



"Levantamento Geofísico de Imageamento Elétrico na caracterização de anomalias relacionadas a feições cársticas no município de Guia/MT"

Pazetti, Bruno Albiero* - Geopesquisa Investigações Geológicas Ltda
Marquez, Rinaldo Moreira - Geopesquisa Investigações Geológicas Ltda
Souza, Georgia Castro de - Geopesquisa Investigações Geológicas Ltda
Arais, Karen Crystyna Gonçalves de Oliveira - Geopesquisa Investigações Geológicas Ltda

Copyright 2011, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent 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

Electrical geophysical techniques are widely used in the study of the subsurface, with many applications in geotechnical engineering. This work has the objective to identify geophysical anomalies that may be related to cavities or voids originated from the dissolution of limestone in karst environment, and to characterize the boundaries between geological units in the subsurface. Karst environments need to be studied carefully before any economic or social activity, as the unplanned use can pose risks for geotechnical and environmental accidents. This work was conducted at Guide / Mt. To achieve this goal the technique of electrical imaging (electrical profiling with high-density read points with dipole dipole) was used.

RESUMO

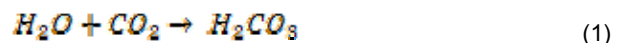
Técnicas elétricas em geofísica são amplamente empregadas no estudo de subsuperfície, com diversas aplicações em geotecnia. O presente trabalho possui o objetivo de identificar anomalias geofísicas que possam estar relacionadas a cavidades ou espaços vazios originados a partir da dissolução do calcário em ambiente cárstico, bem como caracterizar os limites entre unidades geológicas em subsuperfície. Ambientes cársticos precisam ser estudados cuidadosamente antes de qualquer atividade econômica ou social, pois a utilização não planejada pode representar riscos de acidentes geotécnicos e ambientais. Tal trabalho foi realizado no município de Guia/MT. Para alcançar este objetivo a técnica de "imageamento elétrico" (caminhamento elétrico com alta densidade de pontos de leitura com arranjo dipolo dipolo) foi utilizada.

INTRODUÇÃO

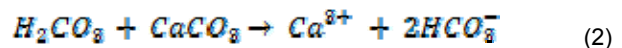
As investigações geofísicas promovem grande refinamento no estudo de subsuperfície, sendo de suma importância em áreas onde um estudo detalhado se faz necessário. "As áreas de carste, por sua natureza física específica, sofrem com a ação antrópica, em virtude da ocupação urbana da terra, das atividades agrícolas, da captação de água subterrânea e da mineração, principalmente da extração de calcário para correção de

acidez de solo e para a construção civil", afirma Vestena et al (2002).

O processo de formação de carste se inicia com a reação da água da chuva com o gás carbônica presente na atmosfera, originado ácido carbônico, conforme a reação abaixo (**Equação 1**):



O ácido carbônico penetra o solo e reage com o carbonato de cálcio presente nas rochas calcárias. A água ácida da chuva aloca-se em fraturas presentes na rocha facilitando o processo de dissolução e formando canais preferenciais. A **Equação 2** representa a dissolução do carbonato de cálcio:



O município de Guia/MT localiza-se aproximadamente 20 km à N-NW da capital mato-grossense, a **Figura 1** apresenta o acesso ao município pelas principais rodovias da região. A área de estudo onde será implantado um empreendimento, apresenta rochas carbonáticas.



Figura 1 – Município de Guia representado pelo ponto A no mapa acima, à aproximadamente 20 Km da capital Cuiabá (centro do mapa).

Grandes edificações exigem fundações planejadas, principalmente onde espaços vazios, resultados da dissolução do calcário pela água da chuva, em subsuperfície podem ocorrer.

O exemplo de colapso clássico na literatura ocorreu em 12 de agosto de 1986 na cidade e Cajamar situada na grande São Paulo. O solo colapsou para dentro de uma cavidade cárstica, três casas foram tragadas pela cratera, que ao final do processo possuía

10m de diâmetro e 10 metros de profundidade. Santos, Álvaro Rodrigues, GEOLOGIA DE ENGENHARIA.

