

O MÉTODO MAGNETOTELÚRICO APLICADO À BACIA DO SÃO FRANCISCO, MINAS GERAIS

Jorge L. Porsani ¹ & Sérgio L. Fontes ²

Received January 29, 1996 / Accepted July 30, 2001

Foram realizadas 43 sondagens magnetotelúricas, totalizando oito seções, na parte central da bacia sedimentar do São Francisco, região Norte do estado de Minas Gerais. Este estudo visou mapear a estrutura geoeétrica da bacia. O levantamento foi superposto a 10 linhas sísmicas, cobrindo 11.000 km² de área. O espaçamento entre as sondagens foi irregular e a frequência utilizada variou de 0,001 até 400 Hz, permitindo investigar até 60 km de profundidade. Os dados foram corrigidos do efeito de deslocamento estático através da mediana da resistividade do primeiro condutor. Utilizou-se um invariante do tensor impedância para interpretar a estrutura geoeétrica da bacia. Apresenta-se neste trabalho o resultado de uma seção geoeétrica obtida através de inversão 1D. Foi identificada uma seqüência de horizontes condutivos e resistivos, correspondentes ao pacote sedimentar e o topo do embasamento geoeétrico, que caracterizam a bacia do São Francisco. Além disso, identificou-se uma zona condutiva e outra resistiva a profundidades crustais. Os resultados apresentaram uma boa concordância com os dados sísmicos e gravimétricos, enquanto a concordância com o perfil de eletrorresistividade do poço existente na área de investigação foi apenas razoável.

Palavras-chave: Magnetotelúrico; MT; Estrutura geoeétrica; Bacia do São Francisco.

THE MAGNETOTELLURIC METHOD APPLIED IN THE SÃO FRANCISCO BASIN, MINAS GERAIS - Forty-three magnetotelluric (MT) soundings were undertaken along eight profiles at the central portion of the São Francisco Sedimentary Basin, northern region of Minas Gerais State. The study aimed at the mapping of the geoelectrical structure of the basin. The MT profiles were deployed along ten seismic lines covering 11,000 km² of total area. The MT soundings were irregularly spaced and covered the frequency range from 0.001 Hz to 400 Hz, probing the electric structure from the surface to a maximum depth of 60 km. The MT data affected by static shift were corrected by fixing the resistivity value (given by the median) of the first observed conductor. The geoelectric interpretation was based on a rotationally invariant impedance response function. We identified a sequence of conductive and resistive layers, which are related to the sedimentary sequence observed in the São Francisco Basin and its crystalline basement. The results show good agreement with seismic and gravimetric data while showing just a fair agreement with available electrical well log information.

Key words: Magnetotelluric; MT; Geoelectric Structure; São Francisco Basin.

¹ Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP).
Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária, São Paulo-SP, 05508-900.
Fone: (0xx11) 3818 - 4734 / Fax: (0xx11) 3818 - 5034
porsani@iag.usp.br

² Observatório Nacional.
R. Gal. José Cristino, 77, São Cristóvão, Rio de Janeiro-RJ, 20921-400.
Fone: (0xx21) 580 - 7081 / Fax: (0xx21) 580 - 3782
sergio@on.br

INTRODUÇÃO

A bacia Proterozóica do São Francisco ocupa uma área de aproximadamente 300.000 km², englobando partes dos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia (Fig. 1). Geologicamente, a bacia é caracterizada principalmente por sedimentos pelítico-carbonáticos do Grupo Bambuí (Braun et al., 1990).

O levantamento gravimétrico realizado na Bacia do São Francisco revelou que as emanações de gás termoquímico que ocorrem na área do “Remanso do

Fogo” têm controle estrutural e que a profundidade da Bacia é crescente para Sul-Sudoeste (Marinho, 1993). Em várias outras localidades da Bacia ocorrem emanações gasosas, o que motivou a Petrobrás a realizar pesquisa geofísica sistemática com vistas a avaliar o seu potencial exploratório.

Incluídas nestes estudos, apresentam-se neste trabalho as atividades desenvolvidas no levantamento Magnetotelúrico (MT) realizado na Bacia do São Francisco, em áreas de Minas Gerais e apresentadas anteriormente em relatórios internos da Petrobrás

