



# ESTUDOS SOBRE A ECONOMICIDADE DE JAZIDAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS EMPREGANDO O GEO-RADAR (GPR)

Marco A. B. Botelho\*   Joaquim X. Cerqueira Neto\*   (\*) CPGG/UFBA  
Paulo Aranha   UFMG

## ABSTRACT

The technique of Ground Penetrating Radar can be applied to massive magmatic rock bodies in order to obtain information about the spatial distribution of fractures and veins. Information on the inner heterogeneities of the rock body has proved to be an essential tool to place the areas where the benches will be cutted and squared into saleable blocks with maximum profit. The GPR constant-offset data is depth migrated and then interpreted to define the fracture system and the continuous massive rocky body, which will give the volume to be economically exploited.

## RESUMO

A técnica do Radar de Penetração no Solo (GPR) pode ser aplicada em maciços rochosos de origem magmática, passíveis de exploração comercial como rochas ornamentais, com o objetivo de obter informações sobre a distribuição espacial das fraturas e veios. Estas informações sobre as heterogeneidades internas do corpo rochoso provaram ser muito úteis no posicionamento da frente de lavra e na orientação da extração dos blocos de rochas ornamentais com máximo rendimento econômico. As seções de radar com afastamento constante são migradas em profundidade, para em seguida interpretar-se o sistema de fraturas e a porção correspondente ao corpo de rocha contínuo e maciço, que fornece o volume que pode ser explorado economicamente.

## INTRODUÇÃO

Na indústria das rochas ornamentais o termo granito designa comercialmente tanto rochas magmáticas como rochas metamórficas, compostas principalmente por silicatos, que permitam o corte em placas e, posteriormente, o polimento.

Os corpos de rochas graníticas nem sempre são maciços cristalinos contínuos. Muitas vezes a ação intempérica gera grandes corpos isolados de rocha são (*boulders*), os quais são separados entre si por rochas

alteradas pelos agentes atmosféricos ou mesmo por camadas de solo. Seja qual for o caso, a avaliação do volume de rocha são que pode ser explorada seguindo o procedimento clássico tão bem detalhado no trabalho de Bradley e Musetti (1996), pode ser feita com segurança, a partir dos dados do levantamento da área com GPR (*Ground Penetrating Radar*).

O emprego de GPR para detectar fraturas em corpos de rochas magmáticas já tem registro na literatura desde o início desta década (vide os trabalhos de Siggins, 1990; Friedel et al, 1991 e, ainda, o de Tillar e Sylvie 1994). Entretanto, a aplicação do GPR para estudar corpos rochosos com o objetivo de auxiliar no processo de lavra somente surgiu nos meados desta década, como pode ser visto nos trabalhos de Dubois (1995) aplicados ao estudo de depósitos calcários; no de Serzu et al (1996), que integra levantamentos de superfície com levantamentos interpoços, e ainda, no trabalho de Grasmueck (1996) que emprega levantamentos 3-D para imagear fraturas em gnaisses.

No Brasil, existe o trabalho de Botelho et al (1996) que emprega o GPR para detectar cavernas e estruturas de dissolução no Calcário Caatinga, extraído como rocha ornamental com o nome fantasia "*Mármore Travertino*", no Município de Ourorândia (BA); o trabalho de Botelho e Araújo (1996), que emprega o GPR para detectar fraturas em corpos graníticos e gnáissicos no Município de Baixa Grande (BA); e, finalmente, o trabalho de Botelho e Mufti (1998) que aplicou a migração reversa no tempo em dados de radar registrados sobre corpos de rochas calcárias.

## A PESQUISA

O levantamento dos dados de GPR, sobre os maciços cristalinos, foram feitos com antenas de 80, 100, 200 e 400 MHz, efetuando-se a leitura de cada traço, ou *scan*, a intervalos de 10 cm. Os traços foram registrados com comprimentos de 256 e 512 ns, a uma taxa de amostragem de 0,5 e 1,0 ns.

O processamento dos dados consiste de emprego de ganhos variáveis, do tipo AGC, com janelas de 50 a 100ns, filtragem com filtros gaussianos, com janelas

entre 10 e 150 MHz e, finalmente, a migração em profundidade do tipo RTM (*Reverse Time Migration*), tal como adotado no trabalho de Botelho e Mufti (1998), para obtenção do radargrama.

