Botucatu, torna-se imprescindível a execução de poços convenientemente projetados, visando uma máxima eficiência.

As condições de ocorrência do sistema aquífero Botucatu são relativamente especiais, devido a existência de uma camada basáltica constituindo o seu confinante e cuja espessura cresce da periferia para o centro, onde pode atingir mais de 1.500 m.

Esta situação tem como consequência onerar, substancialmente, os custos de perfuração dos poços, tendo em vista, sobretudo, a importância dos diâmetros necessários à exploração das grandes vazões potenciais do sistema aquífero subjacente, isto é, 500 – 700 m<sup>3</sup>/h em média.

Geralmente, o objetivo fundamental do projeto do poço é conseguir a melhor combinação possível entre eficiência ou rendimento, vida útil e custos razoáveis. No caso de poços rasos é possível, com frequência, sacrificar a eficiência hidráulica ou a vida útil, a fim de reduzir os custos. Em se tratando, todavia, de poços muito profundos, como é o caso, vida útil e eficiência máxima são condições fundamentais à viabilização econômica da exploração. De fato, enquanto a maior eficiência vai contribuir, de modo sensível, para a redução das despesas anuais de manutenção, menor consumo de energia e maior longevidade das bombas, a maior vida útil do poço vai proporcionar valores bem mais baixos de amortização anual dos investimentos. A não observância de uma especificação técnica adequada é responsável pelo grande desperdício de recursos financeiros e hídricos que assistimos, ainda com grande frequência.

### *Custos de Produção do m<sup>3</sup> de Água.*

Os custos de exploração das águas subterrâneas são função das suas disponibilidades locais e das condições de acessibilidade aos meios técnicos, de perfuração e bombeamento, disponíveis.

Nas condições gerais de ocorrência do sistema aquífero Botucatu, os investimentos são sensivelmente influenciados pelas características técnicas das captações, compatíveis com a sua produtividade potencial e com a ocorrência de rochas basálticas constituindo o seu confinante.

