

## ELETRORESISTIVIDADE APLICADA A PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE SOURE

**Carmelina Kobayashi**

Dptº de Física e Núcleo de Ciências Geofísicas  
e Geológicas (UFPa)

**Luiz Rijo**

Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas (UFPa)

### RESUMO

Dando prosseguimento às pesquisas de hidrogeologia do NCGG (UFPa), iniciadas em 1975, em várias áreas piloto na Ilha do Marajó, foi selecionada uma área de aproximadamente 300 km<sup>2</sup>, na região de Soure, parte do Rio Paracauari e Rio Saco. Em grande parte dessa área, durante o período de agosto/dezembro, as águas de superfície e sub-superfície apresentam-se salinizadas. O objetivo deste trabalho foi determinar através da geofísica e geologia, as áreas mais favoráveis à exploração de água subterrânea de boa qualidade. Para isso, foram realizadas cerca de 43 sondagens elétricas verticais, 12 km de perfis elétricos horizontais e perfurados 4 poços de aferição. Com base na interpretação desses dados foi possível destacar três áreas distintas: 1- localizada ao sul da região, onde os valores da resistividade são bem altas, desde algumas unidades até dezenas de milhares de ohm.m; 2- localizada ao noroeste da região nos "paleocanais", com resistividades intermediárias, desde alguns décimos a centenas de ohm.m; 3- adjacentes aos "paleocanais" e ao noroeste da região, com valores bem baixos de resistividade, desde centésimos até no máximo algumas unidades de ohm.m.

Os resultados das interpretações geofísicas e análise hidroquímicas da água, indicam que as áreas 1 e 2 são favoráveis a prospecção de água doce, enquanto que a área 3 é constituída de água salobra a salgada.

### ABSTRACT

In continuation of the hydrogeological investigations by NCGG since 1975 in Ilha de Marajó, an area of approximately 300 km<sup>2</sup> in the Soure, Rio Paracauari and Rio Saco regions was selected for further studies. In the great part of this area the water, surface as well as the underground, becomes saline during the period August to December.

In order to locate suitable sites for groundwater exploitation, 43 Vertical Electrical Soundings and 12 Km-lines of electrical profiles were carried out. Based on the resistivity values the area is classified in three provinces: 1) in the Southern region where resistivities range from a few ohm-meters to thousands of ohm-meters, 2) in the North-West region where "paleochannels" exist and the resistivity values are from tens to hundreds of ohm.meters, and 3) the area of low resistivities around the paleochannels in the Northern part.

The geophysical and hydrochemical studies indicate that the areas 1 and 2 are favorable for ground water exploitation but the 3<sup>rd</sup> is unsuitable because of its poor quality.

## INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos para a prospecção de água subterrânea na Ilha de Marajó, foram realizados pelo IDESP (1974). Esta Instituição fez um levantamento geolétrico na região oriental e em algumas áreas do sul da Ilha, onde predominam os campos naturais nos quais se desenvolve uma considerável atividade pecuária.

De agosto a dezembro, em grande parte dessa região, as águas de superfície e subsuperfície apresentam-se salinizadas, devido a pouca incidência de chuva e a intensa evaporação. No período de janeiro a julho ocorre inundação parcial devido ao excesso de chuvas.

Desde 1975, estudos integrados de detalhes para a prospecção de água subterrânea, vem sendo realizados pelo NCGG-UFPA. Dando continuidade a esses estudos, o presente trabalho trata da prospecção geolétrica de uma área de aproximadamente 300 km<sup>2</sup>, no município de Soure, Fig. 1. Este trabalho foi iniciado por José Maria Souza, durante o período em que cursou a pós-graduação no NCGG-UFPA.

O objetivo do trabalho é delimitar e dimensionar as áreas mais favoráveis à exploração de água subterrânea para a demanda das populações e da agropecuária. Para isso, foram realizadas cerca de 43 SEV, 12km de perfis elétricos horizontais e 4 poços para aferição e controle das interpretações dos dados geofísicos. Além dos quatro poços perfurados, foi realizado um inventário hidrogeológico de todos os poços escavados existentes na região, dos quais foram coletadas amostras de água para análise hidroquímica.

Estudos anteriores, Cavalcanti (1979) e Bezerra (1979), citam que devido a falta de infra estrutura na maior parte da região pesquisada, não é economicamente viável, no momento, explorar água subterrânea a profundidades maiores do que 80 m. Desse modo, este estudo foi orientado para profundidades rasas.

A geologia da Ilha de Marajó, está amplamente descrita na literatura, por exemplo IDESP (1974), Vasconcelos e Castro (1971), Luduwig (1968) e outros.

A área deste estudo localiza-se na parte oriental da Ilha de Marajó entre 48° 20' e 48° 40' de longitude oeste e 0° 30' e 0° 50' de latitude sul.

