

# AVALIAÇÃO DE CAMINHAMENTOS ELETROMAGNÉTICO E ELÉTRICO E DE SEV NA PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO GRUPO CUIABÁ-MT

Alterêdo Oliveira Cutrim<sup>1</sup>; Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues<sup>2</sup> & Ivanete Barbosa de Moura<sup>3</sup>

**Resumo** - Esta pesquisa foi realizada na cidade de Cuiabá-MT e consistiu na aplicação dos métodos EM-34, caminhamento elétrico-CE e SEV na prospecção de água subterrânea no Grupo Cuiabá. O seu objetivo é avaliar o desempenho destes métodos na prospecção de água subterrânea neste tipo de meio cristalino. O EM-34 mapeou três locais de condutividade elétrica alta, correspondentes aos locais de maiores probabilidades de ocorrências de água subterrânea. O CE não apresentou um desempenho tão bom quanto o EM-34, porém das três anomalias mapeadas pelo EM-34, ele identificou com boa clareza apenas duas. Os resultados das SEVs mostram que este método não deve ser aplicado em geologia de cristalino, pois nesse meio as zonas aquíferas são de dimensões muito pequenas, e este método é de investigação pontual, servindo para estimar a profundidade e a espessura de camadas. Os resultados de EM-34 e de CE foram confirmados com os dados do poço construído pela indicação destes métodos.

**Abstract** - This research was realized in Cuiaba city, at Mato Grosso State, and consists in the application of electromagnetic sounding EM-34, electric sounding and vertical electric sounding - VES methods, in the groundwater prospecting in Cuiaba Group. Its objective is assessment the performance of this methods in the groundwater prospecting in this kind of crystalline rock. The EM-34 mapped three sites of high electric conductivity, corresponding to the sites of higher probabilities of occurrence of groundwater. The electric sounding didn't show a good performance so as EM-34 as method. However, of the tree mapped anomalies by EM-34, the electric sounding identified with more clarity just on two. The results of the VES show that this method can't be applied in crystalline geology, because in this geology the aquifer zones have very small dimensions, and this method is of punctual investigation, that have been useful to estimate the depth

<sup>1</sup> Prof. do Departamento de Geologia Geral – ICET / UFMT. Av. Madri, 151 – BL A2 - Apto 102 – Residencial Ana Paula – Senhor dos Passos – CEP 78048-070- Cuiabá-MT. E-mail: alteredo@cpd.ufmt.br, Fone/Fax: (0xx65)615-8752.

<sup>2</sup> Prof. Do Departamento de Recursos Minerais – ICET / UFMT. Av. Fernando Correa da Costa, S/N - Campus Universitário – 78040-600 – Cuiabá –MT. Fone/Fax: (0xx65) 615-8750 – rodrigo.geologo@ig.com.br

<sup>3</sup> Geóloga – Av. dos Trabalhadores, BL26-Apto.303-Resd. Sta. Inês- Jardim Eldorado- 78048-000-Cuiabá-MT. Fone: (0xx65) 653-2426.

and thickness of layers. The results of EM-34 and of electric sounding were confirmed with data of well constructed by indication of these methods.

