



Características Geoeletricas em Afloramento da Formaçaõ Sergi, Bacia do Recõncavo.

Daiana Leite de Sousa & Olivar Antônio Lima de Lima, Curso de Pós-Graduaçaõ em Geofísica/CPGG/UFBA

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

A new trend in the oil industry is the development of geological and geophysical studies over analogue bodies of oil reservoirs. Indeed, such characterization works are becoming important in mature fields, in order to increase the recovery of their stored oils. The Sergi Formation, of Jurassic age, is the main hydrocarbon reservoir in the Recõncavo basin, actually being in an advanced stage of exploration. However, it has yet in place about $2,7 \times 10^8 \text{ m}^3$ of oil. In this work, our aims were to characterize on a meso and macroscopic scales, a sandstone outcrop of Sergi Formation within the canyon of the homonym river in the West border of the Recõncavo basin. Detailed lithologic and stratigraphic analysis, combined with geophysical profiling, soundings and with selective sampling were used to infer the facies zonation and the petrophysical variability along a 300m by 50 m of the rocky cliff. In this stage, the results are qualitatively interpreted but a quantitative analysis is in progress.

Introdução

O grau de sucesso na exploraçaõ de reservatõrios de petrõleo, via programas de recuperaçaõ, estã diretamente relacionado ao nívél e conhecimento geolõgico – petrofísico que se tenha sobre eles. Estudos detalhados de afloramentos de rochas análogas àquelas portadoras de petrõleo em subsuperfície têm sido uma das tendências técnico-científicas adotadas no intuito de se obter informaçaõs comparativas na escala de trabalho requerida pelos grupos de caracterizaçaõ de reservatõrio.

A maioria dos campos de petrõleo da Bacia do Recõncavo produz na Formaçaõ Sergi (Figura 1) que se encontra, atualmente, em avançado estágio de exploraçaõ. Esses reservatõrios continham cerca de $361,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ do volume original de óleo do Estado da Bahia, ou cerca de 35,5% do volume total. Até agora, foram produzidos $76,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ de óleo, restando uma reserva atual de $12,3 \times 10^6 \text{ m}^3$. Permanecerã ainda, em subsuperfície um volume expressivo de hidrocarbonetos, da ordem de $273 \times 10^6 \text{ m}^3$, ou seja, aproximadamente 75% do volume original.

A visãõ atual da Formaçaõ Sergi corresponde a de um reservatõrio complexo e heterogeneamente

compartimentado, devido à sobreposiçaõ de processos sedimentolõgicos, diagenéticos e estruturais, sobre uma arquitetura deposicional flúvio-eólica.

Neste trabalho, o principal objetivo é correlacionar qualitativamente, perfis litoestratigráficos e perfis elétricos, a fim de obter uma melhor compreensãõ das heterogeneidades existente na fácies eólica da Formaçaõ Sergi, no Canyon homônimo, localizado a cerca de 5 Km a NW da cidade de Santo Amaro, Bahia.

Metodologia

A metodologia consistiu de levantamentos geolõgico e elétrico em três perfis verticais e uma sondagem elétrica no topo do afloramento.

- Levantamento geolõgico: baseou-se em descriçaõ litoestratigráfica pela construçaõ de perfis gráficos de seqüências. Este método é padrãõ para a coleta de dados de campo em rochas sedimentares. A conveniência na sua construçaõ reside na facilidade de se visualizar e correlacionar horizontal e verticalmente, baseando-se em repetiçaõs, ciclos e tendências gerais que ocorrem nas seçaõs verticais (Tucker, 1982). As principais informaçaõs observadas, foram: espessura da camada, padrõs texturais, estruturas sedimentares e relaçaõs de contato.