Métodos de eletroresistividade são capazes de criar um mapa de valores de resistividade em subsuperfície. A técnica de caminhamento elétrico é eficaz na determinação de variações e descontinuidades laterais do meio estudado. Visto que existe um grande contraste nas propriedades elétricas entre calcários e possíveis espaços vazios nele existente o caminhamento elétrico é eficaz na identificação dessas feições. As diferentes unidades geológicas também possuem valores de resistividade elétrica distintas, assim é possível mapear seus limites utilizando o caminhamento elétrico.

Os mapas gerados neste trabalho foram capazes de identificar anomalias associadas à feições cársticas.

METODOLOGIA

Neste projeto foram realizados levantamentos utilizando o método da eletroresistividade através da técnica de Caminhamento Elétrico (arranjo dipolo dipolo) com o objetivo de fornecer subsídios que auxiliem na interpretação de descontinuidades geológicas, que possam ocorrer na área, ocasionados pela existência de vazios originados a partir da dissolução das rochas calcárias.

A eletroresistividade é um método geofísico baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais, sendo aplicada com sucesso em diversos campos das geociências. O método da eletroresistividade baseia-se no estudo do potencial elétrico gerado por campos elétricos artificialmente injetados no subsolo (Orellana, 1972; Telford et al., 1990). As variações nos potenciais permitem discriminar materiais de propriedades elétricas distintas. O propósito da eletroresistividade é determinar a distribuição da resistividade elétrica da subsuperfície realizando-se medidas a partir da superfície do solo.

Os dispositivos para medidas de resistividade elétrica consistem, comumente, de um sistema de quatro eletrodos, sendo dois deles usados para enviar uma corrente elétrica (I) ao solo (eletrodos C1 e C2), e os outros dois (eletrodos P1 e P2) usados para medir a diferença de potencial (ΔV) entre eles, como mostra a **Figura 2**.

No arranjo dipolo dipolo, as fontes de corrente (transmissores) são distanciadas dos receptores em uma distância fixa para cada nível de investigação. Para aumentar a profundidade e o nível investigado, aumenta-se a distância (X) entre o transmissor e os receptores. As medidas são efetuadas em vários níveis de investigação (n), isto é, $n = 1, 2, 3, 4, 5...$ é o ponto de intersecção entre uma linha que parte do centro dos eletrodos de corrente e outra que parte do centro dos eletrodos de potencial, com ângulos de 45° (**Figura2**).

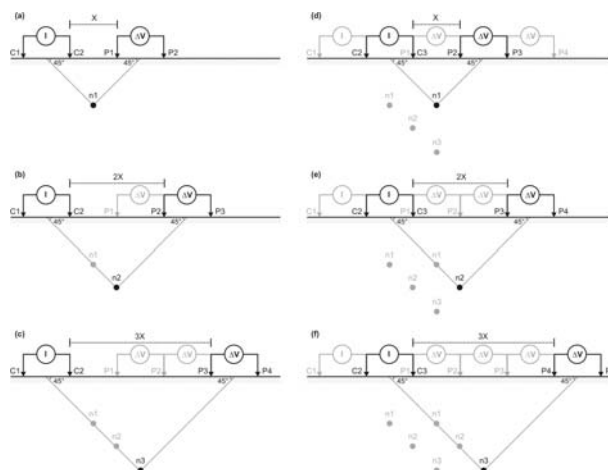


Figura 2 – Sequência de medidas no arranjo dipolo dipolo, para cada posição dos eletrodos de corrente é medido quantos níveis se desejar, no exemplo dado para a primeira posição de eletrodos de corrente se mediu 3 níveis.

