



Estrutura geolétrica da região de Termas de Ibirá-SP

Simone S. André, OBSERVATÓRIO NACIONAL/MCT-Rio de Janeiro-RJ, sandre@on.br

Jandyr M. Travassos, OBSERVATÓRIO NACIONAL/MCT-Rio de Janeiro-RJ, jandyr@on.br

Jorge L. Porsani, IAG/USP-São Paulo –SP, porsani@iag.usp.br

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

A MT survey was carried out in Termas de Ibirá, situated about 450 km NW of the city of São Paulo. The survey aimed at yielding a geoelectric model of the subsurface in general and of the main aquifer in the region. That aquifer is probably composed of the Botucatu sandstone and the highly fractured Serra Geral basalt. The mineral water is exploited for the tourism in the region. This work takes advantage of the resistivity contrast between those two units: one order of magnitude. The model presented here is able to reproduce all the sedimentary cover of the Parana Basin in the study region.

Introdução

A Estância Hidromineral Termas de Ibirá, na Cidade homônima, está situada a cerca de 450 km a NW da cidade de São Paulo, **Figura 1**. A economia da cidade é baseada na exploração da água subterrânea, através de atividades: turística, industrial (engarrafamento de água mineral) e a agricultura.

O aquífero da Formação Botucatu, que alimenta os poços da região, está capeado pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral, que segundo a literatura, apresenta uma espessura média da ordem de 400 – 600 m (Teissedre, 1982). O contraste da resistividade entre os basaltos e o arenito Botucatu é da ordem de 10 vezes, tornando o problema de delimitação do aquífero particularmente atraente para os métodos eletromagnéticos de baixa frequência. O método magnetotelúrico (MT) é particularmente adequado para ser empregado na região pelo seu poder de resolução e elevada penetração. A sísmica de reflexão, com um alto poder de resolução maior, possui limitação devido à alta velocidade nos basaltos.

Geologia da Área

As formações de interesse exploratório na Bacia Paraná, na região de Termas de Ibirá são: Fm. Bauru, Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu (Szikszay, 1992). A

área em estudo, como o restante da bacia, foi afetada por tectonismo, principalmente falhamentos em blocos e movimentos de soerguimento e subsidência.

A Formação Serra Geral é formada por extensos derrames basálticos, que ocorreram durante o Cretáceo Inferior, em toda a Bacia do Paraná, localizada entre as Formações Botucatu e Bauru. Apresenta intrusões em forma de “sills” ou soleiras de diabásio. Os derrames sucessivos de basalto atingem espessura de 375 metros próximos a área de interesse (Silva, 1983), mas pode atingir mais de 1500 m de espessura no interior da bacia. O topo da Formação Serra Geral, bem como o seu contato com os arenitos da Formação Botucatu, são bastante irregulares, devido as fases tectônicas seguidas por erosão, podendo apresentar desníveis da ordem de centenas de metros. O Aquífero Serra Geral apresenta características variáveis do ponto de vista do regime hidrológico dos basaltos, podendo ser compactos ou porosos. As fraturas e os falhamentos também influenciam localmente neste comportamento. Devido a essa variabilidade pode-se encontrar na parte superior dos derrames, lençóis suspensos de água subterrânea. Apesar disto, regionalmente, o aquífero é considerado contínuo, bastante viável e conveniente para exploração, em especial devido a mineralização da água, se explorado em fraturas (DAEE, 1976).

A Formação Bauru do Cretáceo Superior é formada por sedimentos que ocupam a maior parte do Estado de São Paulo. É caracterizada por arenitos, arenitos argilosos e siltitos, com e sem cimentação carbonática, de espessura variável em função da estrutura geológica e da morfologia da Bacia. O aquífero mais explorado é a Formação Bauru, devido a sua facilidade de captação de água. Este aquífero é moderadamente permeável, devido ao teor relativamente alto de material argiloso e siltoso e à intercalação dessas camadas permeáveis e semi-permeáveis no perfil. Apesar da baixa vazão, que geralmente fornece, possui uma relativa importância pelo fato de se encontrar em toda região e de serem explorados por poços rasos.

