

Utilização do método geoeletrico na identificação da camada de calcário e cavernas associadas na mina de calcário localizada na cidade de Pimenta Buena/RO

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – SUREG/São Paulo;
Miqueas Barroso da Silva, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – SUREG/Manaus;

Copyright 2012, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

Resumo

Na região de Pimenta Bueno/RO existe a única mina de extração de calcário do estado. Atualmente a mesma está interdita pelo IBAMA devido ao aparecimento de cavernas próximo a frente de lavra da mina. Foi solicitado junto à CPRM que um estudo geofísico da área fosse realizado no intuito de identificar as cavernas e mapear a camada de calcário. Foi escolhido o método geofísico da geoeletrico utilizando a técnica de caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo e espaçamento entre eletrodos de 20m. Com os resultados obtidos, ficou determinado que a camada de calcário possui resistividade elétrica variando entre 40 a 150 Ω .m dependendo do grau de saturação de água. Com o resultado da inversão dos perfis geoeletricos, da análise de furos de sondagem existentes e do valor de resistividade do calcário, foi possível identificar as áreas de ocorrência de calcário e algumas possíveis cavidades com dimensões maiores que 5 m puderam ser identificadas tanto na camada de calcário, quanto na camada de conglomerado.

Introdução

Desde o final da década de 1970, o então intitulado projeto Presidente Hermes (1978) já demonstrou o potencial para a exploração de calcário dolomítico na região da cidade de Pimenta Bueno, no estado de Rondônia. Neste relatório de pesquisa realizado pela CPRM e fornecido para o DNPM, foram realizados estudos geológicos, geoquímicos e furos de sondagem que auxiliaram na estimativa da reserva total (medida, indicada e inferida) de calcário da ordem de 358×10^6 T.

Com o atual desenvolvimento agropecuário do estado ocorreu uma maior demanda de corretivo agrícola, o que ocasionou uma necessidade maior de extração do calcário desta reserva, que por sinal é a única no estado de Rondônia.

No entanto, no início do ano de 2012, surgiu uma caverna próxima à frente de lavra da mina. Isto acarretou na interdição da exploração da mina de calcário, por parte do IBAMA, até que novos estudos para a identificação desta e de outras possíveis cavernas fossem realizados.

Foi escolhido o método da eletrorresistividade, arranjo dipolo-dipolo, para a identificação de possíveis cavernas e para o mapeamento do corpo calcário devido a ser uma técnica de fácil execução, de custo relativamente baixo e

devido ao bom contraste de resistividade entre os meios geológicos existentes no local.

Local de estudo

A região de estudo está localizada na porção sudeste do estado de Rondônia, distante cerca de 550 km da capital Porto Velho.

A atual mina de calcário controlada pela EMATER-RO está localizada a cerca de 50 km rodando via estrada de terra da cidade de Espigão D' oeste e a cerca de 80 km da cidade de Pimenta Bueno.

A área definida para estudo ficou delimitada por um retângulo com 1000m na direção leste-oeste e 500m na direção norte-sul. Este retângulo foi posicionado ao norte da atual frente de lavra da mina como pode ser visualizado na figura 01. Foram definidas linhas espaçadas de 100m umas com relação às outras tanto na direção leste-oeste quanto na direção norte-sul. As linhas de direção leste-oeste foram denominadas de linhas A a F e as linhas de direção norte-sul foram denominadas de linhas 1 a 11.

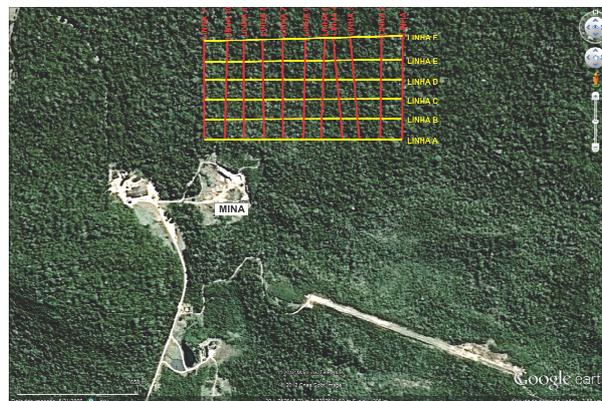


Figura 01: Detalhe do planejamento das linhas.