Os custos qui referidos compreendem as despesas relativas à construção do poço,



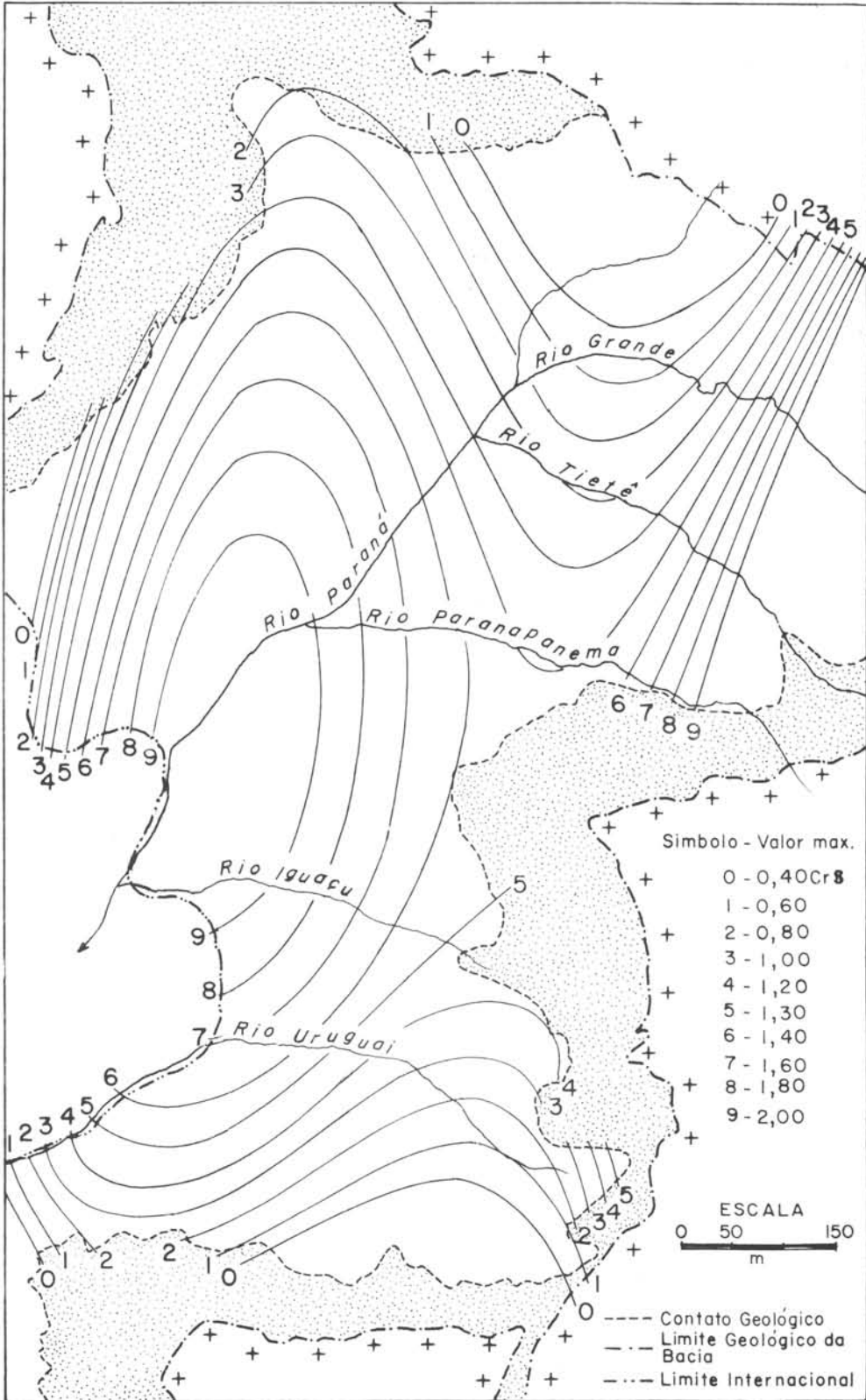


FIGURA 4

SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA DO CUSTO DO M<sup>3</sup> DE ÁGUA

à aquisição do equipamento de exploração, ao consumo de energia e as despesas de manutenção.

Com base na produtividade do poço e das despesas e amortização anuais correspondentes, avalia-se o custo de produção do m<sup>3</sup> liberado na boca do poço.

Os cálculos realizados basearam-se nos preços praticados pelas companhias de perfuração que operam no Brasil.\*

As condições de ocorrência das águas subterrâneas da área de estudo sugerem a construção de poços com profundidade que podem variar de cerca de 100 até 2.000 metros. O preço médio por metro linear varia de Cr\$ 3.000,00 a Cr\$ 12.000,00. Os valores adotados compreendem: custo de perfuração, revestimento, filtros, cimentação, pré-filtros, desenvolvimento, realização de um teste de produção (vazão de exploração e nível dinâmico correspondente) e supervisão técnica são também incluídos. No cálculo da amortização anual considerou-se a taxa de juros de 7% a.a., vida útil média de 30 anos e 5% a.a. de lucro.

Os preços das bombas variam em função da vazão projetada e da altura manométrica de recalque correspondente (profundidade do nível dinâmico mais perdas de carga do sistema).

No caso presente, considerou-se vazões compreendidas entre 100 e 1 000 m<sup>3</sup>/h, níveis dinâmicos de 50 e 100 m. Por outro lado, os valores foram majorados de 15%, para fazer face às despesas com instalação do equipamento. Considerou-se, ainda, as despesas de operação e manutenção, avaliadas em 5% do preço do equipamento, com mais de 5% a.a. de lucro e vida média de 7 anos.

A despesa com energia elétrica depende da potência instalada nas unidades de operação, do número de horas trabalhadas por ano e do rendimento dos sistemas, admitido de 75%.

Foram aplicadas as tarifas vigentes pela Portaria nº 165 de 19.12.77, do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), isto é, Cr\$ 202,00/MWh. Considerou-se a redução de 40% estabelecida para serviços de abastecimento d'água e 7 000 horas por ano.

Com base nos preços praticados no Estado de São Paulo, o custo da rede elétrica, respectivos transformadores e complementos gerais para um comprimento de linha de até 5 km, atinge cerca de Cr\$ 500.000,00. Adotou-se taxa de juros a 7% a.a. e vida média útil de 10 anos.

Com base nos elementos referidos acima, o custo de produção do m<sup>3</sup> de água subterrânea pode ser obtido pela expressão seguinte:

$$C = \frac{P + B + E + D}{V}$$

onde: P — é o valor da prestação anual que amortiza o capital investido para construção do poço;

B — é o valor da prestação anual que amortiza o capital investido para compra das bombas;

E — despesa anual com energia para o bombeamento;

D — valor da prestação anual que amortiza os custos da rede elétrica e despesas diversas;

V — volume anual explorável do poço (m<sup>3</sup>).