Com base no levantamento do Projeto RADAM (1974), pode-se definir duas feições geomorfológicas distintas: 1) a primeira, situada ao sul, compreendendo cerca de um quarto da área estudada provavelmente pertence ao "Pediaplano Pleistocênico" devido a sua grande semelhança geomorfológica com a região de Ponta de Pedras, Piucci (1979). As falésias em Soure, resultante do desmonte pelas marés, apresentam as mesmas feições das existentes em Ponta de Pedras, com os mesmos tipos de sedimentos (areia, silte, argila e cacalho) de cor geralmente avermelhada, e concreções ferruginosas. 2) a segunda, que corresponde ao restante da área é topograficamente mais baixa que a anterior, com desnível de aproximadamente 1 a 2 m e constitui provavelmente a "região ainda em processo de colmatagem", Projeto RADAM, (1974). Os sedimentos (argilas escuras intercaladas por corpos arenosos de fina granulometria), pertencem provavelmente ao holoceno. Nesta área, paralelamente ao litoral, existe uma faixa constantemente inundada pelas marés, designada de mangues. Na parte oeste da área, encontram-se estruturas geralmente sinuosas, formadas na superfície por sedimentos de predominância arenosa, conhecidos localmente por tesos e que provavelmente tratam-se de "paleocanais". Estas estruturas apresentam-se topograficamente mais elevadas (cerca de 1 a 2m) que os terrenos adjacentes. Os resultados de perfis dos poços realizados na área indicam que os tesos são constituídos de sedimentos de predominância arenosa, cuja granulometria varia, de muito fina (0,25mm a 0,125mm), até areia grossa (de 0,5mm a 1mm). Estas camadas de areia são frequentemente intercaladas por camadas argilosas. Os terrenos adjacentes aos tesos são geralmente constituídos na superfície, por sedimentos argilosos, apresentando igarapês, furos e pequenos lagos perenes e temporários. Esta segunda área é bem semelhante a região do Rio Paracauri estudada por Cavalcanti (1979). Alguns poços perfurados tanto na área em estudo como na área do Rio Paracauri sugerem que a maioria dos aquífe-

ros são semiconfinados, devido a existência de uma camada argilosa com espessura de 1 a 2 m. Isto se verifica tanto nos tesos como fora deles.

## ESTUDOS GEOFÍSICOS

### Procedimentos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados em três campanhas: na primeira etapa, foram executadas 43 SEV, do tipo Schlumberger, com valores máximos de  $AB/2$  variando de 100 a 300 metros. Com base na interpretação preliminar dessas 43 SEVs, foi realizado na segunda campanha, 12 km de perfis elétricos horizontais, utilizando o arranjo Schlumberger com  $AB=30m$ , Fig. 2. Finalmente, na terceira campanha, foram executadas cerca de 10 SEVs, do tipo Schlumberger e perfurados quatro poços. No levantamento geofísico foi utilizado o equipamento ER-300 da Companhia Nacional PERGEO.

### Classificação das Sondagens Elétricas Verticais

A análise de todas as SEVs, permite agrupá-la em quatro famílias distintas: a primeira família, compõe um grupo de 7 SEVs apresentando baixas resistividades para os dois primeiros horizontes e foram realizadas nos terrenos argilosos, adjacentes aos tesos referenciados na geologia, Fig. 3A; a segunda família, formada por 13 SEVs que foram realizadas sobre os tesos e são caracterizadas por apresentarem o segundo horizonte mais resistivo do que os demais, Fig. 3B; a terceira família, corresponde a 23 SEVs que foram realizadas na cidade de Soure e adjacências, na parte sul da área. Essas sondagens são caracterizadas por valores muito altos de resistividade dos primeiro e segundo horizontes, Fig. 3C. Finalmente, a quarta família, que poderia ser classificada como um caso particular das famílias 2 e 3, é constituída de 3 SEVs. Foram realizadas próximo ao litoral, e na região norte da área. Estas sondagens são caracterizadas por um grande contraste de resistividade entre o primeiro e o segundo horizonte, Fig. 3D.

### Interpretação das Sondagens Elétricas Verticais

As SEVs, das famílias 1 e 2, são bem semelhantes àquelas da região do Rio Paracuarí apresentadas por Cavalcanti (1979), enquanto que as da família 3 são semelhantes às obtidas por Bezerra (1979), na região de Salvaterra. Com base nesses resultados, nas observações da geologia local e nos dados da amostragem dos poços, foram construídos novos modelos, usando um programa desenvolvido para HP-9825-A. Esses modelos, serviram para iniciar o processo de interpretação pela técnica da inversão automática conhecida por "Ridge Regression", Rijo (1977), utilizando o DEC - System 10 da UFPA.

Família 1 - os resultados da interpretação das curvas da família 1, indicam a presença de três horizontes geoelétricos, sendo os dois primeiros, de resistividades bem baixas. O primeiro e o segundo horizontes foram interpretados como constituídos de sedimentos argilosos e/ou arenosos, com água salgada. Quanto a natureza do terceiro horizonte, não se pode especificar com precisão, por falta de maiores informações, Fig. 4A.

Família 2 - a interpretação das sondagens da família 2, indicam também três horizontes geoelétricos principais. O primeiro horizonte, de pequena espessura, cerca de 2m, apresenta valores de resistividade muito variáveis. Este horizonte foi interpretado como uma camada de predominância argilosa. Segue um segundo horizonte, com resistividade entre 90 a 300 ohm.m, interpretado como sendo uma camada de predominância arenosa, saturada com água doce. E finalmente, todas as SEVs apresentam um horizonte condutor, tendo valores de resistividade variando entre 0.5 até 50 ohm.m. Este horizonte foi interpretado como sendo uma camada argilosa, ou arenosa com água salgada, Fig. 4B.