Geologia da área de estudo

A geologia do estado de Rondônia está bem descrita no trabalho de Scandolar (1999). A área de estudo está localizada dentro da Bacia dos Parecis, uma das principais bacias Intracratônicas brasileiras. No território rondoniano, a bacia é constituída por expressiva cobertura sedimentar relacionada ao Paleozóico, que preenche a Fossa Tectônica de Rondônia com as Formações Cacoal, Pimenta Bueno e Fazenda da Casa Branca. A fossa apresenta evidências de subsidência no Paleozóico, com preenchimento de conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos, nesta ordem, em direção ao centro do *graben*, com alguma contribuição de

sedimentos carbonáticos e glaciais, e importantes reativações mesozoicas de natureza vertical. Estes sedimentos constituem o Grupo Primavera, composto pelas formações Cacoal, Pimenta Bueno e Fazenda da Casa Branca.

A Formação Pimenta Bueno que está compreendida no período Fanerozóico com idades entre 350 a 290 Ma. Esta formação constitui uma unidade litoestatigráfica ainda pouco estudada em escala de detalhe e semidetalhe. A Formação Pimenta Bueno é constituída essencialmente de folhelhos, arenitos, siltitos e conglomerados suportados pela matriz, subordinadamente carbonatos e lentes de carvão. Este pacote sedimentar com espessura superior a 950 m (poço RO-01-PB) preenche o *graben* de Pimenta Bueno, estrutura com mais de 25.000 km² de área, localizado no sudeste do estado de Rondônia, relacionada ao período Carbonífero.

Metodologia geofísica empregada

O método da eleorresistividade é um método geoeletrico baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais, tendo sido utilizado nos mais variados campos de aplicação da geociência. Este método baseia-se no estudo do potencial elétrico tanto dos campos elétricos naturais, existentes na crosta terrestre, como dos campos artificialmente provocados. A partir de medições do potencial elétrico na superfície pode-se determinar, no subsolo, a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas.

Qualitativamente, resistividade é uma medida de dificuldade que um determinado material impõe à passagem de uma dada corrente elétrica ou, o inverso, a condutividade é a facilidade com que a corrente elétrica passa através de certo material. A resistividade é designada por (ρ), dada em $\Omega \cdot m$ e a condutividade (σ), dada em S/m, sendo a relação entre elas $\rho=1/\sigma$. A resistividade elétrica das rochas e minerais é uma propriedade que depende de vários fatores. Além da presença de água em fraturas e poros das rochas, a presença de minerais condutivos faz baixar o valor da resistividade.

A resistividade é dada pela Lei de Ohm:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{L}{A} \quad (1)$$

Onde A é a área de uma face do cubo, L é a distância de face a face, ΔV é a diferença de potencial entre as faces e I é a intensidade de corrente que passa através da amostra.

Num meio heterogêneo, os valores de área e comprimento já não podem ser definidos a priori porque

dependem da geometria do arranjo dos eletrodos no terreno e são, portanto, substituídos na fórmula da resistividade por uma constante k, que será diferente para cada arranjo. A resistividade medida desta forma não será mais a resistividade de uma rocha ou de uma camada e sim uma resistividade média do pacote de rochas (incluindo solo) e, por isso, denominada resistividade aparente, que é uma expressão da resistividade que o meio teria se fosse homogêneo e não guarda nenhuma relação quantitativa absoluta com o valor da resistividade verdadeira. Ela reflete apenas as propriedades médias do meio pelo qual a corrente passou.