No quadro 1 apresenta-se o custo de produção do metro cúbico de água, para as diferentes condições de explorabilidade do principal aquífero da área.

#### *Superfície de Tendência dos Custos de Produção do m<sup>3</sup> de Água Subterrânea*

E evolução da superfície de tendência apresentada na Figura 4 indica a importância do fator custo de construção dos poços na

\* Preços abril, 1978 — 1 US\$ = Cr\$ 17,00

QUADRO 1 – CUSTOS DE PRODUÇÃO DO M<sup>3</sup> DE ÁGUA

VAZÃO m <sup>3</sup> /h	PROFUNDIDADE DOS POÇOS (m)						H (m)
	100	200	500	1.000	1.500	2.000	
100	0,23	0,27	0,87	2,04	3,33	5,40	55
200	0,17	0,19	0,47	1,05	1,70	2,74	52
300	0,15	0,17	0,36	0,75	1,17	1,87	54
400	0,13	0,15	0,29	0,58	0,90	1,43	33
500	0,12	0,13	0,24	0,47	0,73	1,10	53
600	0,12	0,12	0,20	0,41	0,61	0,97	53
700	0,12	0,10	0,19	0,36	0,54	0,85	54
800	0,12	0,10	0,17	0,32	0,49	0,75	53
900	0,12	0,10	0,16	0,29	0,44	0,66	54
1.000	0,08	0,10	0,15	0,27	0,41	0,61	55
100		0,48	1,04	2,21	3,57	5,57	104
200		0,34	0,61	1,21	1,87	2,89	103
300		0,27	0,44	0,83	1,26	1,95	106
400		0,25	0,39	0,70	1,00	1,53	104
500		0,22	0,34	0,58	0,83	1,24	105
600		0,20	0,31	0,49	0,71	1,05	108
700		0,20	0,29	0,44	0,63	0,93	104
800		0,20	0,27	0,41	0,58	0,83	105
900		0,19	0,25	0,37	0,53	0,76	106
1.000		0,19	0,24	0,36	0,48	0,70	109

(\*) = Preço abril 1978 US\$ 1 = Cr\$ 17,00

composição das despesas. Com efeito, não obstante poder-se ter as maiores vazões na zona central da bacia, tendo em vista as condições mais favoráveis de transmissividade e de nível piezométrico, os custos de produção são ainda os mais elevados. Em termos relativos, os custos de produção mais elevados tem ainda condições de concorrer com as demais fontes de abastecimento da área, conforme veremos mais adiante. Por outro lado, as potencialidades do aquífero, em termos de volume exploráveis, são mais do que suficientes para atender as demandas.

#### PERSPECTIVAS DE UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS DO AQUIFERO BOTUCATU

As potencialidades precisam ser aproveitadas. Só se pode fazê-lo, sem perder de

vista a realidade, através de um planejamento racional e flexível que permita, a partir de metas e objetivos bem definidos, a identificação de providências e ações conducentes à obtenção de melhores resultados, no prazo mais curto possível.

Em problemas essencialmente dinâmicos desse tipo, as soluções devem visar sempre o atendimento permanente, de modo que ao longo do tempo, mantenham-se resolvidos e equacionados os problemas

De acordo com a orientação emanada do Banco Nacional de Habitação, a água não poderá custar mais do que 3% do salário mínimo regional, para um consumo mínimo de 15 m<sup>3</sup>/mês.

Adotando-se, por exemplo, o preço de um cruzeiro por metro cúbico, pode-se situar nos gráficos da Figura 5 as condições de pré- viabilidade das águas subterrâneas. Assim para

um poço de 1.000 m de profundidade a vazão mínima que pré-viabiliza a captação, é de apenas 150 m<sup>3</sup>/h, para um nível dinâmico de 50 m e de apenas 170 m<sup>3</sup>/h quando o nível dinâmico for de 100 m.

Tais vazões são extremamente modestas, em relação com às potencialidades do aquífero em geral.

