

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de P&D em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE FOLHELHOS NEGROS DA BACIA DO ARARIPE
ATRAVÉS DE ANÁLISES DE IMAGENS OBTIDAS POR NANOTOMOGRAFIA

AUTORES:

Caroline Henrique Dias¹; José Agnelo Soares²; Luiz Landau¹; Isis Rodrigues²; Alyne Duarte Vidal³

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio de Janeiro- COPPE/UFRJ¹; Universidade Federal de Campina Grande-
UFCG²; Universidade Estadual do Rio de Janeiro- UERJ³

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE FOLHELHOS NEGROS DA BACIA DO ARARIPE ATRAVÉS DE ANÁLISES DE IMAGENS OBTIDAS POR NANOTOMOGRAFIA

Abstract

Petrophysical properties, especially the elastodynamic properties, are influenced by several factors such as the composition and mineral arrangement, porosity, density, cementation, type and saturation of fluids within the porous space, besides other factors such as temperature and deformation intensity (Dobrin 1976, Thomas 2000, among others). It is important the characterization of these variables because it is possible to understand how these variables could influence the elastic properties of the rock, reducing the exploratory risks of a sedimentary basin. The present work aims to characterize the mineral of black shale of Araripe Basin, through X - ray nanotomography image analysis. Based on the methodology proposed in this work, it is possible to generate applicable interpretative models to prospect non-conventional reservoirs, through future works.

Introdução

A Bacia do Araripe está localizada no Nordeste do Brasil, entre os lineamentos de Patos e Pernambuco. É uma extensa bacia interior dominada pela Chapada do Araripe e que também compreende a região do Vale do Cariri. Seus limites se estendem pelos estados do Ceará, Piauí, Pernambuco e Paraíba numa área de aproximadamente 10.000 km²

Os folhelhos negros do Araripe correspondem a laminitos negros depositados em ambiente redutor no interior de lagos. Neumann et al (2003) mostraram que os folhelhos negros exibem teores variados de carbonatos e teores de carbono orgânico entre 5% e 19%. Esta fácies contém abundante matéria orgânica derivada de bactérias e algas e encontrada na forma de lamalginita bem a pobremamente preservada. Lamalginita é um componente orgânico tipicamente encontrado em depósitos lacustres ricos em matéria orgânica. O estudo da maturidade da matéria orgânica das sequências lacustres Aptiana–Albiana da Bacia do Araripe mostra um grau de maturidade muito baixo para a geração de óleo. A matéria orgânica dos folhelhos negros se mostrou rica em hidrogênio e com valores nulos de reflectância.

O entendimento mais apurado sobre a composição mineralógica dos folhelhos se faz necessário, visto que a literatura disponível ainda é insuficiente, e a presença de folhelhos em larga escala nas bacias sedimentares ainda é vista como risco para a interpretação geofísica. Com isso, o objetivo deste trabalho é realizar uma caracterização mineralógica de folhelhos negros, provindos da Bacia do Araripe, utilizando para tal a análise de imagens provindas da técnica de nanotomografia.

Metodologia

Em trabalho de campo foram coletadas 21 amostras de folhelho negro da formação Crato em um afloramento localizado na Mina Pedra Branca, entre as cidades de Nova Olinda e Santana do Cariri, Ceará, coordenadas 9211920 N e 0420465 E, com elevação de 534 metros. As amostras verticais foram extraídas de blocos disponíveis na frente de lavra, enquanto que as amostras horizontais foram extraídas da parede vertical da frente de lavra. Dessas 21 amostras foi realizado o imageamento nanotomográfico de 2 delas, que foram nomeadas como MPB_01_01 e MPB_01_05, em referência a Mina Pedra Branca.