O arranjo dipolo-dipolo pode ser utilizado tanto em sondagens elétricas verticais como em caminhamentos elétricos (figura 02). Neste arranjo, os eletrodos AB de injeção de corrente e MN de potencial são dispostos segundo uma linha e o arranjo é definido pelos espaçamentos entre os eletrodos $X=AB=MN$. A profundidade de investigação cresce com a distância entre os eletrodos de potencial e os de corrente (R) e, teoricamente, corresponde a R/2. As medidas são efetuadas em várias profundidades de investigação (n), isto é, $n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$ é o ponto de intersecção entre uma linha que parte do centro do arranjo de eletrodos AB e outra que parte do centro do arranjo MN, com ângulos de 45°.

Quando o interesse de estudo é saber as variações laterais da resistividade utiliza-se a técnica de Caminhamento Elétrico (CE), onde os eletrodos são expandidos simetricamente a partir de um centro que permanece fixo e cujas profundidades de investigação crescem com o aumento da distância entre os eletrodos de corrente (A e B).

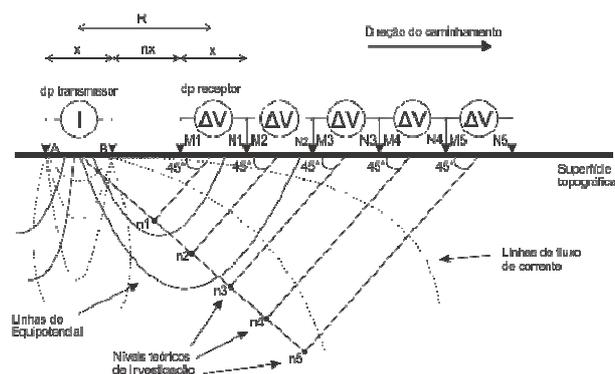


Figura 02: Esquema do arranjo dipolo-dipolo utilizado em caminhamentos elétricos.

Resultados

Para a aquisição dos dados de campo utilizou-se o equipamento SYSCAL-PRO da IRIS instruments. O

arranjo utilizado para as leituras foi o dipolo-dipolo com espaçamento entre os eletrodos de 20m. Foram utilizados os 10 canais de investigação que o equipamento permite utilizar. Foram levantadas um total de 17 linhas de investigação (11 linhas de 500m e 6 linhas de 1000m) totalizando 11.500m de caminhamento elétrico. A figura 03 ilustra a montagem do equipamento SYSCAL-PRO.

Os dados das coordenadas (X,Y,Z) foram adquiridos através de um GPS modelo Garmin 76CSx. Os dados foram coletados em coordenadas UTM, datum WGS84.



Figura 03: Ilustração da montagem do equipamento SYSCAL-PRO.

Para a inversão dos dados dos caminhamentos elétricos foi utilizado o *software* RES2DINV da empresa *Geotomo Software*. Na inversão foi utilizado o método dos mínimos quadrados (*Leats-squares inversion*) incluindo suavização no modelo de resistividade (*include smoothing of model resistivity*). Os resultados dos caminhamentos podem ser visualizados nas figuras 04 a 20. Vale ressaltar que os perfis nomeados de A a F são de direção W-E e os perfis nomeados de 1 a 11 são de direção S-N.

Caminhamento A

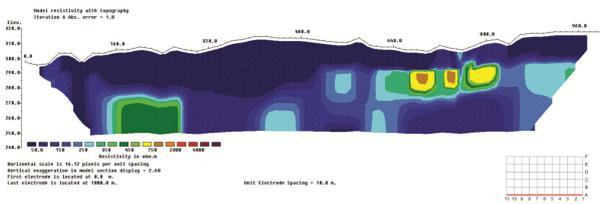


Figura 04: Resultado da inversão do caminhamento A (W-E).

Caminhamento B

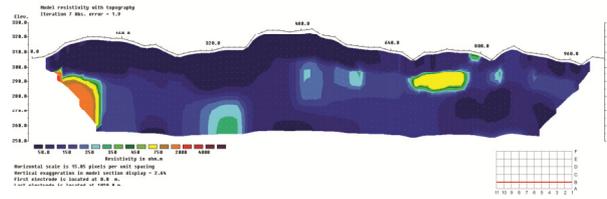


Figura 05: Resultado da inversão do caminhamento B (W-E).