O resultado da aquisição é um conjunto de dados de resistividade elétrica obtido em n profundidades que formam uma pseudo-seção. Esta por sua vez, reflete o comportamento do subsolo em resposta à passagem de correntes elétricas. Cada material geológico mostra um intervalo bem amplo de resistividade, que depende principalmente da composição mineralógica da rocha, da quantidade de fluídos presentes nos poros da rocha, e da salinidade do fluído.

Obtendo-se a diferença de potencial e a corrente que flui no meio, a resistividade elétrica aparente do meio (**Equação 3.1**) dependerá somente do fator geométrico (K). Este último é função somente da configuração dos eletrodos no terreno (**Equação. 3.2**).

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} K \quad (\text{Eq. 3.1})$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{C1P1}} - \frac{1}{r_{C2P1}} - \frac{1}{r_{C1P2}} - \frac{1}{r_{C2P2}} \right)} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Onde, ρ_a é a resistividade elétrica aparente do meio; r_{C1P1} , r_{C2P1} , r_{C1P2} e r_{C2P2} são as distâncias entre os eletrodos de corrente e de potencial.

AQUISIÇÃO DOS DADOS

O equipamento utilizado na campanha de aquisição dos dados de eletrorresistividade foi o SYSCAL PRO (fabricado pela IRIS). Este sistema é desenvolvido para alta produtividade de aquisições elétricas no campo. O equipamento é composto por uma unidade transmissora e receptora em um único módulo de controle.

O Syscal Pro pode ser operado de diversas maneiras (padrão, manual, contínuo ou multieletrodos). O modo multieletrodos permite uma aquisição com uma amostragem maior de pontos em um período pequeno de tempo. Nesta aquisição, dois cabos são conectados no equipamento e nos eletrodos.

O Syscal Pro utiliza reversão de corrente durante a leitura dos dados, o que anula o efeito do potencial espontâneo natural. Para a aquisição dos dados no campo, uma rotina de aquisição (protocolo) é elaborada e inserida na memória do equipamento. Antes da realização das medidas, o equipamento realiza um teste de resistência de contato entre os eletrodos e o solo, esta verificação permite ao operador verificar as conexões e o acoplamento. Após as medidas, os dados são descarregados com o software Prosys II (*IRIS Instruments*), filtrados e convertidos para o formato Res2dinv.

A disposição das linhas no campo foi realizada levando em consideração a direção e a existência de estruturas geológicas (falhas, fraturas, contatos litológicos) existentes no local. Conforme mostra a **Figura 3**.



Figura 3 – Em preto a distribuição de linhas de levantamento geofísico, em vermelho claro as linhas de topografia e azul as linhas de drenagem.

O levantamento dos dados geofísicos foi realizado através da técnica de caminhada elétrica (imageamento) empregando o arranjo dipolo-dipolo combinando espaçamentos entre dipolos de 10, 20 e 40 metros, com pontos de leitura a cada 10 metros e 12 (doze) níveis investigação.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo situa-se no contexto geológico da Faixa Paraguai, porção sudeste do Cráton Amazônico. A Faixa Paraguai situa-se na porção sudeste do Cráton Amazônico é composta de rochas sedimentares depositadas numa margem passiva durante o Neoproterozóico, posteriormente dobradas pela Orogênese Brasileira/Pan Africana (Almeida & Hassui, 1984). Porções desta faixa de dobramentos encontram-se, em grande parte, encobertas pelos sedimentos quaternários da Bacia do Pantanal.

Esta unidade tectônica possui como principais características, intensa deformação linear polifásica, presença de grandes falhamentos inversos e de empurrão, ausência de produtos vulcânicos expostos e pela presença de plútons de composição granítica em sua área mais interna (Almeida & Hassui, 1984). Na sua porção interna é representada por uma seqüência de rochas metassedimentares dobradas e metamorizadas, que em direção ao cráton, passam a coberturas sedimentares, em parte contemporâneas e estruturalmente dobradas e falhadas, mas, não metamorizadas. Em seu conjunto as estruturas configuram um grande arco convexo para o cráton.