A partir das imagens obtidas utilizou-se o auxílio do software *Avizzo Fire* para gerar as informações da composição mineral. O procedimento, passo a passo, utilizado está descrito abaixo:

1. Carregar uma imagem representativa da rocha, a qual contém as várias frações minerais representadas por diversos tons de cinza;
2. Extrair um sub-volume da imagem para cada fração mineral observada, e a partir de um histograma, determina-se o intervalo e o valor médio de tom de cinza característico de cada fração mineral;
3. Em seguida, constrói-se um gráfico de dispersão, no qual são plotados os valores de tons de cinza médio e de densidade das frações minerais e poros conhecidos;
4. Ajusta-se uma função contínua de potência aos pontos do gráfico;
5. Para as frações minerais desconhecidas, por interpolação pela função ajuste de potência, determina-se a densidade;
6. De posse da densidade calculada através da função de potência, é pesquisado na literatura o mineral correspondente;
7. Por fim, para conhecer a percentagem de cada mineral que compõem a amostra, utiliza-se a ferramenta Multi-Thresholding para limiarizar cada fração mineral a partir dos intervalos de tons de cinza correspondente de cada fração e em seguida aplica-se a ferramenta Material Statistics, gerando uma tabela com o número de pixels correspondente ao espaço poroso e as frações minerais, a percentagem de cada fração mineral é dada pela razão entre o número de pixel de cada fração sobre o número total de pixels.

Resultados e Discussão

Foram obtidas imagens tomográficas com resolução de 64 nanômetros. Tal resolução permitiu a identificação da geometria de alguns minerais presentes, tanto os minerais essenciais quanto os acessórios, o que facilitou na caracterização mineralógica da amostra. Devido a este fator, a caracterização mineralógica na escala de nanômetro tende a ser mais precisa.

A Figura 1 apresenta o gráfico de densidade versus tom de cinza para a amostra MPB_01_01 (A), onde a partir dele é possível observar a função de ajuste não linear encontrada para a amostra analisada. Este gráfico auxiliaram na identificação dos minerais presentes nas amostras. Na Figura 1 também é possível observar em (B) o tomograma original, bem como em (C) as segmentações em fases realizadas na amostra MPB_01_01 na escala de nanômetros.

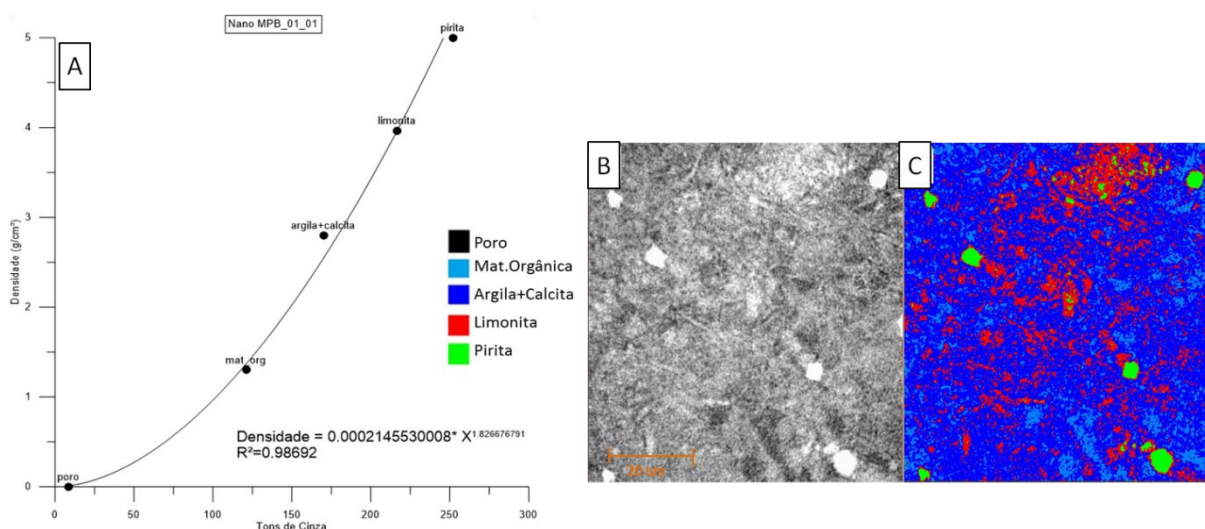


Figura 1: (A) Gráfico da nanotomografia que apresenta a função não linear de ajuste encontrada para a amostra MPB_01_01. (B) Tomograma original em escala nanométrica da amostra MPB_01_01. (C) Tomograma segmentado em termos de minerais presentes a partir dos diferentes tons de cinza verifica na amostra MPB_01_01.