Caminhamento C

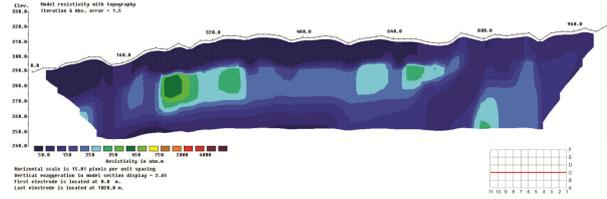


Figura 06: Resultado da inversão do caminhamento C (W-E).

Caminhamento D

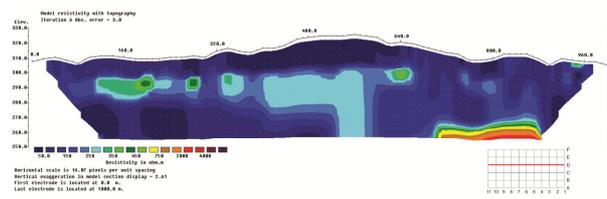


Figura 07: Resultado da inversão do caminhamento D (W-E).

Caminhamento E

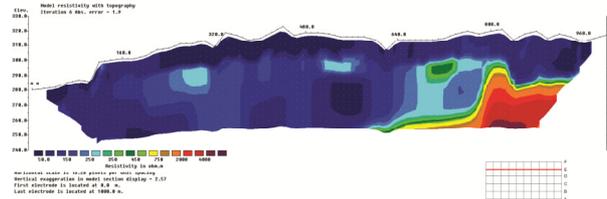


Figura 08: Resultado da inversão do caminhamento E (W-E).

Caminhamento F

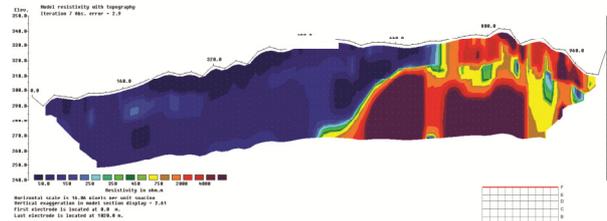


Figura 09: Resultado da inversão do caminhamento F (W-E).

Caminhamento 1

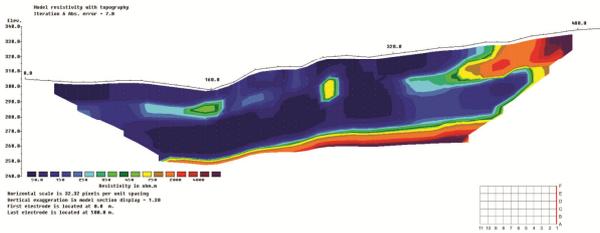


Figura 10: Resultado da inversão do caminhamento 1 (N-S).

Caminhamento 2

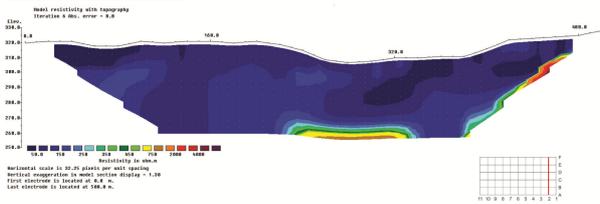


Figura 11: Resultado da inversão do caminhamento 2 (N-S).

Caminhamento 3

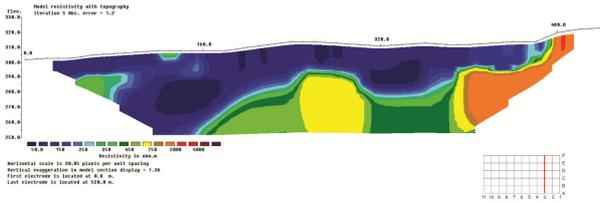


Figura 12: Resultado da inversão do caminhamento 3 (N-S).