Família 3 - a interpretação das curvas da família 3, indica um horizonte superficial, com espessura até cerca de 5m, de resis

tividade entre 1000 a 40000 ohm.m. Este horizonte foi interpretado como uma camada não saturada com intercalações de concreções limoníticas. Segue um segundo horizonte, de resistividade entre 800 e 1500 ohm.m, e pode ser interpretado como uma camada de predominância arenosa e saturada com água doce. O terceiro horizonte é bastante condutor, com resistividade de entre algumas unidades até dezenas de ohm.m. Este horizonte foi interpretado como uma camada de predominância argilosa. Fig. 5A.

Família 4 - a interpretação das SEVs da família 4, indica uma camada superficial de sedimentos preenchidos com água doce até cerca de 5m. A seguir vem um horizonte com sedimentos preenchidos com água salgada. Fig. 5B.

#### Interpretação das Perfilagens Elétricas Horizontais

O objetivo das perfilagens elétricas horizontais foi delimitar a continuidade das diferentes regiões geoeletricas definidas através da interpretação das SEVs.

Em todos os perfis, sobre um mesmo paleocanal, foi observado que a resistividade tem maior valor nos locais de topografia mais alta do que nos de topografia mais baixa.

A Fig. 6 mostra os perfis elétricos horizontais P4 e P5, feitos na Fazenda São Miguel. Os dois perfis foram feitos cerca de 1km um do outro, sobre o mesmo teso. Observando o perfil P5, nota-se que próximo a estação 500m, o valor da resistividade aumenta. Neste local foi realizado uma sondagem (SEV 36) e 100m de perfil elétrico horizontal transversal ao perfil P5. Em seguida foi perfurado um poço de 12m que apresentou água doce em toda sua extensão. Um outro poço de 20m de profundidade, perfurado a 3m do primeiro, apresenta nos 12 primeiros metros as mesmas características do anterior. A partir dos 14m a água torna-se bastante salobra.

#### CONCLUSÃO

Os resultados da interpretação geofísica estão apresentados nos mapas I e II (Figs. 7 e 8). O mapa I mostra através de contornos de resistências transversais, os locais mais favoráveis para exploração de água de boa qualidade, enquanto que o mapa II ilustra os possíveis valores de profundidade da base dos horizontes potenciais à exploração hídrica. Analisando esses mapas e as informações de algumas análises hidroquímicas (Tabela 1), pode-se estabelecer as seguintes conclusões:

- Ao sul da área, na região da cidade de Soure, os resultados dos trabalhos indicam boas condições para exploração de água doce a profundidades que variam de 10 a 50m. Abaixo dessas profundidades, os sedimentos são predominantemente argilosos, conforme evidências de campo.

- Sobre os paleocanais de topografia mais elevada (1 a 2 m de desnível), os resultados indicam a possibilidade de explorar água doce até profundidades da ordem de 30m. Como os estudos de condutividade da água nesses paleocanais só foram feitos para profundidades até 12m, não se pode afirmar qual a qualidade da água além dessa profundidade.

- Nos paleocanais que apresentam baixa topografia (desnível menor que 1 m), os resultados indicam que nem sempre é possível encontrar água de boa qualidade.

- Nas áreas próximas ao litoral, e no extremo norte da área estudada, os resultados da prospecção geofísica indicam a possibilidade de se encontrar água doce a profundidades bem rasas (cerca de 5 m).

- Observando os mapas I e II, pode-se concluir que fora dos locais acima descritos, a possibilidade de encontrar água de boa qualidade a pouca profundidade, é muito reduzida. É possível que a profundidades maiores que 50m sejam encontrados horizontes portadores de água doce, como evidencia o ramo terminal ascendente de vários diagramas das SEVs.

#### REFERÊNCIAS

- BEZERRA, C.A.C.A., 1979, Eletroresistividade Aplicada ao Estudo de Água Subterrânea no Município de Salvaterra, Marajó-Pará, UFPa.-NCGG.
- CAVALCANTI, G.M.L., 1979, Geofísica Aplicada a Prospecção de Água Subterrânea na Área do Rio Paracauari-Ilha de Marajó-Pará, UFPa.-NCGG.
- IDESP-Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará, 1974, Estudos Integrados da Ilha do Marajó, Governo do Estado do Pará.
- LUDWIG, G., 1968, Die Geologische Entwicklung des Marajo-Bechens in Nordbrasilien, Geol. Jb., 86, S845.878, 3Abb., 8Tab., 10 Taf hannover.
- PIUCCI, J., 1979, Hidrogeologia da Área Piloto Ponta de Pedras, Ilha de Marajó-Pará, UFPa.-NCGG.
- PROJETO RADAM - Radar Amazônia, 1974, Levantamento de Recursos Naturais V.5., Ministério das Minas e Energia - Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasil.
- RIJO, L., Pelton, W.H., Feitosa, E.C. Ward, S.H., 1977, Interpretation of Apparent Resistivity data from Apodi Valley Rio Grande do Norte, Brazil, Geophysics, V.42, nº 4 p. 811.
- SHALLER, Vasconcelos e Castro, 1971, Estratigrafia Preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas, Anais do 25º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, SBG.

