



Particionamento da Porosidade por RMN Aplicada na Avaliação da Permeabilidade, Saturação Irredutível de Água e Resistividade Elétrica de Coquinas da Formação Morro do Chaves
NMR Porosity Partitioning Applied to the Evaluation of Permeability, Irreducible Water Saturation and Electrical Resistivity of Coquinas from the Morro do Chaves Formation

José Leão de Luna¹; Fábio André Perosi¹;
Mariléa Gomes dos Santos Ribeiro¹; Leonardo Borghi² & Andre Souza³

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, CCMN, Laboratório de Geofísica e Petrofísica, IGEO, CCMN, Avenida Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco J, Sala J0-007, 21.910-200 Cidade Universitária / Ilha do Fundão – RJ, Brasil

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, CCMN, Laboratório de Geologia Sedimentar, Avenida Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco J, Sala J1-011, 21.910-200 Cidade Universitária / Ilha do Fundão – RJ, Brasil

³Schlumberger Brazil Research & Geoengineering Center;

Rua Paulo Emídio Barbosa, 485 - 21941-615 Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ, Brasil

E-mails: joselluna@gmail.com; faperosi@geologia.ufrj.br;

mcd.marilea@gmail.com; lborghi@geologia.ufrj.br; asouza19@slb.com

Recebido em: 03/05/2018 Aprovado em: 27/07/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_614_622

Resumo

A análise da viabilidade econômica de um possível reservatório petrolífero se baseia no conhecimento sobre suas propriedades petrofísicas, em especial da porosidade e a sua relação com outras propriedades, como a permeabilidade e resistividade. Em sistemas carbonáticos, a porosidade apresenta alto grau de heterogeneidade, afetando assim as demais grandezas associadas a ela. No presente trabalho, são apresentados dados de resistividade elétrica, permeabilidade, porosidade por ressonância magnética nuclear (porosidade total e seu particionamento em valores de micro, meso e macroporosidade, e saturação de água irredutível) de cinco amostras de Coquinas provenientes de afloramento da Formação Morro do Chaves (Bacia de Sergipe-Alagoas) extraídas com simetria vertical. A análise destes dados permitiu a correlação entre os pares permoporosos e a resistividade, evidenciando o efeito das relações permoporosas no fluxo de corrente elétrica, e entre a distribuição percentual do espaço poroso (micro – valores percentuais inferiores a 3,8% , meso – valores percentuais entre 7,9 e 24,8%, e macroporosidade – valores percentuais superiores a 71,5%) com a permeabilidade e a saturação de água irredutível, indicando forte efeito da mesoporosidade no aumento dos valores observados para aqueles parâmetros. Ainda, dentro do processo de análise, foi possível determinar o comportamento espacial das grandezas analisadas em relação ao afloramento.

Palavras-Chaves: Coquinas; Formação Morro do Chaves; Ressonância Magnética Nuclear

Abstract

The economic viability analysis of a possible petroleum reservoir is based on the knowledge about its petrophysical properties, especially the porosity and its relationship with other properties, such as permeability and resistivity. In carbonate systems, the porosity presents a high degree of heterogeneity, which affects other quantities associated with it. In the present work, data of electrical resistivity, permeability, porosity by nuclear magnetic resonance (total porosity and its partitioning in micro, meso and macroporosity values, and irreducible water saturation) of five samples of Coquinas from the Morro do Chaves Formation (Sergipe-Alagoas Basin) extracted with vertical symmetry. The analysis of these data allowed the correlation between the permopororous pairs and the resistivity, evidencing the effect of the permopororous relations in the electric current flow, and between the percentage distribution of the porous space (micro - percentage values lower than 3.8%, meso - percentage values between 7.9 and 24.8%, and macroporosity, with percentage values higher than 71.5%) with permeability and irreducible water saturation, indicating a strong effect of mesoporosity on the observed values for those parameters. Also, within the analysis process, it was possible to determine the spatial behavior of the analyzed quantities in relation to the outcrop.

Keywords: Coquinas; Morro do Chaves Formation; Nuclear Magnetic Resonance

1 Introdução

Em um processo exploratório, torna-se necessária a integração de diversos segmentos das ciências geológicas, como a estratigrafia, a geofísica, a geoquímica e a geomecânica, entre outros, visando obter um cenário o mais realístico possível de um reservatório, minimizando as incertezas associadas (Tiab & Donaldson, 2012).

Dentro deste objetivo, os reservatórios de origem carbonática se mostram extremamente desafiadores, pois, devido a seu processo deposicional e evolutivo (Lucia, 2007; Ulmer-Scholle & Scholle, 2003) apresentam alto grau de heterogeneidade em suas propriedades químicas e petrofísicas.

Desta forma, no presente trabalho, serão analisadas as relações entre as propriedades do espaço poroso (e sua distribuição em termos de

micro, meso e macroporosidade) com outras grandezas de interesse em processos exploratórios, como a permeabilidade, a resistividade elétrica e a saturação de água irredutível (sintetizando assim resultados de trabalhos anteriores), de cinco amostras de Coquinas obtidas em simetria vertical de uma porção aflorante da Formação Morro do Chaves, localizada na Bacia Sergipe-Alagoas (Câmara 2013; Feijó & Pereira, 1994).

