

GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA REGIÃO DE MINEIROS DO TIETÊ (SP). EMPREGO DE SONDAGENS ELÉTRICAS

André Davino

Geologia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras
de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo

ABSTRAT

This paper deals with the hydrogeological prospecting of the underground water resources of Mineiros do Tietê.

Electrical soundings, interpreted by computational means, were used for this purpose, mainly in order to give us the geometry of the aquifers involved the Bauru formation, basalts trapp and the Botucatu-Pirambóia Formation.

The basalts are 3 times thicker than they were supposed to be from the surface geological map.

Is this an argument that can support a tectonism by faults or simply erosional topographic surface of the pre-basalts terrains?

Being the piezometric level of the Botucatu-Pirambóia aquifer at depth of about 500 meters it is preferable to explore de Bauru and/or basalt aquifers; the Botucatu-Pirambóia aquifer will be the most suitable for ground water exploration in all the cases in which that level is less than 500 meters deep.

GEOLOGIA

Os grandes traços da geologia e hidrogeologia do Estado de São Paulo foram publicados pelo DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (1976) e Rebouças (1976).

Este trabalho tem por finalidade estudar os recursos hídricos subterrâneos de Mineiros do Tietê, pequeno Município situa do à margem direita do rio Tietê, limitado por Dois Córregos, Jaú, São Manoel e Barra Bonita.

A cidade de Mineiros do Tietê, SP, situa-se sobre a borda oriental da bacia sedimentar do Paraná. As referências estratigráficas são as de Fulfaro (1971).

No Município de Mineiros do Tietê afloram rochas do Gru

po Bauru (Cretáceo Superior), basaltos da Formação Serra Geral e a Formação Botucatu-Pirambóia do Grupo São Bento (Trio-Juro-Cretácico). Em profundidade, supõe-se existir todas as formações pré-Botucatu, exceto o Grupo Paraná (Devoniano), ou seja, os Grupos Passa-Dois (Permiano) e Tubarão (Permo-Carbonífero), podendo atingir de 1000 a 2000 metros o pacote de sedimentos e intrusivas básicas até o Embasamento Cristalino pré-Cambriano.

O Grupo Bauru que corresponde litologicamente a uma superposição de rochas clásticas formadas em ambiente continental, constituída por arenitos e siltitos, localmente calcíferos, de ambiente fluvial e lacustrino, em Mineiros do Tietê aflora nas cotas superiores a 600 metros de altitude; toda a área urbana da cidade se assenta sobre sedimentos do Grupo Bauru, que se estendem para o sul até uma dezena de km. Da cidade para o norte aparecem os primeiros afloramentos de basaltos nas cabeceiras do vale que formará o córrego São João. No ponto onde a rodovia Dois Córregos-Jaú corta o mencionado córrego, afloram basaltos; a pequena queda d'água situada próximo a estrada de acesso à cidade tem seu leito sobre rochas basálticas.

A espessura desse Grupo é de 20 a 30 metros, mas em certos locais, essa espessura poderá ser maior. Deve corresponder aos litofácies inferiores, de granulação mais grosseira e variada, de ambiente essencialmente fluvial.

Sendo o Grupo Bauru pouco espesso, o basalto aflora em Mineiros do Tietê ao longo dos vales que atingem as cotas inferiores a 600 metros de altitude. Toda a escarpa da Serra que corta o Município ao sul da cidade é constituída por basaltos. Morfológicamente correspondem ao que se denomina de "cuesta".

Em Mineiros do Tietê, supõe-se que as Formações Botucatu/Pirambóia atinjam, em conjunto, 200 metros de espessura.

A figura 1 representa o mapa geológico desse Município, acompanhado de um corte geológico integrando todas as informações de superfície e de subsuperfície, estas obtidas por sondagens elétricas e dados de perfurações.

HIDROGEOLOGIA

AQUÍFERO BAURU - Do ponto de vista hidrogeológico, o Grupo Bauru, por sua origem continental, por sua pequena espessura e grande extensão horizontal, apresenta o mesmo comportamento de um aquífero do tipo "aluvionar" que repousa sobre o embasamento cristalino. A morfologia do topo do basalto que constitui o substrato impermeável do Grupo Bauru, é o elemento mais importante para o estudo das águas subterrâneas desse Grupo.

Davino et al (1974) apresenta uma tabela de dados sobre o Grupo Bauru no Noroeste do Estado de São Paulo; nesta tabela, nota-se que sua espessura média é de 100 metros. É fornecida igualmente a altitude do topo do basalto pretérito à deposição da Formação Bauru. O topo do basalto pré-Bauru é uma superfície muito suave levemente inclinada.

Existem cerca de 5000 poços perfurados em terrenos da Formação Bauru em toda Bacia do Paraná, dos quais 3000 somente no

Estado de São Paulo. A Formação Bauru pode atingir 300 metros de espessura; em média, porém, deve-se conservar o valor 100 metros. Em termos hidrogeológicos, o sistema de armazenamento subterrâneo abrange a capacidade da zona saturada que atinge, em média, 80 metros de espessura.

