



Estratigrafia de Alta Resolução da Formação Coqueiro Seco (Bacia de Sergipe-Alagoas) Através da Interpretação de Dados GPR

Paulo T. L. Menezes* – DGAP/GEL/UERJ, Jandyr M. Travassos, Liliane S. Franco – MCT-ON

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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 (Font: Arial Bold, 9)

A major problem related to carbonates reservoirs is the heterogeneity of porosity and permeability systems. Reservoir analogues can provide valuable definitions of geometric and petrophysical heterogeneities at inter well scales. Integration of ground-penetrating radar (GPR) surveys with sedimentological and stratigraphic data provides information on the internal heterogeneities of sedimentary sequences.

We present the interpretation of GPR data collected at a carbonate outcrop of the Coqueiro Seco Fm., Sergipe Alagoas Basin. Data was collected at 4 different stratigraphic levels. The interpretation of the GPR data allowed the identification of three main stratigraphic facies: shale-carbonate intercalation, coquinas and carbonates mounds.

Introdução

Atualmente cerca de 50% do petróleo são produzidos em reservatórios carbonáticos. O grande problema no gerenciamento da produção de hidrocarbonetos desses reservatórios diz respeito ao conhecimento de seu sistema poroso, extremamente heterogêneo. Estudos de modelagem do sistema rocha-reservatório tem sido realizados no sentido de aumentar a produtividade e a prospectividade desses reservatórios (Wang et al., 1998a; Wang et al., 1998b).

A modelagem de reservatórios tem sido realizada basicamente através de estudos geológicos (Fanha, 1995; Wang et al., 1998a), e geofísicos, utilizando basicamente a sísmica de alta resolução (Hardage et al., 1998; Wang et al., 1998b). Além destes, estudos de análogos de reservatórios, em especial através da utilização do método GPR, que provém imagens de alta resolução da estratigrafia da rocha estudada (McMechan et al., 1997).

A análise estratigráfica de alta resolução de afloramentos também pode ser utilizada na construção de modelos arquiteturais quantitativos de reservatórios. Parâmetros importantes, tais como porosidade e geometria de

reservatórios, fatores que influenciam na definição de reservas e na produção de petróleo, podem ser quantificados desta maneira.

No presente trabalho interpretamos dados coletados em afloramento da Fm. Coqueiro Seco (Bacia de Sergipe-Alagoas), correlata lito-estratigraficamente à Fm. Lagoa Feia (Bacia de Campos). Esta última um importante reservatório na Bacia de Campos.

Área de Estudo

Na Formação Coqueiro Seco ocorrem freqüentemente bancos carbonáticos e coquinas, identificados como o Membro Morro do Chaves. Os melhores afloramentos, para fins de estudos científicos, ocorrem em cortes de pedreiras na região em torno da cidade de Maceió (AL).

O levantamento GPR aqui descrito foi realizado em uma delas, na denominada Pedreira do Atol (Fig. 1), localizada no município de São Miguel dos Campos, Alagoas, distante cerca de 60 km da Capital Maceió. A Pedreira do Atol possui três grandes cavas, Santa Tereza, São Sebastião e São Miguel. Atualmente, as duas primeiras cavas encontram-se desativadas e estão inundadas (Figura 1). O levantamento GPR foi realizado na cava sul, São Miguel.

A Pedreira do Atol possui três grandes cavas a céu aberto, apenas uma delas, São Miguel, encontra-se em produção. Todo o levantamento de campo foi realizado nessa cava (Figura 1), cujas principais unidades litológicas são coquinas com folhelhos fossilíferos na base (nível 0 na Figura 2) e folhelhos e siltitos, com intercalações carbonáticas no topo (níveis 3 e 4 na Figura 2).

A técnica GPR emprega ondas eletromagnéticas na faixa de freqüência entre 1 MHz e 1 GHz para adquirir informações sobre a subsuperfície. A técnica GPR já está bem estabelecida, sendo largamente utilizada no estudo da estratigrafia sedimentar em afloramentos de interesse para o estudo de análogos de reservatórios (Ceia et al., 2001).

A campanha de coleta dos dados GPR foi realizada em agosto de 2002 em quatro perfis em diferentes níveis estratigráficos (Figura 1) ao longo das bancadas existentes na face leste da pedreira. A Figura 2 mostra os quatro níveis investigados: 0 (no assoalho da mina), 2, 3 e 4.

Na aquisição foram utilizadas as configurações offset fixo e variável (CMP), este último utilizado na estimativa da

velocidade de propagação das ondas no meio. Foi utilizado um Pulse Ekko 100 da Sensors & Software, com antenas de 100 MHz e pulser de 1000 V. As antenas foram transportadas à mão ao longo dos perfis, em uma configuração broadside perpendicular, com offset fixo de 0.8 m e janela de tempo de 370 ns.