2 Material e Método

No presente trabalho serão analisadas cinco amostras de Coquinas obtidas em um afloramento da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas, localizado na Mina São Sebastião, Município de São Miguel dos Campos, Alagoas (Figura 1).

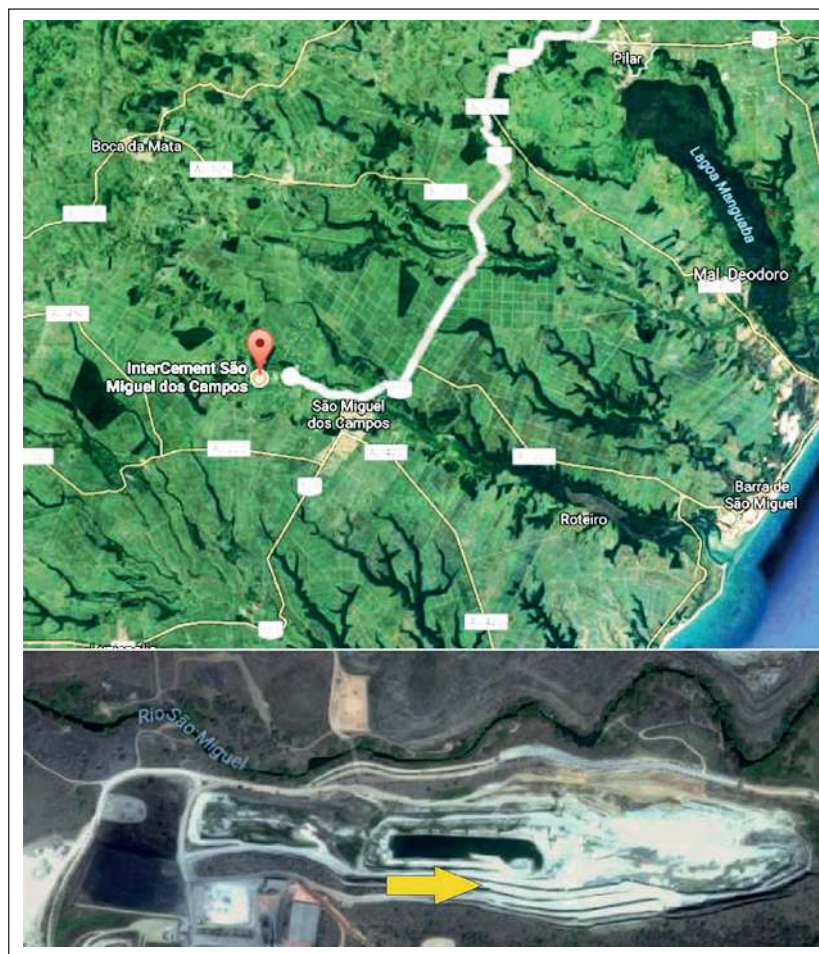


Figura 1 Localização da Mina São Sebastião, São Miguel dos Campos, com indicativo em amarelo da posição do afloramento fonte das amostras – AL. Fotos obtidas no Google Maps.

Na Figura 2 é possível observar o afloramento da Formação Morro do Chaves, localizado na pedra Atol, com detalhamento da camada B2B e do ponto de extração, com a indicação da posição de cada amostra analisada neste trabalho. As posições relativas das amostras, tendo como referencial a amostra 4.5A, são listados na Tabela 1.

Amostra	4.1A	4.2A	4.3A	4.4A	4.5A
x (cm)	6	3	2,5	7,5	0
y (cm)	-105,4	-82,2	-65,5	-45,4	0

Tabela 1 Posições relativas das amostras tendo como referencial a amostra 4.5A.

Tanto o processo de limpeza das amostras, quanto a aquisição dos dados analisados no presente trabalho foram realizados nos laboratórios do centro de pesquisas da empresa Schlumberger no Brasil (BRGC), em regime de colaboração científica com o Laboratório de Geofísica e Petrofísica (LAGEP) da Universidade Federal do Rio de Janeiro. As etapas de preparação e aquisição dos dados encontram-se descritas detalhadamente em Luna *et al.* (2016).