Almeida & Hassui (1984) subdividiram a Faixa Paraguai em três zonas estruturais, denominadas de Brasilides Metamórficas, Brasilides Não-Metamórficas e Coberturas Brasileiras de Plataforma. Alvarenga & Trompette (1993) redenominaaram as respectivas zonas estruturais como: 1- Zona Estrutural Interna; 2- Zona Estrutural Externa; 3- Cobertura Sedimentar de Plataforma.

A área de estudo esta inserida no Domínio Tectônico Interno formado em sua maioria pelo **Grupo Cuiabá** que compreende as rochas mais antigas da seqüência sedimentar, o qual mostra-se inteiramente metamorizado em baixo grau (Orogênese Brasileira) com rochas vulcânicas e intrusões graníticas localmente associadas.

Luz et al. (1980) subdividiram o Grupo Cuiabá, na Baixada Cuiabana, em nove subunidades lito-estratigráficas, denominando- as informalmente de 1, 2, 3, 4; 5, 6, 7, 8 e uma indivisa (**Figura 4.1 e 4.2**), as quais foram estendidas neste estudo para toda a área de ocorrência deste grupo na Faixa Paraguai.

Subunidade 1 - filitos sericíticos, com intercalações de filitos e metarenitos, algo grafitosos;

Subunidade 2 - metarenitos arcoseanos, metarcóseos e filitos grafitosos, com intercalações de metarenitos e lentes de mármores calcíferos. Os filitos grafitosos mostram acamadamento com preservação de estruturas

sedimentares sob a forma de lentes estiradas isoladas (wavy) ou conectadas (linsen) de arenito muito fino

Subunidade 3 - filitos, filitos conglomeráticos, metaconglomerados, metarcóseos, metarenitos, quartzitos, com lentes de filitos e mármores calcíferos, além de níveis de hematita;

Subunidade 4 - metaparaconglomerados (metadiamicíticos) petromíticos, com clastos de quartzo, feldspato, quartzito, rochas graníticas e máficas e raras intercalações de filitos e metarenitos;

Subunidade 5 - filitos e filitos sericíticos, com intercalações e lentes de metaconglomerados, metarenitos finos a conglomeráticos e metarcóseos;

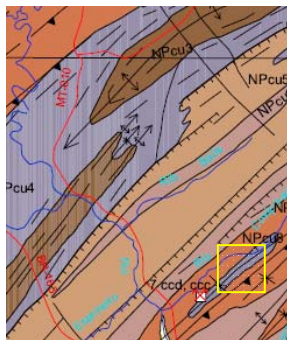
Subunidade 6 - filitos conglomeráticos, metaparaconglomerados (metadiamicíticos) com clastos de quartzo, filitos e quartzitos e intercalações subordinadas de metarenitos;

Subunidade 7 - metaparaconglomerados (metadiamicíticos) petromíticos, matriz areno-argilosa, com clastos de quartzo, quartzito, calcário, rochas máficas e graníticas e raras intercalações de filitos;

Subunidade 8 - mármores calcíticos e dolomíticos, margas e filitos sericíticos;

Subunidade Indivisa - quartzitos, metarenitos, filitos e filitos conglomeráticos.

Lentes de rocha carbonáticas são comuns nas subunidades 2, 7 e 8 do Grupo Cuiabá (Luz et al., 1980).



Área de Estudo.

Figura 4.1 – Distribuição das unidade litológicas do grupo Cuiabá no entorno da área de estudo e delineações das feições estruturais.

Grupo Cuiabá

NPcu8	Subunidade 8: mármore calcítico e dolomítico, marga e sericita filito
NPcu7	Subunidade 7: metaparaconglomerado petromítico, matriz areno-argilosa, com clastos de quartzo, quartzito, calcário, rochas máficas e graníticas e raras intercalações de filito
NPcu6	Subunidade 6: filito conglomerático, com clastos de quartzo, filito e quartzito e intercalações subordinadas de metarenito
NPcu5	Subunidade 5: filito e sericita filito, com intercalações e lentes de metaconglomerado, metarenito fino a conglomerático e metarcóseo
NPcu4	Subunidade 4: metaparaconglomerado petromítico, com clastos de quartzo, feldspato, quartzito, rochas graníticas e máficas e raras intercalações de filito e metarenito



Figura 4.2 – Legenda das respectivas unidades litológicas do Grupo Cuiabá e legenda estrutural.

