

Eletroresistividade como apoio à caracterização de arenitos fraturados

Campos, A. F. de*¹, Rigoti, A.², Rostirolla, S. P.², Appi, C. J.³, Ktaft, R. P.¹, Bartoszeck, M. K.¹ ¹Bolsista CAPES – Pós-Graduação em Geologia/UFPR; ²Lab. de Análise de Bacias e Petrofísica–Degeol/UFPR; ³PETROBRAS/CENPES/PROFEX

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

This work describes the use of resistivity as an auxiliary tool of fractured reservoirs characterization and modeling of analogous like the sandstones of Itararé Group, Paraná Basin. This geophysical type of information, correlated with other sources like geologic, seismic, structural and petrophysics data, allows a more refined vision of the subsurface. The study area is located in Ponta Grossa city, Paraná Province, Brazil and presents sandstones, shales, diamictites and basal conglomerates. The dipole-dipole arrangement was used, enhancing the detection of lateral variations in the resistivity through the line. The results allow to associate the geoelectric response with diverse geologic aspects like the geometry of layers and contacts between different rocks. Another aspect is the probable correlation of fracture zones with more conducting zones and vertical displacements of resistivity in the observed sections.

Introdução

A distribuição de propriedades físicas, tais como resistividade elétrica, susceptibilidade magnética e outras, em associação a informações geológicas iniciais, permite identificar e caracterizar feições geológicas e estruturais adicionais, importantes no estudo de detalhe de afloramentos similares a reservatórios fraturados como os enfocados neste trabalho.

Dentro do contexto do projeto Modelagem de Potenciais Reservatórios Fraturados em Superfície para Auxílio Exploratório em Subsuperfície (MODRES), a utilização do método de eletroresistividade é uma ferramenta auxiliar na modelagem geométrica de reservatórios fraturados. Os dados de resistividade são integrados ao conjunto de dados que envolve os sísmicos, geológicos, estruturais e petrofísicos para a modelagem do reservatório.

A área estudada é composta por arenitos e conglomerados basais, sobrepostos discordantemente a folhelhos marrom-chocolate, ritmitos e diamictitos.

Dentro da área de estudo, Rostirolla et al. (2000) individualizaram quatro subunidades faciológicas da Formação Campo Mourão, denominadas de lcm1 a lcm4, além de afloramentos da Formação Ponta Grossa, conforme pode ser visualizado na Figura 01. Através de levantamentos estruturais de detalhe, foi observado que os arenitos apresentam-se como camadas subhorizontais, basculadas a partir das falhas maiores, configurando um sistema de pequenos grabens e horsts.

Também foram reconhecidos elementos estruturais como bandas de deformação cimentadas por óxidos de ferro e/ou sílica, que afetam os arenitos de forma marcante e que provavelmente estão associados à evolução de uma zona de falha de caráter regional. Na área de estudo predomina um sistema de fraturas conjugadas, dispostas preferencialmente segundo as direções N10-20E e N60-80W.

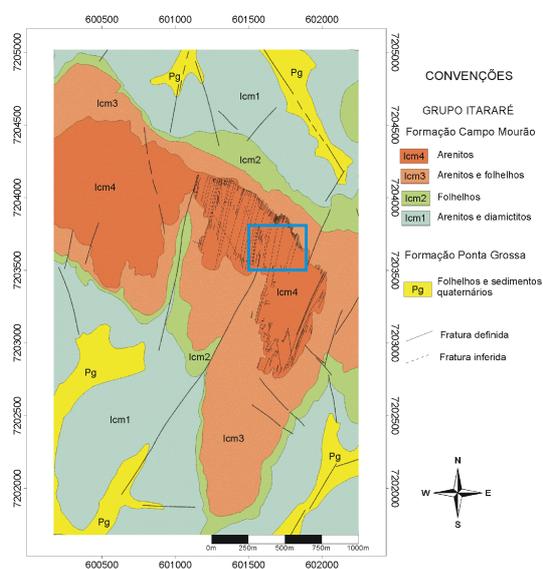


Figura 01 – Mapa geológico (adaptado de Rostirolla et al. 2000) com localização da área estudada.

O Método Geoeletrico

A condução elétrica em sedimentos e rochas próximas a superfície é basicamente eletrolítica, ao longo dos poros interconectados. Esta condução é determinada pelos íons dissolvidos na água que preenche os poros e vazios.