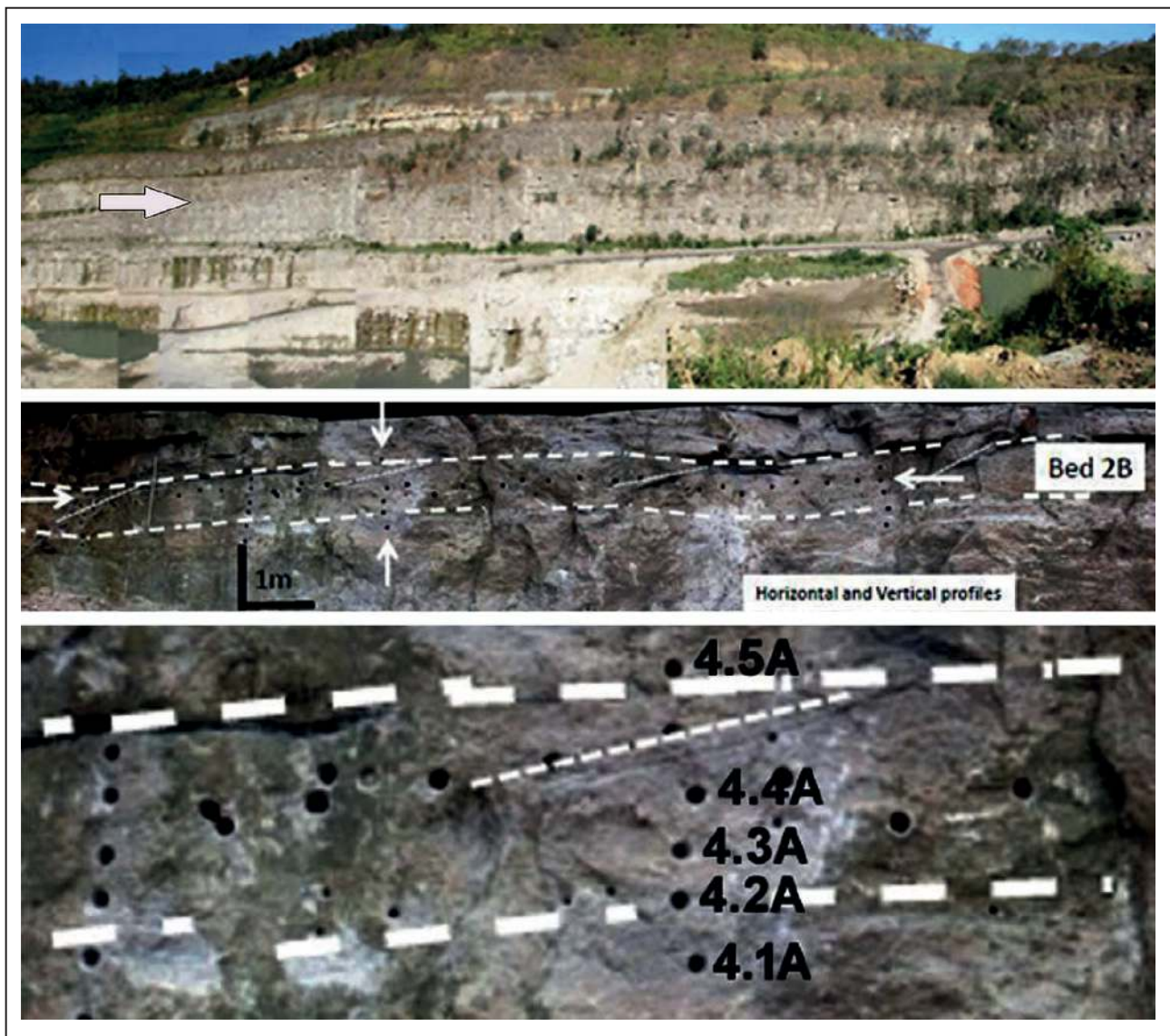


Figura 2 Imagem do afloramento, com detalhes da camada B2B e da zona de extração das cinco amostras da sequência 4. Fotos cedidas por Patrick W. M. Corbett - Heriot-Watt University.

3 Porosidade e Distribuição de Tamanho de Poros

No presente trabalho, a técnica de ressonância magnética nuclear (RMN) foi empregada para a determinação da porosidade e da distribuição de tamanho de poros (sendo estes dados comparados à porosidade a gás apresentada em Luna *et al.* (2016) para efeito de controle e correlação). Para isto, foram medidas as distribuições do tempo de relaxação transversal (T_2) e o parâmetro relaxatividade superficial (ρ_2), calculados dos mapas de correlação entre coeficiente de autodifusão translacional e T_2 ($D-T_2$). Detalhes dos experimentos, aquisições e processamentos estão descritos em Souza *et al.* (2013) e Luna *et al.* (2016). Segundo Machado *et al.* (2011) a equação que descreve a relação entre o tempo de relaxação T_2 e o tamanho de poro é dada por (1):

$$\frac{1}{T_2} = \rho_2 \frac{S}{V} \quad (1)$$

na qual ρ_2 é a relaxatividade superficial e S/V é a razão superfície-volume dos poros. A estimativa do tamanho dos poros pode ser obtida convertendo-se o termo S/V para o caso específico de poros esféricos, resultando em $S/V = 3/r$, sendo r o raio dos poros (dado em μm). Com a determinação de ρ_2 , as distribuições de T_2 foram convertidas para tamanho de poros via raio esférico (r), fornecendo desta forma não somente a porosidade, mas também a sua divisão em termos de microporosidade (raios inferiores a $0,5 \mu\text{m}$), mesoporosidade (raios entre $0,5 \mu\text{m}$ e $5 \mu\text{m}$) e macroporosidade (raios superiores a $5 \mu\text{m}$).