Caminhamento 4

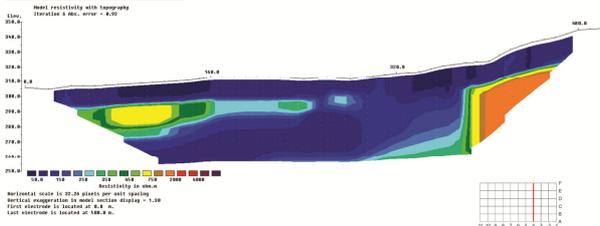


Figura 13: Resultado da inversão do caminhamento 4 (N-S).

Caminhamento 5

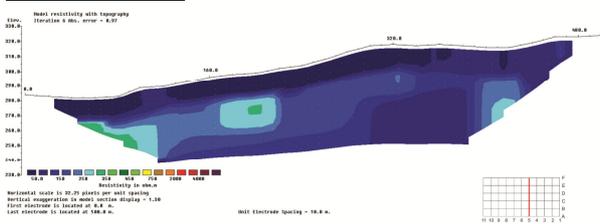


Figura 14: Resultado da inversão do caminhamento 5 (N-S).

Caminhamento 6

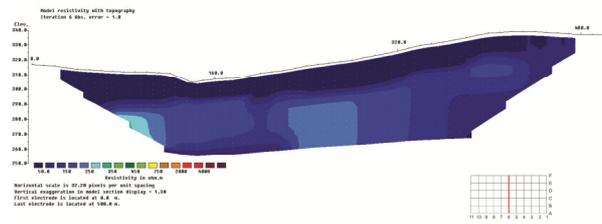


Figura 15: Resultado da inversão do caminhamento 6 (N-S).

Caminhamento 7

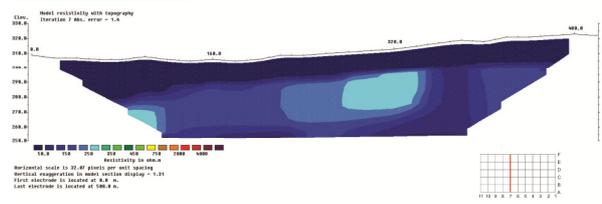


Figura 16: Resultado da inversão do caminhamento 7 (N-S).

Caminhamento 8

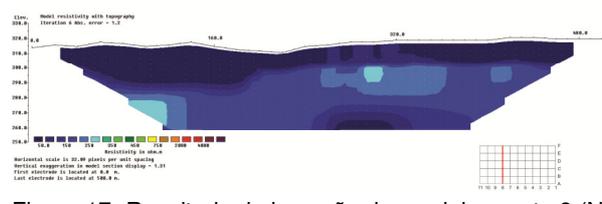


Figura 17: Resultado da inversão do caminhamento 8 (N-S).

Caminhamento 9

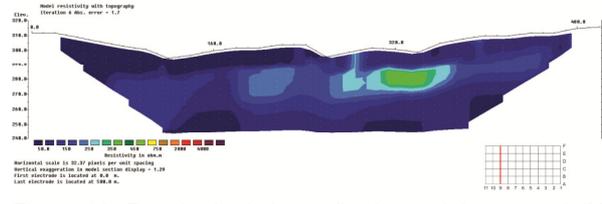


Figura 18: Resultado da inversão do caminhamento 9 (N-S).

Caminhamento 10

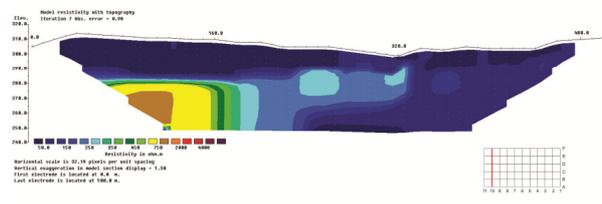


Figura 19: Resultado da inversão do caminhamento 10 (N-S).

Caminhamento 11

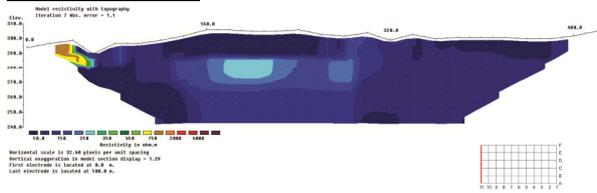


Figura 20: Resultado da inversão do caminhamento 11 (N-S).