A Figura 2 apresenta o gráfico de densidade versus tom de cinza para a amostra MPB_01_05 (A), onde a partir dele é possível observar a função de ajuste não linear encontrada para a amostra analisada. Este gráfico auxiliaram na identificação dos minerais presentes nas amostras. Na Figura 1 também é possível observar em (B) o tomograma original, bem como em (C) as segmentações em fases realizadas na amostra MPB_01_05 na escala de nanômetros.

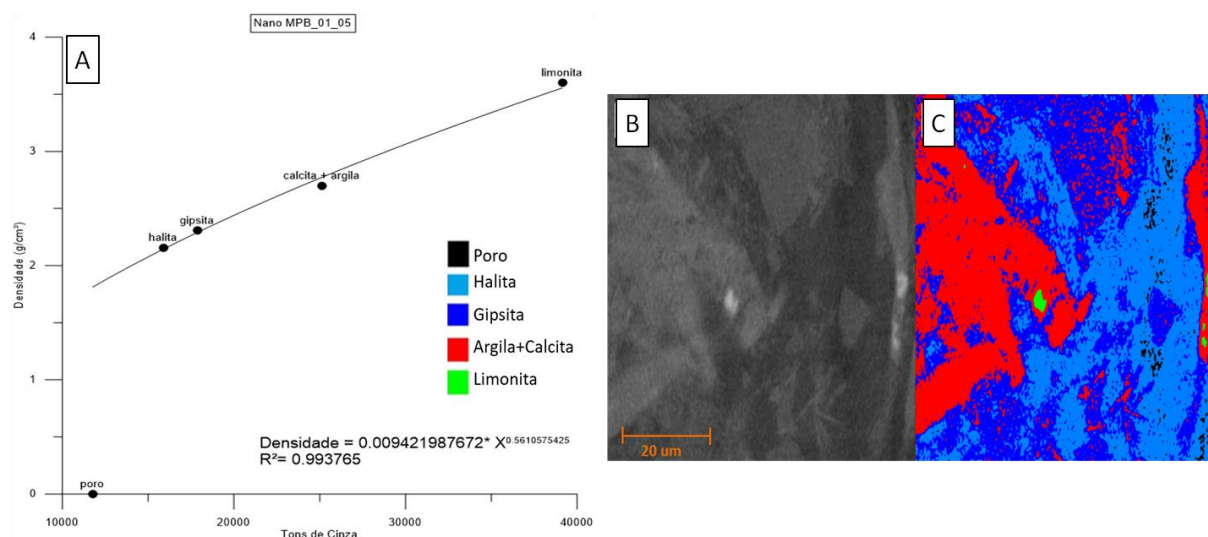


Figura 2: (A) Gráfico da nanotomografia que apresenta a função não linear de ajuste encontrada para a amostra MPB_01_05. (B) Tomograma original em escala nanométrica da amostra MPB_01_05. (C) Tomograma segmentado em termos de minerais presentes a partir dos diferentes tons de cinza verifica na amostra MPB_01_05.

A Tabela 1 apresenta as frações volumétricas em porcentagem para as fases minerais e poros presentes na amostra MPB_01_01, além das respectivas densidades total (ρ_b) e de grãos (ρ_g), resultantes do somatório dos produtos entre as frações volumétricas e suas respectivas densidades intrínsecas.

Tabela 1: Frações volumétricas para as fases minerais e poros presentes na amostra MPB_01_01, além das respectivas densidades total e de grãos estimadas por nanoCT MPB_01_01.

Fase	(%)	ρ_b (g/cm³)	ρ_g (g/cm³)
Poros	1,46	2,424	2,813
Matéria Orgânica	22,98		
Argila+Calcita	60,94		
Limonita	11,72		
Pirita	2,89		

No que se refere à amostra MPB_01_01, a identificação mineralógica foi facilitada devido à possibilidade de visualização da geometria de alguns dos minerais presentes. Foram identificadas cinco fases, que são elas: poros, matéria orgânica, argila associada à calcita, limonita e pirita.