No presente caso, a representação gráfica da porosidade em função do raio dos poros, mostrada na Figura 3, permite o seu particionamento em intervalos de micro, meso e macroporosidade. A

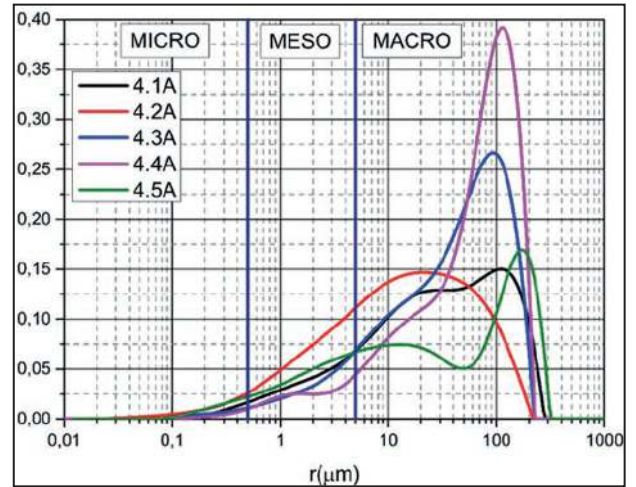


Figura 3 Distribuições de tamanho de poros obtidas por RMN, com particionamento das zonas de micro, meso e macroporosidades.

Tabela 2 lista os valores obtidos de porosidade total por RMN, micro, meso e macroporosidade (e seus percentuais em relação a porosidade total), e os valores de relaxatividade superficial.

Pode-se observar por meio destes resultados a predominância de macroporosidade (acima de 70% da porosidade total) em todas as amostras, seguido da mesoporosidade (entre 10% e 25% da porosidade total) e pouca contribuição da microporosidade (com percentual inferior a 3,5% da porosidade total). Nota-se ainda a grande variação da porosidade, que apresenta valores entre 10,5% e 16,4%, ou seja, uma variação de aproximadamente 56% entre o menor e maior valor observado no conjunto de amostras.

Os valores de porosidade em relação a profundidade de extração no afloramento podem ser observados na Figura 4.

Graficamente, pode ser observado um decréscimo da porosidade pela profundidade

AMOSTRA	ϕ_{RMN} (%)	ϕ_{MICRO} (%)	ϕ_{MESO} (%)	ϕ_{MACRO} (%)	Micro (%)	Meso (%)	Macro (%)	ρ_2 ($\mu\text{m/s}$)
4.1A	12,5	0,2	2,0	10,3	1,6	16,0	82,4	38,7
4.2A	13,7	0,5	3,4	9,8	3,7	24,8	71,5	37,1
4.3A	15,2	0,2	1,7	13,3	1,3	11,2	87,5	29,8
4.4A	16,4	0,1	1,3	15,0	0,6	7,9	91,5	33,5
4.5A	10,5	0,4	2,3	7,8	3,8	21,9	74,3	39,7

Tabela 2 Porosidade por RMN total (ϕ_{RMN}) e seu particionamento em micro (ϕ_{MICRO}), meso (ϕ_{MESO}), macro (ϕ_{MACRO}), contribuições percentuais de micro, meso e macroporosidades e relaxatividade superficial (ρ_2).

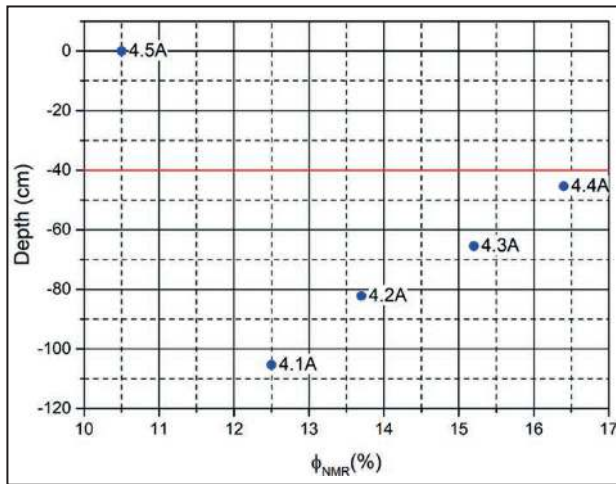


Figura 4 Porosidade por RMN em função da profundidade, tendo a amostra 4.5A como referencial zero.

abaixo dos -40 cm, sendo ainda notada uma grande divergência de valores entre as amostras 4.5A e 4.4A, sendo estes os dois extremos de porosidade observados no sistema.

Ainda, na análise do espaço poroso, a técnica de RMN permite a estimativa do volume de água irredutível ($S_{w,irr}$). No presente trabalho foi adotado o método de “ T_2 de corte”, no qual a distribuição é dividida em duas zonas, a zona de água irredutível (*bulk volume of irreducible water* – BVI), caracterizada por valores de T_2 inferiores a 92 ms, e a zona de água móvel (*bulk volume of movable water* – BVM), com T_2 superiores a 92 ms. A saturação de água irredutível ($S_{w,irr}$) será dada pela seguinte expressão (Coates *et al.*, 1999):

$$S_{w,irr} = \frac{BVI}{BVI + BVM} = \frac{BVI}{\phi_{RMN}} \quad (2)$$

A Figura 5 apresenta a aplicação do T_2 de corte igual a 92 ms nas distribuições de T_2 para cada amostra estudada.

