



Integração de dados geofísicos e geológicos como ferramenta auxiliar na modelagem de análogos.

Bartoszeck, M. K. ^{*1}; Rostirolla, S. P. ²; Rigoti, A. ²; Appi, C. J. ³; Kraft, R. P. ¹; Campos, A. F. de ¹; Lonardelli, J. N. do. 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

Outcrops of Itararé Group, east bord of Paraná Basin, in Paraná province are the study area in this work. The objectives are shallow targets, not exceeding the 200 meters of depth for 1 kilometer of length. Geologic and geophysical field surveys have been carried out aiming the three-dimensional geometric modeling of sandstone rocks. Eletroresistivity and reflection seismic are the geophysical techniques used. Vertical lithological profiles, interpretation of photographic mosaics and outcrop descriptions are the geological data. Multisource data have been integrated using the same geographic coordinates system in a common computational environment where geophysical and geologic horizons have been interpreted aiming a posterior geometric modeling. Most used information needed a specifically formatting for the integration in the same computational environment. Integrated interpretation results assisted the understanding of the studied area.

Introdução

As informações utilizadas neste trabalho são parte de um projeto realizado na Universidade Federal do Paraná (UFPR) denominado Modelagem de Potenciais Reservatórios Fraturados em Superfície para Auxílio Exploratório em Subsuperfície (MODRES). Os dados foram adquiridos por vários pesquisadores simultaneamente, muitas vezes com ajuda mutua. A região de estudo localiza-se na faixa de afloramentos do Grupo Itararé, na borda leste da Bacia do Paraná, no estado do Paraná. Engloba principalmente rochas da Formação Campo Mourão, em sua porção predominantemente arenosa. O estudo de rochas superficiais aflorantes tem como principal característica a produção de diversas informações qualitativas, por exemplo granulometria, estruturas sedimentares e grau de seleção utilizadas como base para a separação dos estratos em fácies sedimentares. Uma posterior associação destas fácies sedimentares é utilizada na definição de um sistema deposicional. Dados descritivos podem ser correlacionados com dados contínuos, como perfis de poços, perfis sísmicos e elétricos facilitando a interpretação. O primeiro desafio é a definição de um ambiente computacional que permita e tenha a capacidade de inserir dados multifonte. No

mercado existem diversos programas computacionais utilizados na indústria do petróleo que contém as principais necessidades deste trabalho. Mas estes programas estão dimensionados e preparados para um determinado tipo de informação, por exemplo, perfis sísmicos, comuns à maioria dos levantamentos de prospecção de hidrocarbonetos. Isto exige a adaptação de muitos módulos e ferramentas para inserção e análise de dados multifonte como de afloramentos, geofísicos elétricos, de poços sintéticos faciológicos entre outros em um único ambiente computacional.

Método

Os levantamentos de campo foram realizados sobre rochas arenosas, intercaladas com folhelhos, conglomerados e diamictitos descritos em detalhe por Rostirolla et al. (2000). As informações de caminhamentos elétricos e sondagens elétricas verticais (SEVs) foram adquiridas e processadas por Campos et al. (2003). Painéis fotográficos de afloramentos foram adquiridos e interpretados por Kraft et al. (2002). As informações de sísmica de reflexão foram adquiridas e processadas por Lonardelli et al. (2003). A metodologia aplicada envolveu trabalhos de campo geológicos e geofísicos, adequação dos dados para formatos compatíveis e interpretações integradas. A figura 01 demonstra as principais etapas desenvolvidas.

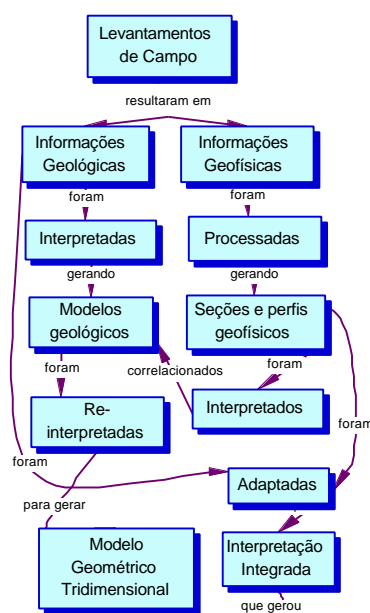


Fig. 01. Mapa conceitual das atividades desenvolvidas.