O método de eletroresistividade mede uma impedância, cuja interpretação permite avaliar a distribuição da resistividade elétrica e conseqüentemente, a geologia de subsuperfície. Uma corrente (I) é injetada no solo entre dois eletrodos (A e B) e a diferença de potencial (ΔV) é medida entre outros dois eletrodos (M e N). Na superfície da terra heterogênea e anisotrópica, mede-se uma resistividade aparente (ρ_a) calculada por:

$$\rho_a = \frac{\Delta V \cdot K}{I} \quad (1)$$

onde K é um fator geométrico dependente do arranjo utilizado. A base teórica nas quais se fundamenta o método esta disponível na literatura, como por exemplo Telford et al. (1990) e Keller & Frischknecht (1977).

O levantamento de campo foi realizado sobre uma malha materializada no terreno sob a forma de quatro linhas

paralelas e distanciadas 40 metros, sendo que a linha 4, com 450 m, tem o dobro do comprimento das demais.

Para o posicionamento das linhas no terreno foi considerada a direção preferencial do sistema de fraturas observado em fotografias aéreas, na escala 1:25000 e em trabalhos de campo (Kraft et al., 2002), sendo dispostas perpendicularmente a esta direção média (Figura 02).

As linhas foram posicionadas no terreno em função da possibilidade de visualização e identificação das fraturas, através da análise da resposta geoeletrica destas feições.

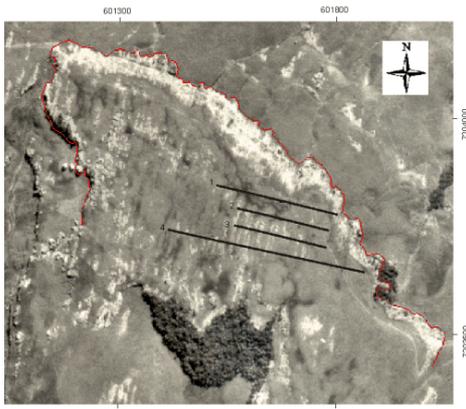


Figura 02 – Fotografia aérea, escala 1:25000 com o posicionamento das linhas adquiridas.

O arranjo utilizado no levantamento foi o dipolo-dipolo, com espaçamento entre os eletrodos de corrente (AB) e de potencial (MN) de 05, 10, 20 e 40 metros para a linha 4 e 10, 20 e 40 metros para as linhas 1, 2 e 3, com 08 níveis de investigação para o espaçamento de 05 e 10 metros e 06 níveis de investigação para os espaçamentos de 20 e 40 metros. A faixa de profundidade investigada é de cerca de 30 metros para as linhas 1, 2 e 3 e de 70 metros para a linha 4.

A escolha do arranjo dipolo-dipolo foi baseada no fato de que este arranjo é simétrico, de mais fácil interpretação e responde melhor a variações laterais de resistividade, como as esperadas para a área em estudo.

Nas linhas 1, 2 e 3 foi possível correlacionar a resposta geoeletrica das camadas com a subunidade lcm4, descrita por Rostirolla et al. (2000). Nestas linhas houve uma maior resolução nas porções mais superficiais das seções "reais". Na linha 4 foi possível correlacionar as respostas geoeletricas com as subunidades lcm4 e lcm2 devido a maior profundidade investigada, entretanto perdendo resolução nas camadas mais profundas.

A fase de processamento iniciou-se com a plotagem dos dados na forma de pseudo-seções, para uma avaliação qualitativa da variação de resistividade e para um controle da qualidade dos dados. Após a verificação de que os dados de resistividade aparente não apresentavam problemas, foram preparados os arquivos para a inversão 2D. O programa Res2Dinv (Loke 1996a, 1996b) foi utilizado na inversão, sendo a Figura 03 um exemplo da disposição das camadas e blocos que

constituem o modelo 2D na linha 4. Na seqüência do processamento foi realizada uma análise estatística dos valores de resistividade e, a partir dela, foi criada uma escala de valores e legenda de cor única para todas as seções "reais".

Este procedimento foi realizado para possibilitar uma correlação direta entre os valores de resistividade e as feições geológicas nas diversas seções geradas.

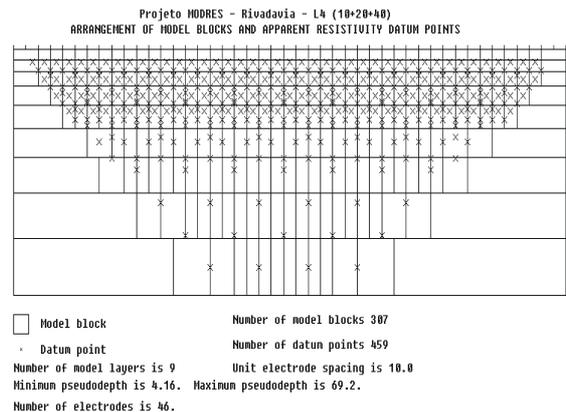


Figura 03 – Arranjo dos blocos do modelo usado para o processo de inversão da linha 04.