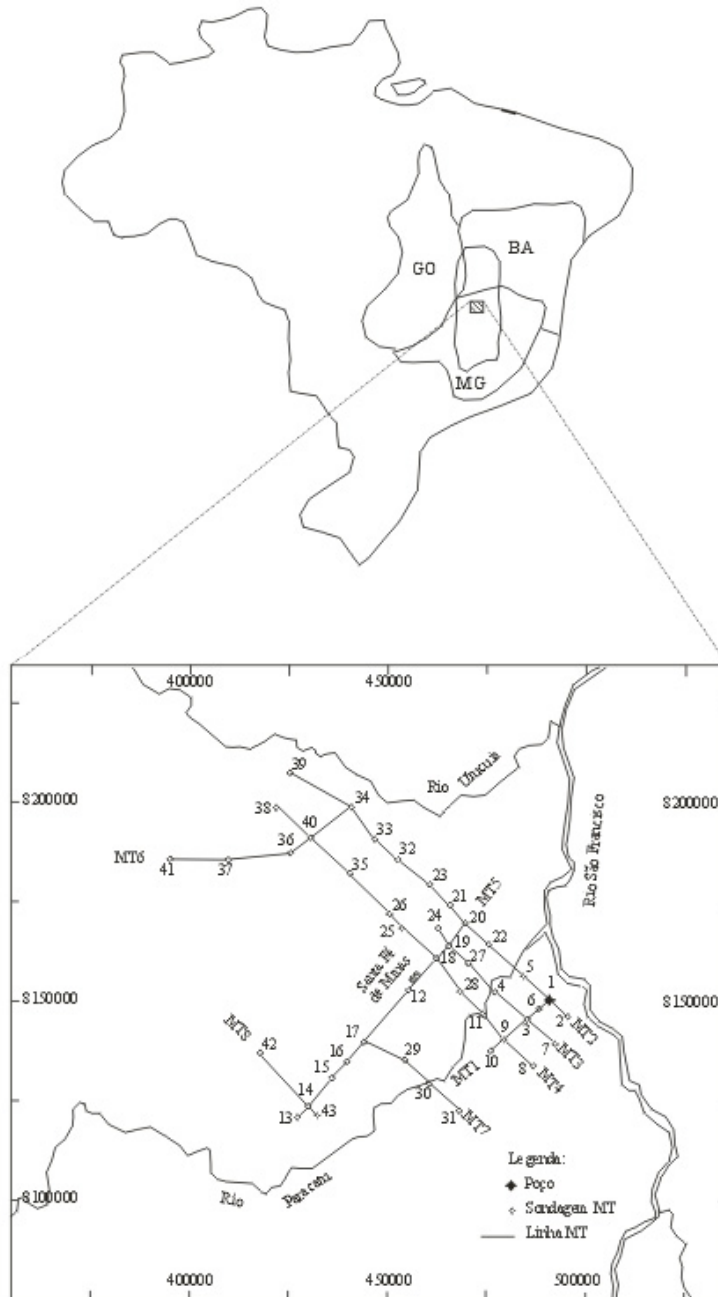


Figura 1 - Área do levantamento e localização das sondagens MT.

Figure 1 - Area of survey and localization of MT soundings.

(Porsani & Fontes, 1992; Porsani, 1993). Posteriormente, Porsani & Travassos (1995) realizaram novos estudos MT na Bacia do São Francisco, desta vez utilizando a técnica EMAP – *Electromagnetic Array Profiling*.

Durante o levantamento de campo foram adquiridas 43 sondagens MT na região Norte do estado de Minas Gerais, totalizando oito seções, conforme pode ser visto na Fig. 1. Esses dados foram processados no domínio da frequência, seguindo o procedimento usual, com a estimativa de erros seguindo a técnica de Gamble et al. (1979). A correção do efeito de distorção estática foi incorporada a partir de procedimento estatístico similar ao utilizado por Jones (1988).

Tendo em vista o caráter unidimensional (1D) dos dados, particularmente entre as frequências de 0,1 e 400 Hz, utilizou-se um invariante rotacional do tensor impedância para uma inversão 1D (Park & Livelybrooks, 1989). Os resultados obtidos permitiram determinar a espessura dos sedimentos que repousam sobre o embasamento da bacia, e identificar uma zona condutiva e outra resistiva a profundidades crustais.

As vantagens e restrições do método magnetotelúrico, como ferramenta exploratória aplicada à Bacia do São Francisco, são abordadas nas conclusões e recomendações.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

A Bacia sedimentar do São Francisco é caracterizada principalmente por sedimentos pelítico-carbonáticos do Grupo Bambuí e por quartzitos, metassiltitos e filitos do Super-Grupo Araí (Fig. 2). Segundo Braun et al. (1990), os estudos geológicos de superfície, bem como os estudos do poço “Remanso do Fogo”, indicaram que os sedimentos pertencentes ao Grupo Bambuí são atribuídos ao Vendiano (Proterozóico Superior), tornando essa bacia interessante do ponto de vista exploratório.

O Grupo Bambuí é constituído pelo Sub-Grupo Paraopeba e pela Formação Três Marias. O Sub-Grupo Paraopeba está subdividido em 4 Formações: Formação Serra da Saudade, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra de Santa Helena e Formação Sete Lagoas. Essas Formações são caracterizadas

basicamente por siltitos e folhelhos intercalados com calcários e dolomitos; a base da Formação Sete Lagoas é caracterizada por conglomerados e diamictitos e são denominados de Formação Jequitaiá. A Formação Três Marias é caracterizada por intercalações de arcósios e siltitos (Braun et al., 1990).

METODOLOGIA, AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

O método magnetotelúrico (MT) tem como objetivo mapear a distribuição da resistividade elétrica das rochas de subsuperfície, através da medida das variações temporais das componentes horizontais dos campos elétrico e magnético naturais sobre a superfície da Terra (Wannamaker & Hohmann, 1991). A distribuição da resistividade elétrica das rochas na subsuperfície está relacionada com vários parâmetros físicos e estruturais, tais como: porosidade, permeabilidade, salinidade, pressão e temperatura (Keller & Frischknecht, 1970; Kaufman & Keller, 1981).

As variações temporais das componentes horizontais dos campos elétrico e magnético são registradas no domínio do tempo. O processamento dos dados é usualmente realizado no domínio da frequência, utilizando-se a Transformada Rápida de Fourier (FFT). No domínio da frequência, o acoplamento entre esses campos é admitido ser linear, sendo dado pela expressão: $E = Z H$, onde Z é a impedância tensorial complexa.