A Formação Botucatu é constituída por arenitos finos à médios, com estratificação cruzada bastante friáveis, exceto a parte superior, onde ocorre o contato coma Formação Serra Geral, onde pode-se encontrar arenitos silicificados. Os arenitos desta formação foram depositados em ambiente eólico,

Estrutura geolétrica da região de Termas de Ibirá-SP

provavelmente desértico. A espessura do pacote dos arenitos da Formação Botucatu na região, varia entre 250-340 metros. O aquífero Botucatu não aflorante na região, é o que permite poços com elevada vazão, mas, muito mais profundo, logo há um número muito reduzido de poços devido aos custos envolvidos (DAEE, 1976). Este aquífero apresenta-se confinado na região pelos derrames basálticos. A base do aquífero Botucatu/Pirambóia é representada pelas camadas impermeáveis do Grupo Estrada nova e camadas argilosas e siltosas que se encontram, às vezes, na base da Formação Pirambóia.

A Formação Pirambóia exibe bastantes similaridades com a Formação Botucatu, do ponto de vista litológico e suas características hidrológicas serão tratadas conjuntamente.

Aquisição dos Dados e Processamento

Para atingir este objetivo, foram adquiridas sete sondagens MT em uma campanha de campo realizada em 1996 na Cidade de Termas de Ibirá. As sondagens cobriram a faixa de frequência de 10^{-3} - 10^3 Hz, que permitem investigar até cerca de 5 km de profundidade, que são suficientes para estudos de exploração de água subterrânea. Os dados MT foram adquiridos numa campanha de campo realizada pelo Observatório Nacional em conjunto com o IAG/USP. Foram adquiridas 7 sondagens MT ao longo de um perfil N63E, nas proximidades da Estância Hidromineral de Termas de Ibirá.

As sondagens estão irregularmente espaçadas, estendendo-se por um perfil de aproximadamente 20 km. A **Figura 1** mostra a localização das sondagens MT. A localização das sondagens foi feita com base em fotos aéreas na escala 1:40.000 e cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000. As coordenadas das sondagens no campo foram obtidas utilizando um GPS portátil. Foi utilizado um equipamento magnetotélúrico da EMI—Electromagnetic Instruments. Cada sondagem MT, levou entre 8 e 9 horas. Os dados obtidos foram gravados no disco rígido de um notebook. As orientações de campo, X e Y, foram N63W e N27E.

Utilizou-se o método convencional de minimização por mínimos quadrados (Jones et. al., 1988) para a obtenção do tensor-impedância, Z_{ij} , e das funções-resposta da Terra resistividade aparente (1) e fase (2),.

$$\rho_{ij}(\omega) = \frac{1}{\omega\mu} |Z_{ij}|^2 \quad (1)$$

$$\phi_{ij}(\omega) = \text{Arctg} \left[\frac{\text{Im} Z_{ij}}{\text{Re} Z_{ij}} \right] \quad (2)$$

A resistividade aparente e a fase para a sondagem SMT05 está apresentada na **Figura 2**.

Em sondagens eletromagnéticas no domínio das frequências, é comum a presença de ruído geológico conhecido como efeito estático ou static-shift. O problema do efeito estático em sondagens MT é caracterizado por um deslocamento paralelo arbitrário, para cima ou para baixo, nas curvas de resistividade aparente versus frequência. Sua causa está associada a heterogeneidades laterais da resistividade próximos à superfície, ou com a topografia do terreno. O efeito estático foi corrigido através da mediana das resistividades invertidas do condutor relacionado à Formação Botucatu (Jones, 1988). A mediana da resistividade foi escolhida por ser estatisticamente robusta.

Resultados

A interpretação das sondagens MT foi realizada com base na inversão 1D (Inman, 1975) de todas as sete sondagens (Modo TE e TM). Durante este processo não foi feita a imposição de qualquer vínculo para a inversão. O resultado do processo de inversão foi considerado satisfatório quando o erro de ajuste entre os dados reais e o modelo sintético for menor que 15%.

A seção geolétrica, utilizou as sondagens 1, 2, 3, 5, 6 e 7. As 3 e 7 por apresentarem baixa qualidade nas baixas frequências, não foram consideradas para grandes profundidades. A sondagem 4 foi dispensada da interpretação por estar sobreposta pela estação MT 5.