#### AGRADECIMENTO

Ao amigo José Maria Souza, que gentilmente cedeu os dados de campo,  
Ao IDESP, por ter cedido os dados de campo,  
Ao Adalberto, pelos desenhos das figuras,  
Aos técnicos e auxiliares de campo, pela colaboração,  
A todas as pessoas da parte administrativa e  
A FINEP pelo apoio financeiro.

TABELA I

RESULTADOS DA ANÁLISE HIDROQUÍMICA DE ALGUNS POÇOS (NÃO ESTÃO TODOS OS ELEMENTOS ANALISADOS)

D A T A	P O Ç O	CONDUTIVIDADE ( $\mu$ mho/cm)	Cl <sup>+</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	DUREZA TOTAL
26/02/80	* PT1-(20m)	5900	2039.15	1226.72	1122.34	0.5		2800
26/02/80	* SPE-24	540	98.05	62.43	78.8	13.18		250
26/02/80	* PT2 (6m)	300	98.05	74.43	-	-		-
26/02/80	* PT2 (12m)	430	98.05	27.17	33.2	18.54		159
14/06/79	* SPE-24	470	33.99	46	227	5.12	278.16	248
26/02/80	**PT3-(9m)	110	19,61	12,15	8.4	14.64		81
15/06/79	x SPE-29	93	25.5	5	2.5	1.8	4.88	10
15/06/79	x SPE-30	38	7.24	6	1.0	.98	1.22	5
16/06/79	x SPE-31	67	15.49	14	8.0	.73	7.32	11

\* POÇO NO PALEOCANAL DE BAIXA TOPOGRAFIA  
 \*\* POÇO NO PALEOCANAL DE ALTA TOPOGRAFIA  
 x POÇO NO SUL DA ÁREA  
 PT-POÇO TUBULADO  
 SPE-POÇO ESCAVADO

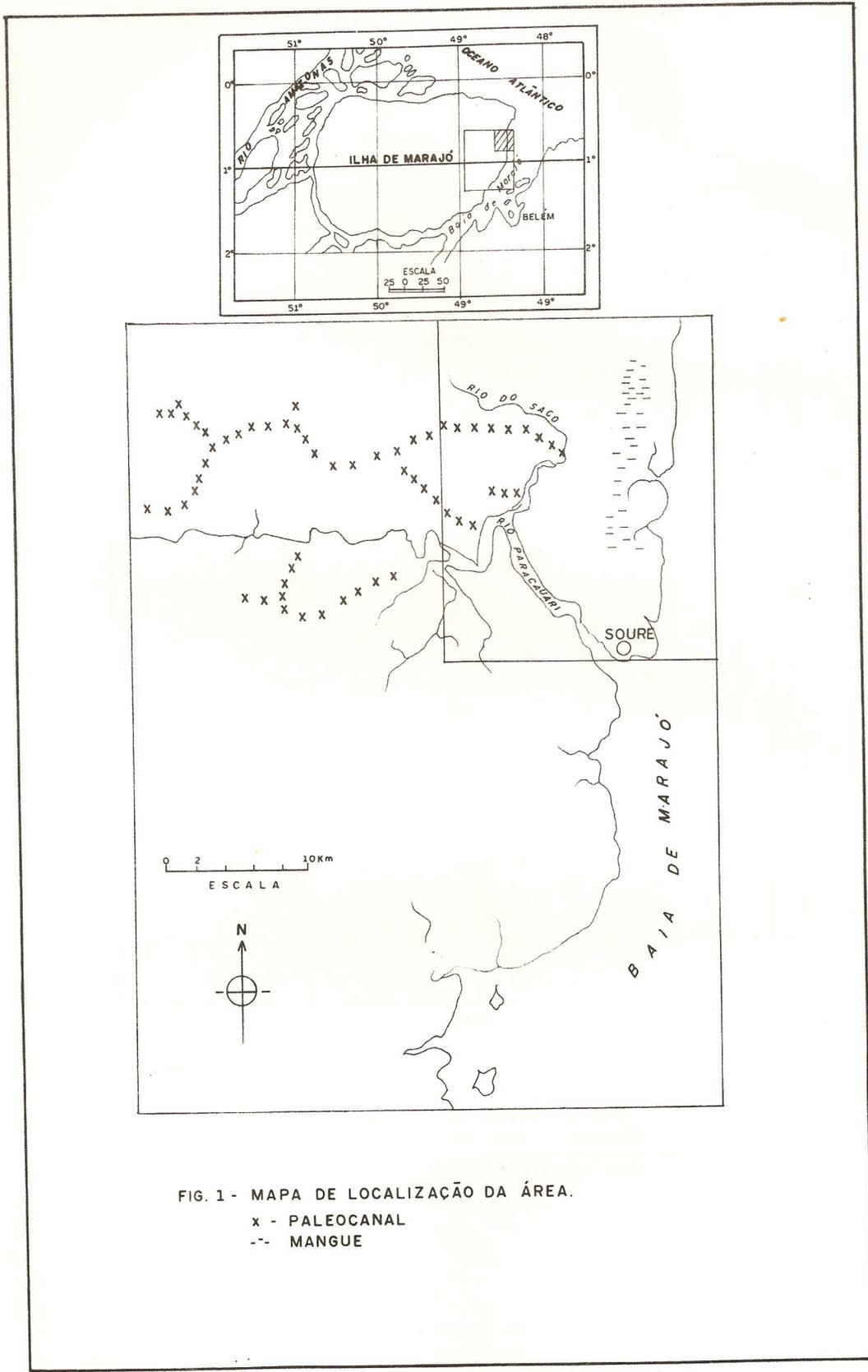


FIG. 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.