**Palavras-Chave** - EM-34; Caminhamento elétrico; SEV; Grupo Cuiabá; Prospecção de água subterrânea.

## **INTRODUÇÃO**

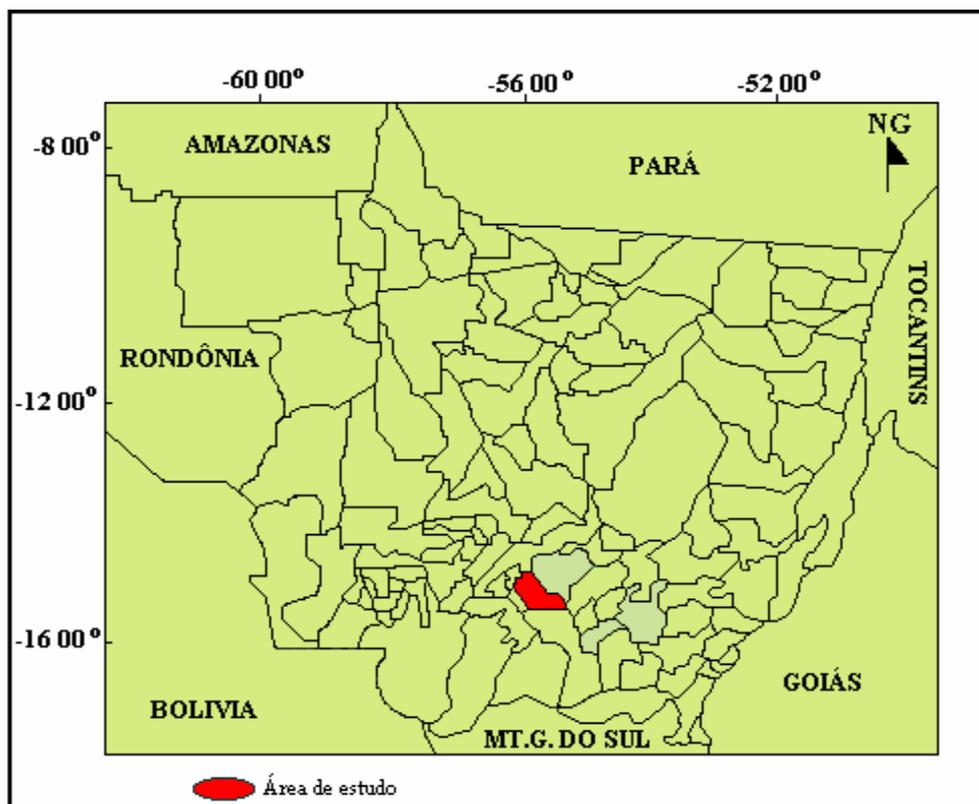
O conhecimento prévio da existência e dimensões das estruturas geológicas capazes de armazenar água em meio cristalino contribui na elaboração de projeto de poço tubular profundo, aumenta a probabilidade de encontrar água e auxilia em várias outras pesquisas hidrogeológicas. Esses dados podem ser obtidos de modo segura por meio de métodos geofísicos, os quais são aplicados conforme a geologia local.

No caso de geologia de meio cristalino os métodos que devem ser utilizados são os eletromagnéticos e caminhamento elétrico. No entanto, no Estado de Mato Grosso muitos trabalhos de locação de poço tem sido feitos com aplicação de Sondagem Elétrica Vertical em meio cristalino, sendo que este método deve ser aplicado exclusivamente em meio acamada, pois produz excelentes resultados (CUTRIM, et al., 2001; CUTRIM et al.,2002).

Desse modo, este trabalho foi realizado com a finalidade de reforçar e mostrar os procedimentos de dois dos métodos que devem ser aplicados em prospecção de água subterrânea em meio cristalino, visando evitar o uso errôneo de outros métodos geofísicos neste estado.

## **LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Este trabalho foi desenvolvido na cidade de Cuiabá, no distrito industrial, Estado de Mato Grosso (figura 1).



**Figura 1** – Localização do município de Cuiabá.

## **GEOLOGIA DA ÁREA**

A geologia da área está inserida no Grupo Cuiabá, o qual dividido em dois conjuntos litológicos distintos, a Formação Miguel Sutil e a Formação Rio Coxipó (Migliorini, 1999).

A Formação Miguel Sutil é composta pelas litofácies pelítica e litofáceis argilo-areno-conglomerática. As Litofácies pelítica são constituídos por laminação plano-paralela, caracterizados como filitos de cor marrom a cinza esverdeado, sericíticos, com laminação plano paralela, raramente maciços. São comuns as intercalações de camadas tabulares de arenitos finos a médios, associados ou não a veios de quartzo de espessura centimétrica orientados de acordo com a direção dos dobramentos regionais. As Litofácies argilo-areno-conglomerática são caracterizadas como uma seqüência cíclica granodecrescente, cada ciclo tem espessura entre 1 m a 10 m e estão distribuídos na cidade de Cuiabá como arranjos lenticulares direcionados para N30°/40°E. A base é constituída por um ciclo de metaconglomerados oligomíticos quartzosos esbranquiçados, seguidos por um ciclo de arenitos de cor amarelo creme, quartzosos e com fragmentos de feldspato e encerra-se com um ciclo de filitos de cor cinza chumbo, sericíticos, laminados e raramente maciços.