Foram encontrados dois resistores e dois condutores na seção geolétrica, conforme mostra a **Figura 3**. Um pacote condutivo com espessura de cerca de 90 metros, que pode ser associado a os sedimentos rasos (incluindo a Formação Bauru).

O resistor com o topo em torno de 100 metros de profundidade, apresenta resistividade mediana de 400 ohm.m. Esta resistividade é característica de basaltos, segundo DAEE, a resistividade do basalto na região está em torno de 300-500 ohm.m. Portanto, este resistor foi correlacionado com a Formação Serra Geral. E sua espessura foi estimada em aproximadamente de 600-800 m.

O desnível encontrado no topo deste resistor caracteriza a presença de falhas, e pode ser verificada através da análise da Seção TM, onde o método é mais sensível a contrastes laterais.

O segundo condutor delimita a base da Formação Geral. Esse condutor está associado à Formação Botucatu/Pirambóia, estes sedimentos formam o aquífero Guarani.

Dados de poços presentes na região confirmam as informações aqui apresentadas. Há um poço próximo a SMT07, com 99 metros de profundidade que não atinge o basalto. Verificamos

Estrutura geoeétrica da região de Termas de Ibirá-SP

que no final da seção proposta, próximo à estação MT , o resistor associado aos basaltos da Formação Serra Geral, está em profundidade de fato maior do que 100 metros. O topo da Formação Serra Geral foi detectado por um poço na região, próximo a estação MT 5 em torno de 30 metros de profundidade, e pela seção geoeétrica foi possível detectá-lo em torno de 55 metros.

Conclusão

A análise do conjunto das sondagens MT para dois Modo TE e TM permitiu propor um modelo de estrutura geoeétrica para a Bacia do Paraná, na região de Termas de Ibirá.

Os poços na região de Termas do Ibirá exploram o aquífero Bauru ou aquífero Serra Geral. Não há informações diretas sobre a espessura do aquífero Serra Geral. O modelo geoeétrico encontrado demarca claramente o topo e base do basalto (Formação Serra Geral), descrevendo a geometria deste aquífero na região, podendo orientar os hidrogeólogos na exploração.

O aquífero Guarani, o melhor aquífero da Bacia do Paraná, possui um potencial de água não avaliado com precisão (Teissedre, 1982), para tanto é necessário definir seus limites. O método MT apresentou ótima resposta para definir topo do Aquífero Guarani, representado pelo segundo condutor no modelo geoeétrico. Entretanto, a identificação da sua base é uma informação que deve ser vista com alguma ressalva, pois são escassas as informações de poços na área até esta profundidade. O horizonte segundo resistor, registrado pelo MT, provavelmente está relacionado com rochas paleozóicas da Bacia do Paraná.

Referências Bibliográficas

- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1976. Estudo de água subterrânea: Região administrativa 7,8,9. Bauru, São José do Rio Preto Araçatuba. V.2
- Interpex, 1997. EMIXMT User's manual magnetotelluric data interpretation software.
- Inman, J. R., 1975. Resistivity inversion with ridge regression. Geophysics. V. 40. P. 798-817.
- Jones, A.G. , 1988. Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environmental. Geophysics. V.53(7). P. 967-978.
- Silva, Rosa B.G., 1983. Estudos hidroquímicos de isótopos das águas Subterrâneas do aquífero Botucatu no estado de São Paulo. Tese de Doutorado. IGc-USP.
- Szikszy, M & Teissedre, J.M., 1992. Fontes da bacia sedimentar do Paraná Estado de São Paulo. Revista Águas Subterrâneas. Abril. P. 85-99.

Teissedre, J. M., 1982. Geometria e condições de exploração do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. Anais do 2o Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. Setembro. P. 53-63.