No caso em que se fixar a vazão, pode-se ver, consideradas as condições locais de explo-

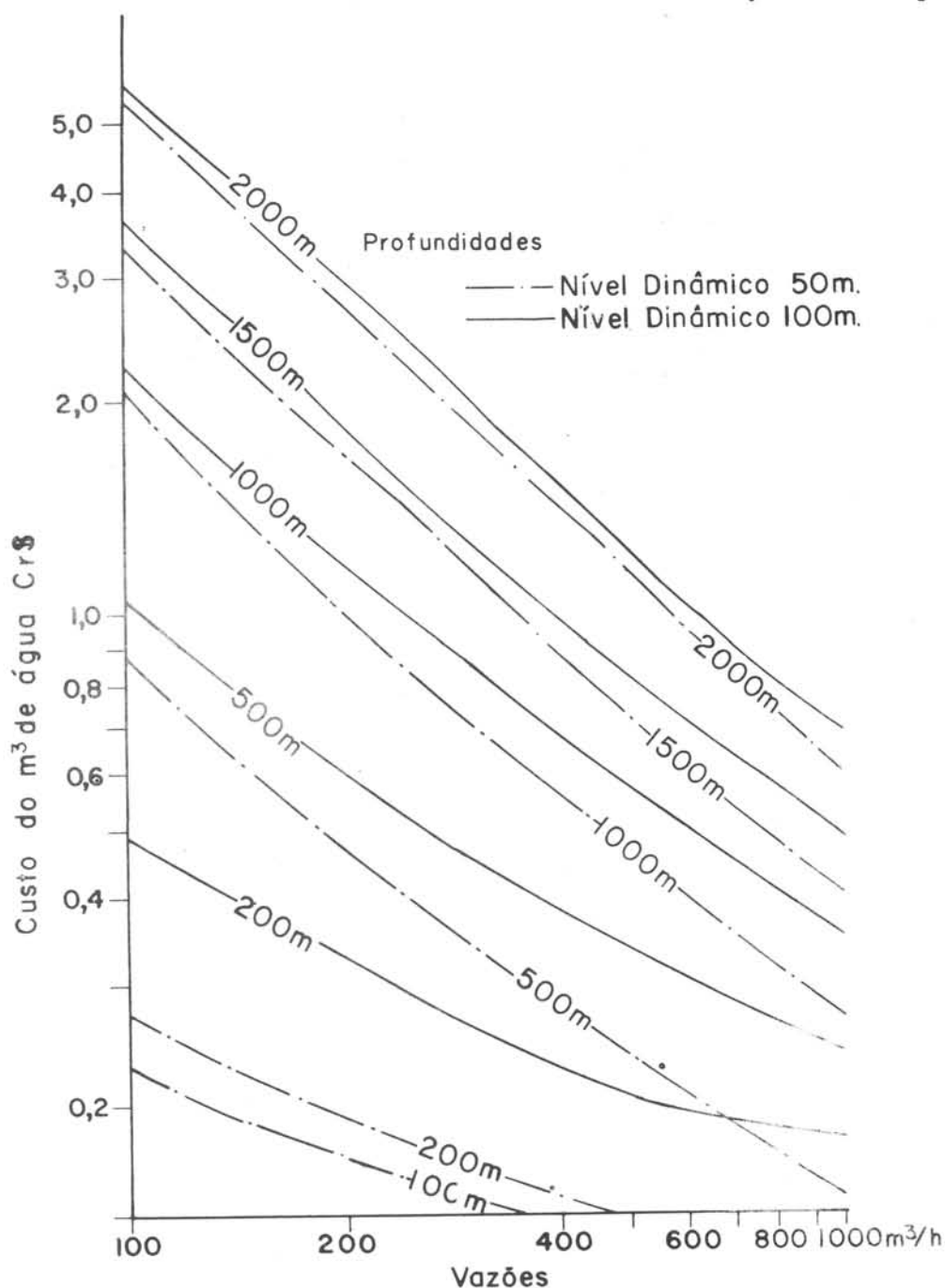


FIGURA 5

EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DO M<sup>3</sup> DE ÁGUA. (U\$1 = Cr\$ 17,00)

ração, os custos de produção decorrentes. Por exemplo, um poço bem construído em Lins, SP (profundidade de captação de 1.000 m), ao explorar a vazão potencial do aquífero, propiciaria água a um custo de apenas trinta e cinco centavos o m<sup>3</sup>.