- Levantamento elétrico: Neste levantamento, foram medidos valores de resistividade (ρ_a) e cargabilidade (m_a) aparentes. Essas medidas têm por objetivo tentar correlacionar o efeito da polarizaçaõ induzida às características texturais, mineralógicas e estruturais das rochas em afloramentos verticais. As medidas foram realizadas usando-se o equipamento Syscal R2. Este equipamento consiste de uma fonte de energia, um medidor de corrente e voltagem, eletrodos e cabos condutores. A aquisiçaõ consiste, basicamente em injetar uma corrente elétrica na terra através de dois eletrodos de corrente (A e B), gerando superfícies equipotenciais que sãõ medidas nos dois outros eletrodos, chamados de M e N. As medidas nos perfis foram efetuadas adotando-se um arranjo pólo-pólo de eletrodos, buscando uma simulaçaõ de perfilagem vertical em poços. Neste arranjo, os eletrodos B e N sãõ colocados a uma distância muito maior em relaçaõ ao espaçamento AM ($BM=20\text{m}$) e perpendicular aos eletrodos A e M firmado aos pares no afloramento. Pregos de aço inoxidável (10 cm de comprimento) numerados, foram utilizados como eletrodos. Estes foram fixados no afloramento com o auxílio de uma furadeira elétrica manual e marreta. Para a perfilagem nos três perfis, adotou-se dois espaçamentos: $AM_1 = 50 \text{ cm}$ e $AM_2 = 100\text{cm}$. A sondagem elétrica de IP resistividade foi realizada no topo do afloramento e para este caso, adotou-se o

arranjo convencional Schulumberger com espaçamentos AB/2 progressivos variando de 1 a 100 m, visando investigar até uma profundidade de 50 m. Todo o trabalho de perfilagem no afloramento teve o suporte da técnica de *rappel*.

Caracterização Geológica

A Formação Sergi, de idade Jurássica, é a principal rocha reservatório da Bacia do Recôncavo. Esta formação tem geometria de um corpo tabular, essencialmente arenoso, depositado por um complexo sistema de canais entrelaçados em sua porção proximal e meandrante na parte distal, que sofreu, posteriormente, um retrabalhamento eólico (De Ros, 1985; Bruhn & De Ros, 1987). A principal fácies de reservatório dessa Formação é a fácies eólica, que tem distribuição regional, podendo alcançar espessuras superiores a 20 m (Figueroa *et al.*, 1994).

No Canyon do Rio Sergi, aparecem rochas das fácies fluvial e eólica. Neste trabalho todo o estudo foi concentrado num único afloramento, da Formação Sergi. Este afloramento apresenta cerca de 50 m de altura e 150 m de extensão (Figura 1).

A partir da descrição geológica nos três perfis, e de comparações com citações encontradas na literatura foi possível verificar que as rochas do afloramento estudado, têm características de ambiente eólico, tais como: vasta extensão; gradação periférica para ambiente fluvial e aluvial, incorporação de superfícies de deflação, com presença de ventifactos (descritos por Medeiros & Ponte, 1981, mas não encontrados nos trabalhos de campo), predomínio de estratificações planar-tabular; superposição monótona de estratificações cruzadas de grande porte, com intercalação de camadas finas correspondentes a depósitos de interduna.

Em termos gerais, a cor da rocha são é rosa a esbranquiçada. As camadas mergulham suavemente para leste. O grau de cimentação aumenta do topo para a base. A composição da rocha é predominantemente quartzosa, com grãos arredondados e moderadamente selecionados. Estes são foscos, geralmente envolvidos por uma membrana de argila. Os contatos são de grão a grão e a matriz é texturalmente areia muito fina a siltítica. Lentes de crosta ferruginosa são comuns. A pigmentação de ferro deriva, geralmente da decomposição de Fe-Mg em silicatos, como hornblenda, augita e argilo-minerais.

O afloramento estudado pode ser dividido em três unidades distintas, chamadas de subfácies dentro da fácies eólica da Formação Sergi: subfácies de duna, subfácies de interduna, e subfácies de deformação sindeposicional. Estas subfácies foram descritas em escala mesoscópica, baseando-se em análise de imagem e na descrição litoestratigráfica, tendo o suporte do trabalho de Carrasco *et al.* (1996):

- Subfácies de dunas (Figura 1): são formas de leito de grandes dimensões, com comprimentos de dezenas de metros e espessuras de 3 a 5 m. A estrutura sedimentar predominante é a de estratificação cruzada de grande porte e cruzada acanalada. Nesta subfácies a

granulometria predominante é areia média, porém existem camadas de areia muito grossa, formando estruturas tipo queda-de-grãos, decorrentes da deposição dos grãos por queda em frente de dunas .