A Formação Rio Coxipó é constituída pelas Litofácies metadiamicitito com matriz arenosa e Litofácies metadiamicitito com matriz argilosa. As Litofácies metadiamicitito com matriz arenosa, caracterizados como metadiamicititos, cor amarelo a bege, maciço, quartzoso, organizado em

camadas tabulares de 10 cm a 3 m de espessura e com intercalações abruptas de lentes centimétricas de arenitos grossos a médios. Éste conjunto litológico tem a menor exposição no município de Cuiabá. As Litofácies metadiamicítico com matriz argilosa, caracterizadas por metadiamicítos, cor cinza esverdeado, maciço, micáceo e com fragmentos de composição variada. São comuns na porção NE do município as intercalações de lentes de metarenitos finos a médios com estratificação plano paralela. Este é o conjunto litológico que tem maior predomínio em volume e área de exposição.

A Formação Miguel Sutil aflora praticamente em toda a porção central e norte da cidade de Cuiabá, enquanto que a Formação Rio Coxipó sobrepõe-se à Formação Miguel Sutil através de contatos transicionais e tectônicos e aflora com mais freqüência na porção sul do município.

Os veios de quartzo aparecem com mais freqüência nas litofácies da Formação Miguel Sutil, geralmente estão intensamente dobrados e sub-concordantes com a direção de foliação dos dobramentos regionais.

## **HIDROGEOLOGIA DA ÁREA**

Em geologia de meio cristalino a água subterrânea é armazenada em fraturas e falhas, constituindo as zonas aquíferas. Na área de estudo as principais zonas aquíferas estão inseridas, principalmente, nos metadiamicítos da Formação Miguel Sutil

## **PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

Neste trabalho foram aplicados os métodos geofísicos Eletromagnético – EM 34, Caminhamento Elétrico-CE e Sondagem Elétricos Vertical – SEV.

### **Método Eletromagnético EM-34**

O método EM-34 é um dos mais recomendados para prospecção de água subterrânea em rocha cristalina. Ele possibilita o mapeamento de fraturas e falhas e ainda indica aquelas com maiores probabilidades de ter água.

O método consiste em gerar ondas eletromagnéticas através de uma bobina transmissora, as quais se propagam através do meio geológico, e retornam à superfície do terreno na forma de campo eletromagnético secundário trazendo informações sobre a condutividade desse meio (TELFORD et al., 1976) (figura 2). O método EM-34 fornece diretamente a condutividade elétrica em cada ponto de medida.

A profundidade de penetração ou skin depth de ondas eletromagnéticas é função da freqüência da onda e da condutividade elétrica do meio por onde a onda se propaga. Considerando-

se uma atenuação da amplitude de aproximadamente 37% do seu valor inicial, a profundidade de penetração de ondas planas pode ser obtida por:

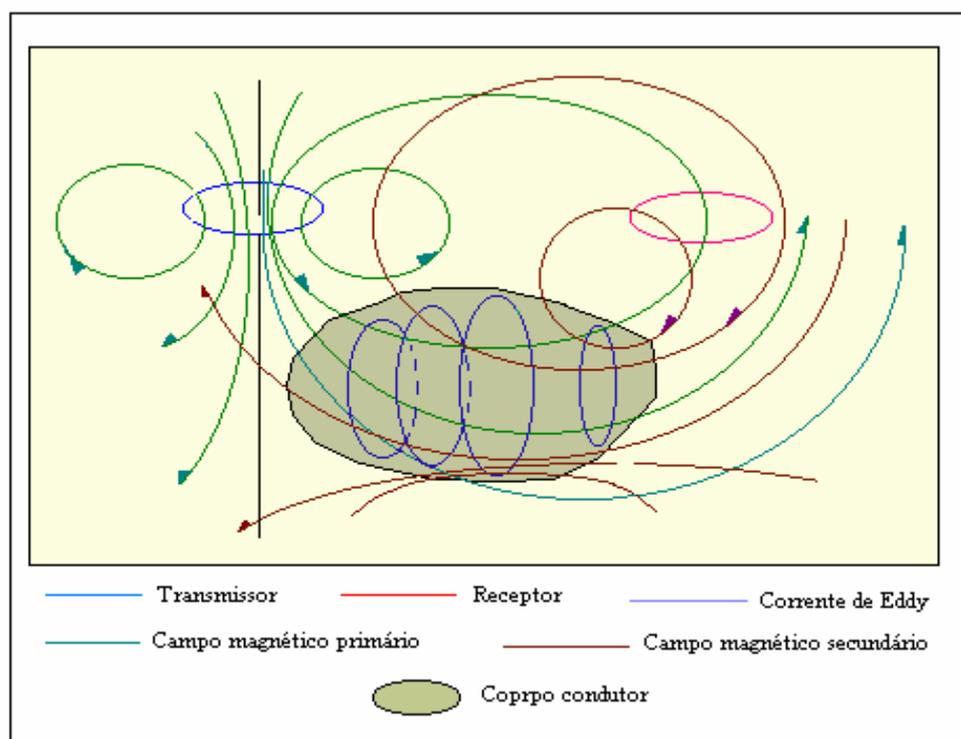
$$h = 503 \cdot \sqrt{\frac{1}{f\sigma}}$$