Grande parte da infiltração de águas pluviais que chega ao aquífero, como recarga, pode emergir na base dos córregos e rios que drenam a região considerada.

A recarga é facilitada pelas formas tubulares ou suavemente onduladas do relevo e pela capacidade de infiltração dos solos, relativamente grande.

O aquífero Bauru é principalmente livre, com níveis ligados aos rios que drenam a região. A superfície piezométrica acompanha o relevo, geralmente à pequena distância.

Localmente, pode-se observar certa pressão de confinamento proporcionada pelas intercalações argilosas ou ocorrências de bancos calcíferos. Há ocorrências de aquíferos suspensos.

Uma parte da água acumulada no aquífero Bauru infiltra-se no substrato basáltico, fato este de relevância para a recarga da Formação Botucatu.

A variação média anual do nível estático é de 2 a 3 metros (Rebouças, A., 1976, pp. 49-50); as vazões médias podem ser supostas da ordem de 10.000 litros/hora. A vazão específica média pode se situar ao redor dos 500 a 1000 litros/hora/metro, pouco superior àquela dos basaltos.

O critério fundamental de locação de poços no sistema Bauru é a captação da máxima espessura aquífera saturada e em condições de nível estático o mais raso possível. Nos domínios relativamente mais depredados do substrato basáltico pode-se captar as maiores espessuras saturadas e tirar proveito das fácies inferiores relativamente mais permeáveis. Para isso, os métodos geofísicos são de grande valia.

Vale a pena ressaltar que em se tratando de um aquífero livre, existe o risco de poluição (Sinelli, 1974).

AQUÍFERO DO BASALTO - A importância hidrogeológica da sequência de derrames de basalto decorre da relativa explorabilidade de suas zonas aquíferas.

Os milhares de poços já perfurados para água têm uma profundidade limitada a 80 - 100 metros, em média.

Os derrames são compactos e impermeáveis, sendo o armazenamento de águas subterrâneas limitado às zonas mais fraturadas, aos contatos intertrapps e à ocorrência de sedimentos inter ou intrapianos.

Além das descontinuidades de contato, temos a destacar os fraturamentos. Estes seguem, em geral, dois padrões distintos. Nas bordas dos derrames predomina um fraturamento horizontal, enquanto no corpo central é preferencialmente vertical.

Na matriz compacta, o comportamento é de microfissuras.

Em geral as condições mais favoráveis são observadas nas zonas de decomposição, associadas a fraturas horizontais ou contatos, e nos primeiros 10 metros de profundidade. As condições gerais de ocorrências das águas subterrâneas são de aquíferos livres.

O pacote de derrames desempenha o papel de confinante do aquífero Botucatu e constitui o substrato hidrogeológico do aquífero Bauru. A zona Aquífera dos basaltos nada mais é do que um prolongamento em profundidade do aquífero Bauru sobrejacente.

Hausmann (1966) relaciona dados referentes a uma centena de poços que indicam níveis estáticos variando de 0,3 até 130m de profundidade; o valor médio é de 15 metros. A profundidade dos poços varia entre 31 a 190m, sendo a média de 84 metros.

Para avaliação da produtividade desses poços, a vazão específica Q/S serve melhor a essa finalidade, onde Q é a vazão em m³/seg e S é o rebaixamento do nível natural do lençol por bombeamento.

Em 90 poços do Rio Grande do Sul relacionados por Hausmann (1961), as vazões específicas variaram de 4 l/h/m a 49.000 l/h/m, tendo o valor médio sido de 2500 l/h/s. Maack (1970) relaciona 163 poços que apresentam vazões específicas médias variando de 3 l/h/m a 4000 l/k/m, para o conjunto da Bacia Paraná-Uruguaí.

No Estado de São Paulo, o DAEE (1974) indica para 18 poços da Região Administrativa de Ribeirão Preto, uma vazão específica de 1000 a 2000 l/h/m.

Verifica-se que 75% dos valores da vazão específica estão próximos de 500 l/h/m. Nesses termos, para poços projetados e construídos segundo critérios adequados e com rebaixamento da ordem de 30 metros, pode-se conseguir produções de 15000 l/h.

Davino (1978) relata os dados hidrogeológicos concernentes a Maringá, no Paraná. Ali foram examinados os dados de mais de 50 poços profundos, todos perfurados em basaltos.

Em Maringá, o nível estático mais profundo encontrado situa-se ao redor de 60 metros; em média, esse nível está a 30 metros. A vazão específica de 45 poços, distribuída por classes, indicou que a classe mais frequente, com 40% do total, é a classe das vazões específicas entre 500 e 1000 l/h/m. Naqueles 45 poços examinados, o nível dinâmico fica apenas 5 metros abaixo do estático, em média.

PROSPECÇÃO POR SONDAÇÃO ELÉTRICA

As sondagens elétricas constituem um dos métodos mais eficazes para a prospecção da Bacia Sedimentar do Paraná. Assim sendo, em Mineiros do Tietê, aplicou-se esse procedimento para obter informações sobre a geologia de subsuperfície.