- Subfácies de interdunas (Figura 1): formam preenchimento em depressões localizadas entre as dunas eólicas. Nessa subfácies, a estrutura predominante é a estratificação plano-paralela de baixo ângulo, resultado da remoção dos sedimentos para construção das dunas. Apresenta boa continuidade lateral em todo o afloramento, passando dos 40m de extensão. A espessura máxima dos leitos é de 2,5 m. Uma feição marcante na subfácies de interduna é a bidomalidade no tamanho dos grãos devido a um aumento na quantidade das frações areia muito fina e silte. Pode-se caracterizar essa subfácies no afloramento estudado como sendo um ambiente de interdunas afogado e de baixa energia. A presença de marcas de onda e ripples corroboram para a existência desse ambiente subaquoso.

- Subfácies de deformação (Figura 1): são depósitos de natureza caótica, desenvolvido nas frentes das dunas. No afloramento estudado, essa fácies tem espessura média de 4 m, ocorrendo por toda a sua extensão. As estratificações aparecem convolucionadas, porém não se acredita que estas estejam relacionadas à falhas. A deformação pode ter origem deposicional, controlada pela alta razão água/sedimentos, responsável pela liquefação do sedimento, como resposta ao peso das dunas mais jovens (Leeder, 1982, Carrasco *et al.*, 1996). Essa subfácies de deformação, ocorre na porção basal do afloramento estudado. Os leitos têm granulometria média, comportamento maciço no topo gradando para estratificações incipientes e estratificações convolucionadas na base. Essa subfácies aparentemente é mais cimentada e a presença da fração silte/argila é reduzida.

Caracterização Geofísica

De forma geral, o procedimento para se medir a resistividade elétrica em solos e afloramentos é injetar uma corrente direta (DC) através de dois eletrodos, chamados eletrodos de corrente e medir a diferença de potencial entre dois outros eletrodos, chamados eletrodos de potencial, em vários e diferentes locais. Essas medidas são representadas em perfis ou curvas de resistividade e cargabilidade elétricas, que podem ser interpretadas como diferentes limites litológicos.

Em um meio linear, isotrópico e homogêneo, o fluxo de corrente obedece à lei de Ohm:

$$E = \rho J \quad (1)$$

onde E é intensidade do campo elétrico (unidade V/m) e J é a densidade de corrente (expressa em A/m²). E é proporcional a J por um fator ρ , chamado de resistividade (Ohm.m). O meio que obedece essa relação é chamado de linear ou ôhmico, significando que ρ é independente da magnitude de J . Pelo princípio da