Estrutura geolétrica da região de Termas de Ibirá-SP

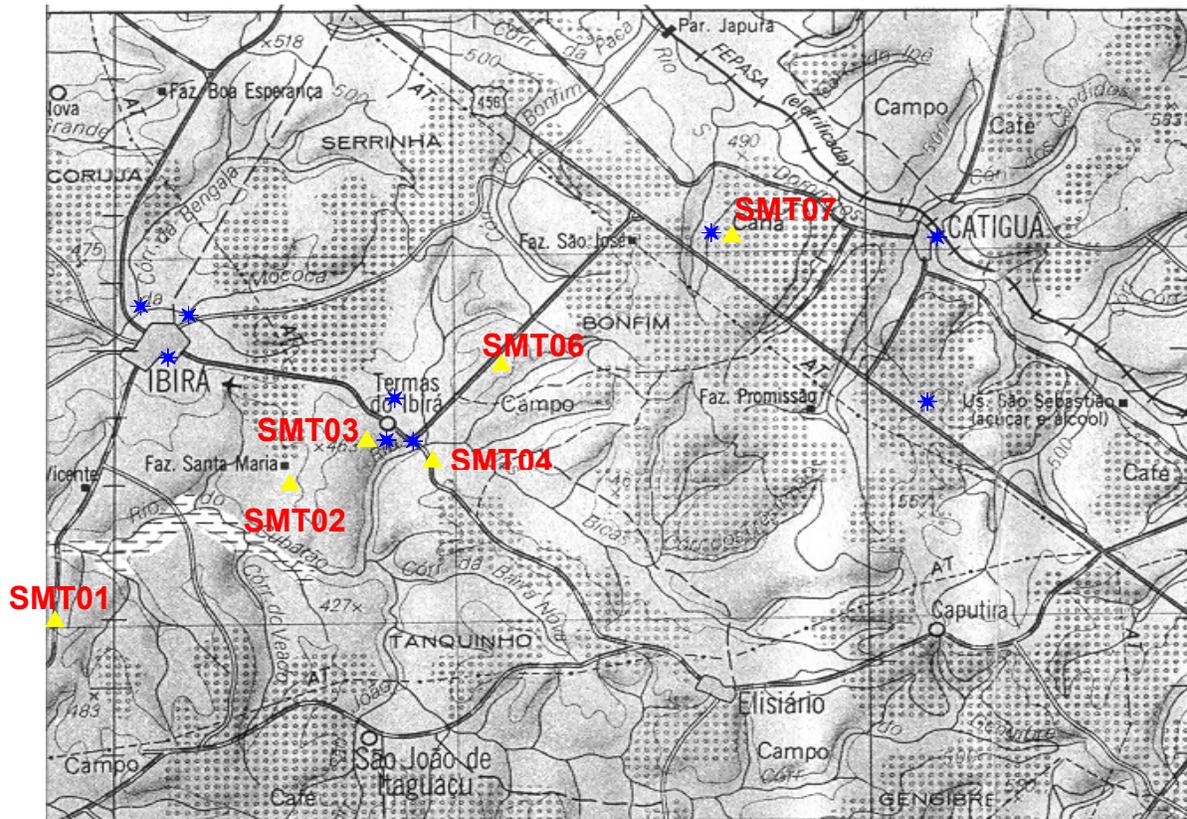


Figura 1. Localização das sondagens magnetotelúricas (SMT) e poços (DAEE /IPT).