A Figura 04 apresenta na base o modelo obtido através da inversão, que produz a pseudo-seção de resistividade aparente (meio da figura) que se ajusta da melhor forma possível à pseudo-seção observada (topo da figura) da linha 4.

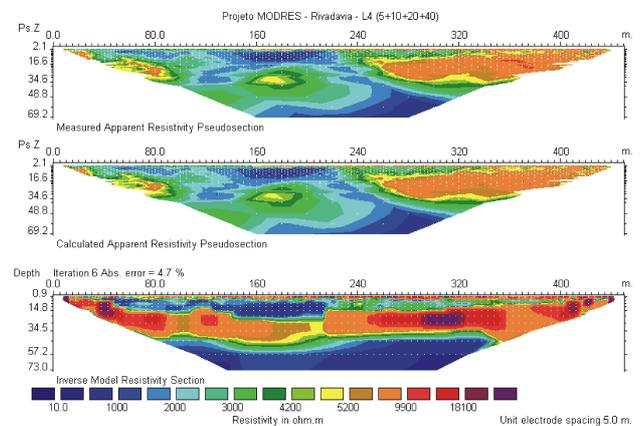


Figura 04 – Exemplo do processo de inversão para linha 4.

Discussão

Com o objetivo de avaliar a resposta geoeletrica das fraturas nas seções, os modelos de inversão foram empilhados. A Figura 05 mostra várias feições condutoras que têm relação com a presença de fraturas. Esta situação é evidenciada na linha 02 (Figura 06), onde percebe-se uma faixa mais condutora associada à presença de fratura. Em outros casos, como na linha 4 (Figura 05), percebe-se que não ocorre uma alteração significativa na resistividade, apenas uma ligeira

variação, não saindo da faixa valores com alta resistividade. Esta situação ocorre porque as fraturas estão muito silicificadas. Contudo, pode-se identificar as zonas fraturadas pela análise de deslocamentos ou interferências nos valores de resistividade.

Ressalta-se que os elevados valores de resistividade observados estão em acordo com os valores esperados, devido principalmente ao fato dos arenitos apresentarem-se muito silicificados, dificultando desta maneira a percolação de água por entre seus poros.

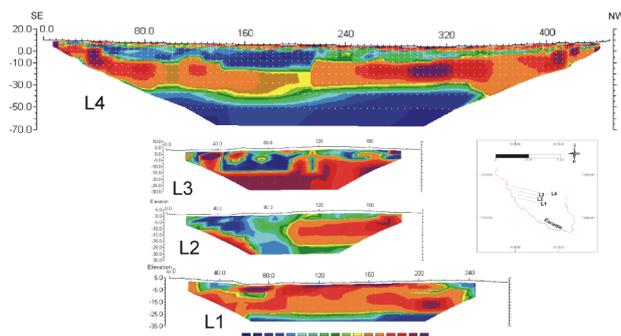


Figura 05 – Empilhamento das seções “reais”.

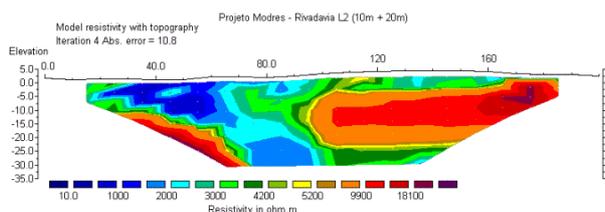


Figura 06 – Seção “real” da linha 2.

A Figura 07 mostra que o modelo gerado pela inversão permitiu discriminar o contato entre os arenitos da subunidade lcm4 com os folhelhos da subunidade lcm2, sendo este contato representado por uma zona mais condutora iniciando-se há cerca de 50 metros de profundidade, sobreposta a uma camada mais resistente, associada aos arenitos da lcm4. Dados de testemunhos de sondagem realizados indicam a presença de diamictito na profundidade de 46 metros.

Outro aspecto a ressaltar é a indicação de geometria lenticular da camada de arenitos da subunidade lcm4. Da mesma forma observa-se um deslocamento de resistividade, representando uma geometria semelhante a um graben. Nesta figura também é possível identificar diversas fraturas em função da resposta geoeletrica, ou seja, através de feições como deslocamentos/descontinuidades de resistividade. A interpretação das fraturas nas seções “reais” é condicionada pela capacidade de resolução do método. Nas porções mais superficiais, onde se tem uma maior resolução, é possível visualizar deslocamentos de resistividade e associá-los às fraturas. Em profundidade esta situação fica dificultada devido à perda de resolução com o aumento de profundidade.