Os parâmetros usuais MT: resistividade aparente (ρ) e fase (ϕ), estão relacionados com a impedância Z pelas expressões:

$$\rho = \frac{1}{\omega \mu} \|Z\|^2 \quad \text{e} \quad \phi = \text{Arg}(Z)$$

onde ω é a frequência angular ($\omega = 2\pi f$) e μ é a permeabilidade magnética dos materiais (normalmente, $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$). A resistividade aparente (ρ) é medida em ($\Omega \cdot \text{m}$), a fase (ϕ) é medida em graus ($^\circ$) e a impedância Z é medida em Ohm.

O levantamento MT foi realizado na porção Norte do Estado de Minas Gerais. Fisiograficamente, a região localiza-se na zona de confluência dos rios São

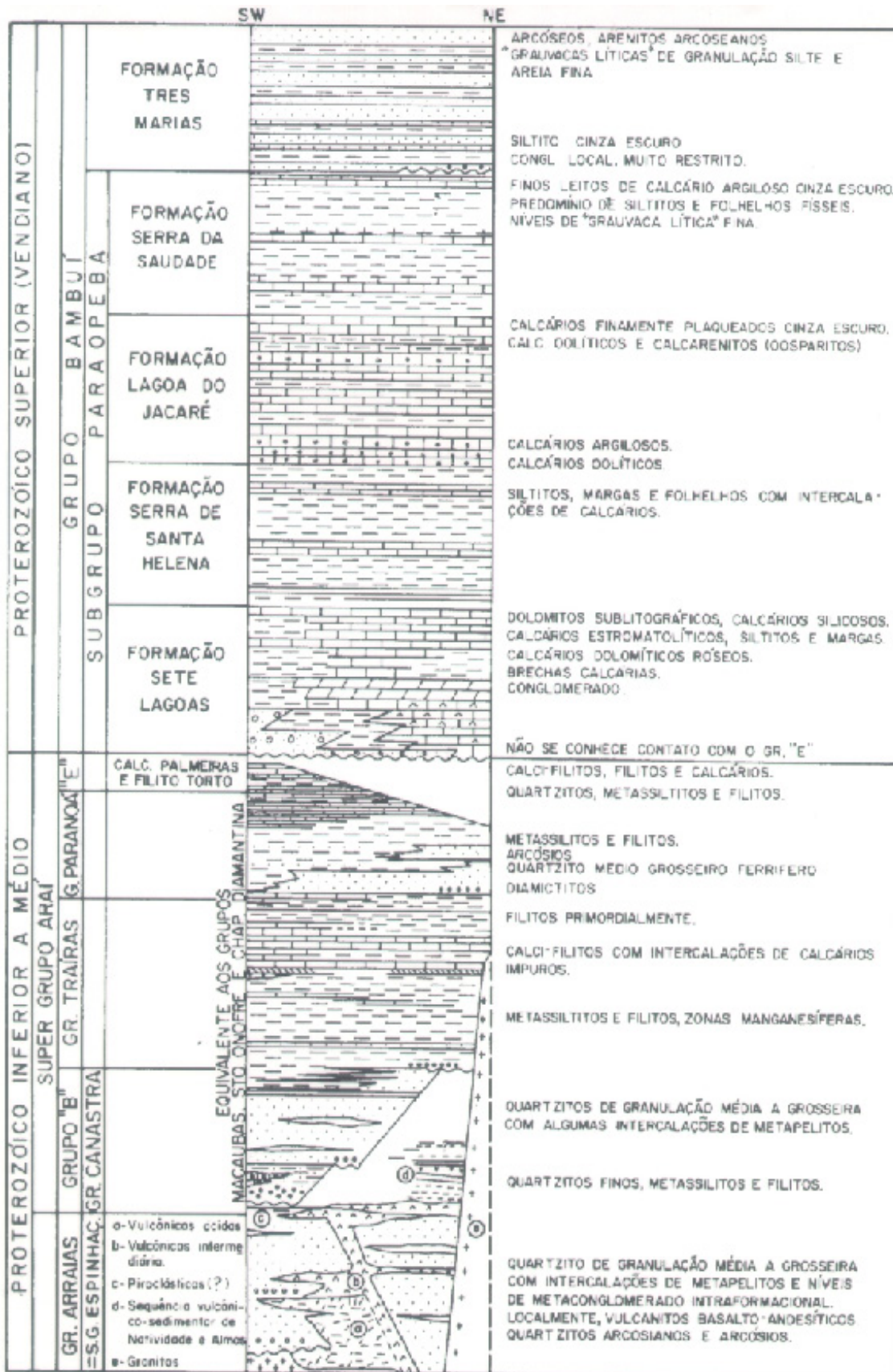


Figura 2 - Coluna estratigráfica da bacia do São Francisco (Braun et al., 1990).

Figure 2 - Stratigraphic column of the São Francisco basin (Braun et al., 1990).

Francisco e Paracatu, estendendo-se para Noroeste até as margens do rio Urucuia. Foram adquiridas 43 sondagens MT, totalizando oito seções superpostas a 10 linhas sísmicas, cobrindo 11.000 km² de área, conforme mostrado na Fig. 1. A faixa de frequências utilizada variou de 0,001 a 400 Hz e o espaçamento entre as sondagens foi irregular, variando de 2,5 a 20 km. O processamento dos dados foi realizado no domínio da frequência, seguindo o procedimento usual, facilmente encontrado na literatura (Gamble et al., 1979; Kaufman & Keller, 1981; Wannamaker & Hohmann, 1991, entre outros). A decomposição do tensor de impedâncias (Groom & Bailey, 1989) não foi utilizada neste trabalho pelo fato das séries temporais não estarem disponíveis.