onde: h= profundidade em metros

f= frequência de propagação da onda

$\sigma$ = condutividade elétrica do meio

A aplicação deste método envolveu o levantamento com separação das bobinas transmissora e receptora de 40 metros. Os dados foram coletados com as bobinas posicionadas no plano horizontal e no plano vertical, o que possibilitou profundidades teóricas de investigação de 60 m e de 30 m, respectivamente. A distância entre as medidas foi de 1 metro. A interpretação dos dados foi somente qualitativa.



**Figura 2** – Comportamento das ondas eletromagnéticas no meio geológico.

### **Caminhamento Elétrico - CE**

O método caminhamento elétrico estuda a variação horizontal da resistividade no meio geológico, investigando, normalmente até quatro níveis de profundidades. Ele é um método muito empregado no estudo de caracterização de meio fraturado, permitindo o mapeamento de fraturas e

falhas e o conhecimento aproximado de suas profundidades. Ele também fornece indicativo da possibilidade de ocorrência de água subterrânea.

Este método consiste em injetar corrente elétrica no meio através de dois pontos (A e B) e medir o potencial em dois outros pontos (M e N). Través dessa corrente, desse potencial e da distância entre os pontos de injeção de corrente e de medidas de potencial, determina-se a resistividade aparente do meio, usando a equação 1 (BHATTACHARYA; PATRA, 1968).

$$\rho_a = k \cdot \frac{\Delta V}{I}, \quad (1)$$

onde:

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{c} \quad \text{e} \quad c = \frac{1}{AM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN}$$

A e B = eletrodos de corrente.

M e N = eletrodos de potencial.

I = corrente elétrica.

$\Delta V$  = diferença de potencial entre os eletrodos M e N.

Na coleta dos dados foi utilizado o arranjo Schlumberger (figura 3). A resistividade aparente para esse arranjo é dada pela equação 2:

$$\rho_a = \pi(a^2 - b^2) \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

onde,  $AB/2 = a$  e  $MN/2 = b$ .

Como a corrente flui de modo radial, então quanto maior a distância entre os pontos de injeção de corrente, maior será a profundidade investigada.

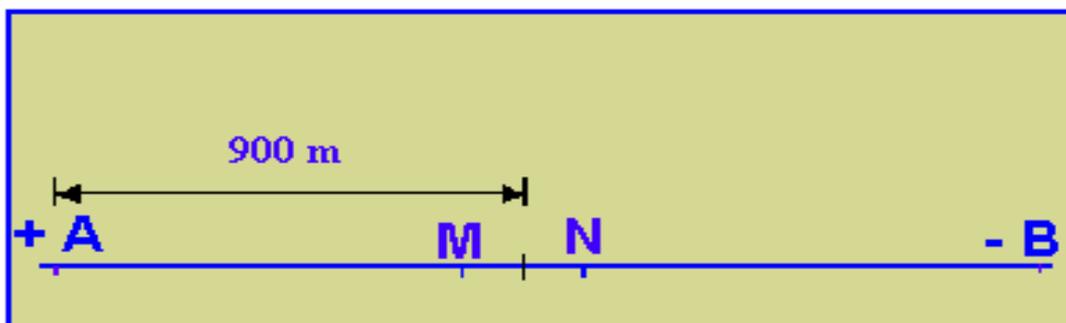
Os dados de resistividade aparente foram coletados ao longo de um perfil com espaçamento de 1m, utilizando-se o arranjo Schlumberger e um Resistímetro, com potência de 250 W e voltagens de 100, 200, 400 e 800V. A abertura constante de AB foi de 300 m, o que possibilitou uma profundidade de investigação em torno de 50 metros. A resistência de contato nos eletrodos foi controlada através do uso de água salgada. A interpretação dos dados foi somente qualitativa.