Considerando-se que o sistema Botucatu ocorre, virtualmente, sobre o domínio brasileiro da Bacia do Paraná, as suas águas podem ser captadas onde se fazem necessárias, salvo limitações, locais e ocasionais, impostas pelas posições do nível piezométrico. Vale mencionar o estudo comparativo de viabilidade econômica elaborado por Silva et al (1975), onde mostra uma economia de 50%, no caso de Araquara. Em Fernandópolis logrou-se uma vazão de 450 m<sup>3</sup>/h com captação de apenas 1/2 da espessura do aquífero Botucatu. O custo da alternativa água subterrânea mostrou-se 14,5% inferior a alternativa água superficial, conforme Pannuti (1976).

Vale ressaltar que em termos globais e com base nos custos adotados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo, (Revista DAE nº 108 - 1976) o custo de produção do m<sup>3</sup> de água subterrânea, considerando-se uma vazão de 540 m<sup>3</sup>/h, é de apenas 40% daquele obtido de uma captação superficial situada a 5 km de distância.

Os itens referentes à Adução e Reservação foram excluídos, supondo-se que seus custos se equivalem nas duas alternativas (captação superficial ou subterrânea).

Uma vez definido o sistema de captação, isto é, o número de poços necessários para atendimento da vazão do projeto, a distância adequada entre eles pode ser obtida através de uma análise de soluções alternativas em que se comparam: a) evolução dos custos de bombeamento do m<sup>3</sup> de água, engedrada pelas interferências, b) evolução dos custos de implantação das adutoras de reunião e de rede elétrica correspondentes. A solução ótima é definida pelo ponto de valor mínimo da função de custo. Para efeito de cálculo, os custos de bombeamento e adução são referidos em termos de m<sup>3</sup>.

Na Figura 6 apresenta-se, de forma generalizada, o comportamento das funções correspondentes. Vale ressaltar que a distância depende fundamentalmente da concepção e dimensionamento do sistema de captação.

Considerando que o aquífero Botucatu se encontra naturalmente bem protegido de possíveis contaminações locais, as captações poderão ser localizadas dentro do próprio espaço físico urbano. O sistema de abastecimento público passaria a ser constituído por um conjunto de anéis, cada um dos quais devendo ser dimensionado com base nas condições de atendimento econômico ótimo das baterias. Tendo em vista ainda a grande potencialidade dos poços que capturem o aquífero Botucatu, na maioria dos centros urbanos da área, um anel pode ser abastecido por apenas um ou dois poços.

Outro uso potencial, de grande alcance econômico e social das águas subterrâneas da Bacia é representado pelos abundantes volumes de águas quentes, temperaturas entre 50 e 90°C, armazenados nos seus domínios mais profundos.

A utilização de tais sistemas proporcionaram à Rússia uma economia de 15 milhões de toneladas de combustível no ano de 1970. Na Nova Zelândia os custos são de apenas doze centavos de dólar por milhão de quilocalorias produzidas, contra US\$ 2,4. Os custos das instalações são praticamente equivalentes (Barnea, 1972). Na Hungria, conforme tivemos a oportunidade de verificar, os custos para aquecimento são de apenas um quarto das despesas com combustível.

As grandes preocupações dos estudiosos do assunto são fundamentalmente relacionadas com a vida útil dos mananciais.

Neste particular, as nossas condições são bastante favoráveis. Com efeito, conta-se com extenso reservatório que é recarregado, naturalmente, através da infiltração de águas meteóricas nas zonas de afloramento. Nesses termos, pode-se explorar o Botucatu, seja para uso múltiplo, isto é, refrigeração, aquecimento, lazer e abastecimento público, por exemplo, seja reservá-lo para o abastecimento público e utilizar as águas armazenadas nas camadas mais profundas da seqüência sedimentar como fonte hidrotermomineral principalmente.

A exploração destes recursos geotermiais poderá proporcionar um grande reforço nos potenciais turísticos da região, dentre outros benefícios.