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Utilizou-se uma média invariante com a rotação do tensor impedância para obtenção das curvas de resistividade aparente e fase em função da frequência (Kaufman & Keller, 1981; Rokityansky, 1982). Este fato é justificado pelas características 1D das curvas de resistividade aparente e fase, particularmente entre as frequências de 0,1 e 400 Hz. Além disso, o uso dos parâmetros invariantes tem sido sugerido por vários autores (Berdichevski et al., 1980; Ranganayaki, 1984; Park & Livelybrooks, 1989).

Na análise dos resultados de resistividade aparente versus frequência para as 43 sondagens, verificou-se que várias curvas apresentaram-se afetadas pelo efeito de distorção estática, também conhecido como *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 versus frequência (Larsen, 1977; Park, 1985).

De modo a oferecer maior clareza da ocorrência deste efeito, foram empilhadas as curvas de resistividade aparente e fase versus frequência, para todas as 43 sondagens invariantes. As sondagens empilhadas correspondem à justaposição das curvas de resistividade aparente e fase, sobre um mesmo gráfico. A Fig. 3 mostra as curvas empilhadas de resistividade aparente e fase para as 43 sondagens. Como podem ser observadas nesta figura, as resistividades aparentes empilhadas mostram-se claramente paralelas entre si, apresentando-se espalhadas, enquanto as curvas de fase apresentam valores mais aproximados entre si. Sabe-se que a fase não é afetada significativamente pelos efeitos estáticos (Larsen, 1977; Jones, 1988). Isto está ligado ao fato de que para uma Terra 1D, a fase é a derivada logarítmica da resistividade (Weidelt, 1972). Esta figura permite, portanto, uma visualização de que os dados do São Francisco estão afetados pelo efeito

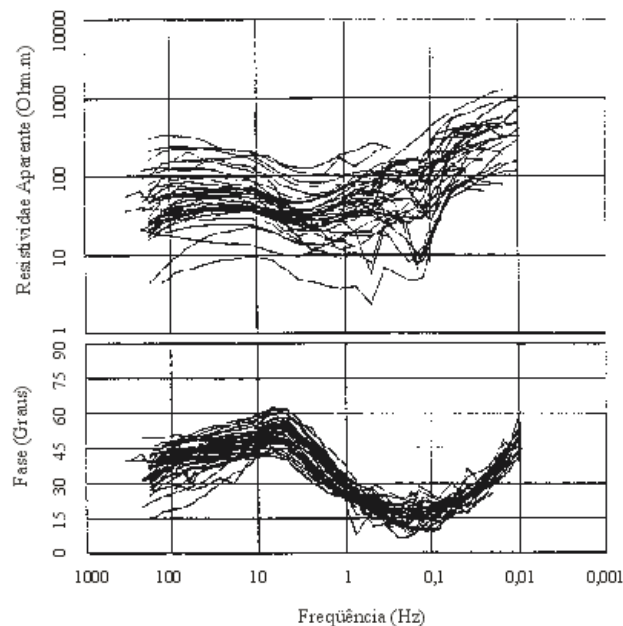


Figura 3 - Curvas MT empilhadas antes da correção de efeito de deslocamento estático.

Figure 3 - MT curves stacked without static shift correction.

de distorção estática e, por conseguinte, devem ser corrigidos.

Existem várias técnicas de remoção do efeito estático em dados MT. As técnicas mais usuais são: utilização de fonte controlada (Gamble et al., 1979), arranjo de muitos pares de eletrodos simultâneos, i.e., *Electromagnetic Array Profiling* - EMAP, (Torres-Verdin & Bostick, 1992; Porsani & Travassos, 1995) e aplicação de técnicas estatísticas (Oldenburg, 1990).

A técnica estatística de correção da distorção estática utilizada nos dados do São Francisco foi modificada da literatura (Jones, 1988). Utilizou-se a mediana da resistividade do primeiro condutor identificado nas 43 sondagens invertidas pelo algoritmo 1D de Occam, descrito mais adiante. A escolha da mediana foi devido a seu valor ser estatisticamente robusto, ou seja, menos sensível a desvios grandes de uma condutividade representativa do condutor regional observado.

A Fig. 4 mostra os valores de resistividade aparente e fase empilhados, após a correção do efeito estático para as 43 sondagens. O espalhamento das curvas de resistividade aparente descrito anteriormente foi diminuído significativamente para toda a faixa de frequências utilizada. Dessa forma, daqui para frente serão utilizadas somente as curvas de resistividade aparente e fase corrigidas do efeito estático.

Com o objetivo de obter a distribuição da resistividade elétrica das rochas de subsuperfície com a profundidade, utilizou-se o algoritmo de inversão 1D de Occam (Constable et al., 1987). O método aplicado por Constable et al. (1987) consiste em minimizar o grau de irregularidades do modelo, isto é, introduzir suavidade no modelo, através da técnica dos “mínimos quadrados”. Neste trabalho, o modelo inicial foi baseado na transformada de Niblett-Bostick (Schmucker, 1987). Todas as 43 sondagens foram invertidas pelo algoritmo de Occam. Os resultados são mostrados na forma de seções geoeletricas, que serão discutidas posteriormente.