Um aspecto favorável ao uso da eletrorresistividade como ferramenta auxiliar na caracterização de arenitos

fraturados superficiais consiste no baixo custo deste método e ainda a rapidez na aquisição e processamento dos dados, com qualidade e grau de confiança elevado.

Dentro do contexto do projeto MODRES a integração do método de eletrorresistividade com outras fontes de informação, como dados sísmicos de reflexão rasa adquiridos e processados por Lonardelli et al. (2003) e petrofísicos (Kraft et al., 2002) constituem uma importante ferramenta para o imageamento da subsuperfície. Neste sentido Bartoszeck et al. (2003) apresenta a integração destes dados dentro de um mesmo ambiente computacional, o que permite sua interpretação e correlação.

Sugere-se complementarmente, que sejam utilizadas sondagens elétricas verticais para estudar a distribuição da resistividade com detalhe vertical, buscando correlacionar os contrastes de resistividade com as variações litológicas em profundidade.

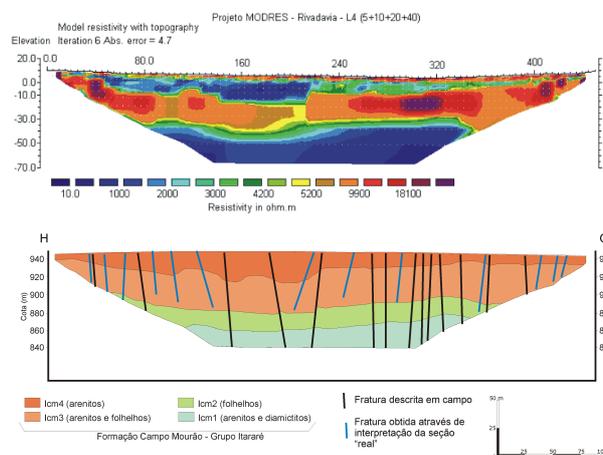


Figura 07 – Interpretação e traçado de fraturas a partir de seções “reais”.

Conclusões

Os resultados obtidos permitem correlacionar os valores de resistividade com diversas feições geológicas, mais especificadamente com a geometria das camadas e o contato entre litologias diferentes. Outro aspecto a ressaltar é a provável correlação entre fraturas observadas em campo com as zonas mais condutoras observadas nas seções “reais” de resistividade. Da mesma forma foi possível identificar fraturas a partir de feições geoeletricas que indicam deslocamentos ou descontinuidades de resistividade.

A utilização de dados de resistividade, conjugados a outras informações geológicas e geofísicas, permite identificar feições importantes que auxiliam na caracterização de arenitos fraturados, que na área de estudo constituem uma situação geológica aflorante, similar a um reservatório fraturado.

Referências

Bartoszeck, M.K.; Kraft, R.P.; Rostirolla, S.P.; Campos, A.F. de; Appi, C.J. 2003. Integração de dados geofísicos e geológicos como ferramenta

auxiliar na modelagem de reservatórios em superfície. Submetido neste congresso.

Keller, G.V. & Frischknecht, F.C. 1977. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Oxford: Pergamon Press, 1977, 517 p.

Kraft, R.P.; Rostirolla, S.P.; Bocard, L.B.; Campos, A.F. de; Lonardelli, J.N. 2002. Análise petrofísica na caracterização de reservatórios de hidrocarbonetos um estudo nos arenitos "Lapa-Vila Velha" do Estado do Paraná. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 41, João Pessoa, *Anais*, 1:270.

Loke, M.H.; Barker R.D. 1996a. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44:131-152.

Loke, M.H.; Barker R.D. 1996b. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophysical Prospecting*, 44:499-523.

Lonardelli, J.N. do; Rigoti, A.; Rostirolla, S.P.; Appi, C.J.; Brunetta, R. 2003. Ensaio sísmico de reflexão rasa em rochas fraturadas do Grupo Itararé. Submetido neste congresso.

Rostirolla, S.P.; Appi, C.J.; Mancini, F.; Kraft, R.P.; Bartoszeck, M.K. 2000. Fraturas controladoras da migração de fluidos nos Arenitos Vila Velha, Grupo Itararé, Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 31:349-356.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. 1990. *Applied geophysics*. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 1990, 770 p.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CTPETRO/FINEP/PETROBRAS pelo financiamento, a UFPR pelo apoio institucional, ao CNPq pelas bolsas de pesquisa e ao IPT pela disponibilização do programa de processamento.