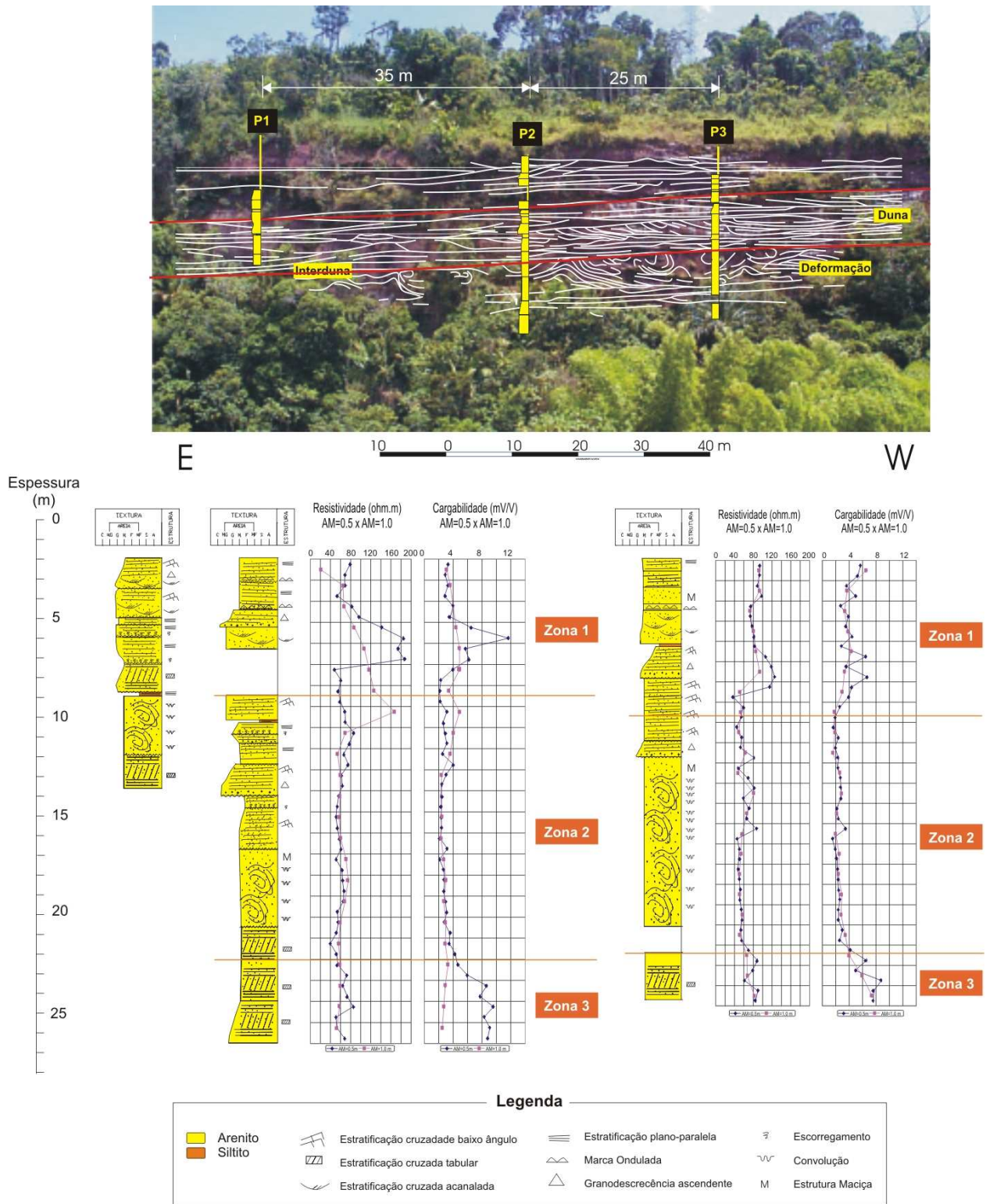


Figura 1 - Composição do foto-mosaico com os três perfis geológicos e elétricos construídos para o afloramento de estudo da Formação Ser

conservação da carga elétrica, e em se tratando de uma corrente DC, a divergência de J deve ser zero, isto é,

$$\nabla J = 0 \quad (2)$$

uma expressão matemática que diz que “num volume fechado a corrente que sai, é igual àquela que entra”.

Combinando as equações (1) e (2), resulta na equação de Laplace (meios isotrópicos e homogêneos):

$$\nabla^2 V = 0 \quad (3)$$

onde V é o potencial elétrico, uma grandeza escalar (medida em volts), cujo gradiente é numericamente igual a E :

$$E = -\nabla V \quad (4)$$

Uma corrente DC é introduzida na terra pelo contato dos eletrodos, A e B, conectados a uma fonte de corrente I . A diferença de potencial é medida em termos da diferença de potencial entre o par de eletrodos de prova, M e N.

No arranjo pólo-pólo, utilizado nas perfilagens elétricas, a fonte de corrente I , penetra através de A e a diferença de potencial é medida, em volts em M, com espaçamentos fixos e definidos. Os eletrodos B e N são colocados a uma distância considerada praticamente infinita, de tal sorte que não interferem nas medidas. Nesse caso, se a subsuperfície é uniforme – homogênea e isotrópica, a resistividade aparente é dada por:

$$\rho = 2\pi AM \frac{V_m}{I} = K \frac{V_m}{I} \quad (5)$$

A cargabilidade aparente (m_a) é a variação de ΔV em função do tempo, medida antes e após se desligar a corrente elétrica DC, injetada no afloramento. É definida como:

$$m_a = \frac{V_{IP}}{V} \quad (mV/V) \quad (6)$$

Lima (1999), diz que a “cargabilidade de areias argilosas artificiais é proporcional à capacidade de intertroca catiônica das argilas”. Parkomenko *apud* Lima (1999), mostra que “para um conteúdo fixado de argila a cargabilidade de uma rocha aumenta com a capacidade de troca catiônica da rocha”. Este autor, salienta ainda que a cargabilidade aumenta com o conteúdo de água até atingir um índice de saturação, a partir do qual começa a declinar. Portanto, a cargabilidade e a resistividade fornecem, conjuntamente, uma medida de variabilidade da argilosidade e da saturação em água ao longo da parede aflorante.