x - PALEOCANAL  
 --- MANGUE

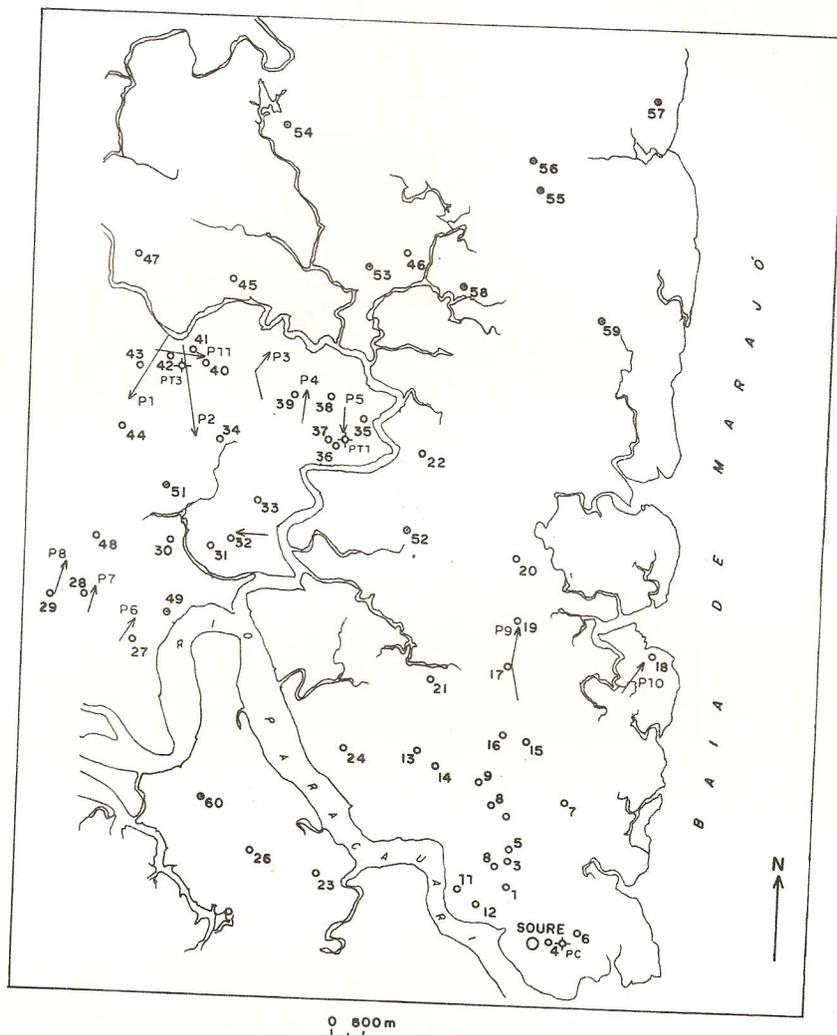


FIG. 2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS SEVs, PEFILAGENS HORIZON-  
TAIS E SONDAGENS GEOLÓGICAS.

- SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS - IDESP
- SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS - NCGG
- ⊠ PT SONDAGENS GEOLÓGICAS
- P1 PERFILAGENS ELÉTRICAS HORIZONTAIS