PROCESSAMENTO

Os dados obtidos na campanha de aquisição passaram pela etapa de processamento e inversão. Na etapa de processamento os dados são analisados quanto a sua coerência e posteriormente filtrados.

No processo de filtragem, são descartados os pontos de leitura que apresentem erro superior a 8%. Os dados processados então são corrigidos topograficamente caso haja necessidade, para cada posicionamento de eletrodo existente no arranjo (quando necessário).

São utilizadas em média 5 (cinco) iterações para a convergência dos dados de campo em seus resultados finais. As profundidades obtidas na inversão de cada uma das técnicas de levantamento utilizadas foram determinadas pelo tipo de arranjo que foi selecionado para realizar a aquisição dos dados.

O processo de inversão e modelagem dos dados utiliza o método de elementos finitos para a definição dos corpos resistivos e condutores. O software utilizado para processar os dados é o RES2DINV® de propriedade intelectual da Geotomo.

RESULTADOS

Após processamento os dados de imageamento elétrico apresentam valores de resistividade que variam de 2 a 2500 $\Omega.m$. Três faixas de resistividade são bem marcadas nos perfis encontrados. São elas: valores baixos de resistividade de 2 a 300 $\Omega.m$, valores médios entre 200 a 1500 $\Omega.m$ e valores altos superiores a 1500 $\Omega.m$.

Todos os mapas de resistividade serão apresentados em duas etapas, a primeira imagem de cada linha representa os dados brutos de resistividade aparente e logo abaixo o modelo que representa a resistividade real de subsuperfície.

O perfil CE-01 (**Figura 5**) apresenta os mesmos três limites bem marcados de eletroresistividade, porém

com uma diferença dos demais, as regiões com valores acima de $1500 \Omega.m$ não são contínuas e nem tão profundas quanto as regiões dos outros perfis.

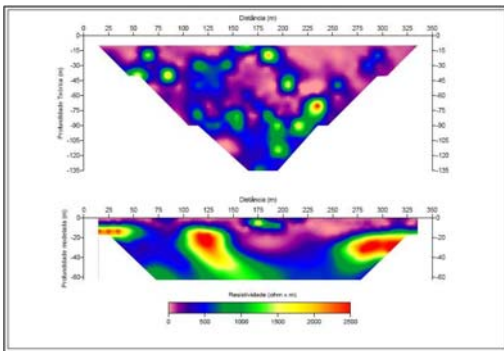


Figura 5 – CE01, único perfil com comportamento distinto, onde as zonas anômalas não são contínuas.

Também nos perfis abaixo existem regiões de alta resistividade não contínuas envolvidas por zonas de baixas resistividades nas profundidades mais superficiais. Tais anomalias podem estar relacionadas a feições cársticas, como espaços vazios, ou simplesmente corpos geológicos que não sofreram processo de intemperismo e mantiveram-se preservados.

Com exceção do perfil CE-01, todos os perfis gerados apresentam comportamento semelhante na distribuição de valores de eletroresistividade, apresentando 3 camadas geolétricas, sendo a camada superior formada por valores de baixa resistividade (2 a $300 \Omega.m$), abaixo desta, uma camada com espessura entre 1 e 2 m apresente-se com valores intermediários de resistividade e em seguida a última camada a profundidade acima de 20 m com valores de resistividade acima de $1500 \Omega.m$, constituindo uma anomalia contínua e alongada.

Abaixo estão apresentados os perfis gerados a partir das linhas CE02 à CE08.