A presença de um poço na área de trabalho (Fig. 1) permitiu que as seqüências condutivas e resistivas obtidas através do método MT fossem correlacionadas com os horizontes geológicos conhecidos. O lado direito da Fig. 5 mostra o resultado da inversão de Occam (linha tracejada) para a sondagem #1, comparada com o perfil de eletrorresistividade do poço (linha cheia). O perfil foi suavizado por uma média móvel de 15 pontos. No lado esquerdo da figura estão representados os dados MT medidos, com suas respectivas barras de erro. As curvas de resistividade e fase, resultantes da inversão de Occam (linha tracejada), aparecem superpostas aos dados. Também na parte esquerda da figura está representada a curva obtida da

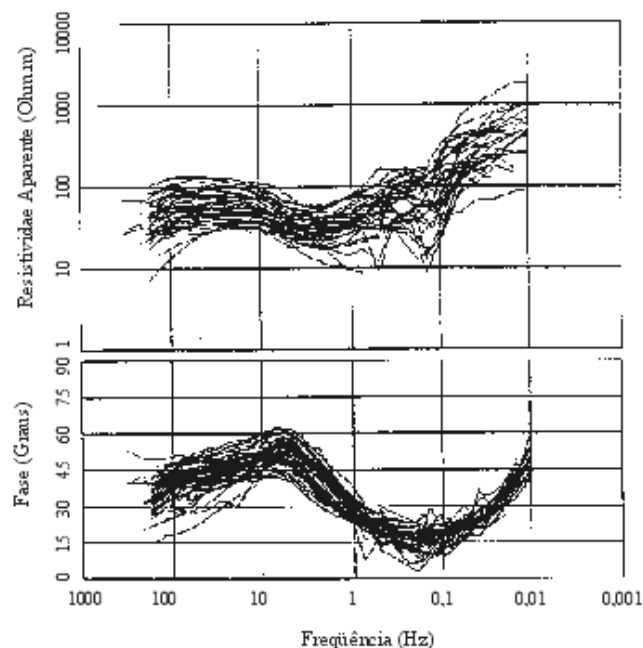


Figura 4 - Curvas MT empilhadas corrigidas de efeito do deslocamento estático.

Figure 4 - MT curves stacked after static shift correction.

modelagem direta do perfil de eletrorresistividade do poço (linha cheia).

Como pode ser visto à direita da Fig. 5, a resposta MT obtida da inversão de Occam para a sondagem #1 (linha tracejada), apresenta uma concordância apenas razoável com o perfil de eletrorresistividade do poço (linha cheia). Este fato se deve a vários fatores: a perfilagem elétrica do poço mede a resistividade da rocha quase que pontualmente, enquanto que o método magnetotelúrico mede uma resistividade volumétrica das rochas abaixo do ponto de medida. Isto faz com que a resistividade MT seja quase sempre menor que a resistividade encontrada pela perfilagem neste poço. De fato, a perfilagem elétrica de poço e o método MT são duas técnicas diferentes, ou seja, a perfilagem de poço mede a resistividade diretamente (técnica direta) e o método MT mede a resistividade indiretamente (técnica indireta); além do método MT medir uma resistividade que corresponde essencialmente a uma Terra 3D e o algoritmo de inversão utilizado supõe uma Terra 1D e introduz o vínculo de suavidade nos valores de resistividade. Apesar disso, esta comparação mostra que a inversão de Occam apresenta-se coerente com as características gerais encontradas no perfil do poço.

Visando estabelecer os nomes das formações geológicas associadas com os horizontes geoeletricos,

realizou-se uma comparação entre o modelo obtido da inversão de Occam para a sondagem #1 e o perfil de eletrorresistividade do poço. O processo comparativo é apenas qualitativo, e o critério utilizado relaciona-se à tendência da curva MT em relação ao perfil do poço. Esse estudo permitiu identificar os seguintes horizontes geoeletricos: primeiro condutor (C1), relacionado à Formação Serra da Saudade; primeiro resistor (R1), relacionado à Formação Lagoa do Jacaré; segundo condutor (C2), Formação Serra de Santa Helena; terceiro condutor (C3), Formação Sete Lagoas; e o segundo resistor (R2), Formação Jequitaiá, que é interpretado como sendo o topo do embasamento geoeletrico. A Fm. Jequitaiá corresponde à base da Fm. Sete Lagoas (Braun et al., 1990). Note que, todos esses horizontes identificados pelo MT ocorrem a profundidades semelhantes à do poço. Em particular, a inversão da sondagem #1 fornece uma profundidade de 700 m para a base do primeiro resistor, que corresponde à Formação Lagoa do Jacaré, exatamente o valor fornecido pelo poço. Entretanto, é necessário ressaltar que em geral as profundidades encontradas pelo MT para os horizontes geoeletricos não correspondem necessariamente às mesmas profundidades dos horizontes geológicos. Esta comparação mostrou que, com a sondagem #1, foi possível calibrar o modelo interpretativo com as informações geoeletricas do