Os valores de saturação de água irredutível obtidos estão apresentados na Tabela 3, juntamente com o raio de corte equivalente (r_{corte}), obtido pela multiplicação do T_2 de corte de 92 ms pela respectiva relaxatividade superficial (ρ_2) e pelo fator geométrico esférico (3). Este valor representa uma estimativa mais acurada do tamanho de poro que separa as duas regiões de interesse.

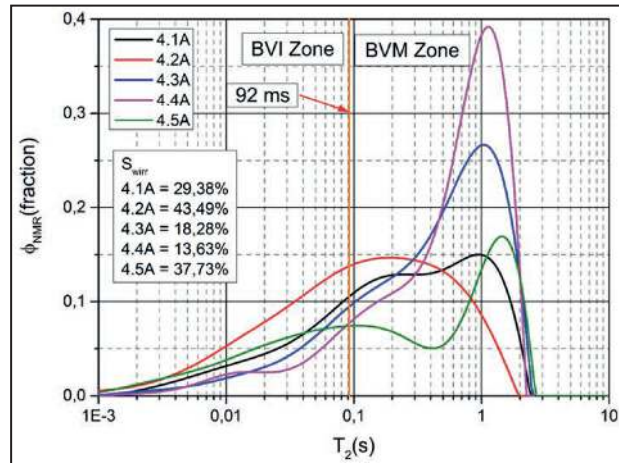


Figura 5 Distribuições de T_2 das amostras divididas pelo T_2 de corte igual a 92 ms, que separa a porosidade em duas zonas: BVI, que caracteriza a fração de fluido irredutível, e BVM, que caracteriza a fração de fluido móvel.

Amostra	$S_{w,irr}$ (%)	r_{corte} (μm)
4.1A	29,38	3,56
4.2A	43,49	3,41
4.3A	18,28	2,74
4.4A	13,63	3,08
4.5A	37,73	3,65

Tabela 3 Saturação Irredutível de Água obtida por meio do T_2 de corte igual a 92 ms, e raio de corte obtido pela multiplicação desta pela respectiva relaxatividade superficial.

Nota-se que a $S_{w,irr}$ apresenta uma grande variação, com valores no intervalo de 13,6% a 43,5% aproximadamente, sendo os maiores valores pertencentes as amostras 4.2A e 4.5A. A relação entre $S_{w,irr}$ e frações de micro e mesoporosidades pode ser observada no gráfico da Figura 6.

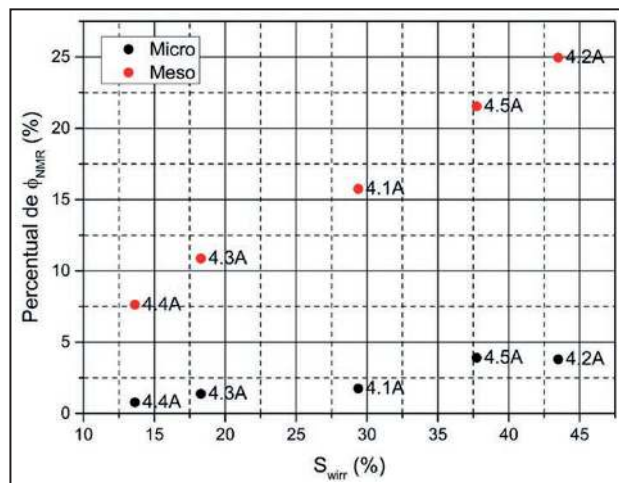


Figura 6 Gráfico de $S_{w,irr}$ versus percentual de ϕ_{RMN} para as frações de microporosidade (preto) e mesoporosidade (vermelho). Nota-se a baixa influência da microporosidade na $S_{w,irr}$.

A análise deste gráfico permite observar a pouca variação da S_{wirr} com o crescimento do percentual de microporosidade, o qual apresenta um comportamento próximo a constante; também, nota-se uma ótima correlação linear entre S_{wirr} e o percentual de mesoporosidade. Com a pouca influência da microporosidade na porosidade total, o crescimento do percentual de mesoporosidade implica diretamente no decréscimo do percentual de macroporosidade e consequentemente, na maior probabilidade de poros com características (raios) capazes de impedir o fluxo de fluidos. Ao se comparar os dois extremos, ou seja, as amostras 4.4A e 4.2A, nota-se que os valores de raios de poros associados ao S_{wirr} são semelhantes (2,74 e 3,65 μm , respectivamente), porém, os percentuais de mesoporosidade são bastante discrepantes (7,63% e 24,96% respectivamente), sendo este fator, portanto, crucial para elucidar a dependência vista no gráfico da Figura 6.

