



# Emprego do GPR para Estudos Geológicos na Mineração Jundu, Descalvado – SP

Jorge Luís Porsani<sup>1</sup> Walter Malagutti Filho<sup>2</sup>

(Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE/UNESP, atualmente no Instituto Astronômico e Geofísico – IAG/USP) <sup>1</sup>, (Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE/UNESP) <sup>2</sup>

## ABSTRACT

The GPR method was used in the Jundu mines, located in Descalvado-SP, to subsidized geological detail studies. For such, it was carried out several profiles with the antennas of 50 and 100 MHz, being used the Ramac-Mala equipment. The obtained data were processed and presented in the form of profiles. The interpretation of the results allowed to detail the stratigraphy, and determine the depth of the water table. It was determined the influence area provoked by the collapse of the top of the cave. The results present an excellent concordance with the information given by drilling holes and geological outcrop studies.

## INTRODUÇÃO

O GPR - “Ground Penetrating Radar” é um método eletromagnético de altas frequências, desenvolvido principalmente para localizar objetos enterrados ou interfaces geológicas abaixo da superfície da Terra (Daniels et al., 1988). O primeiro levantamento utilizando-se o método GPR foi realizado na Alemanha em 1929, visando determinar a espessura de uma geleira (Olhoeft, 1996). Esta metodologia ficou paralisada até a década de 50, provavelmente devido às limitações instrumentais. Na década de 60, um dos maiores sucessos do método GPR consistiu na determinação da espessura de placas de gelo no Ártico e na Antártica (Scaife and Annan, 1991). O trabalho em ambiente sem gelo iniciou-se em meados da década de 70. Uma intensificação nas atividades de pesquisa ocorreu associada com a missão à Lua com a nave Apollo 17 (Ulriksen, 1982). Na década de 80 o GPR teve seu reconhecimento como método de exploração geofísica por parte da comunidade geocientífica mundial. Os trabalhos pioneiros de aplicações do GPR no Brasil foram realizados pelo Centro de Pesquisas da Petrobrás, seguidos pelas Universidades Federais da Bahia e do Pará (Porsani, 1999). Atualmente o GPR vem sendo empregado por várias instituições de pesquisas e universidades brasileiras. O principal objetivo deste trabalho é estudar a geologia na área da Mineração Jundu, localizada na região de Descalvado – SP, visando determinar a profundidade do nível freático e a estratigrafia de detalhe dos sedimentos. Para alcançar este objetivo, foram realizados vários perfis GPR com as antenas de 50 e 100 MHz, utilizando-se o equipamento Ramac-Mala de fabricação Suéca.

## METODOLOGIA GPR

O GPR é um método eletromagnético que emprega ondas de rádio em altas frequências (normalmente entre 10 - 1000 MHz), para localizar estruturas e feições geológicas rasas da subsuperfície (ou localizar objetos enterrados pelo homem). O método GPR consiste em obter uma imagem de muito alta resolução da subsuperfície, através da transmissão de um curto pulso de altas frequências para gerar ondas eletromagnéticas (EM), que por sua vez é repetidamente radiada para dentro da terra por uma antena transmissora colocada na superfície. A propagação do sinal EM depende da frequência do sinal transmitido e das propriedades elétricas dos materiais (condutividade elétrica e permissividade dielétrica), que são principalmente dependentes do conteúdo de água no solo (Topp et. al., 1980). As mudanças nas propriedades elétricas em subsuperfície fazem com que parte do sinal seja refletido. As ondas de radar refletidas e difratadas em diferentes interfaces são recebidas através de outra antena, denominada de antena receptora também colocada na superfície do terreno. A energia refletida é registrada em função do tempo de percurso, sendo amplificada, digitalizada e gravada no disco rígido de um computador “notebook”, deixando os dados prontos para o processamento posterior que se fizerem necessários.

## GEOLOGIA LOCAL

A Mineração Jundu localiza-se, na região centro-leste do Estado de São Paulo (Figura 1). Geologicamente, está localizada no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, que é representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica (formações Itararé, Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (formações Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Itaqueri) e Cenozóica (Formação Rio Claro e Depósitos Recentes).

Na área da Mineração Jundu, afloram rochas do Grupo São Bento, que são representadas, da base para o topo, pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral. A Formação Pirambóia é constituída por espessos pacotes de arenitos, muito friáveis, de granulometria fina a média, com intercalações de finas camadas de siltitos e argilitos, ocorrendo localmente, níveis conglomeráticos. A Formação Botucatu constitui-se num pacote de arenitos, de granulometria fina a

média, com típicos grãos bem arredondados, friáveis ou silicificados. A passagem da Formação Pirambóia para a Formação Botucatu é marcada por uma discordância, constituída por um arenito conglomerático basal (Nava & Campos, 1996). As formações Botucatu e Pirambóia são explotadas como areia industrial para vidro e fundição pela Mineração Jundu S.A.