Na tabela seguinte são fornecidos os valores médios mais comuns das resistividades de algumas das formações geológicas que no momento, mais interessam aos problemas hidrogeológicos (apud Davino, 1971):

Rochas	Resistividade em Ohm.m
Grupo Bauru	15 - 20
Basalto	300 - 600
Diabásio	400 - 1000
Formações Botucatu/Pirambóia	30 - 60

Esses valores correspondem sempre às zonas saturadas, isto é, às rochas abaixo do nível hidrostático. Acima desse nível, os valores de resistividade variam dentro de uma faixa muito grande, dependendo do teor de umidade da zona alterada, desde algumas dezenas até milhares de ohm.m.

Uma sondagem elétrica consiste de uma sucessão de medidas de resistividades aparentes feitas com uma separação crescente dos eletrodos, permanecendo fixos o centro do arranjo a sua orientação. Aumentando-se a distância entre os eletrodos de corrente, A e B, o volume total da subsuperfície envolvido cresce permitindo alcançar profundidades cada vez maiores. As resistividades lidas entre os eletrodos de potencial M - N estarão estritamente ligados às variações litológicas em profundidade.

O exame de dezenas de diagramas de sondagens elétricas realizadas sobre o Grupo Bauru permite concluir que nas 3 primeiras camadas, valores são em "escala descendente" ($R_1 > R_2 > R_3$), seguida de "escala ascendente" ($R_3 < R_4 < R_5$). Usando a nomenclatura internacional ter-se-iam genericamente curvas do tipo Q-H-A-É interessante notar, nas formas dessas curvas, a acentuada influência das resistividades baixas do Grupo Bauru. Isto poderia levar a julgá-las curvas em "fundo de navio" tipo H. Interpretadas como tal, elas podem conduzir a erros no estabelecimento do corte geoeletrico.

As sondagens elétricas constituem o procedimento adequado para a prospecção hidrogeológica do Grupo Bauru (Davino, 1974), da Formação Serra Geral e da Formação Botucatu (Davino, 1971, 1973 e 1978).

INTERPRETAÇÃO

Hoje dispõe-se de três meios para interpretar uma sondagem elétrica: (a) curvas-padrão, por processo de comparação visual e extrapolação; (b) método direto de computação, por processo de tentativas; (c) método de computação, por processo iterativo automático.

Todos os três meios são utilizados, levando-se em conta resultados obtidos e custos operacionais. A computação por processos iterativos automática é a mais eficiente e também a mais dispendiosa. Os processos manuais com o uso de ábacos de curvas-padrão é o mais subjetivo, o mais artesanal, mas, ainda, o mais rápido e barato.

Para as sondagens elétricas de Mineiros do Tietê, utilizamos os 3 meios de interpretação. Com efeito, após uma primeira interpretação utilizando ábacos e informações geológicas, submetemos esses dados a dois programas: (a) ROAPP, que desenha as curvas de sondagens elétricas a partir de dados de espessura e resistividade e (b) SONDEL, que, a partir de um primeiro modelo de interpretação, por processos iterativos, fornece a interpretação final mais provável.

Nas figuras 2 e 3 são reproduzidas curvas de sondagens elétricas obtidas em Mineiros do Tietê.

As curvas teóricas foram obtidas no computador com o programa ROAPP, cujos dados de entrada são: (a) o modelo de estrati-

ficação dos terrenos (valores de resistividade e espessura de cada estrato) e (b) os valores de $AB/2$ para os quais se quer os valores de resistividades aparentes. O modelo é considerado bom quando houver razoável coincidência entre as curvas, observada e teórica, esta última é traçada pelo computador.

No programa SONDEL, mais elaborado, os dados de entrada são: (a) um modelo inicial de estratificação sobre o qual o computador baseará seus arranjos iterativos e (b) os valores observados de $AB/2$ e resistividades aparentes respectivas, aos quais, levando em conta o modelo inicial, o programa de computador deve procurar se adaptar, fazendo coincidir dentro da melhor precisão possível, com os valores teóricos calculados. Um exemplo é visto no quadro da figura 4.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IGG-1974) e o mapeamento de detalhe do DAEE referente às regiões Administrativas 7, 8, 9 indicam, para o Município de Mineiros do Tietê, basaltos na metade norte e as Formações Botucatu-Pirambóia na parte sul. Verificou-se que, nas cotas acima de 600-650 metros, portanto, em grande parte do Município, afloram rochas do Grupo Bauru.

A Carta de espessuras de basaltos (DAEE, 1976) prevê uma centena de metros dessas rochas do Município de Mineiros do Tietê. As sondagens elétricas efetuadas indicam espessuras bem maiores, da ordem de 300 metros.

Na figura 6, a carta do topo da Formação Botucatu (DAEE, 1976) é ligeiramente modificada em vista dos resultados da interpretação das S.E. .

Esses espessamentos do basalto, que permitem inclusive um contato direto entre as Formações Botucatu e Bauru, próximo da cidade de Bauru, seriam de origem tectônica ou erosional?