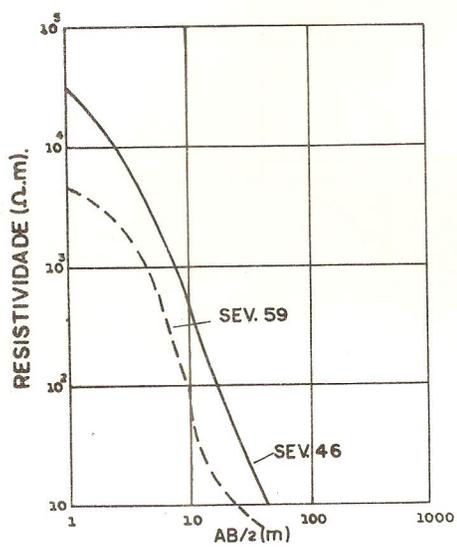


FIG. 3 - D -

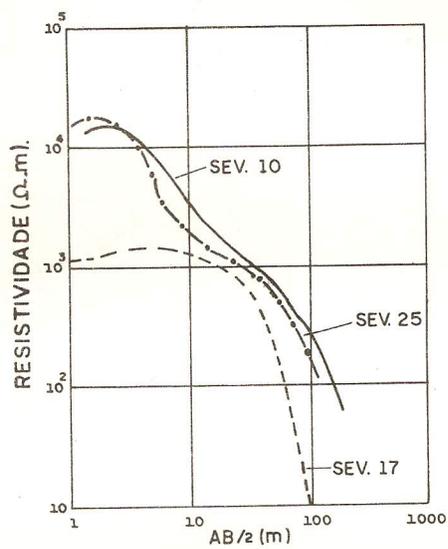


FIG. 3 - C -

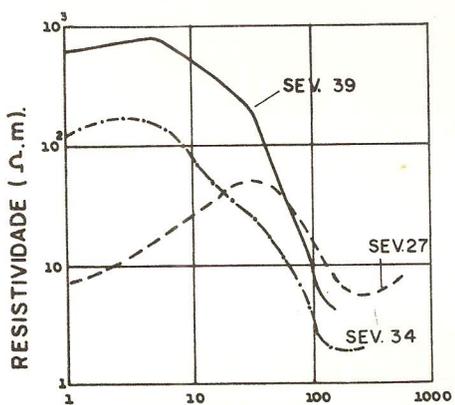


FIG. 3 - B -

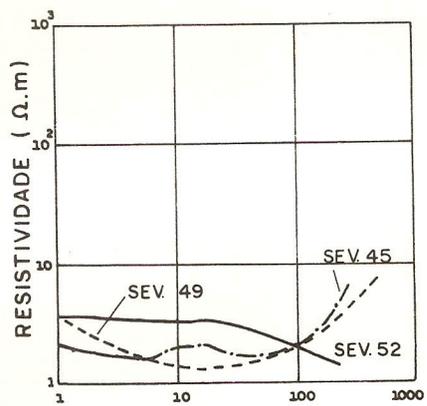


FIG. 3 - A -

FIG. 3 - FAMÍLIAS DE CURVAS DAS SEVs.

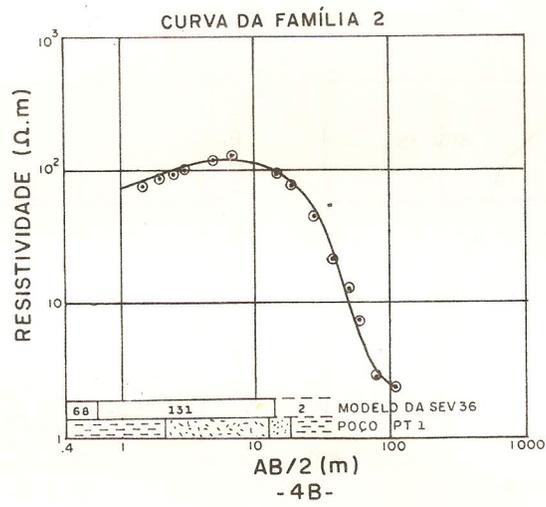
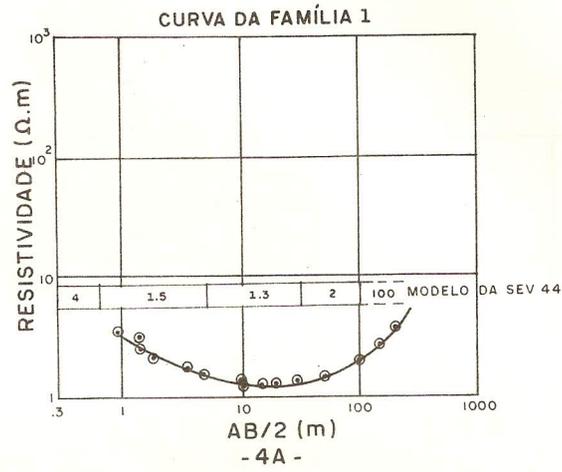


FIG. 4 - INTERPRETAÇÃO DAS SEVs 44 E 36 MOSTRANDO OS TRÊS PRINCIPAIS HORIZONTES GEOELÉTRICOS.  
4 - RESISTIVIDADE EM Ω.m

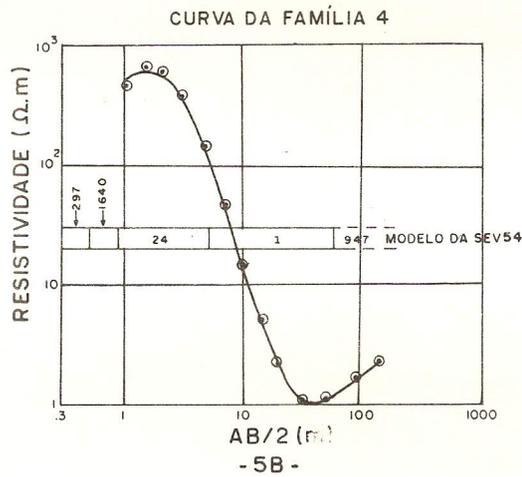
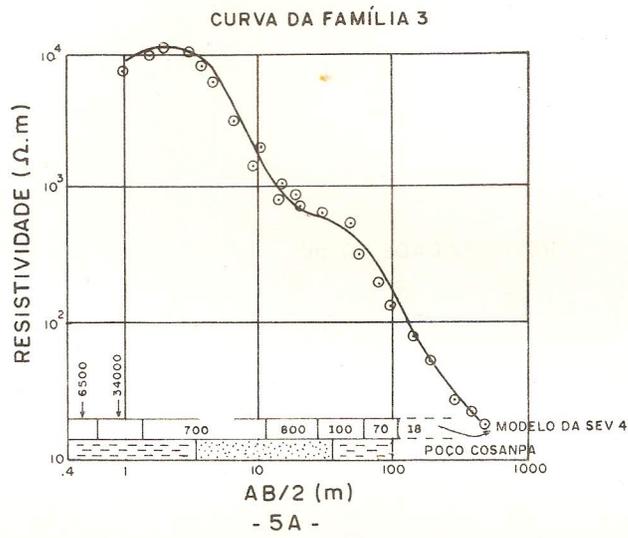