A Formação Serra Geral é caracterizada por rochas vulcânicas básicas, com intrusões de diques e soleiras de diabásio associadas. Na Mineração Jundu ocorrem intrusões de diabásio, na forma de diques, associadas às formações Botucatu e Pirambóia.

Em toda a frente de lavra da jazida, observam-se nitidamente o contato entre as formações Botucatu e Pirambóia, a existência de uma caverna, o contato entre o arenito friável e o arenito mais compacto, o nível freático aflorando, diques de diabásio cortando os arenitos da Formação Pirambóia e uma cratera resultante do colapso do teto de uma outra caverna.

## AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Foram realizados seis perfis GPR com as antenas de 50 e 100 MHz. Todos os perfis foram adquiridos com a técnica "step mode" e corrigidos do efeito topográfico. A técnica de aquisição de dados GPR é semelhante à técnica de reflexão sísmica e à técnica de sonar, no princípio físico e na metodologia do levantamento de campo, com a exceção de que o GPR é baseado na reflexão de ondas EMs. Neste trabalho utilizaram-se os perfis de reflexão e as sondagens de velocidade. A conversão tempo / profundidade está baseada na velocidade de 0,11 m/ns, obtida da sondagem de velocidade através das informações dos furos de sondagens (Porsani, 1999).

O processamento dos dados GPR, normalmente é realizado de maneira sistemática, podendo remover ou realçar certas feições de interesse. As principais etapas envolvidas são: filtro DC, ganhos no tempo, filtragens temporal e espacial e migração (Annan, 1993). Esses procedimentos são normalmente atividades dependentes do intérprete, sendo muito interativos e infinitamente subjetivos.

Os perfis GPR obtidos foram calibrados e interpretados com base nos controles geológicos, através da correlação dos refletores observados nos perfis com os horizontes geológicos provenientes de furos de sondagens e com base em observações de afloramentos. Na área da Mineração Jundu foram realizados 114 furos de sondagens com profundidades variando entre 13 e 54 metros (Nava & Campos, 1996). O furo de sondagem, denominado pela Jundu de F-9, está localizado próximo aos perfis GPR apresentados neste trabalho. As unidades litoestratigráficas e as principais observações referentes ao furo de sondagem F-9 está mostrada na Figura 2. A existência de níveis com maior concentração de  $Fe_2O_3$ , observado na Formação Pirambóia para o furo de sondagem F-9, está relacionado à migração do ferro devido ao processo de lixiviação. Aliado a esse fato, a parte inferior dos arenitos da Formação Pirambóia, próximo ao piso da mina, apresentam grau de compactação mais elevado que a porção superior.

## RESULTADOS

Neste trabalho são mostrados dois perfis GPR realizados com as antenas de freqüências centrais em 50 e 100 MHz. A Figura 3 mostra o perfil com a antena de 50 MHz e a Figura 4 mostra o perfil com a antena de 100 MHz. Ambos apresentam 83 m de comprimento e foram adquiridos ao lado de uma cratera conhecida. Utilizou-se uma separação entre as antenas transmissora e receptora de 2 m, e o espaçamento entre cada estação de 0,25 m. A penetração do radar alcançou 30 m de profundidade.

Em torno de 8 m de profundidade ocorre um forte refletor sub-horizontal contínuo, que provavelmente está relacionado ao limite entre o arenito friável e o arenito compacto. O outro forte refletor contínuo que ocorre em torno de 14 m de profundidade, sendo interrompido bruscamente entre 60 e 75 m de distância, provavelmente está relacionado ao nível freático. Note que, entre 60 e 75 m de distância, é nítida a existência de uma região anômala abaixo de 9 m de profundidade, sendo um forte indicativo da localização de uma região de influência do colapso do teto de uma caverna. O forte refletor suavemente inclinado que ocorre em torno de 25 m de profundidade, provavelmente refere-se ao aumento do teor em ferro. Estes resultados apresentam excelente concordância com as observações do furo de sondagem F-9 (Figura 2).

## CONCLUSÕES

Os perfis GPR na área da Mineração Jundu permitiram revelar as seguintes estruturas:

- i) Uma nítida região anômala entre 60 e 75 metros de distância e em torno de 9 metros de profundidade. Essa região é um forte indicativo da localização da região de influência do colapso do teto de uma caverna;
- ii) Determinou-se o contato entre o arenito friável e o arenito mais compacto em torno de 8 metros de profundidade;
- iii) Determinou-se a profundidade do nível freático em torno de 14 metros de profundidade;
- iv) Localizaram-se níveis contendo elevado teor de ferro, variando de 15 a 25 metros de profundidade;

Os resultados obtidos na Mineração Jundu apresentaram excelente concordância com as informações geológicas dos furos de sondagens e com os estudos geológicos realizados nos afloramentos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Annan, A.P., 1993, *Practical Processing of GPR Data, Proceedings of 2<sup>nd</sup> Government Workshop on Ground Penetrating Radar*, 26p.

