



# O Uso do GPR para o Reconhecimento da Arquitetura Depositional dos Arenitos Siluro-Devonianos na Bacia do Paraná, Brasil

Claudio valdetaro MADEIRA  
Leonardo Borghi

Departamento de Geologia, Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

## ABSTRACT

The Furnas Fm. is a terrigenous sandstone unit (mostly subarcoses), which occupies a low stratigraphic position in the Paraná Basin, with Pridoli?–Early Devonian age. Many controversies arise about its paleodepositional environments (fluvial vs. marine). This work aims recognising architectural elements through the use of Ground Penetrating Radar (GPR) techniques, associated with outcrop data, to support its genetic discussions. Field survey using PulseEkko™ 100 GPR system with 50 and 100 MHz antenna frequencies, allowed the recognition of two architectural elements of the Furnas Fm. by master surfaces (1<sup>st</sup> order), which are extensive horizontal (hectometric), quasi-planar bedding surfaces, slightly erosive. One of these elements, named AFr (tabular, frontal accreted sandstones), is interpreted as large coastal sandwaves generated by storm currents; and the other one, named AVA (tabular, vertical accreted sandstones), is interpreted as marine storm layers, bypassing the sandwaves (AFr elements). Internally, the radarfacies show reactivation surfaces (2<sup>nd</sup> order) of the AFr elements. This particular study case revealed the success of applying this method in the study of depositional architecture of devonian sandstones for reservoir purposes in the Paraná Basin.

## INTRODUÇÃO

O GPR (*Ground Penetrating Radar - radar de penetração no solo*) é o termo aplicado às técnicas que empregam ondas de radar, tipicamente em frequências entre 1 e 1000MHz, para mapear estruturas e feições enterradas (natural ou artificialmente) no subsolo. Estas técnicas baseiam-se na propagação e reflexão das ondas de radar em subsuperfície devido às diferenças nas propriedades eletromagnéticas dos materiais. Este método foi inicialmente utilizado no começo da década de 70, com objetivos militares, para o reconhecimento de objetos enterrados, como, por exemplo, minas. Desde então, vem sendo aperfeiçoado principalmente quanto à logística envolvida na prospecção de campo, permitindo novas aplicações.

As utilizações do GPR têm sido variadas, com grande destaque para as aplicações relacionadas à Geologia de Engenharia, como mapeamento de embasamento, lençol freático e plumas de contaminação; procura de objetos enterrados e de jazidas minerais; pesquisas arqueológicas e, mais recentemente, para o reconhecimento estratigráfico (Davis & Annan, 1989). Neste trabalho, objetiva-se avaliar o GPR como ferramenta de caracterização da geometria de corpos sedimentares da Formação Furnas, unidade litoestratigráfica do Siluro-Devoniano da bacia do Paraná.

## CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA UNIDADE ESTUDADA

Compreende-se a Formação Furnas como o intervalo estratigráfico essencialmente psamítico, de espessura aproximada de 200 metros (cf. Schneider *et al.*, 1974), com abundantes estratificações cruzadas e acanaladas, jazendo discordantemente sobre um embasamento ígneo e metamórfico (grupos Setuva, Proterozóico; Açungui e Castro, Cambriano-Ordoviciano), e mesmo sedimentar (formações Camarinha, Cambriano, e Iapó, Ordovício-Siluriano), e sotopondo-se em contato concordante e brusco à formação Ponta Grossa (Emsiano, Devoniano). Registra-se esta formação tanto em afloramento, nos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás; quanto em sub-superfície (inclui-se o estado de Santa Catarina àqueles aonde aflora).

Em origem, seus sedimentos provavelmente relacionam-se a complexas associações de ambientes de leque-aluvial, costeiros e marinho-rasos, operantes durante o final do Siluriano e o Eodevoniano (cf. Bergamaschi, 1992; Borghi, 1993). A literatura, contudo, povoa-se de opiniões diversas quanto a uma idade estritamente devoniana ou siluriana, ambiente de sedimentação continental fluvial generalizado contrapondo-se a um marinho-raso e, quanto ainda ao fato de seu contato superior ser concordante ou discordante com a formação Ponta Grossa. Os elementos arquiteturais definidos por Borghi (1993) para esta formação estão resumidos na tabela abaixo (tabela 1).

## METODOLOGIA

Para a prospecção de radar foi utilizado um sistema de radar do tipo PulseEkko™ 100 com transmissor de 400V e antenas com frequência de 100 e 50 MHz. Para o cálculo das velocidades de propagação nos materiais investigados foram realizadas prospecções do tipo CMP/WARR em cada localidade selecionada. A velocidade média de propagação das ondas de radar encontrada para a Formação Furnas foi de 0,08m/ns, compatível com as velocidades encontradas para areias saturadas em água doce (cf. Annan, 1992).

Os perfis de reflexão realizados com antenas de 50MHz tiveram o espaçamento entre antenas fixado em 2m e um intervalo de aquisição de 0,5m, enquanto que para os perfis realizados com antenas de 100MHz foi fixado um espaçamento entre antenas de 1m e um intervalo de aquisição de 0,5m.