FIG. 5 - INTERPRETAÇÃO DAS SEVs 36 E 54 MOSTRANDO OS TRÊS PRINCIPAIS HORIZONTES GEOELÉTRICOS.  
297 - RESISTIVIDADE EM  $\Omega.m$

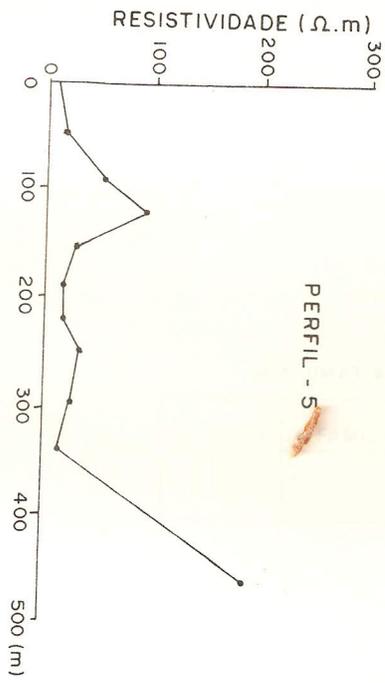
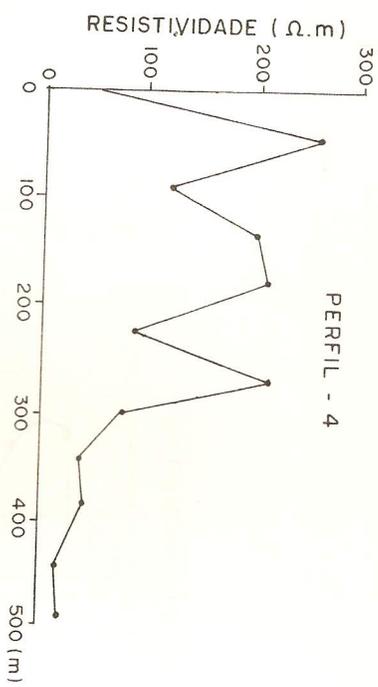


FIG. 6 - PERFILS ELÉTRICOS HORIZONTAIS TRANSVERSAL AO PALEOCANAL  
 NA FAZENDA SÃO MIGUEL - ARRANJO SCHLUMBERGER AB = 30 m.