Daniels, D.J., Gunton, D.J., Scott, H.F., 1988, *Introduction to Subsurface Radar, IEE Proceedings*, v.135, part F, n.4, special Issue, p.277-388.

Nava, N. & Campos, G.R., 1996, *Areia Quartzosa para uso Industrial: Mineração Jundu S.A, Anais do 3<sup>o</sup> Workshop Sobre Planejamento de Mina: Práticas e Experiências de Empresas de Mineração Brasileiras, Instituto Brasileiro de Mineração*, p.14-30.

Olhoeft, G.R., 1996, *Application of Ground Penetrating Radar, Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on Ground Penetrating Radar*, p.1-3.

Porsani, J.L., 1999, *Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta Metodológica de Emprego em Estudos Geológico – Geotécnicos nas Regiões de Rio Claro e Descalvado – SP: Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP - Campus de Rio Claro - SP*, 159p.

Scaife, J.E. and Annan, A.P., 1991, *Ground Penetrating Radar: A Powerful, High Resolution Tool for Mining Engineering and Environmental Problems, Sensors & Software, Inc.*, 24p, Internal Report.

Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P., 1980, *Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines: Water Resources Research*, v.16, n.3, p.574-582.

Ulriksen, C.P.F., 1982, *Application of Impulse Radar to Civil Engineering: Doctoral Thesis - Lund University of Technology*, 179p.

### AGRADECIMENTOS

À Mineração Jundu S.A, representado pelo geólogo Noedir Nava e Kako, Wagner Aquino (CETESB) e Cláudio Ribeiro da Silva (IGCE/UNESP), pelo apoio logístico durante a aquisição dos dados. Ao Instituto Astronômico e Geofísico (IAG/USP) pela infra-estrutura necessária para a realização deste trabalho.

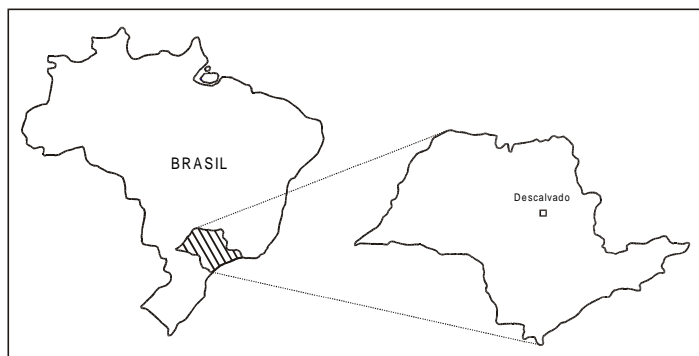


Figura 1 - Mapa de localização esquemático da área de estudos no Estado de São Paulo.

**Erro! Nenhum tópico foi especificado.**

Figura 2 - Unidades litoestratigráficas e principais observações referente ao furo de sondagem F-9.