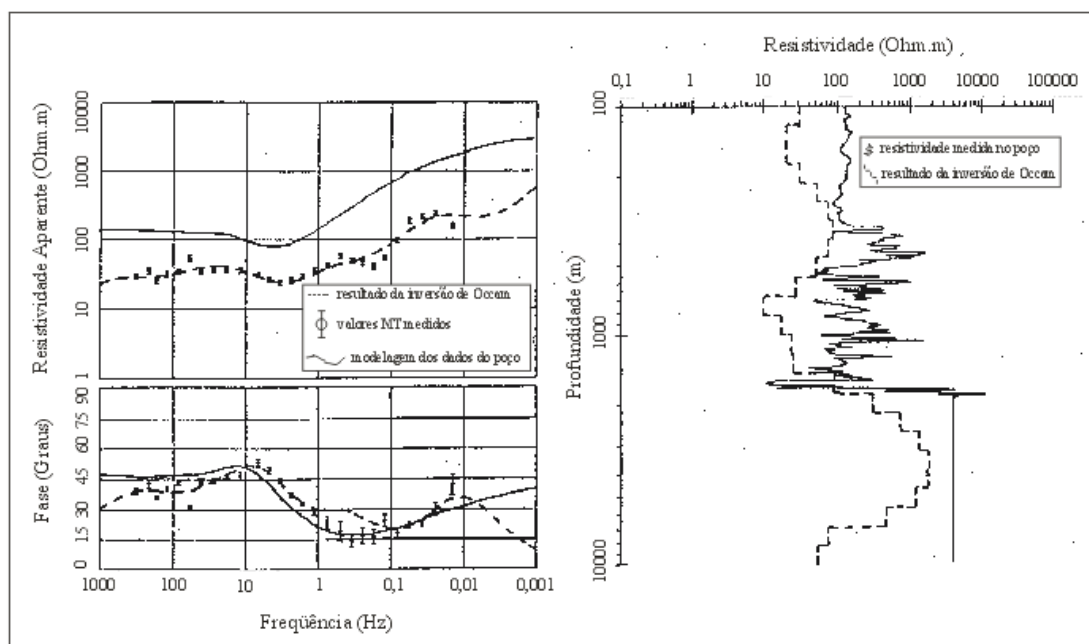


Figura 5 - Comparação entre a sondagem #1 e a modelagem direta do poço.

Figure 5 - Comparison between sounding #1 and the direct modeling of a well log.

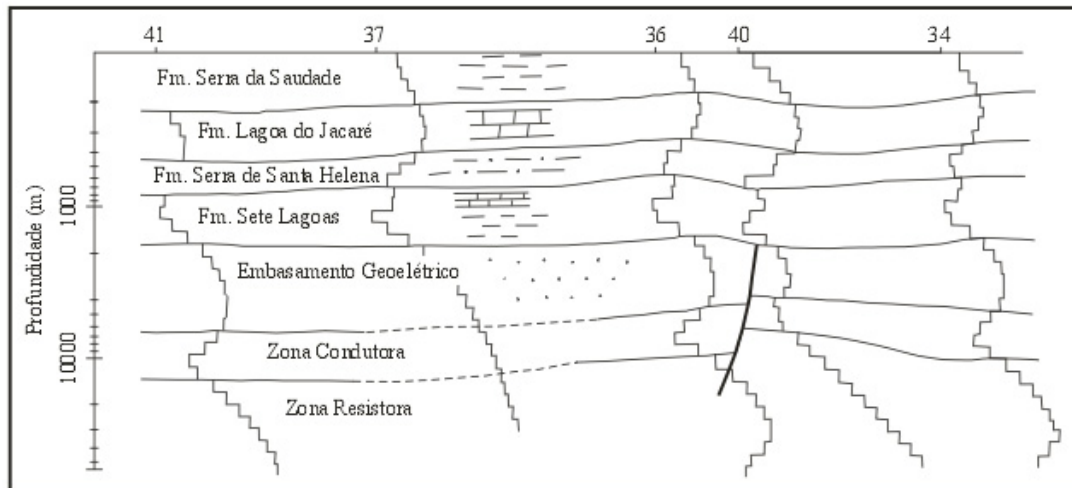


Figura 6 - Seção geoeétrica interpretativa segundo a linha MT-6. Os números no topo da seção referem-se às sondagens MT.
Figure 6 - 1D Geoelectrical section under line MT-6. Numbers on top of the section refer to the MT sounding.

poço. A análise do conjunto de todos os resultados permitiu a construção de uma coluna estratigráfica associada aos parâmetros elétricos do meio.

Em virtude das características 1D dos dados, as camadas geoeétricas observadas nas oito seções MT são similares e sub-horizontais. Por isso, serão mostrados neste trabalho apenas os resultados da linha MT-6, cuja seção geoeétrica 1D é apresentada na Fig. 6, com a profundidade em escala logarítmica. Nessa seção, o limite da profundidade máxima é de 60 km.

Os resultados das inversões foram correlacionados com base nas mudanças características das curvas de condutor para resistor, ou de resistor para condutor. Os horizontes geoeétricos estão marcados nas inversões, conforme representado na Fig. 6. A repetibilidade dos resultados das inversões ao longo da seção MT, fornece maior confiabilidade na interpretação das correlações dos horizontes geoeétricos. A seção geoeétrica foi interpretada com ajuda do perfil litológico e de eletrorresistividade do poço. Os horizontes geoeétricos, condutivos e resistentes, referentes ao pacote sedimentar apresentam-se contínuos, porém com variações em suas espessuras.