## Sondagem Elétrica Vertical - SEV

O método da sondagem elétrica vertical foi desenvolvido para investigar variação vertical de resistividade em meio acamada (BHATTACHARYA; PATRA, 1968). Ele consiste em injetar corrente elétrica no meio através de dois pontos e medir o potencial em dois outros pontos localizados entre os pontos de corrente (figura 3). Través dessa corrente, desse potencial e do fator geométrico (função das distâncias entre os pontos de injeção de corrente e medidas de potencial) determina-se a resistividade aparente do meio (equação 1). Quanto maior a distância entre os pontos de injeção de corrente maior será a profundidade investigada.

Na coleta dos dados de campo utilizando-se o arranjo Schlumberger (figura 3) e um Resistivímetro, com potência de 250 W e voltagens de 100, 200, 400 e 800V. Ao todo foram feitas três SEVs com abertura máxima de AB de 1800 metros, o que possibilitou uma profundidade de investigação em torno de 300 metros. As SEVs foram posicionadas sobre os perfis de EM34 e caminhamento elétrico, sendo a sua localização determinada a partir dos resultados apresentados pelos métodos Caminhamento Elétrico e Eletromagnético. A resistência de contato nos eletrodos foi controlada através do uso de água salgada.

A interpretação dos dados foi realizada através do método do Ridge Regression, usando software específico.



**Figura 3** - Arranjo Schlumberger.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

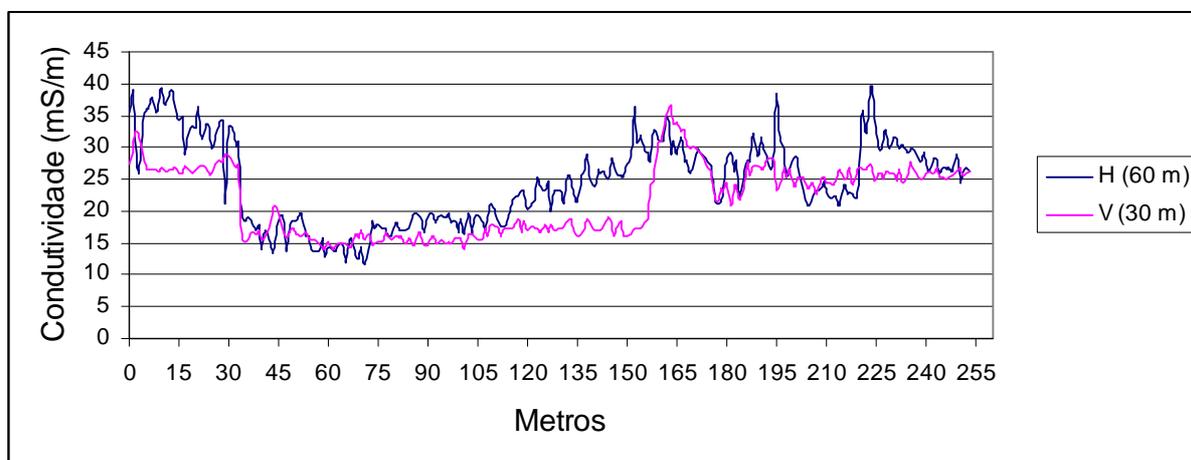
### Eletromagnético – EM 34

Com este método foi realizado um perfil de 254 m, na direção E-W, investigando teoricamente as profundidades de 30 m (bobinas no plano vertical) e de 60 m (bobinas no plano horizontal) (figura 4).