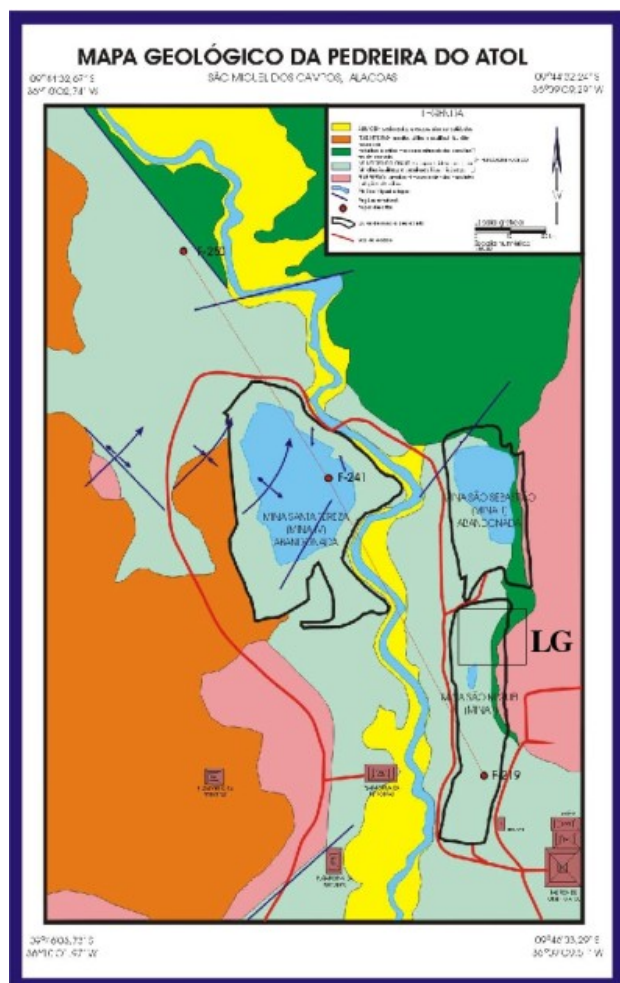


Figura 1 - Pedreira do Atol. O quadrado identificado como LG identifica a localização do levantamento GPR na cava de São Miguel.

Os perfis têm comprimentos variáveis (Figura 3), em função das dificuldades do terreno, perfazendo um total linear de 360 metros. As coordenadas dos pontos de cada perfil foram obtidas por posicionamento GPS. A Figura 3 ilustra a disposição das linhas no espaço. O eixo x fornece as disposições relativas das linhas em relação ao norte, o eixo y fornece as disposições relativas em relação ao oeste e z é a diferença de cota entre as linhas.

Notar que os perfis GPR estão aproximadamente dispostos na direção norte-sul. Como pode ser observado as linhas foram dispostas de forma que, na fase de interpretação pudesse se obter uma visualização dos quatro níveis estratigráficos investigados, a ser obtida

pela superposição das linhas levantadas. Observar ainda que a linha 6 está situada no assoalho da mina (cota 0 m) e a linha 34 está na bancada mais alta (cota 45 m).

Processamento

Realizamos um conjunto de etapas de processamento de dados visando, dentre outros aspectos, atenuar ruídos gerados durante a aquisição, compensar a atenuação do sinal da fonte (transmissor) e reduzir a energia espalhada nos pontos difratores (predominantemente representado pelas coquinas). O objetivo principal dessas tarefas é produzir uma seção GPR final que realce as estruturas geológicas de subsuperfície, facilitando a interpretação desses eventos.

Na prática, ao se propagar no meio geológico, o pulso GPR sofre atenuação por efeitos de absorção e dispersão. Esses efeitos se manifestam no radargrama principalmente como perda de resolução com profundidade. Em consequência, o espectro de amplitudes diminui e ocorre um deslocamento da frequência central na direção das componentes de mais baixa frequência, gerando um desbalanceamento do espectro.

O processamento realizado englobou as 8 etapas ilustradas na Figura 4. Uma das principais envolveu o balanceamento espectral como forma de resolver o problema de degradação do sinal GPR. O detalhamento de todo o processamento desenvolvido pode ser encontrado em Travassos et al. (2004).

A análise de velocidade realizada em perfil CMP Travassos et al. (2004) indica uma relativamente rápida atenuação do sinal limitando a eficácia da abordagem e limitando a profundidade de investigação em cerca de 15 m. A análise CMP indicou a existência um único máximo $v=0.08$ m/ns.