No perfil 1 (Figura 1), foram registrados valores muito baixos de resistividade e valores negativos de cargabilidade. Esses resultados não são consistentes, sendo atribuídos a fuga de corrente durante as medidas, causadas por uma falha na fixação dos pregos de aço usados como eletrodos. Para os outros perfis, a metodologia foi revista, tendo sido os eletrodos fixados

com o uso de uma furadeira. Desta maneira, o perfil 1 foi descartado nas análises geométricas, na atual fase do trabalho, servindo apenas como um registro de uma falha metodológica.

As curvas geradas para os perfis 2 e 3 (Figura 1), mostram que, para espaçamentos de AM=50 cm ocorre uma maior flutuabilidade das curvas, enquanto que para espaçamentos AM=100 cm, as curvas são mais suavizadas. Isso se deve a efeitos superficiais de contato, por exemplo, estado de desagregação da rocha devido a processos intempéricos, e maior proximidade da interface investigada com a atmosfera.

O Perfil 2 (Figura 1), apresenta três zonas geométricas distintas. A primeira vai até 6,5 m de profundidade. É caracterizada por apresentar valores de ρ_a entre 20 e 180 ohm.m e m_a de 2 a 12 mV/V. A segunda zona vai até a profundidade de 19 m, e nesta, os valores dos parâmetros ρ_a e m_a variam de 40 a 80 ohm.m e 2-4 mV/V, respectivamente. Dos 19m até o final do perfil, encontra-se a terceira zona geométrica. Os valores de ρ_a , nessa zona mantêm-se similar a segunda zona, porém, os valores de m_a aumentam, atingindo valores próximos a 11 mV/V.

No Perfil 3 (Figura 1), ocorre uma similaridade com o Perfil 2, em termos de zonas geométricas. A primeira zona vai de 0 a 7m, a segunda até 19 m e a terceira dos 19 m até o final do perfil, com valores de resistividade e cargabilidade similares ao perfil 2.

A existência dessas variações elétricas ao longo dos perfis pode ser explicada em termos de variações de argilosidade e da saturação de água dos arenitos. O padrão elétrico na subfácies de deformação (Zona 2) mostra que, as variações granulométricas e texturais dos arenitos exibem um padrão elétrico homogêneo. As zonas 1 e 3 apresentam maior variabilidade vertical. Na zona 1, os aumentos da resistividade e cargabilidade aparentes estão relacionadas a maior capacidade de troca catiônica das argilas presentes na formação. Vale lembrar que no perfil 2 (coluna geológica), o espaço em branco se deve a presença de vegetação de médio porte presa ao paredão, sugerindo que um maior teor de argila existe nessa porção. Na zona 3, nitidamente, o que ocorre é uma maior saturação em água neste trecho do afloramento, o que eleva os valores de cargabilidade (Lima, 1999), sem necessariamente elevar os valores de resistividade.

A sondagem elétrica SE-01, realizada no topo do afloramento e centrada a cerca de 50m de distância da escarpa, vem mostrada na Figura 2. Ela foi interpretada e descrita por um modelo de quatro camadas, a saber:

A) camada superficial de alta resistividade (baixa saturação até 1,2m);

B) camada de saturação intermediária, estendendo-se até 11m de profundidade (nível estático);

C) camada saturada (aqüífero arenoso até 56m de profundidade) e,

D) camada condutora basal (6,0 ohm-m de resistividade) representando a Formação Aliança (folhelhos, principalmente). Note que os valores de cargabilidade das camadas da Formação Sergi crescem com a saturação da rocha. Esses resultados indicam que a fácies eólica é exposta quase completamente na área em estudo.