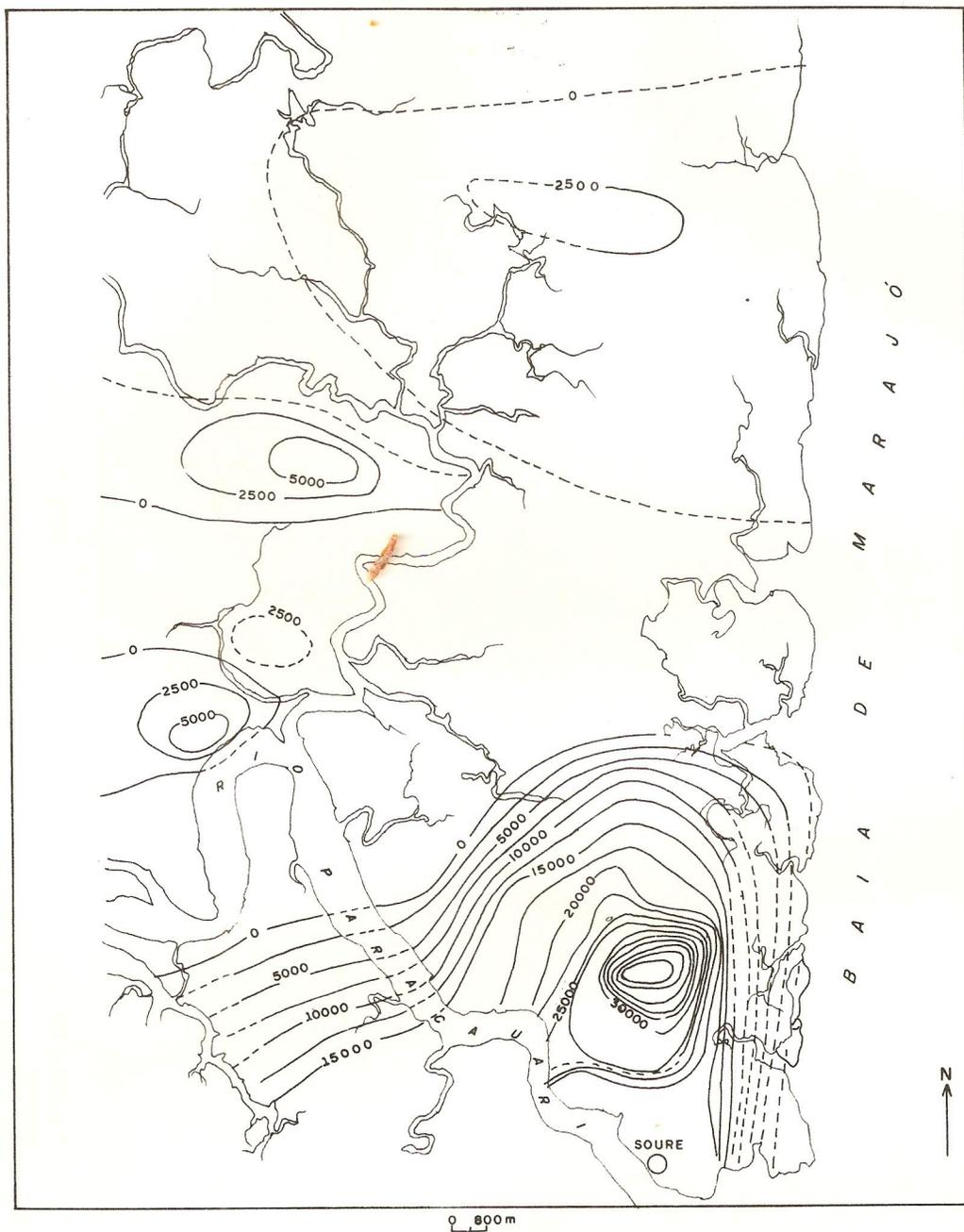


FIG. 7 - CURVAS DE CONTORNO DAS RESISTÊNCIAS TRANSVERSAIS DO 2ª HORIZONTE DAS FAMÍLIAS 2 e 3 e 1ª HORIZONTE DA FAMÍLIA 4.

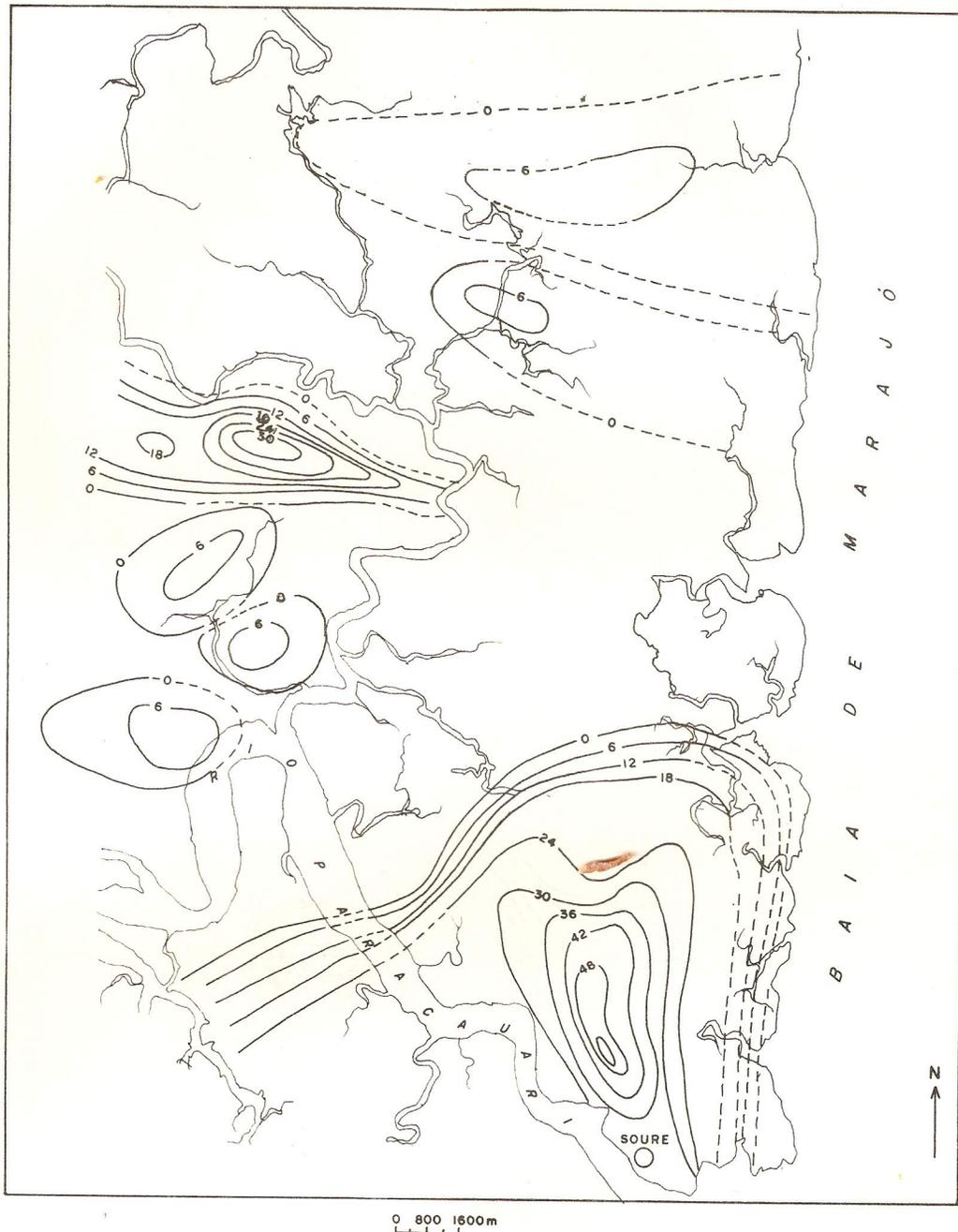


FIG. 8 - CURVAS DE CONTORNO DA PROFUNDIDADE DA BASE DO 2º HORIZONTE DAS FAMÍLIAS 2 e 3 e 1º HORIZONTE DA FAMÍLIA 4.