4 Permeabilidade

Esta grandeza foi obtida pelo método de expansão a gás (Luna *et al.*, 2016), sendo os valores apresentados na Tabela 4. Em termos de heterogeneidade do sistema, esta grandeza apresentou a maior variação, sendo observados valores entre 20 mD e 600 mD, representando uma variação percentual de aproximadamente 300%.

Amostra	ϕ_{RMN} (%)	k_G (mD)
4.1A	12,6	80,50
4.2A	13,7	20,62
4.3A	15,2	597,62
4.4A	16,4	393,75
4.5A	10,5	34,13

Tabela 4 Valores de permeabilidade (correção Klinkenberg) e porosidade RMN.

A Figura 7 mostra a variação da permeabilidade em função da profundidade, na qual pode-se observar que a zona aproximada entre -40 cm e -70 cm, (corresponde as amostras 4.3A e 4.4A) apresenta a melhor permeabilidade do conjunto, com características adequadas a processos explotatórios.

A permeabilidade, sendo uma propriedade associada às interconexões entre os componentes

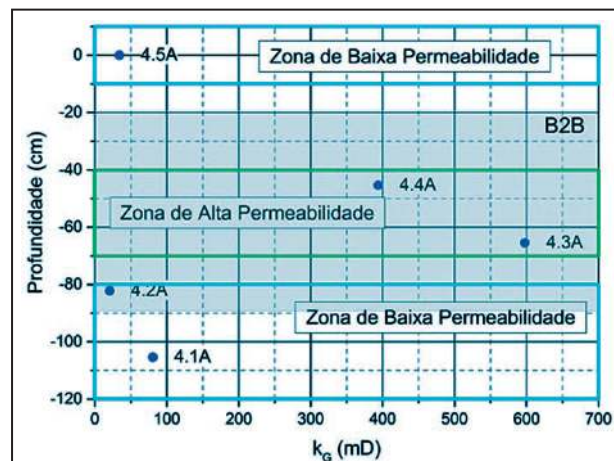


Figura 7 Permeabilidade a gás (k_G) pela profundidade, tendo a amostra 4.5A o papel de referencial zero.

do espaço poroso, será diretamente afetada pela distribuição deste. Assim, um gráfico dos percentuais de micro e mesoporosidades em função de k_G foi construído, o qual está mostrado na Figura 8. A quantidade de macroporosidade, associada a poros de grande escala, presença de vugos e possível porosidade móldica, não deve conter significativa quantidade de estruturas diretamente envolvidas na construção destas interconexões (Luna *et al.*, 2016).

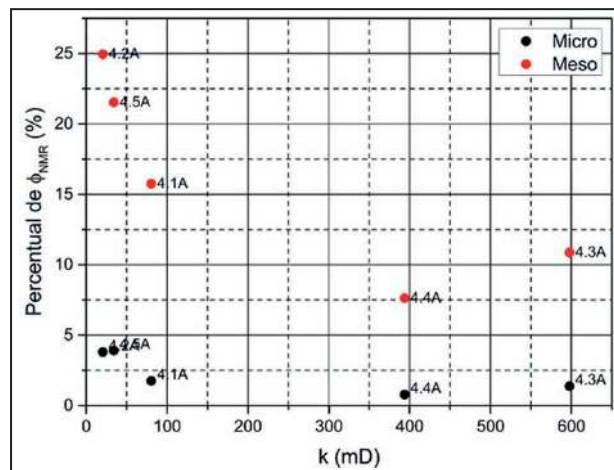


Figura 8 Gráfico de k_G versus as frações percentuais de microporosidade (em preto) e mesoporosidade (em vermelho). Nota-se a baixa influência da microporosidade na permeabilidade.

Na Figura 8, observa-se que o percentual de microporosidade possui pouca influência na variação da permeabilidade, para todas as amostras, seguindo os resultados encontrados para a variação

do parâmetro Sw_{irr} . No entanto, uma clara correlação pôde ser vista para os dados de mesoporosidade. O percentual desta fração é maior para as amostras 4.1A, 4.2A e 4.5A, neste ponto, deve-se notar que estas amostras apresentam as menores quantidades de macroporosidade, o que acarreta no crescimento da contribuição percentual da mesoporosidade. O principal ponto a ser observado neste gráfico é a relação entre as amostras 4.3A e 4.4A. Observa-se que a amostra 4.3A possui uma quantidade de mesoporosidade maior e permeabilidade aproximadamente 200 mD superior quando comparada a amostra 4.4A. Este resultado mostra que o particionamento da porosidade tal como mostrado não é suficiente para explicar a variação na permeabilidade das amostras 4.3A e 4.4A. Certamente, a interconectividade dessas partições atua de forma decisiva na condução dos fluidos através das amostras, sendo esta portanto uma das informações cruciais para explicar a variação encontrada. À parte disto, considerar somente a quantificação das frações, tal como foi mostrado na Figura 8, pode ser considerado bastante satisfatório para explicar a variação da permeabilidade de todo o conjunto de amostras estudado.