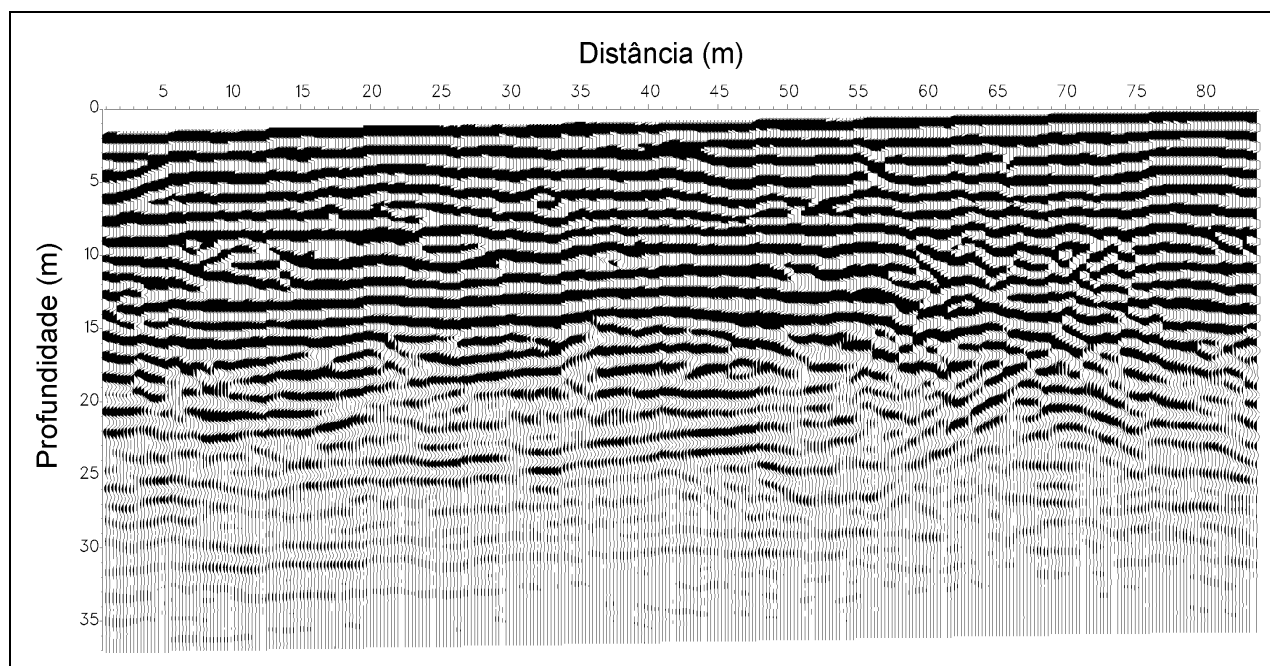


Figura 3 - Perfil GPR localizado ao lado de uma cratera conhecida. Antenas de frequências centrais em 50 MHz.

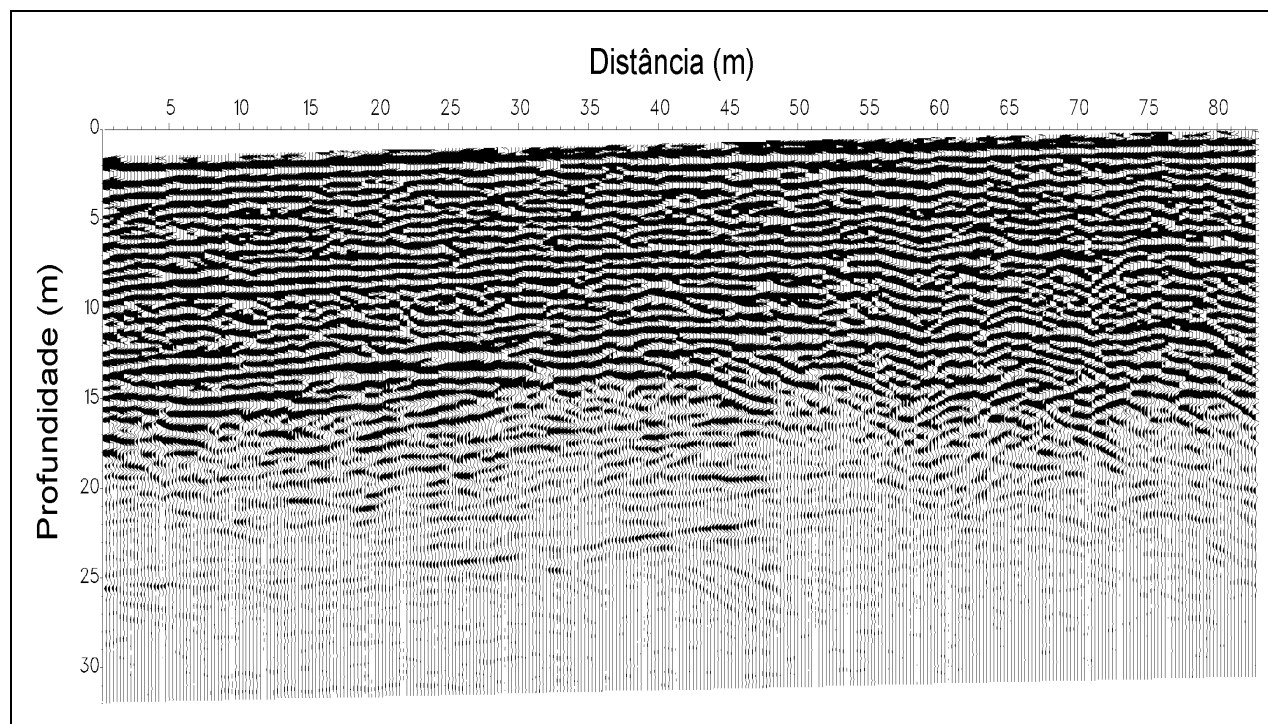


Figura 4 - Perfil GPR localizado ao lado de uma cratera conhecida. Antenas de frequências centrais em 100 MHz.