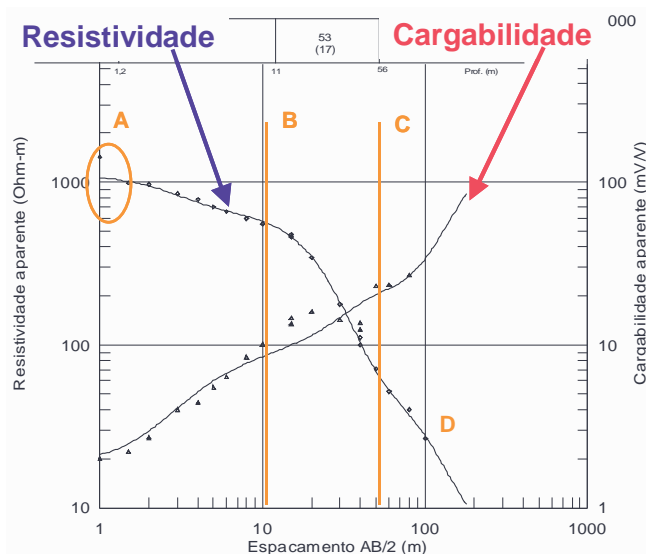


Figura 2 - Sondagem elétrica SE-01, realizada no topo do afloramento estudado.

Conclusões

Ao final deste trabalho pode-se constatar que o uso de ferramentas geológicas e geofísicas são bastante úteis na caracterização qualitativa de um análogo de reservatório. Para o afloramento estudado da Formação Sergi, observou-se que as características estruturais e texturais das rochas são da fácies eólica e que três subfácies são vistas: dunas, interdunas e deformação.

No método geofísico elétrico observa-se que no perfil 1, a metodologia utilizada para coletar os dados não foi adequada. Com a correção desta para os perfis elétricos 2 e 3, pode-se separar três zonas geoeletricas distintas baseadas em parâmetros de resistividade e cargabilidade, decorrentes das variações de argilosidade e saturação em água ao longo da parede rochosa. A sondagem elétrica realizada no topo do afloramento mostra um modelo de quatro camadas, no qual se verifica também, um aumento da saturação de água com a profundidade e uma zona basal condutora, representada pela Formação Aliança.

Por fim, fica evidente que este é um trabalho inicial de estudo do reservatório Sergi, e faz-se necessário um aprofundamento no seu estudo. Sugere-se um estudo detalhado de petrologia e petrofísica, a fim de se conhecer melhor as características do reservatório e então, pensar em contribuir de forma mais efetiva para grupos de modelagem de reservatório.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia pelo apoio logístico e técnico, ao Corpo de Bombeiros (10° GBM) e ao grupo de rappel Nós e Amarrações pelo apoio nas etapas de campo. D. L. Sousa agradece também, a ANP pela bolsa de graduação e apoio financeiro e O. A. L. de Lima ao CNPq, pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.

Referências Bibliográficas

- BRUHN, C.H.L. & De ROS, L. F.** 1987. Formação Sergi: Evolução de conceitos e tendências na geologia de reservatório. *Bol. Geoci. Petrobras*. 1(1): 25-40.
- CARRASCO, B. N., FONSECA, L. E. N, DURÃES, E. M.** 1996. Forointerpretação de fácies e de elementos arquiteturais eólicos no afloramento do canyon do Sergi, Bacia do Recôncavo, Brasil. In: SBG, XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Anais, 1: 141-144.
- De ROS, L. F.** 1985. Petrologia e características de reservatório da Formação Sergi (Jurássico) no campo de Sesmaria, Bacia do Recôncavo, Brasil. Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado 107 p.
- FIGUEREDO, A. M. F, BRAGA, J. A. E, ZABALAGA, H. M. C, OLIVEIRA, J.J., AGUIAR, G. A., SILVA, O. B., MATO, L. F., DANIEL, L. M.F, MAGNAVITA, L. P E BRUNH, C. H. L.** 1994. Reconcavo Basin: a profile of intracontinental rift basin. In: S. M. London (Ed.) Interior Rift Basin. *AAPG Memoir* 59, p. 157-203.
- LEEDER, M. R.** 1982. Sedimentology Process and Product.
- LIMA, O. A. L.,** 1999. Caracterização hidráulica e padrões de poluição no aquífero Recôncavo na Região de Camaçari- Dias D'Ávila. Universidade Federal da Bahia. Tese de concurso para Professor Titular. 123 p.
- MEDEIROS, R.A.; PONTE, F.C.** 1981. *Roteiro Geológico da Bacia do Recôncavo*. Salvador, Petrobrás/SEPES/DIVEN/SEN-BA, 63 p. (Acordo Petrobrás-SENAI).

TUCKER, M. E. 1982. The field description of sedimentary rocks. *Geological Society, Open University*. 112 p.