

Aplicações do método GPR na implantação e orientação de Lavras da Rocha Ornamental Mármore Bege – Bahia, Ourolândia (BA)

Antônio Leopoldo C. Freire (Instituto do Meio Ambiente – IMA), Marco A. Barsottelli Botelho (CPGG/IGEO/UFBA)

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

The use of Ground Penetrating Radar (GPR) to image fractures, caves or voids with metric sizes inside limestone, using the direct coupling of antennas on rock top is already well known in the world bibliography. Here we use the GPR to: (1) detect porous limestone zones, full of milimetric to centimetric spaces, which are unable to be used as dimension stone; and (2) we apply GPR over the clayed soil, to detect fracture lines inside the carbonate rock, below the soil. These fractured rocks suffered intemperism action, during the geological time and generates the so called dissolution channels which are very useful to start a new quarry. The detection of these dissolution channels with GPR saves time, up to thirty days of hard work, and also money. The GPR also contributes to environmental preservation, since it avoids the rock extraction in areas with speleologic potential.

Introdução

O mármore Bege Bahia é uma rocha pseudo-metamórfica, posto que não foi totalmente consolidado o processo de metamorfismo. O calcário em questão pertencente à Formação Caatinga e a denominação de mármore é, apenas, comercial. As ocorrências dessa rocha ornamental estão localizadas na margem direita da Bacia do Rio São Francisco, nos vales dos rios Salitre, Jacaré e Verde, entre as coordenadas geográficas de 9° 00' a 11° 30' Latitude Sul e 40° 00' a 42° 30' Longitude Oeste. Informações sobre a geologia regional podem ser encontrada nos trabalhos de Kegel (1959) e Neves (1967).

A beleza estética do rocha associada às suas propriedades físicas e mecânicas, tornam o Bege Bahia bastante apreciado em aplicações como rocha ornamental, material de revestimento e piso de áreas internas, esculturas e objetos de arte. A sua comercialização começou na década 60. Entretanto, somente, em 2002, foi iniciado os estudos integrados sobre a geologia e desenvolvimento sustentável das atividades de lavra e beneficiamento do referido material, através da Companhia Baiana de Pesquisa

Mineral - CBPM. Uma excelente descrição da geologia e do perfil calcarete associados ao calcário Caatinga pode ser encontrado no trabalho de Penha (1994).

A aplicação de GPR para estudar e/ou mapear estruturas internas em jazidas de rochas carbonáticas no Brasil já foi registrado na literatura científica com os trabalhos de Botelho et al. (1996), Botelho e Mufti (1998) e Franco et al. (2003)

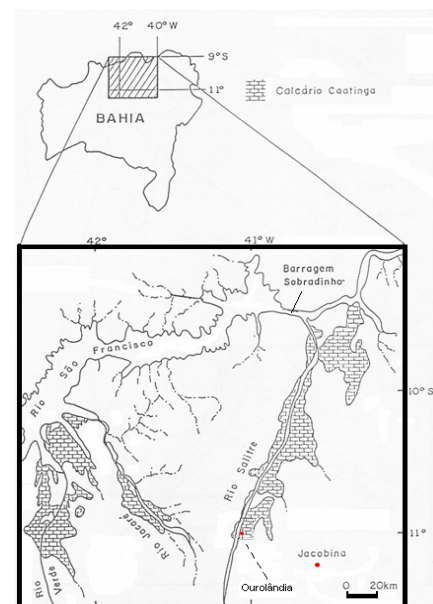


Fig. 01 – Mapa de localização das áreas de ocorrência do calcário Caatinga. Adaptado de Penha (1994).

Na região onde ocorrem as jazidas do mármore Bege Bahia, existem ocorrências de cavernas, contendo fauna cavernícola, desenhos rupestres e fósseis de preguiça gigante.

Nas zonas de ocorrência das jazidas do calcário Caatinga, vide Fig.01, particularmente, nas áreas onde existem cavernas, a abertura das frentes de lavras são totalmente indesejáveis, posto que o material será cheio de vazios e, portanto, inadequado para seu aproveitamento na forma de placas. A falta de pesquisa sobre a existência de vazios na rocha irá concorrer para a supressão das cavernas existentes e de seu acervo zoológico e, também, na diminuição da taxa de material recuperado, conseqüentemente, elevando o custo da produção e aumentando o volume de rejeito.

Na região existem fraturas que cortam as jazidas, e são sempre direcionadas perpendicularmente às drenagens principais dos vales. Elas são dispostas de modo paralelo e apresentam distâncias variáveis entre si. A ação do intemperismo sobre a rocha fraturada gerou canais de dissolução nas rochas, com a mesma atitude do padrão de fraturamento.