A interpretação revela as estruturas internas dos maciços magmáticos, representadas por grandes refletores, aproximadamente paralelos, que correspondem a sistemas de fraturas sub-horizontais que vão definir a altura das bancadas, e conseqüentemente, as dimensões da prancha que será posteriormente subdividida em blocos comerciais (vide Figura 1).

Como se viu acima, a interpretação dos fraturamentos é normalmente feita a partir de radargramas migrados em profundidade. Entretanto, também empregou-se radargramas não migrados, visando a definição de fraturas muito fechadas. Nesses radargramas recorreu-se às difrações, as quais podem indicar planos de fraturas, posto que são geradas pelo espalhamento da onda eletromagnética naqueles trechos mais abertos das fraturas. O comportamento dessas fraturas fica então evidenciado, quando são alinhados os topos das hipérbolos presentes no radargrama provenientes do fenômeno de difração.

Nesta pesquisa são estudados cinco maciços cristalinos, sendo três no Estado do Ceará e dois no Estado da Bahia. Os maciços cristalinos da Serra da Meruoca (CE), e nos arredores da cidade de Senador Pompeu (CE) mostraram refletores que delimitam zonas de rochas totalmente livres de fraturas, e também refletores que revelam grandes fraturamentos sub-horizontais. Tais informações são importantes, pois indicam os planos naturais que dispensam o corte e facilitam a extração das pranchas, o que representa uma grande economia de mão-de-obra, equipamentos e explosivos. No caso dos corpos rochosos situados no maciço cristalino de Tróia (CE), verifica-se que estes estão severamente fraturados, evidenciados no radargrama pela grande quantidade de refletores tendo diferentes inclinações e sem o espaçamento requerido para extração de blocos comerciais. Isto é, os dados contra-indicam qualquer investimento na área (vide Figura 2).

O maciço cristalino da Lagoa do Cipó, situado no Município de Baixa Grande (BA), é composto por um granodiorito que apresenta zonas intensamente fraturadas, as quais se revelam através de muitas difrações e refletores descontínuos nos radargramas não migrados. Entretanto, é possível detectar porções homogêneas do maciço, reveladas por radargramas sem eventos. Essas áreas são, portanto, as mais indicadas para o planejamento de frentes de lavras.

## CONCLUSÕES

O emprego do GPR na detecção de fraturas em maciços de rochas cristalinas constitui-se numa das mais bem sucedidas aplicações do método, o que pode ser comprovado pelas indicações bibliográficas desta década. O GPR, usando antenas nas frequências de 80 a 200 MHz, pode, através de radargramas, revelar o grau de fraturamento interno do maciço investigado. Tais descontinuidades se manifestam por meio de pequenos refletores descontínuos e muitas hipérbolos de difração, indicando claramente tratar-se de zonas cizalhadas que devem ser evitadas durante o processo de extração. Estas feições são muito bem observadas nos maciços gnáissicos do Município de Anguera (BA).

Alguns refletores apresentam variações de amplitude até praticamente desaparecerem, o que é interpretado como variações nas aberturas das superfícies de fraturas. Essa feição é muito observada nos radargramas registrados sobre corpos graníticos da região de Senador Pompeu (CE).

Observou-se, também, nos radargramas da região de Senador Pompeu (CE) a presença de fortes refletores paralelos, os quais correspondem a sistemas de fraturamentos curvos e paralelos, normalmente acompanhando a topografia, que podem constituir-se em delimitadores da altura das futuras bancadas de extração de blocos comerciais. O dimensionamento do volume de rocha a ser extraído deve ser feito a partir dos radargramas migrados em profundidade.

As fraturas interpretadas a partir de refletores inclinados podem constituir excelentes planos basais para extração e remoção de blocos, os bem conhecidos "*Planos de Corrida de Blocos*", da indústria de rochas ornamentais. Esse detalhe é relevante, pois representa economia e facilidade na extração de blocos comerciais.