Em relação aos recursos hídricos subterrâneos, no Município de Mineiros do Tietê estão os três aquíferos mais importantes da bacia sedimentar do Paraná: a) Formação Bauru, b) Formação Serra Geral (basaltos e arenitos intercalados) e c) Formação Botucatu. A sede do Município, a cidade de Mineiros do Tietê, situa-se sobre um tabuleiro com 650-700m de altitude, inteiramente sobre rochas da Formação Bauru. Portanto,  da Formação Bauru e, em parte, dos basaltos subjacentes, que em primeiro lugar, deve-se pensar em obter água subterrânea para o abastecimento da cidade.

Um poço tubular que atravessa a Formao Bauru e o basalto, captando água de ambas essas unidades, poderá ter vazão da ordem de 10.000 a 30.000 l/h. Supondo-se 500 l/h/m a vazão específica média, com 40m de rebaixamento, ter-se-ia $40 \times 500 = 20.000$ l/h de vazão.

Um poço de 100 a 120m de profundidade poderá fornecer essa ordem de vazão.

A Formao Botucatu, embora um aquífero comprovadamente de grande potencialidade, apresenta em Mineiros do Tietê com seu nível piezométrico a 490m de altitude. Por conseguinte, somente em locais com altitudes de 500-550m seria aconselhável captar suas águas através de poços tubulares. Apenas na zona sul do Município,

logo abaixo das escarpas de "serras" (localmente denominada de "baixão da serra"), seria conveniente localizar poços para obtenção de água subterrânea da Formação Botucatu. O "baixão da serra" são terrenos situados em afloramentos dessa formação.

BIBLIOGRAFIA

- DAEE (1974 e 1976) - Estudos de Águas Subterrâneas por Regiões Administrativas. São Paulo.
- DAVINO, A. e VALERIO, A. (1971) - A aplicabilidade do método de eletrorresistividade do estudo de viabilidades do Canal de Pereira Barreto, SP (Soc. Bras. Progresso da Ciência, no Prelo).
- DAVINO, A. (1971) - Sondagens elétricas de grande alcance na prospecção de aquíferos da bacia do Paraná. Anais do XXV Congr. Bras. de Geol. São Paulo.
- DAVINO, A. (1973) - Levantamentos geofísicos na Bacia do rio São José dos Dourados, IGG. 1973. São Paulo (inédito).
- DAVINO, A., PAOLIELLO, P.C., MEZZALIRA, S., TORRES, C.C. e VERDIANI, A.C. (1974) - Problemas de interpretação de sondagens elétricas na Formação Bauru em Pesquisas hidrogeológicas, An. 28º Congr. Bras. Geologia, 7: 79-87. Porto Alegre.
- DAVINO, A. (1978) - Pesquisa hidrogeológica por método Geofísico das rochas basálticas de Maringá, Pr. Anais XXX Congr. Bras. Geol. vol. 6, pp. 2921-2933. Recife.
- FÚLFARO, V.J. (1971) - A evolução tectônica e paleogeográfica da bacia sedimentar do Paraná pelo "Trend Surface Analysis". Geol. 14-Escola de Engenharia de São Carlos, SP.
- HAUSMANN (1966) - Comportamento do freático nas áreas basálticas do Rio Grande do Sul - Bol. Paranaense de Geografia nº 18-20. Curitiba.
- MAACK, R. (1970) - Notas preliminares sobre as águas do subsolo da bacia do Paraná - Uruguai, 162 p. Tab. Geof. Bibliogr. Curitiba.
- NORTHFLEET, A.A., MEDEIROS, R.A. e MUHLMANN, H. (1969) - Reavaliação dos dados geológicos da bacia do Paraná. Bol. Técnico da Petrobrás, vol. 12, nº 3, jul.-set., pp. 291-343.
- REBOUÇAS, A.C. (1976) - Recursos hídricos subterrâneos da bacia do Paraná. Análise de Pré-Viabilidade. Tese de Livre Docência. - Inst. Geoc. USP. 143 pp. São Paulo.
- SINELLI, O. (1974) - Vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos na região NNE do Estado de São Paulo - 28º Congr. Bras. Geol. Bol. nº 1. Resumo das Comunicações, 76-77. Porto Alegre.