Os canais de dissolução auxiliam na formação de novas frentes de lavras, quando é utilizado o fio helicoidal para desmonte. Os mineradores denominam de “gavetas” estes canais de dissolução e a existência deles permite uma economia de 30 dias na implantação de uma frente de lavra, implicando em redução de custos na produção.

A aplicação do GPR nas jazidas do mármore Bege Bahia tem a finalidade de detectar áreas com cavidades que depreciam a qualidade do material rochoso, ou mesmo inviabilizam a lavra e também detectar os canais de dissolução na subsuperfície, para permitir a implantação da lavra com economia de tempo e custos financeiros. Enfim, o GPR fornece as informações necessárias para o planejamento da lavra, diminuindo a geração de resíduos e protegendo os locais que apresentam potencial espeleológico.

Localização

A aquisição dos dados com o GPR foi realizada nas frentes de lavra de rocha ornamental Mármore Bege Bahia da empresa FLAMA, localizada próxima da cidade de Ourolândia, no período de 20 a 26/04/05. A Figura 02 apresenta o mapa de localização no município de Ourolândia.



O acesso, até a referida mineração, a partir de Salvador, pode ser realizado pela BR-324 até a cidade de Jacobina (346 Km). Depois, utiliza a BA-368, em direção à cidade de Ourolândia. A entrada da mineradora está a esquerda (Km 55), seguindo por mais 2 Km numa estrada vicinal de terra, totalizando 403 Km de percurso.

Metodologia

A aquisição dos dados foi realizada em duas etapas. Nas quais, foram adquiridos 1.957 metros de perfis de reflexão, utilizando equipamento da GSSI e antenas da RadarVision, pertencente ao do CPGG/IGEO/UFBA. No levantamento foram aplicadas antenas com a frequência central de 40, 150, 200 e 900 MHz.

A primeira etapa da aquisição consistiu em empregar o GPR sobre sete (7) bancadas expostas e dois (2) pisos nas frentes de lavra do Mármore Bege Bahia, com a finalidade de utilizá-las como modelos de prova, para adquirir assinaturas de radargramas das estruturas geológicas da jazida da rocha ornamental do mármore Bege Bahia: porosidades vulgares (cavidades centimétricas); cavidades com dimensões métricas vazias ou preenchidas com material argiloso e canais de dissolução formados pelas fraturas, preenchidos com argila, com o propósito de verificar a resposta eletromagnética dessas referidas feições, aplicando as antenas supracitadas. Na segunda etapa, o GPR foi utilizado sobre as picadas abertas em terrenos contendo capeamento de solo argiloso. A Fig. 03 mostra uma imagem da área do levantamento dos dados, destacando os perfis levantados com as antenas de GPR, nas duas etapas de aquisição, proporcionando uma idéia espacial do trabalho realizado.

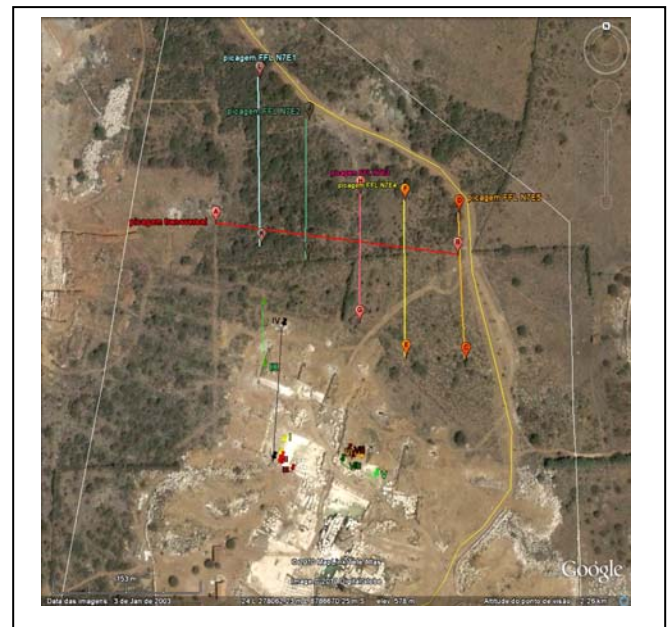


Fig.03 – Imagem de satélite (Google Earth) da lavra e arredores da pedra Flama. Destacando o posicionamento dos perfis levantados com GPR.