5 Resistividade Elétrica

Sabe-se que a corrente elétrica necessita de um caminho favorável para o seu percurso (Griffiths, 1999). Para o caso de material geológico, desconsiderando a presença de elementos condutores na matriz, este caminho será composto pelos poros preenchidos por fluidos condutores (salmoura) e suas interconexões (Schön, 2015; Lima, 2014; Fleury, 2002). Desta forma, a análise da resistividade obtida para as amostras da série 4A será discutida em termos de distribuição espacial e correlação com as propriedades permoporosas. A Tabela 5 apresenta os valores de resistividade elétrica da série 4A, juntamente com suas posições relativas no afloramento.

Ao se observar a Tabela 5, percebe-se claramente a presença de três zonas eletricamente distintas em função da profundidade. Uma zona com resistividade de aproximadamente 9,6 ohm-m próxima a amostra 4.5A, uma zona de resistividade

Amostra	x (cm)	y (cm)	ρ_a (ohm-m)
4.5A	0	0	9,62
4.4A	7,5	-45,4	4,91
4.3A	2,5	-65,5	4,83
4.2A	3	-82,2	6,19
4.1A	6	-105,4	6,75

Tabela 5 Posições relativas das amostras e suas resistividades elétrica.

de aproximadamente 5 ohm-m englobando as amostras 4.4A e 4.3A, e uma zona de resistividades aproximadas entre 6-7 ohm-m na região que engloba as amostras 4.2A e 4.1A. Graficamente, isto pode ser observado na Figura 9.

Graficamente, pode-se observar as relações entre os valores de resistividade obtidos e as propriedades permoporosas, conforme apresentado na Figura 10.

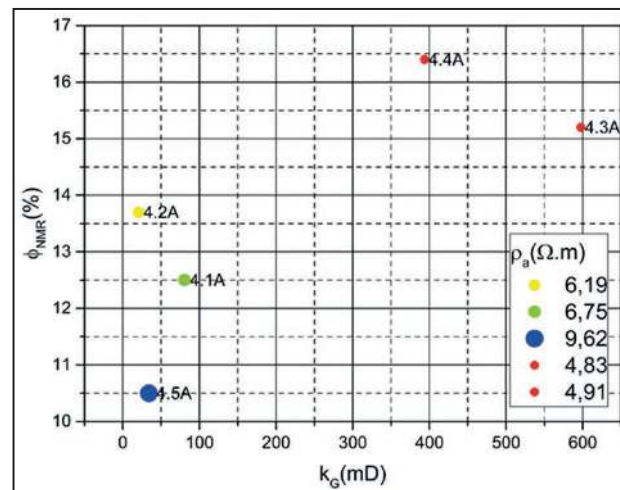


Figura 10 Gráfico k_G - ϕ_{RMN} , com valores de resistividade (proporcionais ao tamanho e cor das esferas), onde é possível observar as relações entre estas grandezas.

Visualmente, nota-se que a amostra 4.5A, a mais resistiva do conjunto, possui os menores valores de k_G e ϕ_{RMN} do conjunto, indicando um caminho menos favorável geometricamente para o fluxo de corrente.

Para o grupo 3, formado pelas amostras 4.1A e 4.2A, observa-se uma pequena diferença nos valores de resistividade (aproximadamente 0,6 ohm-m). Ao ser comparada com a amostra 4.1A, a amostra 4.2A apresenta um valor de porosidade aproximadamente

10% maior, de permeabilidade aproximadamente 400% menor e maiores percentuais de micro e mesoporosidade. Esta pequena diferença nas porosidades efetivas, associada ao maior quantitativo de mesoporosidade, pode ser o fator de compensação da baixa permeabilidade do ponto de vista elétrico, gerando caminhos eletricamente mais favoráveis para o fluxo de corrente.

As amostras do grupo 2, 4.3A e 4.4A, evidenciam a importância da permeabilidade na resistividade, uma vez que a amostra 4.4A apresenta maior porosidade e resistividade em relação a amostra 4.3A, menos porosa porém muito mais permeável. Nota-se, neste caso, que a diferença entre porosidades efetivas é pequena, sendo a porosidade da amostra 4.4A cerca de 8% maior e sua permeabilidade 150% menor quando comparada a amostra 4.3A.

Desta forma, nota-se que para os dois pares discutidos, a influência do equilíbrio entre as relações permoporosas e a estrutura do espaço poroso é uma informação valiosa e crucial para explicar os resultados de resistividade elétrica obtidos nas amostras de Coquinas estudadas.

6 Conclusões

Em termos gerais, foi observado alto grau de heterogeneidade (e de representatividade em termos da camada B2B do afloramento, conforme Luna *et al.* (2016) e Câmara (2013)) do conjunto de amostras da série 4A, com uma variação da porosidade efetiva entre 10,5% e 16,4% (diferença percentual de aproximadamente 150%), da permeabilidade a gás entre 20,6 mD e 597,6 mD (diferença percentual de aproximadamente 2.900%) e da resistividade elétrica no intervalo de 4,83 ohm-m a 9,62 ohm-m (diferença percentual de aproximadamente 200%).