Informações de eletrorresistividade

A figura esquemática 02 exemplifica os procedimentos adotados para a adequação das informações elétricas disponíveis. Os dados dos perfis elétricos estão no formato *ascii* (A), com coordenadas métricas relativas que foram referenciados ao sistema de coordenadas UTM com o auxílio de planilha eletrônica (B). Cada posição no terreno fixada por meio de eletrodos galvânicos foi transformada no centro de uma célula de isorresistividade. Cada conjunto de células de uma mesma coordenada xy foi empilhada em profundidade (C) no formato de um poço sintético com o auxílio de planilha eletrônica (D).

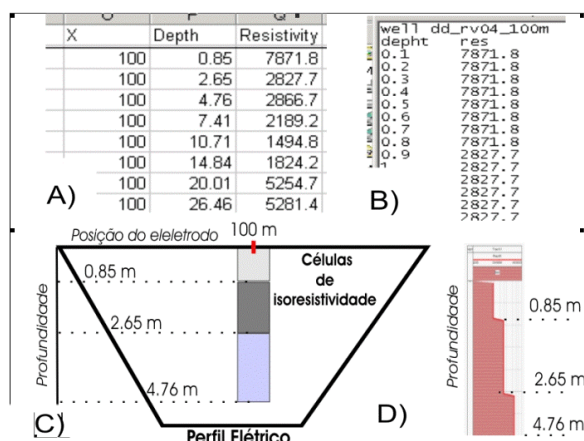


Fig. 02. Adequação de informações elétricas.

Os poços sintéticos foram inseridos de acordo com suas coordenadas xyz, sendo o z adquirido no campo através de topografia e corrigido por sistema de GPS diferencial com referência de terceira ordem. Como resultado foi criada uma seção poço à poço com as curvas de resistividade em profundidade, visualmente diferenciando muito do formato tradicionalmente encontrado na bibliografia. A figura 03 exemplifica esta abordagem.

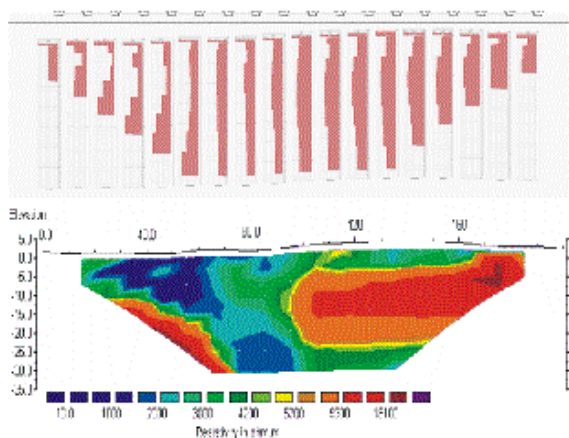


Fig. 03. A figura ressalta os contrastes de impedâncias relativas de resistividade no perfil superior, em relação ao método tradicional de visualização, perfil inferior (adaptado de Campos et al., 2003).

Os dados das sondagens elétricas verticais estão no formato *ascii*, sem referências geográficas. Os mesmos são importados como *logs* de poço e as informações de coordenadas inseridas no banco de dados de poços. A figura 04 exemplifica uma forma de visualizar as SEVs, que podem ser correlacionadas com outras informações em profundidade.

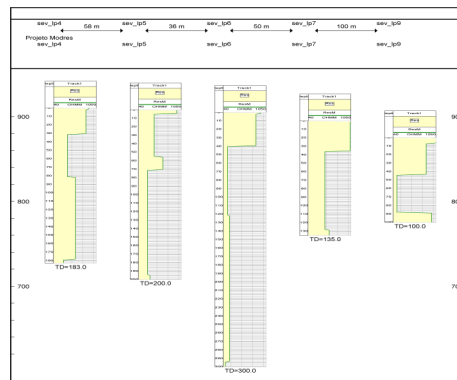


Fig. 04. Esta visualização de SEVs ressalta os contrastes de impedâncias relativas de resistividade (adaptado de Campos et al., 2003).

Informações geológicas de afloramentos

As áreas estudadas são caracterizadas por platôs limitados por escarpas, com alturas entre 1 a aproximadamente 30 metros. Esta disposição geomorfológica possibilita uma boa visualização da continuidade dos estratos e estruturas sedimentares. Com o advento das máquinas fotográficas digitais, um sensor de 4 megapixels permite que o interprete adquira fotografias no campo para uma posterior análise (Figura 05).