O embasamento geoeétrico apresenta-se estruturado, mostrando regiões mais altas, e foi identificado ocorrer entre 1,5 e 2,0 quilômetros de profundidade, com resistividade da ordem de 400 W.m. Este valor de resistividade associado ao embasamento geoeétrico corresponde a valores médios aproximados, e foi obtido através das

sondagens MT individuais, conforme pode ser visto, por exemplo, na Fig. 5. Note a estrutura de um alto do embasamento sob as sondagens 36 e 40. Essa estrutura é identificada nas sondagens MT invertidas, através do aumento acentuado nos valores de resistividade. Lembre-se que, a profundidade do embasamento geoeétrico não corresponde necessariamente à profundidade do embasamento geológico. A Fig. 6, também evidencia uma zona condutiva e outra resistente às profundidades crustais.

Os dados sísmicos e gravimétricos serviram para verificar a interpretação MT. Estas comparações mostraram que algumas seções MT reproduziram com fidelidade as seções sísmicas (Teixeira et al., 1993). Os horizontes geológicos correspondem a uma interpretação qualitativa dos horizontes geoeétricos, e foram realizados com base nas informações provenientes do perfil de eletrorresistividade do poço e na correlação entre os horizontes vizinhos com as características geoeétricas semelhantes.

Os resultados do estudo integrado das inversões 1D para as 43 sondagens MT, juntamente com as seções geoeétricas, o perfil litológico e de eletrorresistividade do poço, permitiram estimar que o embasamento geoeétrico da bacia varia de 1,5 a 2,0 km de profundidade, estando mais profundo para Noroeste e Sul da área estudada.

Atualmente, as 43 sondagens MT adquiridas na Bacia do São Francisco, estão sendo reinterpretadas através de estudos de modelagem 2D. Alguns resultados preliminares foram apresentados no 15th *Workshop on Electromagnetic Induction in the*

Earth, realizado de 19-26 de agosto de 2000, na cidade de Cabo Frio, Estado do Rio de Janeiro (Rodrigues et al., 2000).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A inversão 1D de Occam revelou a estrutura geoeétrica da Bacia do São Francisco, desde 100 m até 60 km de profundidade.

Os resultados MT permitiram definir os seguintes horizontes geoeétricos, associados às suas respectivas formações geológicas:

Os resultados permitiram estimar que o embasamento geoeétrico está localizado entre 1,5 e 2,0 km de profundidade, e está mais profundo para NW e S da área em estudo. Além disso, o embasamento está estruturado, apresentando regiões mais altas.

A excelente qualidade dos resultados obtidos, em particular, na identificação da base da Formação Lagoa do Jacaré, rocha considerada geradora e reservatório da bacia (Braun et al., 1990), bem como na localização de altos do embasamento, coloca o método magnetotelúrico como uma ferramenta auxiliar e complementar aos outros métodos geofísicos. De fato, fica comprovado pelos resultados obtidos que o método MT pode ser utilizado sistematicamente na etapa preliminar de exploração de petróleo, ou seja, antes da utilização do método sísmico. O método MT tem se mostrado eficaz no estudo de reconhecimentos regionais de bacias

Horizonte Geoeétrico	Formações Geológicas
C1	Fm. Serra da Saudade
R1	Fm. Lagoa do Jacaré
C2	Fm. Serra de Santa Helena
C3	Fm. Sete Lagoas
R2	Fm. Jequitaiá (topo do embasamento geoeétrico)
C4	Zona Condutiva
R3	Zona Resistiva

sedimentares, em particular, no mapeamento das seqüências condutivas e resistivas do pacote sedimentar, na modelagem da seção estrutural e na identificação e localização do seu embasamento geoeétrico. Também é recomendável a aplicação do método MT em áreas de difícil acesso e em áreas problemáticas para a sísmica, ou seja, onde ocorre um elevado contraste de impedância acústica próxima à

superfície. Particularmente, nas áreas onde na aplicação da sísmica há problema de penetração da onda acústica, a situação é normalmente ideal para a maior penetração da onda eletromagnética. Além disso, o método MT é comparativamente de baixo custo operacional e produz resultados que podem ser correlacionáveis a perfilação elétrica de poço.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Geofísica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) e ao Observatório Nacional do Rio de Janeiro, pelas infra-estruturas, que deram suporte a este trabalho. Ao setor de geofísica do Centro de Pesquisas da Petrobrás por autorizar a publicação dos resultados. Agradecemos também a participação nos trabalhos de campo dos técnicos do ON Emanuele F. La Terra, Carlos Roberto Germano e Ronaldo Marins de Carvalho.

REFERÊNCIAS

- Berdichevsky, M.N., Vanyan, L.L., Kuznetsov, V.A., Levadny, V.T., Mandelbaum, M.M., Nechaeva, G.P., Okulesky, B.A., Shilovsky, P.P. & Shpak, I.P., 1980.** Geoelectrical model of the Baikal region. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **22**: 1-11.
- Braun, O.P.G., Mello, U. & Della Piazza, H., 1990.** Bacias proterozóicas brasileiras com perspectivas exploratórias para hidrocarbonetos. Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Petrobrás-Rio de Janeiro.
- Constable, S.C., Parker, R.L. & Constable, C.G., 1987.** Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, **52**: 289-300.
- Gamble, T.D., Goubau, W.M. & Clarke, J., 1979.** Magnetotellurics with a remote magnetic reference. *Geophysics*, **44**: 53-68.
- Groom, R.W. & Bailey, R.C., 1989.** Decomposition of Magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion. *J. Geophys. Res.*, **94**: 1913-1925.
- Jones, A.G., 1988.** Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environment. *Geophysics*, **53**: 967-978.
- Kaufman, A.A. & Keller, G.V., 1981.** The magnetotelluric sounding method. In *Methods in*