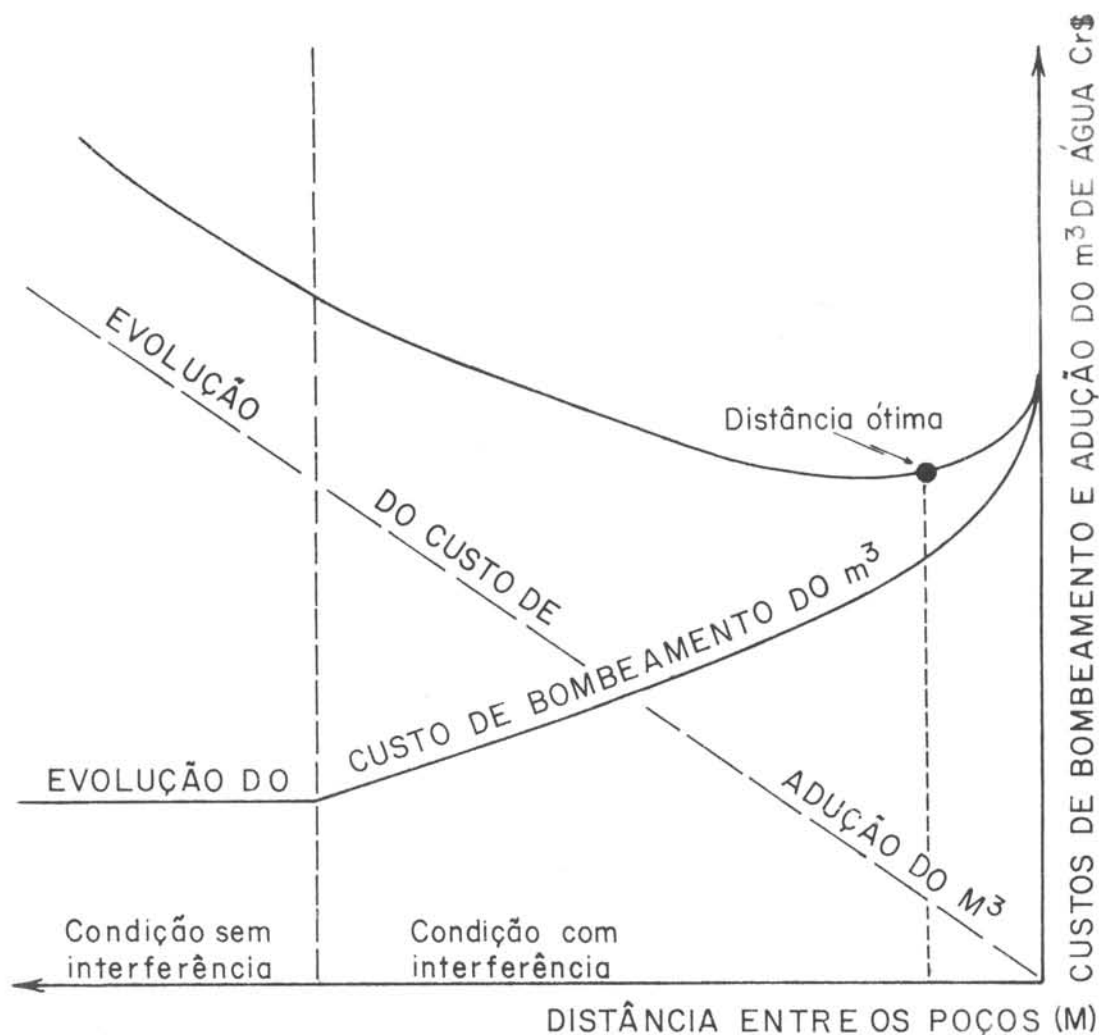


FIGURA 6

AVALIAÇÃO DA DISTÂNCIA ÓTIMA

Sua utilidade somente poderá ser aferida mediante a aplicação de técnicas e medidas que visem a obtenção do máximo de benefício por  $m^3$  de água explorado e sem perder de vista as condições de uso e preservação dos recursos.

CONCLUSÕES

O sistema aquífero Botucatu mergulha em direção ao centro da bacia, subjacente

aos derrames de basaltos da Formação Serra Geral. Se essa situação lhe propicia, de um lado, uma excelente proteção contra os riscos de poluição, engedra, do outro lado, grande aumento dos custos de captação. As possibilidades de exploração tornam-se rapidamente proibitivas, para os utilizadores em geral, na medida que se caminha para o centro da bacia. Ademais, as suas vazões potenciais são de tal forma importantes que se torna imprescindível a execução de poços convenientemente projetados e que visem uma máxima eficiência

técnica e econômica. Esse é aliás, o objetivo principal dos utilizadores de poços nos países mais ricos e desenvolvidos, onde não é concebível desperdiçar recursos hídricos ou financeiros.

Ao nível dos projetos de uso múltiplo, somente a utilização de instrumentos de análise econômica possibilitará avaliações adequadas da utilização dos potenciais hídricos da região, de forma integrada. As decisões a tomar dependerão, forçosamente, da definição de uma política que vise o uso, a preservação dos

recursos e obtenção do máximo de benefício por m<sup>3</sup> de água.