Tabela 1 - Quadro sinótico dos elementos arquiteturais da Formação Furnas (cf. Borghi, 1993).

Elementos	Características	Interpretação
Canal (CAN)	Geometria de canais, com espessura métrica e largura decamétrica	Canais fluviais e canais de maré
Acreção Vertical em Ruditos (AVR)	Geometria tabular, de espessura métrica	Praia de alta energia em uma costa rudácea
Acreção Vertical em Arenitos (AVA)	Geometria tabular de espessura métrica	Praia de alta a baixa energia em uma costa arenácea
Acreção Vertical Lutitos (AVL)	Geometria tabular a lenticular de espessura métrica	Lagunas costeiras
Acreção Frontal (AFr)	Tabular de extensão quilométrica e espessura métrica	Campos de barras de maré (sand waves)

## RESULTADOS

Quanto aos aspectos relacionados a penetração do sinal de radar, tem-se que a janela de tempo (ida e volta) máxima encontrada foi de 350ns, o que reflete uma máximo de penetração das ondas de radar de cerca de 14m. A média das janelas de tempo nas 4 localidades foi em torno de 250 a 300ns, tanto para os levantamentos realizados com as antenas de frequência de 100MHz, como para os realizados com antenas de 50MHz: o que corresponde a profundidades de 10 a 12m. A menor janela de tempo encontrada foi de 50ns (cerca de 2m). Porém, a janela de tempo correspondente à região onde se realizou a interpretação, ou seja, a região onde os refletores mostraram uma continuidade e espessura suficientes para uma correlação segura com os aspectos geológicos, foi menor, atingindo um máximo de 12m de profundidade e, em média, entre 7 a 8m de profundidade.

### LOCALIDADE 1 - BR-277, KM 139,5 (SÃO LUIZ DO PURUNÃ)

Foram reconhecidos padrões de reflexão sigmoidais característico do arranjo estratigráfico interno do elemento AFr, indicando as fases ativas de migração de barras de maré, passando para refletores plano-paralelos indicando a fase de abandono dessas barras. Estas fácies de radar identificam as estratificações relacionadas à seção longitudinal do elemento AFr, formando corpos tabulares a sigmoidais amalgamados com mais de 60 metros de comprimento e espessura de até 2m. Prospecções de GPR realizados em direção perpendicular mostram a seção frontal das barras, que foi caracterizada por feições similares a estratificações cruzadas acanaladas (figura 1).

### LOCALIDADE 2 - BR-376, KM 539.9(RIO TIBAGI)

Pode-se reconhecer, na base desta seção uma sucessão de elementos AFr, onde cada elemento mostra-se com geometria sigmoidal, com dezenas de metros de extensão e espessuras de 2 a 3 metros. O padrão interno dos refletores mostra-se de dois tipos: as fácies de radar oblíquas a hummocky refletem as fácies sedimentares da fase ativa de migração das barras, enquanto as fácies de radar de geometria paralela foram relacionadas, à fase de abandono dessas barras.

Sobre estes elementos, tem-se refletores retilíneos contínuos, que truncam os refletores mais abaixo em toda a extensão da seção, individualizando um corpo de geometria tabular e espessura menor que 1m e que foi correlacionado ao elemento AVA (figura 2).

### LOCALIDADE 3 - PR-340 (CANHÃO DO QUARTELÁ)

As feições mais marcantes desta seção foram: (1) na base as fácies de radar oblíquas que representam o elemento de AFr com geometria sigmoidal, com dezenas de metros de extensão e espessura variando entre 2 a 3 metros, e; (2) sobreposto a estas fácies um elemento em forma de canal (CAN) marcado internamente por superfícies de acreção lateral. Este elemento possui mais de 5m de espessura sendo que cada fase interna de acreção apresenta espessuras

da ordem de 2m. O canal atinge mais de 100m de largura (figura 3).

## CONCLUSÃO

O GPR mostrou-se uma ferramenta bastante eficaz no reconhecimento dos elementos arquiteturais deposicionais que compõe a Formação Furnas, onde utilizando-se frequências de 50MHz e 100 MHz pode-se mapear as superfícies de acamamento interno aos elementos arquiteturais reconhecidos, em várias direções, o que permitiu a visualização tridimensional. Além disso com esta ferramenta pode-se reconhecer as dimensões do elementos, principalmente em termos de extensão, uma vez que não se fica restrito a dimensão dos afloramentos.

### Bibliografia

- ANNAN, P. 1992. *Ground Penetrating Radar. Workshop notes. Sensors and Software, Canada. 80p.*
- DAVIS, J.L. & ANNAN, P. 1989. *Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geoph. Prosp. 37: 531-551.*
- BERGAMASCHI, S. (1992), *Análise sedimentológica da Formação Furnas na faixa de afloramentos do flanco norte do arco estrutural de Ponta Grossa, bacia do Paraná, Brasil. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 172p. (Tese de mestrado)*
- BORGHI, L.F. (1993), *Caracterização e análise faciológicas da Formação Furnas em afloramentos do bordo leste da bacia do Paraná. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 227p. (Tese de Mestrado)*
- SCHNEIDER, R.L., MÜHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.F., NOGUEIRA, A.A. (1974), *Revisão estratigráfica da bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28., Porto Alegre, RS, 1974. Anais... Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.41-66.*

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao geólogo Márcio Ivan C. Moreira pelo auxílio na aquisição de dados de campo. Este projeto é uma contribuição do projeto de pesquisa da UFRJ 310502P011-5, com apoio FUJB (processo 6258-1 e processo 8044-5).