Na profundidade de 60m ocorrem quatro zonas de condutividade mais alta. A primeira localizada entre as posições 2 m e 32 m com 30 m de largura, com amplitude em torno de 20 mS/m, a segunda posicionada entre 150 m e 165 m com 15 m de largura e amplitude de 10 mS/m, a terceira localizada entre 185 m e 200 m com 15 m de largura e amplitude de 15 mS/m e a quarta situada entre as posições 220 m e 230 m, com 10 m de largura e amplitude de 15 mS/m.

Na profundidade de 30m ocorrem apenas três zonas de maior condutividade, correspondendo às anomalias 1, 2 e 3 da profundidade de 60 metros.

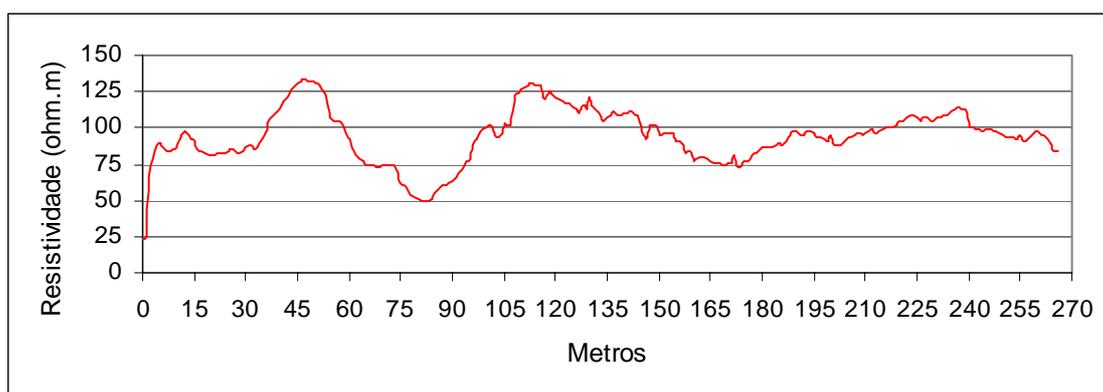
Portanto, a partir dos resultados destes dois perfis pode-se sugerir que essas zonas anômalas correspondem à estruturas geológicas que se estendem de 30 m a 60 m de profundidade. Estas zonas anômalas mostram-se as mais promissoras para armazenamento e produção de água.



**Figura 4** – Dados de caminhamento eletromagnético – EM 34.

### **Caminhamento Elétrico - CE**

Os dados de caminhamento elétrico foram coletados ao longo de um perfil de 268m, com espaçamento de 1m, a uma profundidade em torno de 50 m (figura 5). Nessa figura observa-se a existência de quatro zonas de resistividade baixa que se destacam. A primeira localizada entre as posições 0 m e 35 m, com largura de 35 m e amplitude de 75  $\Omega$ .m, a segunda posicionada entre 60 m e 95 m, com largura de 35 m e amplitude de 50  $\Omega$ .m, a terceira situada entre 150 m e 190m, com largura de 40m e amplitude de 25  $\Omega$ .m e a quarta localizada de 240 m a 265 m, com largura de 25 m e amplitude de 25  $\Omega$ .m. Com exceção da segunda anomalia, as demais apresentaram uma coincidência regular com as anomalias do método EM. Essa regular coincidência com o EM é, provavelmente devida às limitações do arranjo usado na coleta dos dados de resistividade.