A metodologia utilizada oferece, em escala regional, avaliações aproximadas e comparáveis dos problemas reais, que era a nossa ambição.

O papel dos planejadores consiste em encontrar o justo equilíbrio entre as diversas soluções possíveis, estabelecer as linhas de ação e definir as ordens de prioridade.

Possa este trabalho lhes ser realmente útil.

## BIBLIOGRAFIA

- ARID, F. M. (1970) – Estudos hidrológicos no município de São José do Rio Preto, SP. Bol. Soc. Bras. Geol. 19 (1) : 43-69. Ilustr. São Paulo.
- BARNEA, J. (1972) – Geothermal Power, *in* Press, F. & Siever, R. Planet Earth reading from Scient, American 1974.
- BANCO NACIONAL DE HABITAÇÃO (1975) – Modificações no sistema financeiro do saneamento – Secretaria de Divulgação. 72 p. Rio de Janeiro.
- BRITO NEVES, B. B. de & TOMAZ, A. J. P. (1973) – Geologia e Províncias Hidrogeológicas de Santa Catarina – Anais XXVII Congre. Bras. Geol. Sergipe.
- DAEE, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, – (1974) – Estudo de Águas Subterrâneas – 4 Vol. Atlas, São Paulo.
- DAEE, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – (1976) – Estudo de Águas Subterrâneas – Região Administrativa 7, 8 e 9 – Bauru São José do Rio Preto e Araçatuba. Rev. DAE Ano XXXVI nº 108 p. 58-59. São Paulo.
- FERRIS, J. G.; KNOWLES, D. B.; BROWN, R. H. & STALLMAN, R. W. (1969) – Theory of Aquifer Tests. Geol. Survey – Water – Supply Paper 1936 – E. Washington.
- HANTUSH, M.S. (1964) – Hydraulics of Wells, *in*: Advances in Hydrosiences; Academic Press, New York.
- HAUSMAN, A. (1956) – Notas para uma divisão regional do Rio Grande do Sul – Rev. Eng. do RGS, nº 34, 15 – 22, Porto Alegre.
- HAUSMAN, A. (1966) – Comportamento do ferático nas áreas basálticas do Rio Grande do Sul – Bol. Paranaense de Geografia – nºs 18-20. Curitiba.
- LEINZ, V. & SALIENTIEN, B. (1962) – Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo e regiões limítrofes – Bol. Soc. Bras. Geol. 11 (1) 27-36, Ilustr. São Paulo.
- MAACK, R. (1970) – Notas preliminares sobre as águas do sub-solo da Bacia do Paraná-Uruguaí – Trad. Ursula Maack, 162 p. Tab. Geof. Bibliogr. Curitiba.
- MEZZALIRA, S. (1967) – Atualização dos Estudos e captação de água subterrânea feitos pelo IGG no Estado de São Paulo, 1965-1967, Bol. IGG. 19: 83-91. Ilustr. São Paulo.

- MEZZALIRA, S. (1974) – Contribuição ao Conhecimento da Estratigrafia e Paleontologia do Arenito Bauru – IGG 51, São Paulo.
- PANNUTI E. L. – (1976) – Estudo comparativo entre captação de água superficial e subterrânea em Fernandópolis – Rev. DAE Ano XXXVI nº 108 – p. 29 – 48. São Paulo.
- PEREZ, H.H. & HOLTZ, A. C. (1970) – Bacia do Prata – Inventário e Análise Crítica sobre os Recursos Naturais – Mapa Hidrogeológico. OEA. Washington.
- REBOUÇAS, A. C. (1976) – Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Paraná – Análise de Pre-Viabilidade. Tese de Livre Docência Inst. de Geociências – USP. São Paulo pp. 143. São Paulo.
- SILVA, J. B. da; PIERRI, A. B.; LIMA, D. P. N. & CARNESECA, L. F. (1975) – Estudo Comparativo de Viabilidade Econômica entre Águas Superficial e Água Subterrânea para Ampliação do Sistema de Abastecimento de Água de Araraquara – Rel. DAEE Araraquara, São Paulo.
- THEIS, C. V. (1935) – The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage – Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 16, 519-524. USA.
- WALTON, W. C. (1970) – Groundwater Resource Evaluation – McGraw-Hill Co. New York, USA.