Discussão dos resultados

Inicialmente começaremos comentando que devido a parametrização do arranjo escolhido (espaçamento de 20 m dos eletrodos e 10 canais de investigação), corpos, camadas ou cavidades com dimensões menores que 5 metros não poderão ser delimitados.

No final da década de setenta diversos furos de sondagem foram realizados na região. Em especial, três furos de sondagem estão localizados no limite da área de trabalho. Eles estão indicados na figura 21. Os furos indicam que a camada de calcário varia entre 7 a 16m de espessura e que a profundidade do topo desta camada varia de 3 a 7 metros ao longo da linha C.



Figura 21: Localização dos furos de sondagem existentes dentro do limite da área de trabalho e que foram realizados no final da década de 1970.

Foram selecionadas 4 amostras coletadas em campo (Apêndice C), três na frente de lavra (siltito, calcária rosa, calcário branco) e uma amostra no final da linha E (granito). Estas amostras foram levadas para o laboratório de geofísica aplicada do IAG USP para o cálculo da resistividade elétrica das mesmas. Elas foram saturadas com água por cerca de 3 dias e após isso foi efetuado o cálculo do valor da resistividade das amostras. Os valores encontrados são mostrados na tabela a seguir:

Amostra	Resistividade ($\Omega.m$)
Siltito	$36,8 \pm 0,4$
Calcário Rosa	$39,1 \pm 0,4$
Calcário Branco	$52,2 \pm 1,2$
Granito	1457 ± 83

Com o resultado das resistividades obtidas em laboratório e com os três perfis de furos de sondagem foi possível fazer uma interpretação dos resultados apresentados pelos perfis geoeletricos.

- Fica bem marcada a região onde existe a intrusão da rocha granítica. Esta é identificada pelas resistividades superiores a 1000 $\Omega.m$ que estão presentes no final das linhas 1 a 4 (Norte da linha) e final das linhas D a F (Leste das linhas). Na figura 22 é mostrado um exemplo da intrusão granítica na linha F.

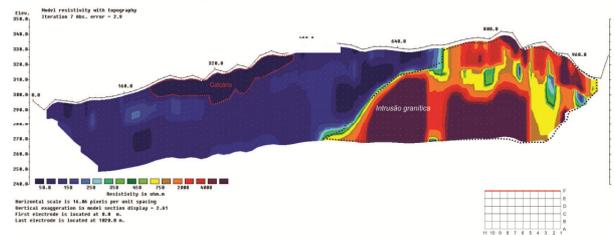


Figura 22: Linha F com as indicações da intrusão granítica e a região de calcário.

- Fazendo uma correlação entre os perfis geoeletricos, os furos de sondagem e os dados de laboratório, estipularemos que o calcário da área possui uma resistividade que irá variar de 40 a 150 $\Omega.m$ dependendo do nível de saturação de água que o mesmo possuir. Isto implica que o calcário está representado pelos tons de azul escuro mais superficial em toda parte dos perfis. Este fato nos leva a conclusão que no início da linha 11 é possível identificar uma anomalia que possa ser associada a uma caverna. Existem alguns outros locais ao longo dos perfis (como por exemplo, entre 80 e 90 m no perfil 11) que possuem resistividades maiores chegando quase a 250 $\Omega.m$ que poderiam representar espaços vazios nas camadas de calcário, porém isto não elimina a possibilidade de existência de cavernas com diâmetros menores que 5 metros nesta camada de calcário. Na figura 30 é mostrada as áreas de ocorrência de calcário e das possíveis cavidades.

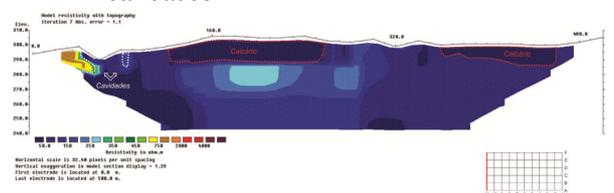


Figura 23: Linha 11 exemplificando as áreas de calcário e das possíveis cavidades.