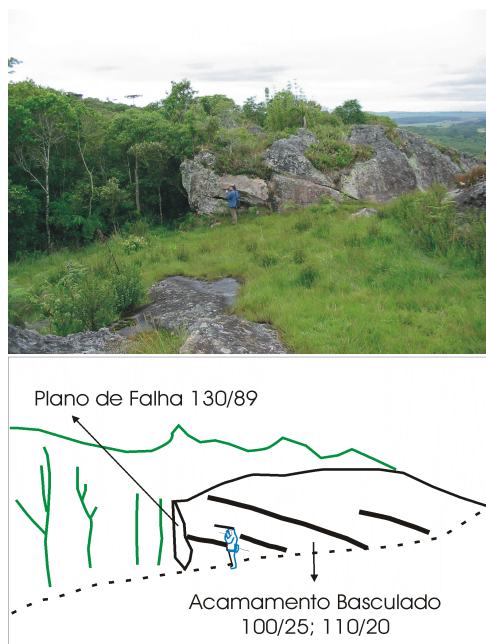


Fig. 05. Exemplo de fotografia digital interpretada.

Estas fotografias são montadas em forma de painéis para a observação das continuidades laterais dos afloramentos e suas características geológicas. Estes painéis foram impressos e, em uma nova etapa de campo, foram re-interpretados traçando *in loco* estruturas sedimentares e tectônicas. Kraft et al. (2003) realizaram a seleção de pequenas porções destes painéis fotográficos e a obtenção da cota relativa ao nível do mar, permitindo a inserção da interpretação faciológica e ou litológica na forma de poço sintético.

Informações sísmicas

Neste item a inserção dos dados ocorreu sem problemas devido ao programa utilizado já estar preparado para deste tipo de informação. Restou apenas a correta associação da linha sísmica a um sistema de coordenadas geográficas, já que no processamento são utilizadas coordenadas relativas. Foi realizada também a conversão das seções sísmicas do formato *Seg2* para *Segy*, padrões sugeridos pela SEG (Society of Exploration Geophysicists).

As linhas sísmicas foram adquiridas com parâmetros otimizados para alvos de até 150 metros de profundidade. Na sísmica rasa o relevo tem uma influência significativa, já que uma variação de alguns metros na altimetria pode ocasionar uma diferença de alguns poucos milissegundos na chegada de uma onda elástica refletida. O tamanho das feições estudadas em afloramentos não ultrapassam 30 metros, sendo que qualquer diferença em tempo pode confundir o intérprete. A topografia das áreas de estudo não influenciou os levantamentos devido ao relevo suave, com pouca variação altimétrica. As seções sísmicas representam no terreno linhas com 200 a 500 metros de comprimento, com espaçamento entre geofones de 2 a 5 metros. O processamento foi realizado realçando frequências superiores a 85 Hz, no sentido de melhorar a resolução sísmica. Os levantamentos de campo foram realizados sempre buscando o melhor acoplamento possível dos geofones. Os tiros foram realizados em momentos com pouco vento e ausência de chuva. A figura 06 exemplifica uma seção sísmica de 400 metros de comprimento, 5 metros entre geofones e 250ms de registro.

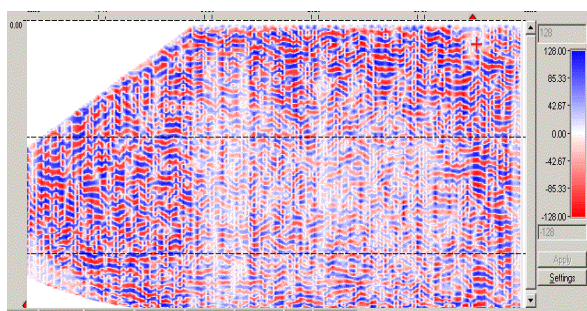


Fig. 06. Seção sísmica de alta resolução adquirida sobre rochas arenosas fraturadas superficiais.