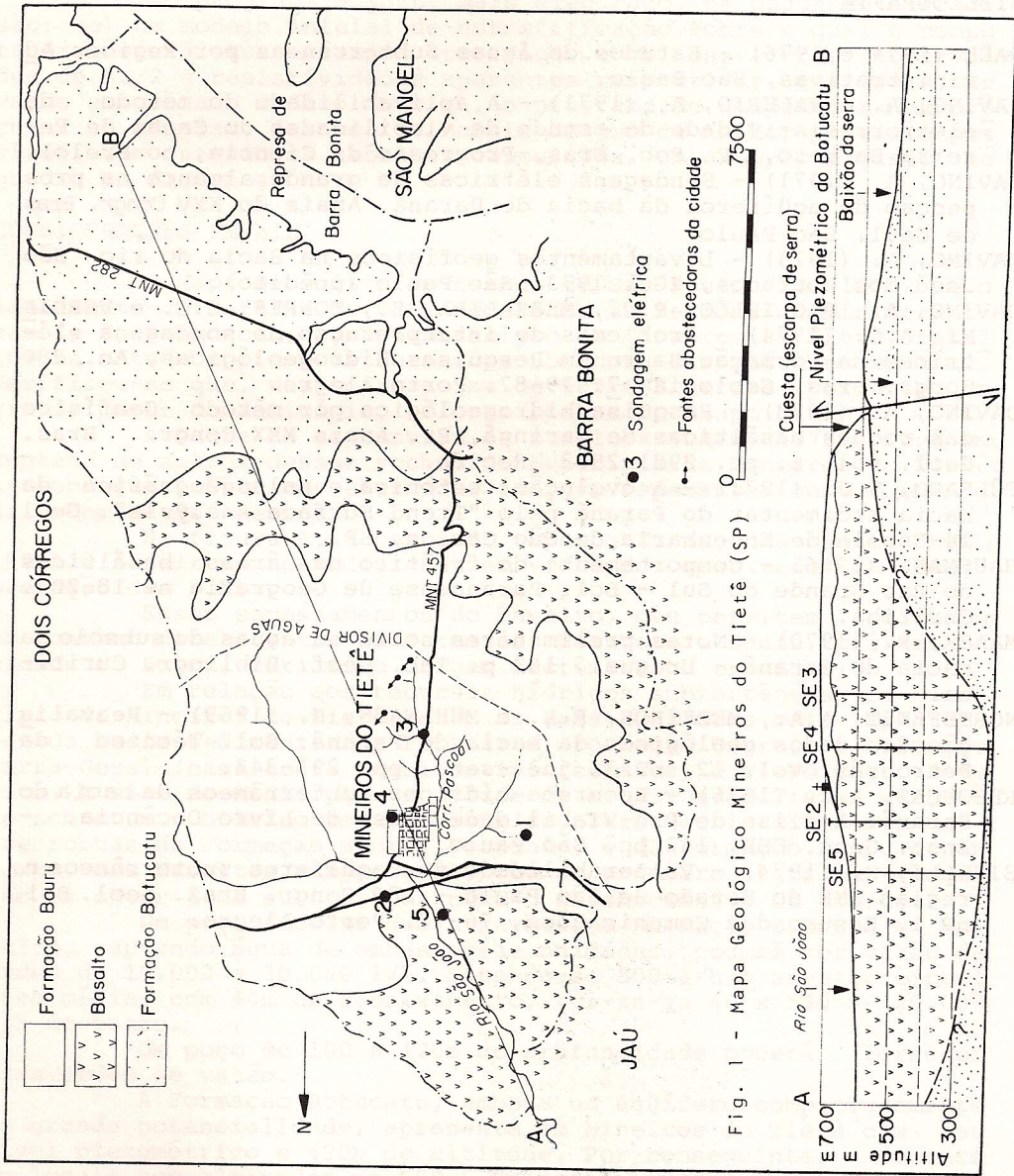


Fig. 1 - Mapa Geológico Mineiros do Tietê (SP)