## BIBLIOGRAFIA

- Botelho, M.A.B., e Araújo, F.F., 1996, *Emprego do radar para detecção de fraturas em corpos graníticos*, Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, v.2, 391-393.
- 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)*, Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, v.2, 388-390.
- Botelho, M.A.B., and Mufti, I.R., 1998, *Exploitation of limestone quarries in Brazil with depth migrated ground-penetrating radar data*, 68th S.E.G. Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, v. 2, p.898-903.
- Bradley, F., and Musetti, C., 1996, *Analysis of the Business*

*Management of a Stone Company - Part I, Rivista MarmoMacchine International, 13/96, 78-110.*

*Dubois, J.C., 1995, Borehole radar experiment in limestone : Analysis and data processing, First Break, 13, no.02, 57-67.*

*Friedel, M.J., Jessop, J.A., and Thill, R.E., 1991, Igneous rock mass fracture delineation using common offset radar reflection, 61st Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 504-506.*

*Grasmueck, M., 1996, 3-D ground-penetrating radar applied to fracture imaging in gneiss, Geophysics, 61, no.04, 1050-1064.*

*Serzu, M., Street, P., Lodha, G. and Stevens, K., 1996, Characterization of a moderately fractured granitic rock using single-hole radar reflection, cross-hole radar tomography, and ground-penetrating radar at AECL's underground research laboratory, Pinawa, Manitoba, 66th Annual Internat. Mtg., Soc. Exp. Geophys., Expanded Abstracts, 912-915.*

*Siggins, A.F., 1990, A radar investigation of fracture in a granite outcrop, Expl. Geophys., 21, no.1/2, 105-110.*

*Tillard, S., 1994, Radar experiments in isotropic and anisotropic geological formations (granite and schists), Geophys. Prosp., 42, no.06, 615- 636.*

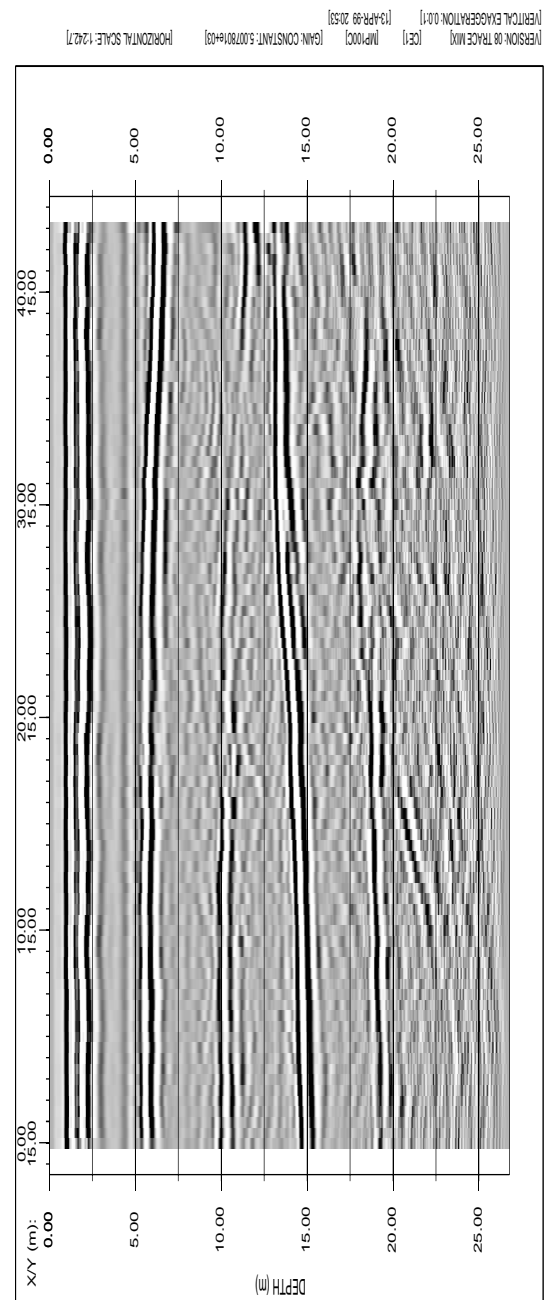


Figura 1: Radargrama com migração em profundidade, registrado na região de Senador Pompeu (CE), com antena de 100 MHz, apresentando 87 traços espaçados de 0,5 m. Observa-se um sistema de fraturas paralelas permitindo extração de pranchas com 5 m de altura.