Discussão

Depois de inseridos num mesmo ambiente computacional os dados podem ser interpretados individualmente e depois correlacionados. O traçado de horizontes e

descontinuidades é o método mais utilizado na interpretação de dados sísmicos. Seguindo esta premissa as informações de resistividade e faciológicas podem ser interpretadas no mesmo sentido. Transformando os dados de impedância acústica do domínio do tempo para o domínio da profundidade permite a correlação direta de horizontes elétricos e geológicos traçados em fotomosaicos e seções sísmicas. Zonas de falhas e pequenas fraturas observadas em afloramentos, marcadas sobre fotografia aérea digitalizada e referenciada a um mesmo sistema de coordenadas geográficas, foram identificadas através de deslocamento ou interrupção de refletores em seções sísmicas e, da mesma forma, através de descontinuidades da resistividade observada nos perfis elétricos. Apesar das propriedades físicas observadas por cada método serem diferentes, o contraste de uma propriedade muitas vezes ocorre simultaneamente. Por exemplo, no contato entre um arenito muito silicificado com um folhelho, no caso da sísmica ocorrerá um contraste negativo de impedância, no caso de um levantamento elétrico ocorrerá uma diminuição abrupta da resistividade, no caso de uma perfilagem ocorrerá uma anomalia positiva de raios gama, no caso de um perfil geológico vertical ocorrerá uma diminuição abrupta da granulometria. Diferentes propriedades analisadas por diversos métodos coincidentemente marcam um mesmo horizonte. Embora este fato não ocorra sempre, as correlações entre diversas interpretações corroboram um modelo geométrico. Estes horizontes podem ser mapeados em diversas porções do terreno, através da aquisição de vários perfis geofísicos, e posteriormente podem ser interpolados em forma superfícies.

A construção de fotomosaicos permitiu o traçado das principais geometrias estratigráficas e estruturais (Figura 07). Estas formas geométricas ressaltadas pela erosão das rochas, revelaram contatos litológicos, faciológicos ou mesmo variações internas de estratos, resultando ou não em um contraste físico, por exemplo de velocidade de propagação de ondas elásticas.

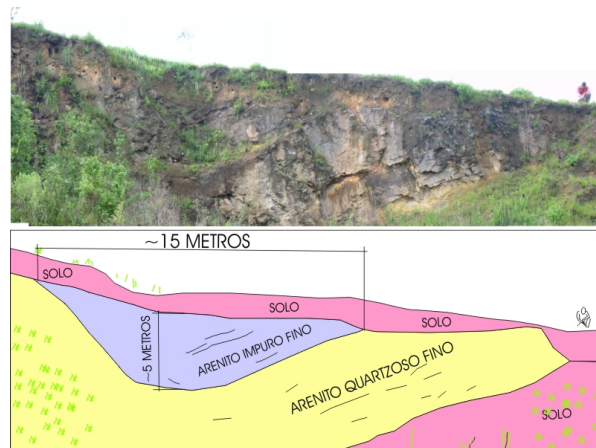


Fig. 07. Exemplo de interpretação realizada sobre um fotomosaico, ressaltando uma geometria côncava.

Geometrias interpretadas e traçadas foram encontradas nas seções sísmicas, mesmo antes da conversão tempo para profundidade. Com uma aproximação da velocidade

de propagação de ondas elásticas da rocha pode-se também checar a coerência entre uma feição sísmica em tempo e uma estrutura semelhante em metros num afloramento (Figura 8).

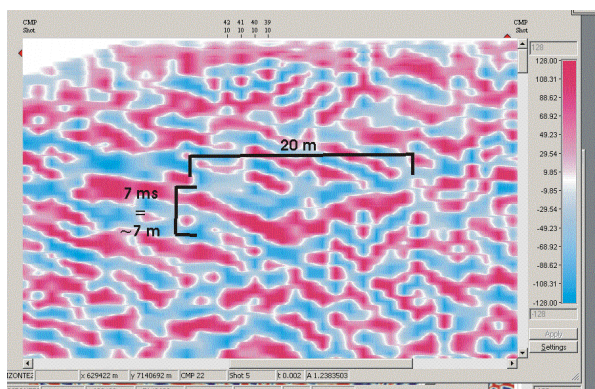


Fig. 08. Exemplo de janela extraída de uma seção sísmica, ressaltando uma geometria côncava.