Fig. 2 - Sondagem elétrica nº 1

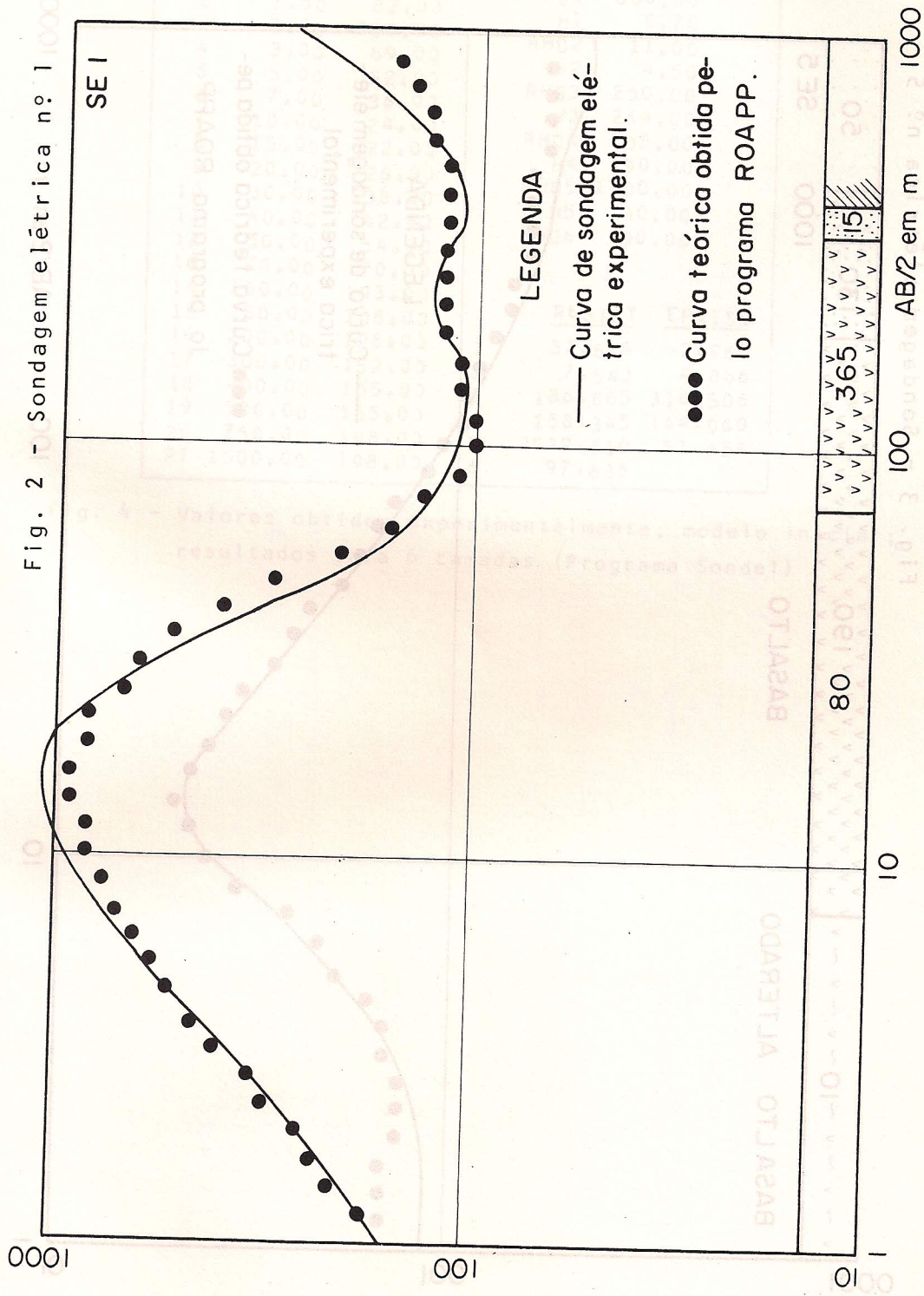
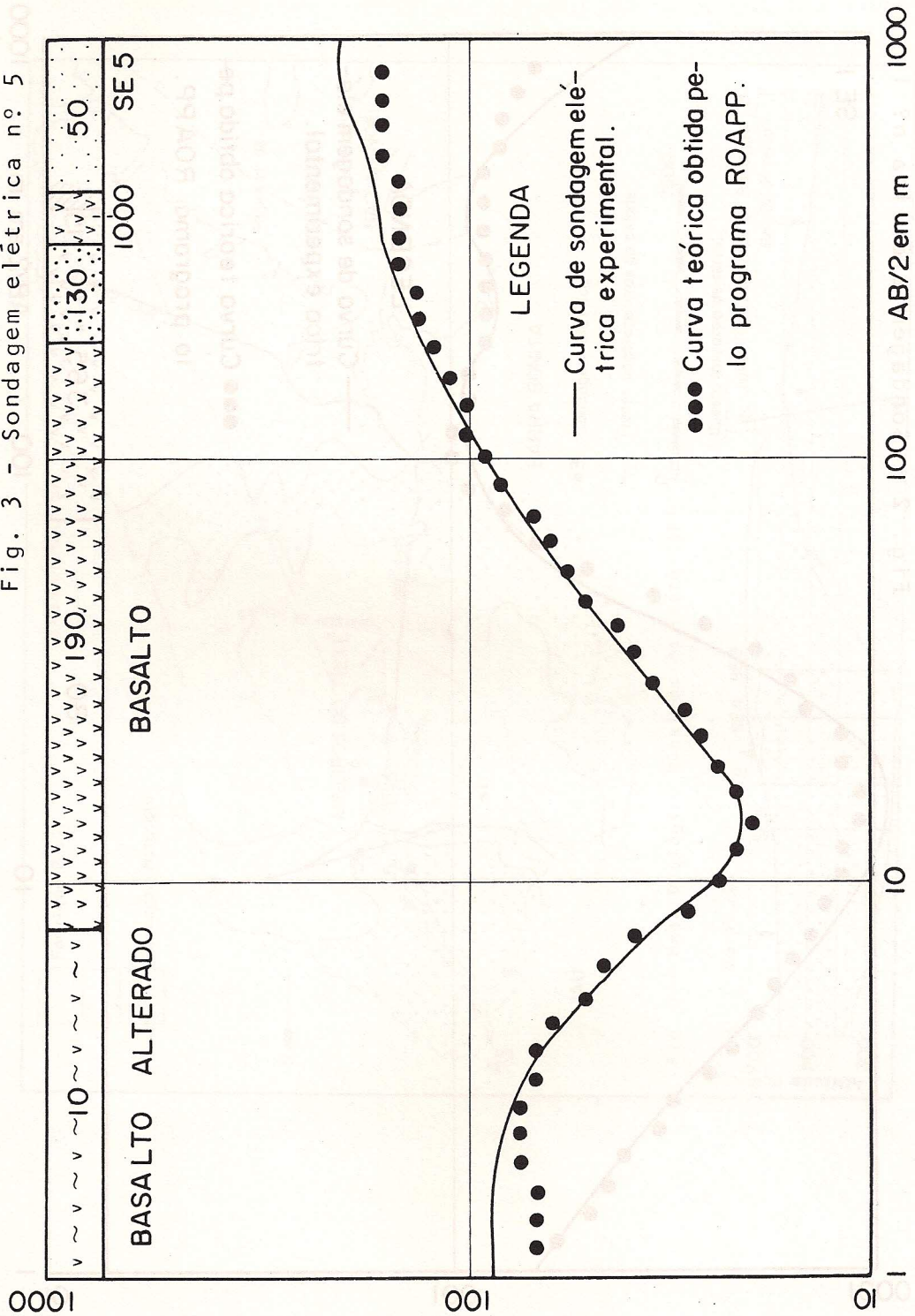