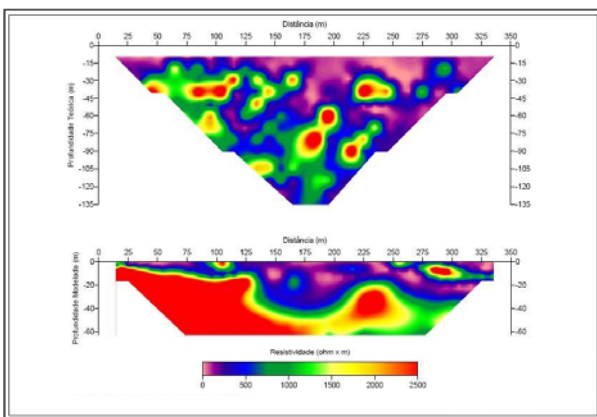


Figura 6 – CE02.

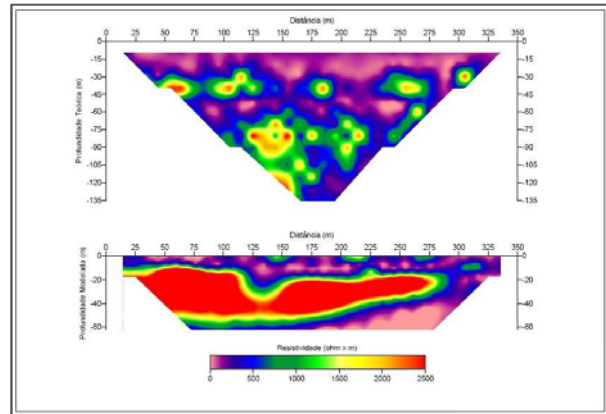


Figura 7 – CE03.

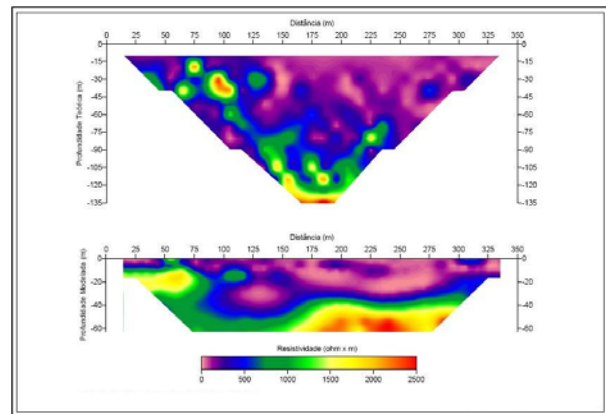


Figura 8 – CE04.

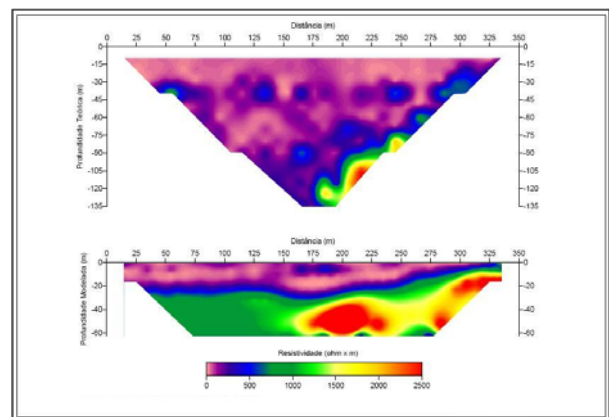


Figura 9 – CE05

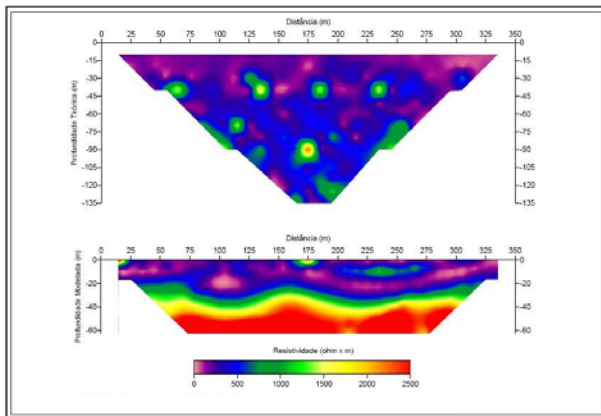


Figura 10 - CE06.