Intepretação

A última etapa de processamento consistiu na conversão das seções em tempo para profundidade. Para tal, utilizou-se à velocidade de ondas de radar calculada na análise CMP. Para fins de interpretação montou-se um painel com a integração espacial das 4 linhas coletadas (Figura 5). Percebe-se na referida figura que o objetivo primordial de se obter uma imagem GPR de todos os níveis estratigráficos foi parcialmente alcançado em virtude da diferença de cota entre os níveis. Houve superposição entre as linhas 34 e 12 e entre as linhas 5 e 6. Em virtude da diferença de cota entre as linhas 12 e 5 ser maior que 15 m, profundidade máxima de investigação dos dados GPR aqui apresentados, não foi possível estabelecer a correlação entre essas linhas.

Após a correlação dos perfis procedeu-se a marcação dos refletores associados às camadas sedimentares da Formação Coqueiro Seco. A interpretação aqui realizada foi caracterizada pela marcação dos principais refletores nas seções em profundidade. Cada refletor representa

uma interface limitando duas litologias com diferentes propriedades elétricas.

Os refletores aí mapeados podem ser enquadrados em três diferentes tipos principais. A maior parte da sequência investigada é caracterizada por uma série de camadas subhorizontais com espessuras métricas a submétricas (Figura 4). Estas foram correlacionadas com ao intercalação de folhelhos e carbonatos com base na informação geológica existente (Figura 5). É interessante notar a variação de espessura das camadas indica muito provavelmente a existência de contato erosivo nestes níveis. Embora menos comuns, algumas estruturas típicas de estratificação cruzadas puderam ser observadas na parte superior da linha 12.

Os níveis de coquinas são caracterizados nos radargramas da Figura 4 por espessas camadas de aspecto mais maciço. Estas predominam na base de toda a sequência estratigráfica. Obre uma feição abaulada com cerca de 80 metros de extensão e localizada entre as cotas -10 e -13 m. Esta feição pode ser interpretada como sendo parte de um *carbonate mound* mais precisamente o topo ou o ápice de uma dessas estruturas.

Conclusões

O presente trabalho apresenta a interpretação de dados GPR levantados na Pedreira do Atol, Mina de São Miguel, na Bacia de Sergipe-Alagoas, com o objetivo de caracterizar estratigraficamente a Fm. Coqueiro Seco. Para o presente trabalho foram coletados 4 (quatro) perfis GPR *common offset* ao longo de diferentes níveis estratigráficos. Perfis CMP também foram coletados como forma de estimar a velocidade das ondas de radar no substrato estudado.

A interpretação realizada englobou a identificação dos principais refletores ao longo de cada perfil e a integração desses dados no espaço. O conhecimento geológico ao longo das bancadas foi utilizado como auxiliar no processo de interpretação permitindo a correlação dos refletores identificados com as unidades geológicas. De um modo geral a interpretação geofísica permitiu a identificação no topo da sequência investigada a intercalação de camadas métricas de folhelhos e carbonatos estratificados, enquanto a base da sequência carbonatos (coquinas e carbonatos mounds) são predominantes.

Agradecimentos

O suporte financeiro ao levantamento de campo foi fornecido pelo convenio PADCT/CTPETRO/FINEP/ UERJ/FINEP 64.0003.83.00. Os autores agradecem o suporte logístico dado pela Cia Cimento do Atol durante a realização dos trabalhos de campo. LSF agradece bolsa de estudos CAPES.

Referências

- Ceia, M., Carrasquilla, A., Travassos, J.M., 2001, Levantamento GPR em afloramentos turbidíticos da Bacia de Almada-BA, CD-ROM 7º Congresso da SBGf, Salvador.
- McMechan, G.A., Gaynor, G.C., and Szerbiak, R.B., 1997, Use of ground-penetrating radar for 3-D sedimentological characterization of clastic reservoir analogs. *Geophysics*, 62, 786-796.
- Travassos, J.M., Franco, L.S., Menezes, P.T.L., 2004. Aspectos do processamento GPR na estratigrafia de alta resolução em rochas carbonáticas. I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica
- Wang, F.P.; Lucia, F.J.; Kerans, C. 1998a, Modeling dolomitized carbonate ramp reservoirs: A case study of the semihole San Andres unit- Part I, petrophysical and geologic characterizations.
- Wang, F.P.; Daí, J.; Kerans, C. 1998b, Modeling dolomitized carbonate ramp reservoirs: A case study of the semihole San Andres unit- Part II, seismic modeling, reservoir statistics, and reservoir simulation. *Geophysics*, 63, 1876-1884.