Fig. 3 - Sondagem elétrica nº 5



	<u>AB/2</u>	<u>RDAP</u>		<u>MODELE INICIAL</u>	
1	1.00	70.00		RHO1	600.00
2	1.50	82.00		H1	0.70
3	2.00	100.00		RHO2	11.00
4	3.00	89.00		H2	4.50
5	5.00	52.00		RHO3	200.00
6	7.00	36.00		H3	264.00
7	10.00	24.00		RHO4	105.00
8	15.00	22.00		H4	190.00
9	20.00	26.00		RHO5	1700.00
10	30.00	38.00		H5	30.00
11	40.00	42.00		RHO6	80.00
12	50.00	54.00			
13	70.00	70.00			
14	100.00	93.00			
15	150.00	108.00		<u>RESIST</u>	<u>EPAISS</u>
16	200.00	128.00	1	87.819	2.968
17	300.00	152.00	2	7.543	4.886
18	400.00	155.00	3	186.885	316.506
19	500.00	165.00	4	158.345	144.060
20	750.00	198.00	5	2949.710	51.654
21	1000.00	198.00	6	97.636	

Fig. 4 - Valores obtidos experimentalmente; modelo inicial; resultados para 6 camadas (Programa Sondel)

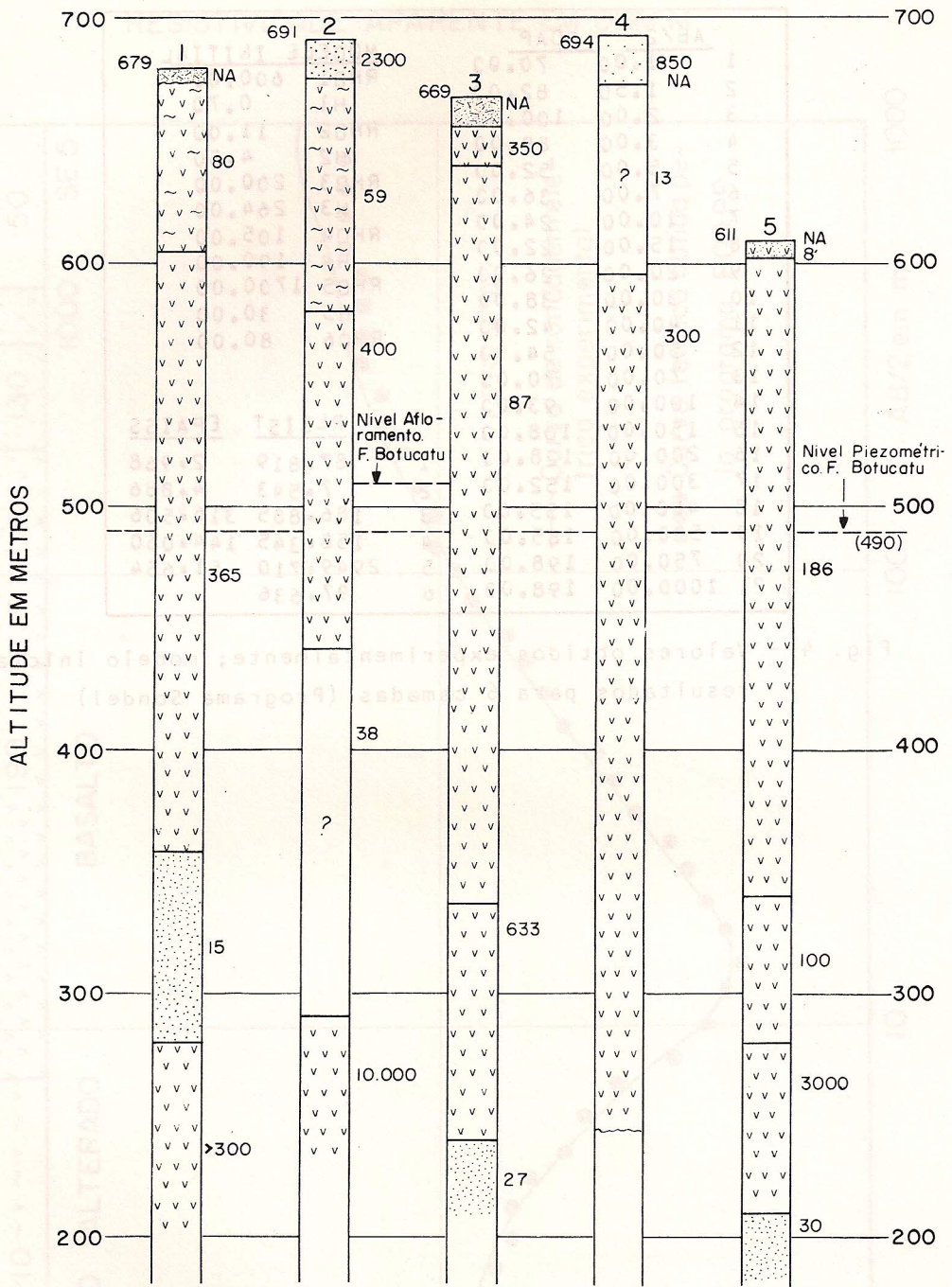


Fig. 5 - Perfis geolétricos interpretados

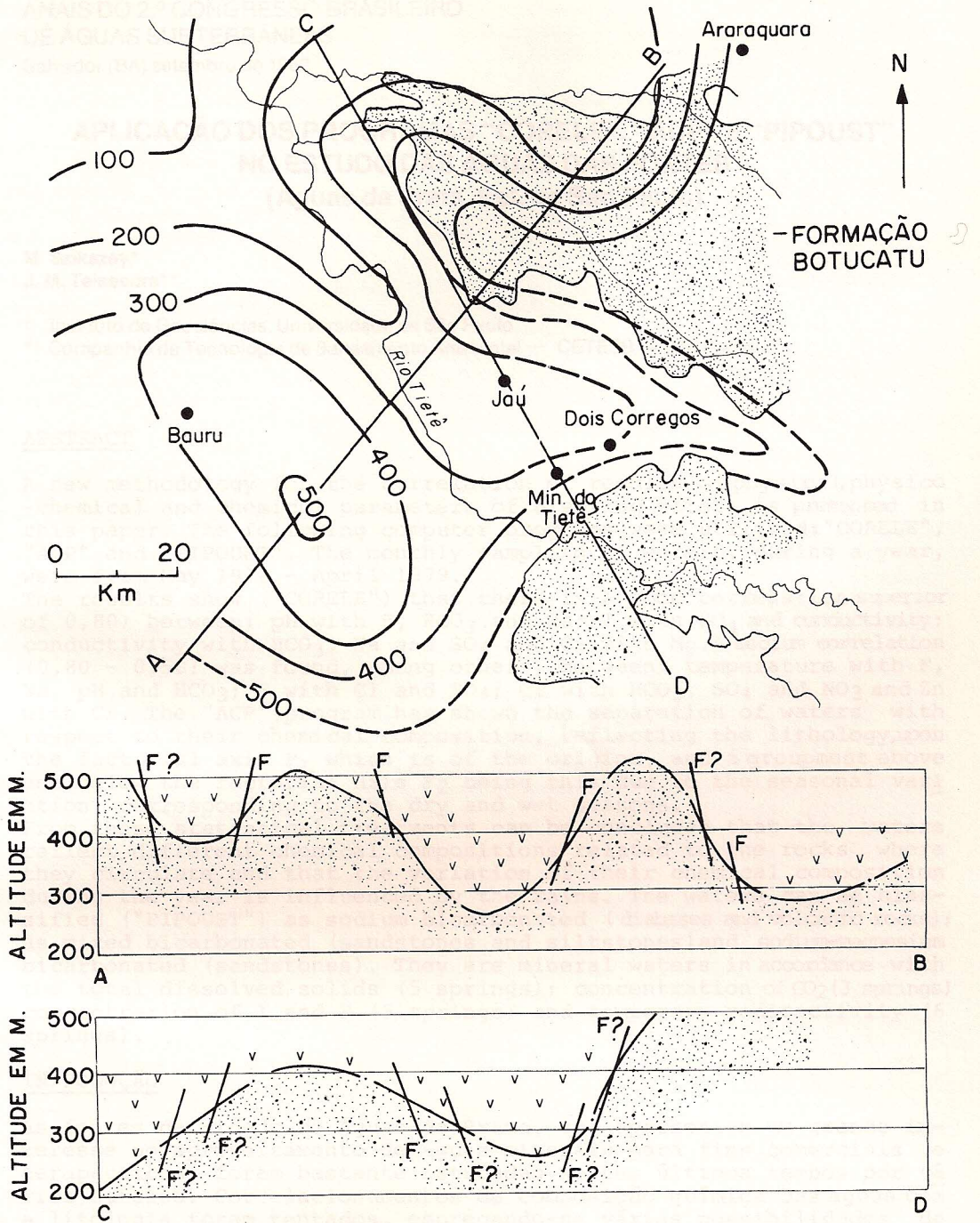


Fig. 6 - Carta e perfis da configuração topográfica do topo da Formação Botucatu (seg. DAEE, 1976, modificado)