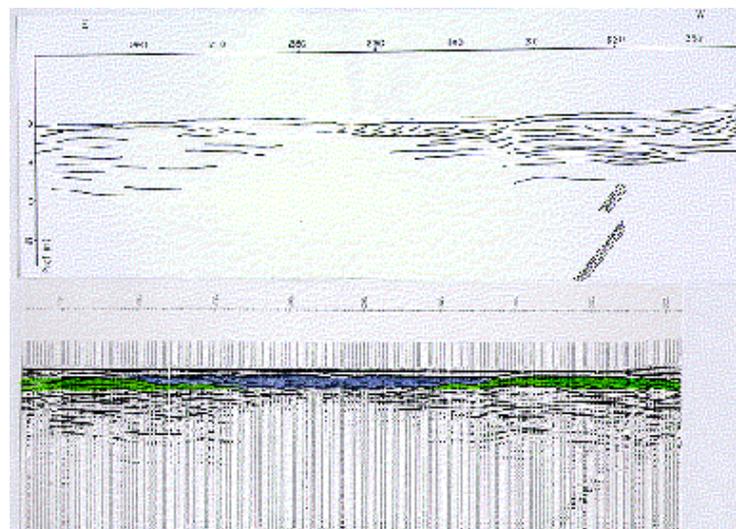


Figura 1 - Parte da seção de GPR realizada na localidade São Luiz do Purunã. No topo a seção interpretada e abaixo a seção original, as cores verde e azul representam diferentes elementos AFR amalgamados, sendo que o elemento em azul mostra as feições de migração das barras em vista frontal.

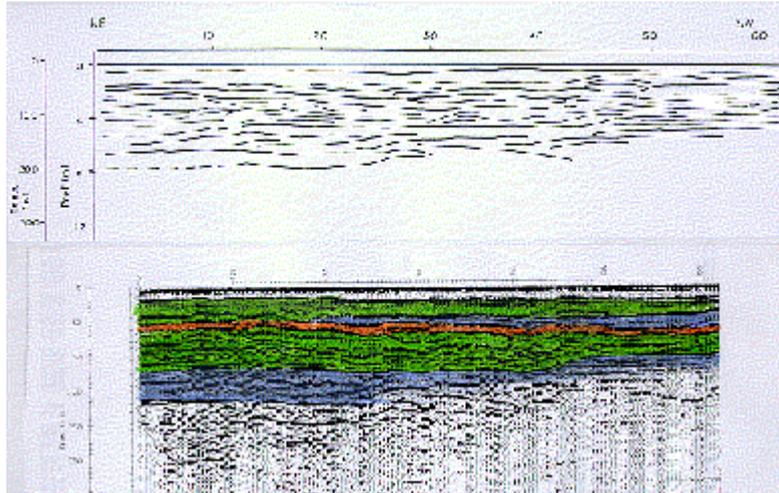


Figura 2 - A figura mostra parte da seção localizada na BR- 376, Km 539.9. Na parte superior a interpretação da seção mostrada na parte inferior da figura. A figura destaca a amalgamação dos elementos AFR marcados em verde e azul, truncados pelo elemento AVA ( em vermelho).

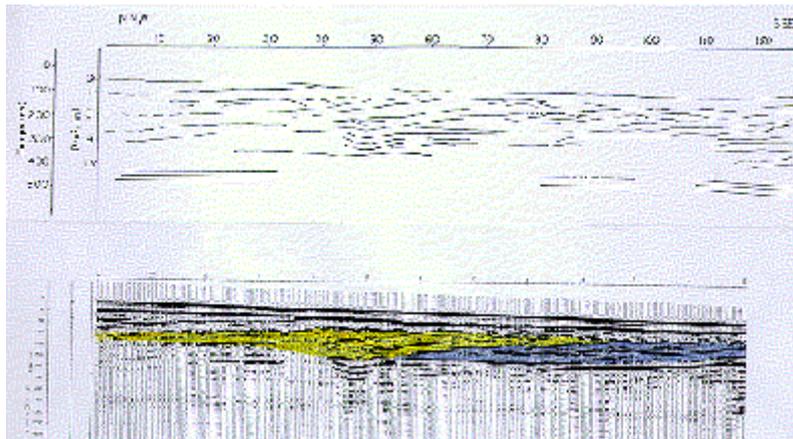


Figura 3 - A figura mostra parte da seção localizada próximo ao Canhão do Guartelá. A parte superior mostra a interpretação da seção mostrada na parte inferior da figura. Destaca-se (em amarelo) as feições de acreção lateral truncando o elemento AFR (em azul).