Figura 2 - Visão da parede leste da Mina de São Miguel. Quatro níveis de bancada (0 a 4). Folhelhos predominam no nível 4 (topo). A medida que se desce na estratigrafia aumenta o conteúdo de carbonatos. Níveis de coquinas são encontrados na base do nível 2, e abaixo do nível 0.

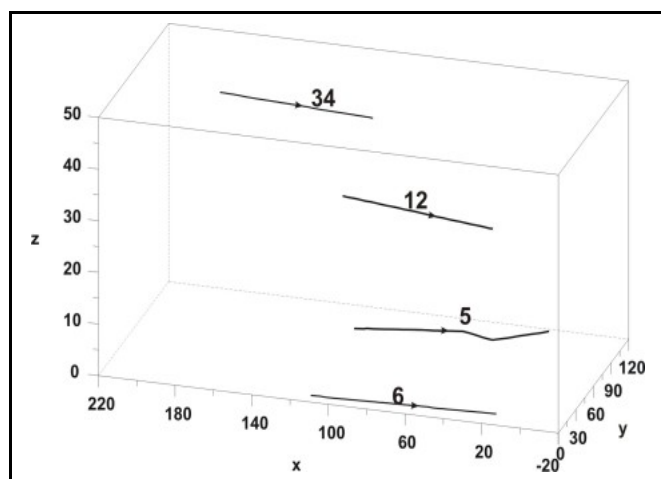


Figura 3 - Diagrama 3D, representando as linhas GPR no espaço tri-dimensional.

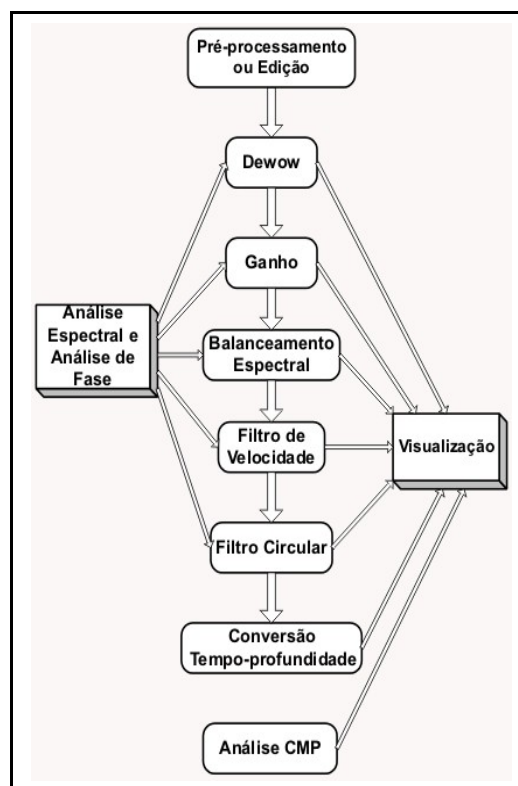


Figura 4 – Fluxograma do processamento empregado no tratamento dos dados GPR da mina do Atol (Travassos et al., 2004).