- Geochemistry and Geophysics, 15, Elsevier Scientific Publ., Amsterdam, 583pp.
- Keller, G.V. & Frischknecht, F.C., 1970.** Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press, Oxford, 517pp.
- Larsen, J.C., 1977.** Removal of local surface conductivity effects from low frequency mantle response curves. *Acta Geodaet., Geophys. et Montanist. Acad. Sci. Hungary*, **12**: 183-186.
- Marinho, F., 1993.** Interpretação dos dados gravimétricos e aeromagnetométricos da porção central da bacia Proterozóica do São Francisco - noroeste do estado de Minas Gerais. *Anais 2º Simpósio sobre o Craton do São Francisco*. Salvador, 170-172.
- Oldenburg, D.W., 1990.** Inversion of electromagnetic data: An overview of new techniques. *Geophysics*, **54**: 231-270.
- Park, S.K., 1985.** Distortion of magnetotelluric sounding curves by three-dimensional structures. *Geophysics*, **50**: 785-797.
- Park, S.K. & Livelybrooks, D.W., 1989.** Quantitative interpretation of rotationally invariant parameters in magnetotellurics. *Geophysics*, **54**: 1483-1490.
- Porsani, J.L., 1993.** Estudo Magnetotelúrico na Bacia do São Francisco. Relatório Final N° 010528. Relatório Petrobrás/Cenpes/Supep/ Segef. Rio de Janeiro.
- Porsani, J.L. & Fontes, S.L., 1992.** Estudo Magnetotelúrico na Bacia do São Francisco. Relatório de Progresso N° 010528. Relatório Petrobrás/Cenpes/Supep/ Segef-CNPq/ Observatório Nacional. Rio de Janeiro.
- Porsani, J.L. & Travassos, J.M., 1995.** Estudo Magnetotelúrico na Bacia do São Francisco, Utilizando-se a Técnica EMAP (Electromagnetic Array Profiling). Relatório Final. Relatório Petrobrás/Cenpes/Segef. Rio de Janeiro.
- Ranganayaki, R.P., 1984.** An interpretative analysis of magnetotelluric data. *Geophysics*, **49**: 1730-1748.
- Rodrigues, A.L., Ulugergerli, E., Fontes, S.L. & Porsani, J.L., 2000.** Investigations in a exploratory program of the central part of the São Francisco Basin – Brazil. *Anais do 15th Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth*, Cabo Frio, Rio de Janeiro.
- Rokityansky, I.I., 1982.** Geoelectromagnetic investigation of the earth's crust and mantle. Springer-Verlag, Berlin, 381 pp.
- Schmucker, U., 1987.** Substitute conductors for electromagnetic response estimates. *Pageoph* **125**: 341-367.
- Teixeira, L.B., Martins, M., Braun, O.P.G., 1993.** Evolução Geológica da Bacia do São Francisco com base na Sísmica de Reflexão e Métodos Potenciais. 2º Simpósio sobre o Craton do São Francisco, Salvador, p.179-181.
- Torres-Verdin, C. & Bostick Jr., F.X., 1992.** Principles of spatial surficial electrical field filtering in magnetotelluric: Electromagnetic Array Profiling (EMAP). *Geophysics*, **57**: 603-622.
- Wannamaker, P.E. & Hohmann, G.W., 1991.** Electromagnetic induction studies. *Reviews of Geophysics, Supplement*, 405-415.
- Weidelt, P., 1972.** The inverse problem of geomagnetic induction. *Zeitschrift fur Geophysik*, **38**: 257-289.

NOTE ABOUT THE AUTHORS

Jorge Luís Porsani

Geólogo pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (IGEO/UFBA) – 1987. Mestre em Geofísica pelo Núcleo de Pesquisas Geofísicas Aplicadas à Prospecção de Hidrocarbonetos da Universidade Federal do Pará (NPGP/UFPA) – 1991. Doutor em Geofísica no Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro-São Paulo (IGCE/UNESP) – 1999. Professor MS-3 do Departamento de Geofísica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) desde 01 de dezembro de 1998. Está orientando três alunos de mestrado. Trabalhou seis anos como Geofísico Contratado junto ao Centro de Pesquisas da Petrobrás, na área de métodos geoeletrônicos aplicados desde a exploração de hidrocarbonetos

até estudos de contaminação do meio ambiente. Seus principais interesses de pesquisa são Aplicação dos Métodos Elétricos e Eletromagnéticos (GPR-Ground Penetrating Radar, MT, TDEM e SEV). Tem 15 trabalhos publicados em congressos nacionais e internacionais e 13 publicações de relatórios internos da Petrobrás. Foi o organizador do ciclo de seminários do Departamento de Geofísica do IAG/USP (1999-2000). É o atual vice coordenador do curso de pós-graduação em Geofísica do IAG/USP.

Sérgio Luiz Fontes

Pesquisador Titular do Observatório Nacional; É Bacharel em Física, UFRJ. Fez mestrado em Geofísica, UFRJ, e doutorado em Geofísica, University of Edinburgh. É Sócio Fundador da Sociedade Brasileira de Geofísica (SBGf).