Os pontos iniciais e finais de cada perfil foram georreferenciados em Coordenadas UTM, Datum SAD 69, através do GPS (Global Positioning System) da GARMIN, modelo Etrex. Os comprimentos foram também medidos com auxílio de uma trena

Os dados obtidos na aquisição com GPR foram processados com o *software* Gradix da Interpex Limited, USA e o procedimento adotado teve como princípio preservar, o máximo possível, os refletores e difrações registrados nos traços de radar. Para tanto foi realizado um processamento básico, executado conforme o fluxograma apresentado na Fig. 04.



Resultados

Uma bancada exposta do segundo piso da lavra, apresentando três cavidades de ordem métrica, (perfil VII) estando uma vazia, e as outras preenchidas parcialmente e totalmente com argila, conforme ilustrado na figura 05. Foi adquirido um perfil com 16,0 m de comprimento, sobre a bancada, a uma distância de 0,5 m da borda, sendo usado uma antena com 900 MHz de frequência central, com o objetivo de se obter uma maior resolução em detrimento da penetração. A janela de tempo é 160 ns e 1.024 amostras/traço.



Fig. 05 – Bancada mostrando três cavidades (vide a seta) sobre as quais se levantou o perfil VII.

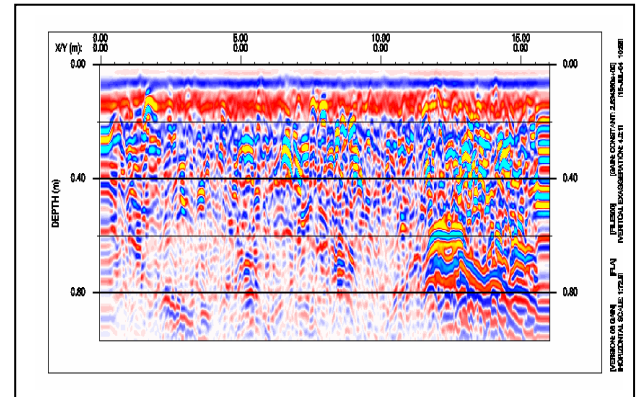


Fig. 06 – Radargrama gerado com antena de 900 MHz, registrado sobre a bancada com três espaços vazios. Observa-se fortes reflexões e difrações ($x=12-16$ m, $z=0,60$ m) revelando a existência das citadas cavidades.

O radargrama levantado no perfil VII revela a existência dos três vazios mostrado na Fig.05, além de outros menores. Revelou ainda que os três vazios, vistos na parede da bancada, se interligam (em $y>0$), formando uma única estrutura.

O perfil IX foi levantado sobre o 2º piso de uma outra frente de lavra, já estabelecida, também no segundo piso, na direção perpendicular às fraturas que formaram os canais de dissolução. Observar a figura 08. Foram empregadas as antenas de 200 MHz, 150 e de 40 MHz.



O Radargrama da Fig. 08 foi levantado na direção perpendicular ao canal de dissolução que corta o segundo piso de extração de blocos da lavra, mostrado na figura 07. Este perfil foi levantado na posição IX (Fig.3) e gerou o radargrama da mostrado na Fig. 08, o qual foi registrado com antena de 200 MHz, com uma janela de tempo de 165 ns e 1024 amostras/traço.

O radargrama da Fig.08 revela um canal de dissolução, situado entre as posições de 17 e 18,5 metros da superfície sobre o piso do segundo nível de extração de blocos; e também um nível com reflexões curtas (< 1,0 m) e fortes, situadas a 1,0 m abaixo do topo do segundo piso e a aproximadamente de 2,0 a 3,5 metros abaixo da superfície. Este nível corresponde a uma zona com uma alta densidade de pequenas cavidades (1 a 10 cm).

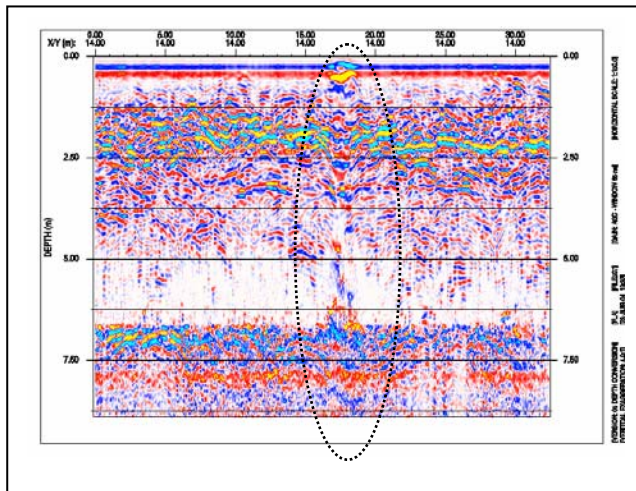


Fig. 08 - Radargrama mostrando o canal de dissolução, destacado pela elipse pontilhada, e o nível com vazios centimétricos.