De maneira objetiva, todo este estudo visa no final o traçado de superfícies, estratigráficas ou estruturais. Esta definição geométrica é a principal premissa para uma modelagem volumétrica, sendo os atributos internos dos elementos volumétricos (*voxels*) interpolados a partir dos dados multifonte. Após a conversão de tempo para profundidade de uma campanha sísmica, horizontes interpretados em outros tipos de dados, podem ser visualizados em conjunto com as seções sísmicas. A princípio a diversificação de fonte de dados pode causar uma falsa interpretação de uma coincidência qualquer, mas estruturas complexas em áreas sedimentares dificilmente são visualizadas apenas com um método. A figura 09 exemplifica a correlação entre um horizonte qualquer, em verde, com sismogramas de linhas sísmicas adquiridas em direções diversas.

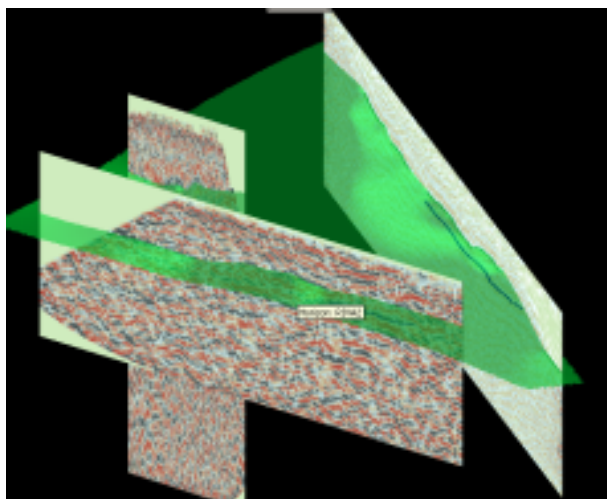


Fig. 09. Esquema exemplificando a visualização conjunta de horizontes interpretados e sismogramas.

Conclusões

O sucesso na construção de um modelo geológico tridimensional depende da quantidade e qualidade das

informações disponíveis. Buscando essa premissa, uma pesquisa integrada, com diversas abordagens, incluindo métodos geofísicos de imageamento e estudos geológicos de afloramentos, produz uma quantidade de informação que isoladamente tem menor significado que quando analisada em um ambiente de forma integrada. A utilização de dados multifonte mostrou-se uma ferramenta importante para o entendimento de áreas sedimentares complexas como a área de estudo deste trabalho. Os métodos de imageamento de subsuperfície utilizados foram eficientes na caracterização de parâmetros físicos isoladamente. A interpretação de dados geofísicos e geológicos em um mesmo ambiente computacional, referenciado a um mesmo sistema de coordenadas geográficas, permitiu a correlação direta de horizontes traçados em diferentes tipos de dados. A modelagem volumétrica irá preencher o espaço tridimensional existente entre as interpretações realizadas em duas dimensões, e os atributos internos a cada elemento volumétrico interpolados principalmente através das seções sísmicas de alta resolução. Os métodos utilizados neste trabalho são recomendados para estudos de modelagem de reservatórios superficiais.

Agradecimentos

Os autores agradecem a: CTPETRO/FINEP/PETROBRAS pelo financiamento; a UFPR pelo apoio institucional; ao CNPq pelas bolsas de pesquisa; a Landmark pelo programa computacional; e aos engenheiros cartógrafos Edson Aparecido Mitshita e Roosevelt de Lara Santos Jr. pela realização de levantamentos com gps.

Referências

- Campos, A. F. de.; Rigoti, A.; Rostirolla, S. P.; Appi. C. J.; Kraft, R. P.; Bartoszeck, M. K. 2003. Eletroresistividade como apoio à caracterização de arenitos fraturados. Submetido neste congresso.
- Kraft, R.P.; Rostirolla, S. P.; Rigoti, A.; Appi. C. J.; Bartoszeck, M. K.; Campos, A. F. de.; Lonardelli, J. do N. 2003. Correlações geofísicas e geológicas para a compreensão da distribuição de propriedades petrofísicas em reservatórios análogos. Submetido neste congresso.
- Kraft, R.P.; Rostirolla, S.P.; Bocardí, L.B.; Campos, A.F. de; Lonardelli, J. do 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.
- 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.
- Lonardelli, J. N. do; Rigoti, A.; Rostirolla, S. P.; Appi, C. J. e Brunetta, R. 2003. Ensaio sísmico de reflexão rasa em rochas fraturadas do Grupo Itararé. Submetido neste congresso.