* poços ▲ estação MT



SMT 05

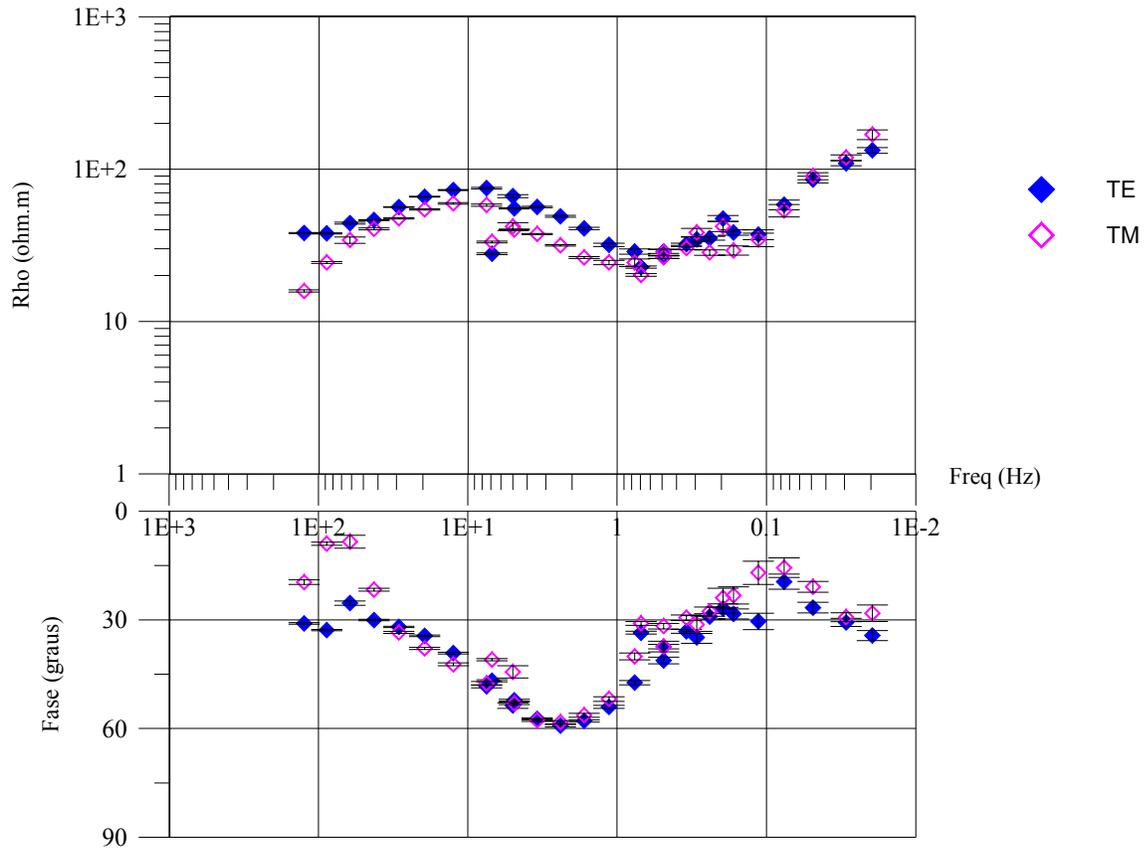


Figura 2. Curvas de resistividade aparente e fase versus frequência (Hz), SMT05, antes da correção de static-shift.

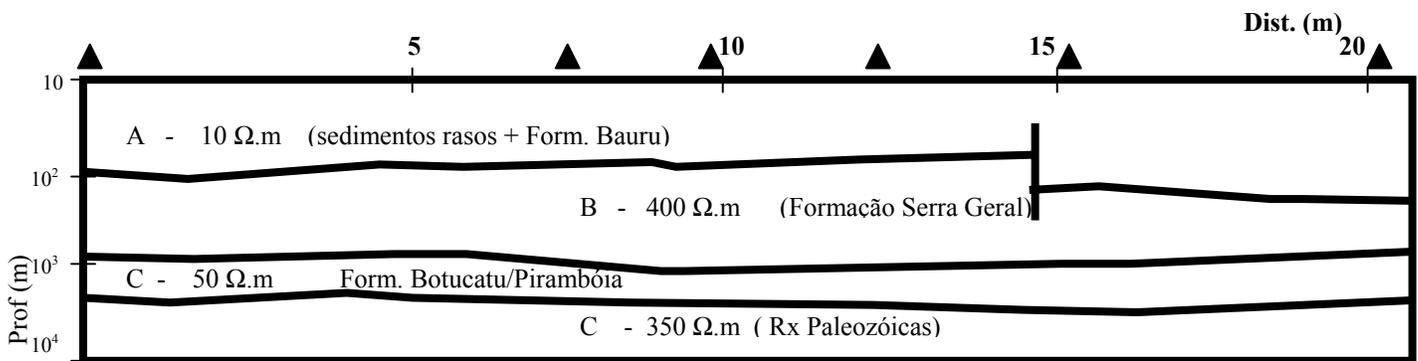


Figura 3. Horizontes geoeletricos com resistividades medianas.