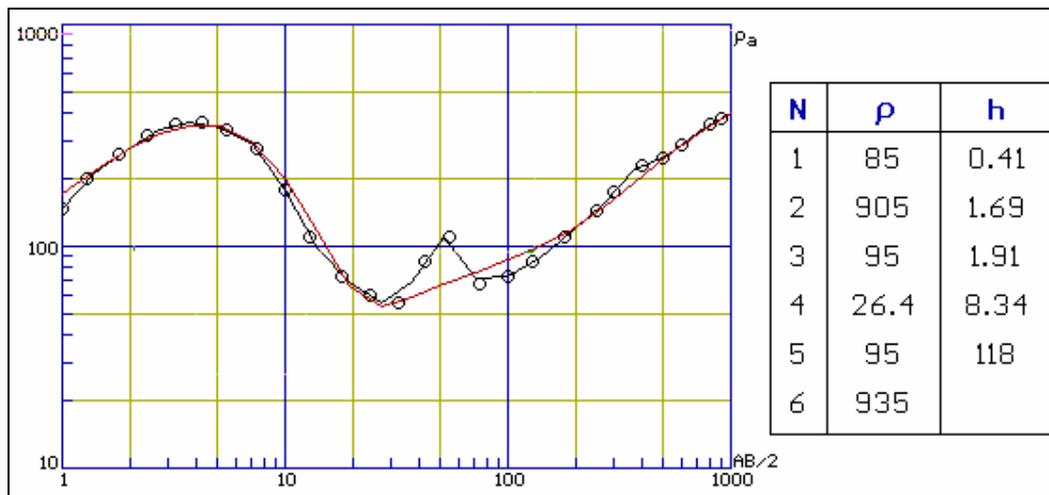
**Figura 5** – Dados de caminhamento elétrico.

### **Sondagem Elétrica Vertical - SEV**

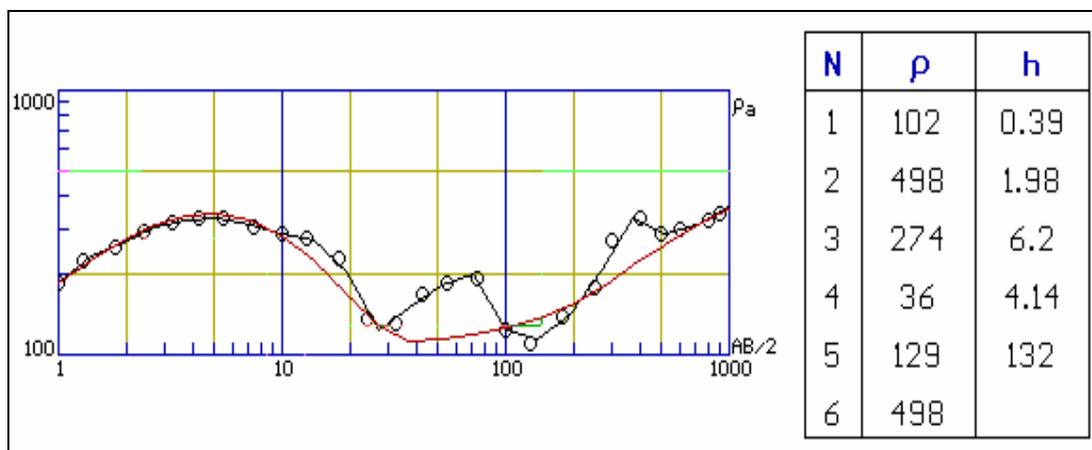
Foram realizadas três SEVs com abertura máxima de  $AB/2$  de 900 m, localizadas sobre as anomalias mais significativas do EM-34 e do CE. Os resultados obtidos com estas SEVs estão apresentados nas figuras 6, 7 e 8.

Observa-se que essas SEVs apresentaram características normais de SEVs realizadas em meio acamado, no entanto é um meio cristalino. Desse modo, a modelagem dessas SEVs produziu um modelo de camadas, pois assim os softwares consideram o meio que produziu a curva de campo de resistividade aparente. Desse modo, os resultados produzidos pela modelagem não tem qualquer similaridade com a geologia local. Para mostrar este fato, basta observar os modelos produzidos pelas SEVs nas figuras 6, 7 e 8.