O radargrama migrado, mostrado na figura 09, foi obtido sobre o solo, num trecho de 49,56 m de comprimento, sobre o perfil XIII; a separação entre os traços é de 0,2 m, a janela de tempo de cada *scan* (traços de radar) é igual a 260 ns e 1024 amostras/*scan*. Com o objetivo de colapsar as hipérbolas de difração, foi aplicada a migração no domínio (x, z). A velocidade usada para migrar a primeira camada de solo, com um metro de espessura, foi 0,09 m/ns. E, a velocidade utilizada na rocha calcária abaixo foi de 0,11 m/ns. Neste radargrama (Fig.09) podemos interpretar: (a) o solo (1,0 m) sobre rocha muito irregular com vazios entre 0,5 e 3,0 m de diâmetro; (b) uma depressão preenchida com material argiloso indicando um canal de dissolução e; (c) uma cavidade maior (diâmetro de 5 m).

Conclusions

Este trabalho, pesquisa pela primeira vez a capacidade do GPR de detectar a presença de canais de dissolução sob o capeamento de solo. Estas estruturas permitem uma economia de tempo e dinheiro na implantação de uma nova frente de lavra. Comprovando que o emprego de antenas de 40, 100 e 200 MHz permite a detecção dos canais de dissolução abaixo de até 2,0 m de solo. O GPR se mostrou também capaz de detectar as zonas com micro cavidades (<10 cm), as quais diminuem a qualidade comercial da rocha ornamental. As antenas mais indicadas são as de 900 e 400 MHz.

O emprego do GPR sobre as jazidas do Mármore Bege Bahia diminui o tempo e os custos da implantação de

uma nova lavra, auxilia significativamente no planejamento da lavra, detectando não só os grandes vazios, como também as zonas cheias de pequenas cavidades na rocha. Isto implica em uma maior razão de recuperação, diminuição de custo de produção, menor volume de resíduo gerado. Contribui também para a preservação ambiental, pois evita a implantação de lavras em áreas com potencial espeleológico.

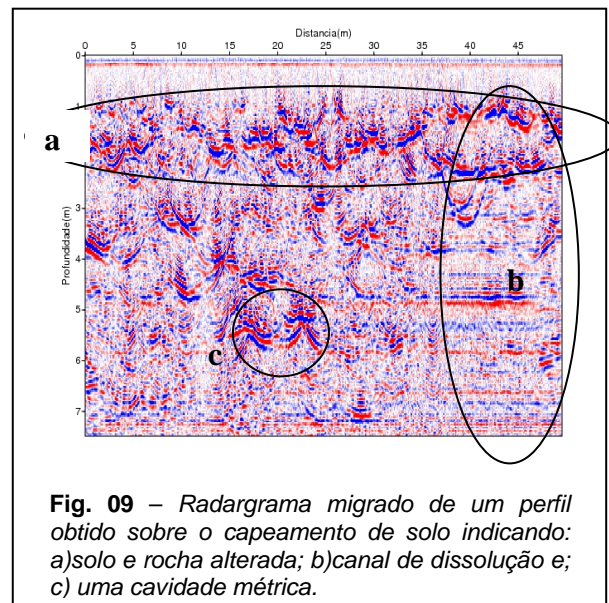


Fig. 09 - Radargrama migrado de um perfil obtido sobre o capeamento de solo indicando: a) solo e rocha alterada; b) canal de dissolução e; c) uma cavidade métrica.

Bibliografia

- Botelho, M.A.B., Araújo, F.F.S. e Vicente, H.F., 1996. Detecção de cavernas e estruturas de dissolução em rochas carbonáticas usando radar (GPR). XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Anais, 338-390.
- Botelho, M.A.B. and Mufti, I.R., 1998. Exploitation of limestone quarries in Brazil with depth migrated ground-penetrating radar data. 68th Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, v. I: 836-839.
- Franco, L.S., Travassos, J.M., Menezes, P.T.L., 2003. Levantamento GPR em rochas carbonáticas na Bacia Sergipe-Alagoas. In: International Congress of The Brazilian Geophysical Society (Rio de Janeiro)
- Kegel W., 1959. *Estudos geológicos na zona central da Bahia*. Rio de Janeiro: DNPM/DGM, Bol. 198.
- Neves, B.B.B., 1967. Geologia das folhas de Upamirim e Morro do Chapéu, Bahia. Recife: SUDENE/CONESP, (Relatório Técnico, nº 17).
- Penha, A.E.P.P., 1994. *O Calcário Caatinga de Ourolândia, Bahia: feições diagnósticas, gênese e evolução de um perfil calcrete*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Salvador- BA.