A porosidade nanodigital desta amostra gira em torno de 1,5%, os valores de porosidade estimados são excessivamente pequenos, isto ocorre porque a amostra imageada por nanoCT possui dimensões inadequadas para ter todos os seus poros capturados nas imagens nanotomográficas. A Figura 3a, apresenta a estrutura 3D da amostra MPB_01_01 e a Figura 3b apresenta a porosidade presente nesta amostra destacada em azul.

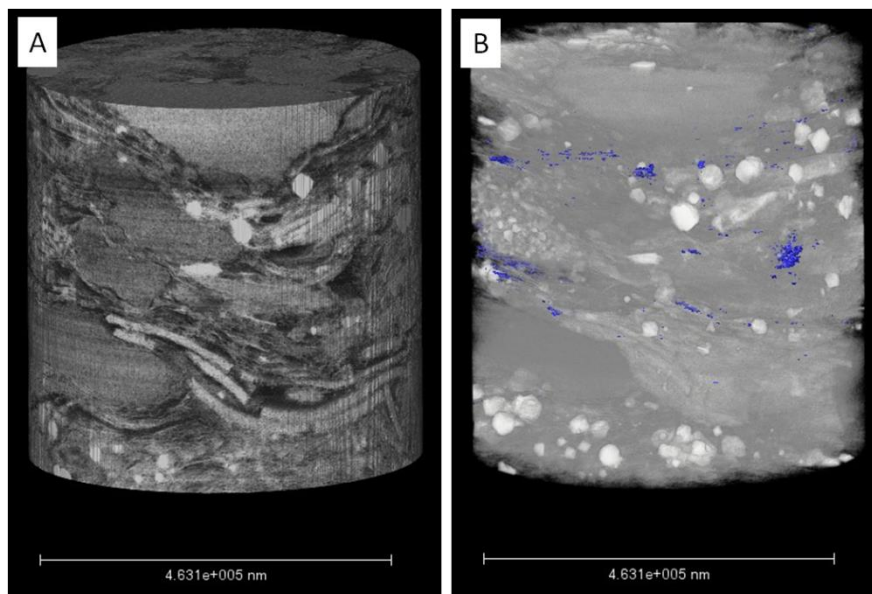


Figura 3: (A) Estrutura 3D da amostra MPB_01_01. (B) Porosidade presente na amostra MPB_01_01 destacada em azul.

Cerca de 23% da amostra contém matéria orgânica. Segundo Tourtelot (1979) folhelhos negros que possuem teores de matéria orgânica acima de 20% são considerados difíceis de ser encontrados. Tais valores influenciam diretamente no valor da densidade, visto que, a presença de teores elevados de matéria orgânica irá reduzir o valor da densidade, gerando uma densidade aparente. A Figura 4 apresenta a matéria orgânica, destacada em verde, associada aos poros apresentados na cor azul, presentes na amostra MPB_01_01.

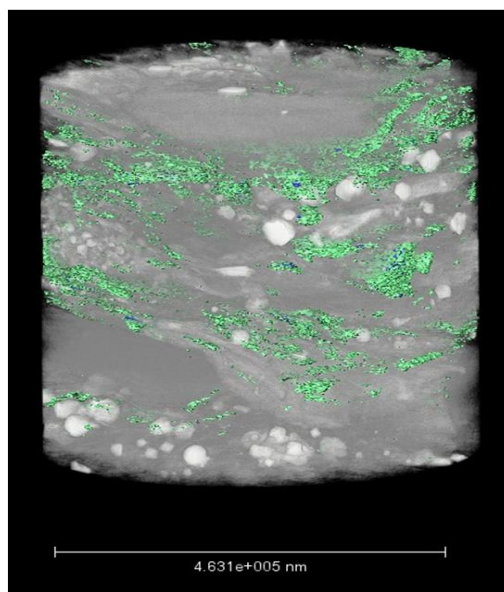


Figura 4: Fração de matéria orgânica, destacada em verde, associada ao poro, destacado em azul, presente na amostra MPB_01_01.