- Abaixo do calcário existe a camada de conglomerado onde a resistividade média varia entre 200 a 450 $\Omega.m$. Esta camada se apresenta

de forma bem heterogênea possuindo em algumas regiões, valores de resistividade que chegam a 900 Ω .m. Nestes locais, como por exemplo entre 640 a 800 m na linha A se estendendo para a linha B, a característica geométrica da anomalia (forma aproximadamente circular) leva a se considerar a possibilidade da existência de cavernas em conglomerado (?), porém não é possível se afirmar tal fato, a não ser que se faça algum furo de sondagem sobre este ponto. Na figura 31 é mostrada a área de calcário existente na linha e as possíveis cavidades existentes no conglomerado.

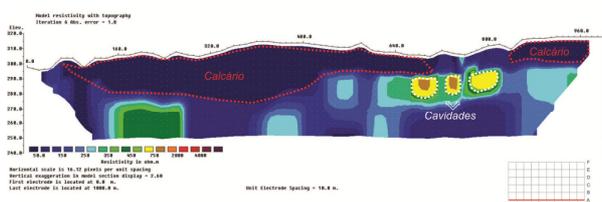


Figura 24: Ilustração das áreas de calcário e das possíveis cavidades existentes na linha A.

- Na linha 1 foi possível identificar o topo do embasamento da região, sendo representado pela camada horizontal de resistividade acima de 2000 Ω .m. A região do embasamento pode ser visualizado na figura 25.

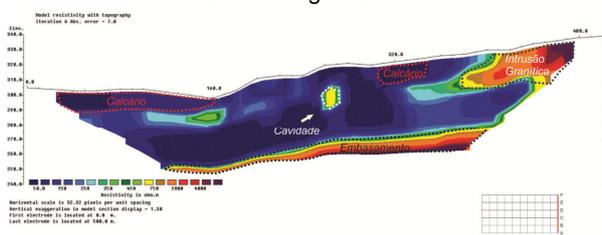


Figura 25: Ilustração da linha 1 identificando as áreas de calcário, intrusão granítica, o embasamento e possível cavidade.

- Devido aos valores próximos de resistividade do siltito e dos calcários não foi possível distingui-los nos perfis geoeletricos.

Conclusões e sugestões

Com os resultados e discussões realizadas anteriormente podemos fazer as seguintes conclusões e sugestões:

- Foi possível identificar com clareza a intrusão granítica existente no local;
- Devido ao arranjo escolhido, distância entre os eletrodos, não foi possível identificar corpos, camadas ou cavernas com diâmetros menores que 5 metros;

- Para ter uma melhor relação profundidade versus definição, deve-se adquirir outro tipo de equipamento com a possibilidade de investigação de mais canais. No mercado já existem equipamentos com a possibilidade de se investigar até 42 canais;
- A camada de calcário ficou definida como tendo resistividade elétrica variando entre 40 a 150 Ω .m. Nesta camada existem alguns locais onde a resistividade chegou próxima a 250 Ω .m, o que poderiam indicar a presença de cavidades na camada.
- A camada de conglomerado, abaixo do calcário, se apresentou muito heterogêneo, com a resistividade variando entre 200 a 450 Ω .m, porém com algumas anomalias na resistividade com valores que podem atingir 900 Ω .m. Tais anomalias devido a sua forma, podem sugerir que estejam relacionadas a cavidades no conglomerado.

Agradecimentos

Agradecimentos ao professor Francisco Yukio Hiodo do laboratório de geofísica aplicada da USP pelo cálculo da resistividade elétrica das amostras coletadas em campo.

Referências

- CPRM, 1978. Projeto Presidente Hermes (Relatório Final de Pesquisa). Superintendência Regional de Porto Velho.
- Scandolaro, J., 1999. Geologia e Recursos Minerais de Estado de Rondônia: texto explicativo e mapa geológico do Estado de Rondônia, escala 1:1.000.000/ organizado por Jaime Scandolaro – Brasília, CPRM.