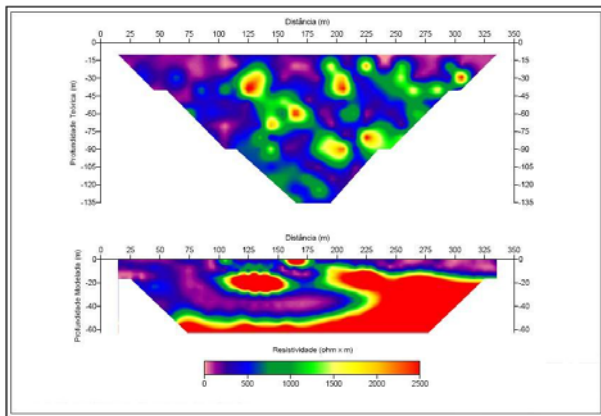


Figura 11 – CE07.

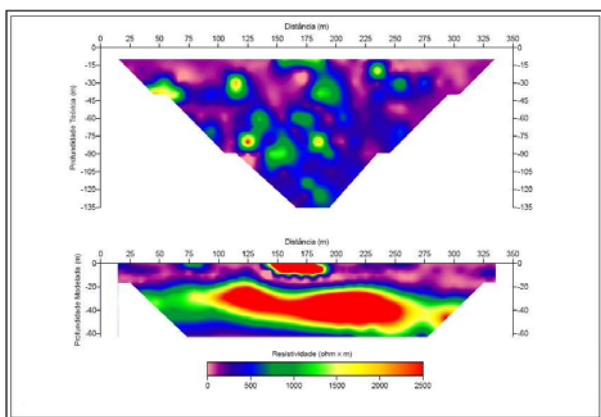


Figura 12 - CE08.

CONCLUSÃO

As observações feitas no mapa geológico da área apontam que a região de estudo encontra-se em um corpo formado essencialmente por rochas calcárias, onde

espaços vazios, frutos da dissolução do calcário, podem ocorrer a pequenas profundidades.

O fluxo de corrente elétrica quando percorre espaços vazios encontra grande resistência, pois o ar não é um meio favorável a sua propagação.

Os perfis de resistividade gerados a partir dos dados de caminhamento elétrico apontam anomalias de alta resistividade pouco profundas que podem estar relacionados a espaços vazios existentes no calcário, pois se encontram cercadas por zonas de baixa resistividade e possuem geometria sugestiva a tal conclusão. A zona de baixa resistividade pode estar associada às rochas calcárias existentes.

As anomalias alongadas e contínuas de alta resistividade localizadas a partir da profundidade de aproximadamente 20 m podem estar associadas a unidade metaconglomerado que encontra-se abaixo do calcário.

REFERÊNCIAS:

- Vestena, L. R; KOBAYAMA, M; SANTOS, L. J. C - 2002 - CONSIDERAÇÕES SOBRE GESTÃO AMBIENTAL E ÁREAS CÂRSTICAS.
- Santos, A. R – 2002 – Geologia de Engenharia
- Orellana, E – 1972 – Prospección Geoeletrica em corriente continua.
- Telford, W. M – 1990 – Applied Geophysics.
- Almeida & Hassui, 1984 – O Pré-Cambriano do Brasil;
- Alvarenga & Trompette (1993) – Evolução Tectônica brasileira da Faixa Paraguai: A estruturação da região de Cuiabá. Revista Brasileira de Geociências. V.32, n4, pag.18-30.
- Luz, J.S., Oliveira A.M., Souza J.O., Motta J.J.I.M., Tanno L.C., Carmo L.S., Souza N.B. 1980 - Projeto Coxipó - Relatório Final. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Superintendência Regional de Goiânia, DNPM/CPRM.