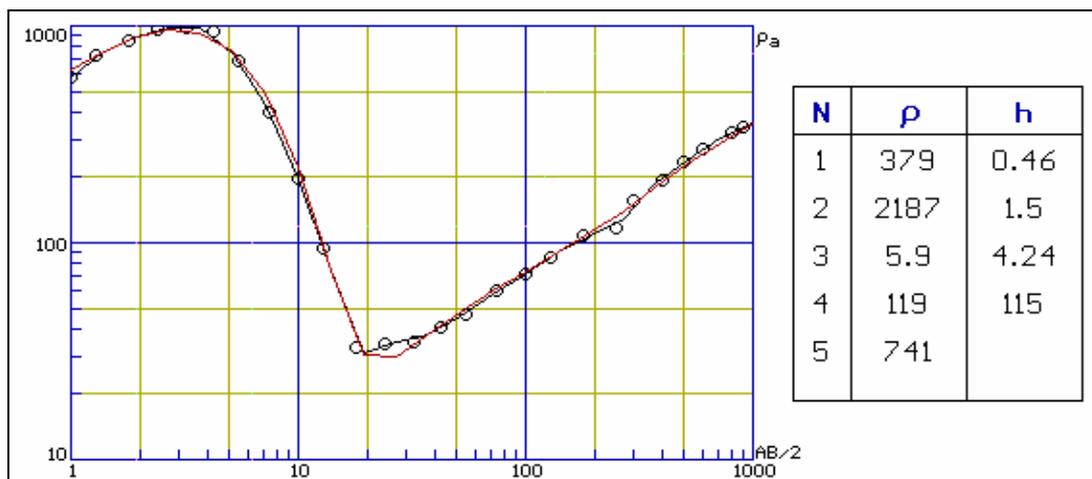
As SEVs 1 e 2 foram interpretadas assumindo um modelo de seis camadas, enquanto a SEV 3 foi interpretada com o modelo de cinco camadas, portanto geradas soluções de meio acamado para um meio cristalino. Observa-se nas curvas das SEVs 1 e 2 que o comportamento de suavidade esperado para curva de SEV não foi preservado, porém na SEV 3 este princípio foi mantido, o que significa que o princípio de suavidade de curva de SEV pode ser alcançado em meio cristalino, porém, isso não justifica a sua aplicação neste meio.



**Figura 6** – Modelo interpretativo da SEV1.



**Figura 7** – Modelo interpretativo da SEV2.



**Figura 8** – Modelo interpretativo da SEV3.

A partir do EM-34 e do CE foi sugerido a locação de um poço, na posição 180 do perfil. Esse poço atingiu a zona aquífera e produziu uma vazão em torno de 13 m<sup>3</sup>/h, mostrando, assim, a eficiência do EM-34 e do CE na prospecção de água subterrânea em meio cristalino.

## CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O método EM-34 possibilitou o mapeamento de três locais de condutividade elétrica mais alta, o que corresponde aos locais de maiores probabilidades de ocorrências de água subterrânea.

O CE não apresentou um desempenho tão bom quanto o EM-34, porém das três anomalias mapeadas pelo EM-34, o CE identificou com mais clareza apenas duas. Esse desempenho pouco satisfatório do CE deve está relacionado com o arranjo de campo utilizado.

Os resultados das SEVs mostram que este método não deve ser aplicado em geologia de cristalino, pois nesse meio as zonas aquíferas são de dimensões muito pequenas, e este método é de investigação pontual, servindo para estimar a profundidade e a espessura de camadas, como é o caso de geologia sedimentar.

Os dados de EM-34 e de CE foram confirmados com os dados do poço construído pela indicação destes métodos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BHATTACHARYA, P. K.; PATRA, H. P. **Direct Current Geoelectric Sounding**. Elsevier Publishing Company. New York, 1968.
- [2] CUTRIM, A. O.; SHOZO, S.; NASCIMENTO, A. L. Contribuição da Sondagem Elétrica Vertical à Hidrogeologia da Bacia do Paraná no Município de Juscimeira-MT. 7º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Salvador-BA, 2001.CD
- [3] CUTRIM, A. O.; SHOZO, S.; JOÃO, C. C.; ALDO DA, C. R. Locação de Poços Tubulares Profundos na Bacia do Paraná, no Município de Rondonópolis - MT, Usando Sondagem Elétrica Vertical. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis-SC. CD, 2002.
- [4] MIGLIORINI, R. B. Hidrogeologia em meio urbano da região de Cuiabá e Várzea Grande, Estado de Mato Grosso. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências / USP, São Paulo - SP, 130 p., 1999.
- [5] TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. **Applied Geophysics**. Cambridge: Cambridge University Pres, 1976.