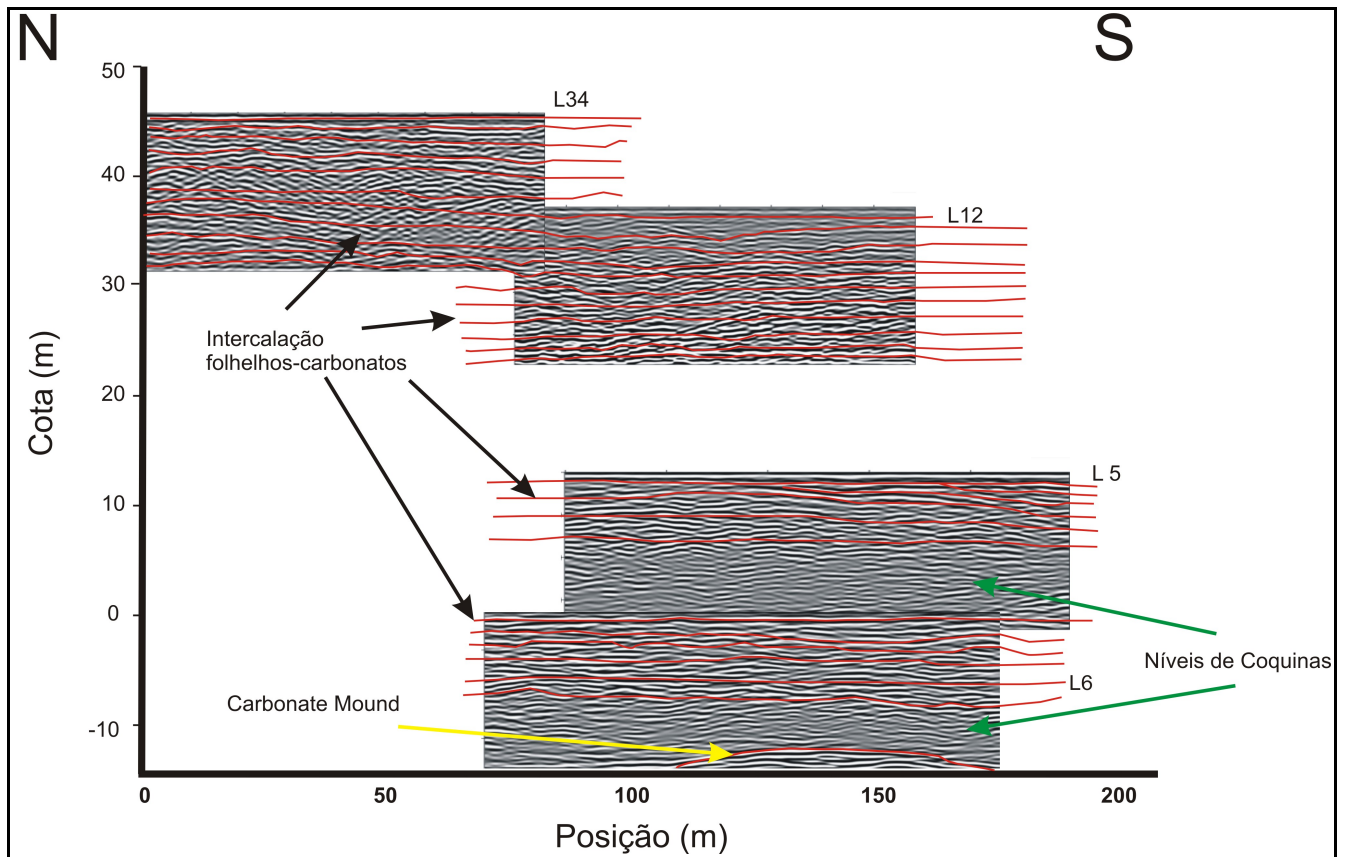


Figura 4 – Painel com a integração das 4 linhas GPR coletadas na Pedreira do Atol. Interpretação dos principais tipos de refletor mapeados. Percebe-se no topo da sequência a predominância de folhelhos intercalados com rochas carbonáticas. Na base predominam carbonatos com ocorrência de níveis de coquinas e estruturas do tipo *carbonate mounds*.

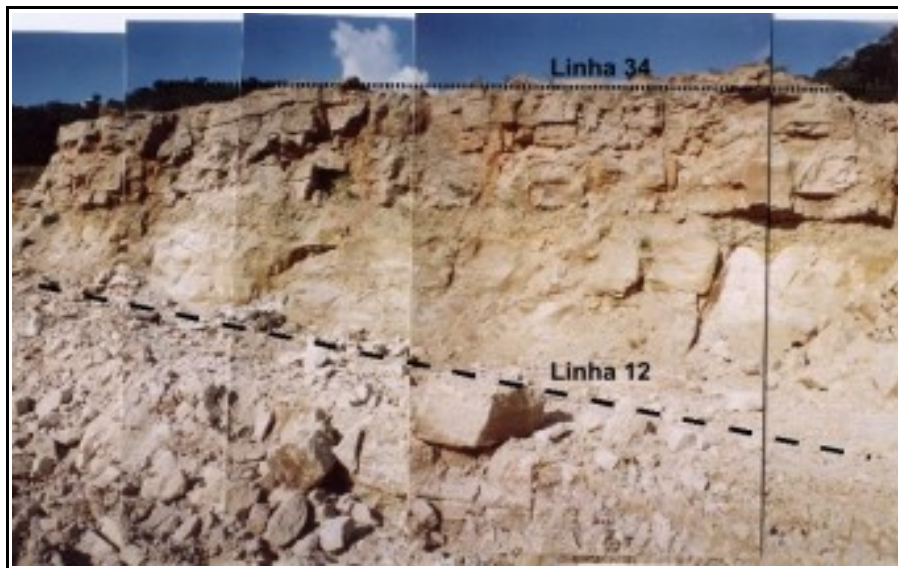


Figura 5 – Foto ilustrando o topo da sequência sedimentar estudada. Notar a intercalação de folhelhos e carbonatos em camadas métricas a submétricas.