As análises dos dados de RMN indicaram predominância de macroporosidade em todo o conjunto de amostras (acima de 70%), seguida pela mesoporosidade (valores entre 7 e 25%) e baixa incidência de microporosidade (valores inferiores a 4%). Ainda, por meio desta análise, foi possível estimar os valores de saturação de água irredutível,

os quais apresentaram valores compreendidos entre 13 e 44%, sendo os valores diretamente relacionados ao percentual de mesoporosidade das amostras (maior percentual de mesoporosidade, maior saturação irredutível), tendo pouca influência da variação da microporosidade.

O principal ponto relacionado a permeabilidade foi verificado para as amostras com características permoporosas compatíveis a possíveis reservatórios. Nestas amostras, foi observada uma possível relação entre a permeabilidade e a quantidade de mesoporosidade.

A resistividade elétrica apresentou boa concordância com as propriedades permoporosas, sendo possível observar indicativos do equilíbrio destas relações com os valores de resistividade medidos.

Na análise espacial das propriedades petrofísicas, foi observada a presença de 3 zonas de permeabilidade bem definidas, sendo uma central de alta permeabilidade (valores superiores a 300 mD) e duas de baixa permeabilidade (valores inferiores a 100 mD). Do ponto de vista elétrico foram observadas 3 zonas distintas, com valores aproximados de 10, 5 e 7 ohm-m. A porosidade, de forma geral, apresentou decréscimo com a profundidade.

7 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a: PRH-18 pela bolsa de doutorado; PRH-234 pelo suporte técnico e científico; BRGC/Schlumberger pela realização das medidas petrofísicas; CIMPOR Cimentos do Brasil Ltda. (CCB) por proporcionar o acesso ao afloramento; e aos laboratórios LAGEP e LAGESED da UFRJ pelo suporte.

Este trabalho foi realizado durante o projeto SACL (Sergipe-Alagoas Carbonate Laboratory), registrado na Fundação COPPETEC IGEO 15981 como “Análise geológica sedimentar de sucessões carbonáticas cretácias em uma bacia sedimentar brasileira” (UFRJ / BG Brasil / ANP) financiado pela BG Brasil sob a cobrança de P&D da ANP como “Compromisso de Investimentos com Pesquisa e Desenvolvimento”.

8 Referências

- Câmara, R.N. 2013. *Caracterização petrofísica de coquinas da formação Morro do Chaves (barremiano/apitiano), intervalo pré-sal da bacia de Sergipe-Alagoas*. Rio de Janeiro: Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação Mestrado, 112p.
- Coates, G.R.; Xiao, L. & Prammer, M.G. 1999. *NMR Logging: Principles and Applications*. Halliburton Energy Services, Houston, 234 p.
- Feijó, F.J. & Pereira, M.J. 1994. Bacia de Sergipe-Alagoas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(1): 149-161.
- Fleury, M. 2002. Resistivity in Carbonates: New Insights. In: *SPE annual technical conference and exhibition*, Midland, Texas, 2002.
- Griffiths, D. J. 1999. *Introduction to Electrodynamics*, Third Edition. New Jersey, USA, Prentice Hall, 576p.
- Lima, O. A. L. 2014. *Propriedades Físicas das Rochas – Bases da Geofísica Aplicada*. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geofísica, 342p.
- Lucia, F.J. 2007. *Carbonate Reservoir Characterization – An Integrated Approach*, Second Edition. Berlin, Springer, 336p.
- Luna, J. L.; Perosi, F. A.; Ribeiro, M.G.S.; Souza, A.; Boyd, A.; Borghi, L. & Corbett, P., 2016. Petrophysical Rock Typing of Coquinas from the Morro do Chaves Formation, Sergipe-Alagoas Basin (Northeast Brazil). *Revista Brasileira de Geofísica*, 34(4): 2-14.
- Machado, V.; Frederico, P.; Netto, P.; Bagueira, R.; Boyd, A.; Souza, A.; Zielinski, L. & Junk, E. 2011. Carbonate Petrophysics in Wells Drilled with Oil-Base Mud. In: *SPWLA 52nd annual logging symposium*, Colorado Spring, May 14-18.
- Scholle, P.A. & Ulmer-Scholle, D.S. 2003. A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, Diagenesis. Tulsa, OK, *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 77, 474 p.
- Schön, J.H. 2015. *Physical Properties of Rocks, Fundamental and Principles of Petrophysics*. 2nd Edition, Oxford: Elsevier Science Ltd. 583 p.
- Souza, A.; Carneiro, G.; Zielinski, L.; Polinski, R.; Schwartz, L.; Hürlimann, M. D.; Boyd, A.; Rios, E.H.; Santos, B.C.C.; Trevizan, W.A.; Machado, V.F. & Azeredo, R.B.V. 2013. Permeability Prediction Improvement Using 2D NMR Diffusion-T2 Maps. In: *SPWLA 54th annual logging symposium*, New Orleans, Louisiana, June 22-26.
- Tiab, D. & Donaldson, E.C. 2012. *Petrophysics – Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluids Transport Properties*, Third Edition. Elsevier, 976 p.