Como é de se esperar há um teor considerável de argila, cerca de 60%, onde esta argila está associada à calcita. Em geral, os argilominerais são os principais componentes dos folhelhos. Eles são típicos de ambientes de águas calmas, como lagos, onde também costumam se precipitar os componentes carbonáticos como a calcita. No entanto, a composição química e mineralógica dos argilominerais pode ser muito variada, uma vez que os mesmos podem derivar da cominuição física ou química de qualquer mineral pré-existente. Desse modo, a análise química desses argilominerais pode classificar essas argilas como sendo os minerais pré-existentes que deram origem a essas argilas.

A limonita está presente em cerca de 12% da amostra e a sua formação está associada a precipitação do ferro por algumas bactérias. Por fim, a pirita, que está presente em cerca de 3% da amostra, foi o mineral de mais fácil caracterização, pois foi possível identifica-lo a partir de sua geometria. A pirita possui uma geometria isométrica, mais comumente encontrada na forma de cubos octaédricos, pentagonais e dodecaédricos. Na Figura 5 é possível observar as piritas, em amarelo, presentes na amostra MPB_01_01, onde em vermelho, está destacada a geometria octaédrica das piritas presentes.

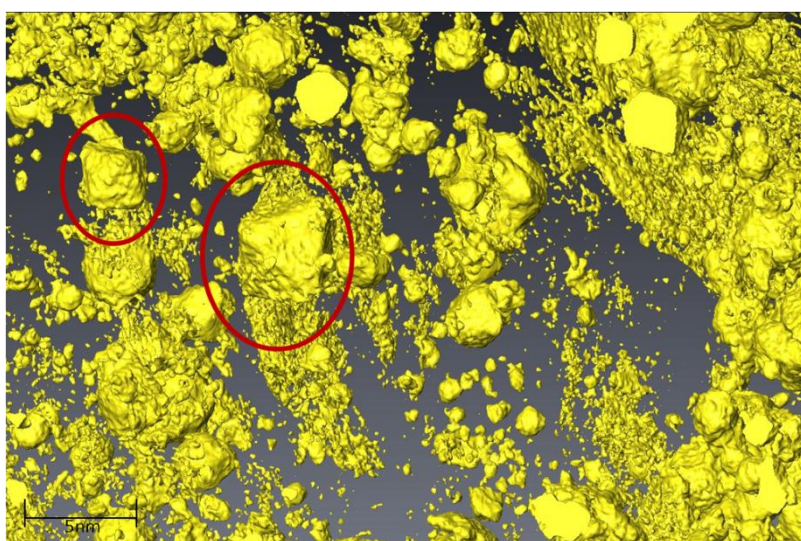


Figura 5: Piritas, em amarelo, presentes na amostra MPB_01_01, onde é possível verificar a geometria octaédrica destacada em vermelho.

Já para a amostra MPB_01_05 não foi realizada uma caracterização mineralógica por meio da geometria dos minerais, isto porque os minerais presentes nesta amostra não possuem uma geometria bem definida para esta resolução. A caracterização dos minerais se deu por meio das densidades apresentadas e sua forma de ocorrência.

A Tabela 2 apresenta as frações volumétricas em porcentagem para as fases minerais e poros presentes na amostra MPB_01_05, além das respectivas densidades total (ρ_b) e de grãos (ρ_g), resultantes do somatório dos produtos entre as frações volumétricas e suas respectivas densidades intrínsecas.

Tabela 2: Frações volumétricas para as fases minerais e poros presentes na amostra MPB_01_05, além das respectivas densidades total e de grãos estimadas por nanoCT.

Fase	(%)	ρ_b (g/cm³)	ρ_g (g/cm³)
Poro	0,40	2,472	2,482
Halita	19,39		
Gipsita	42,00		
Argila+Calcita	35,20		
Limonita	3,02		

A porosidade nanodigital da amostra MPB_01_05 é de 0,40%. Da mesma forma que na amostra anterior, esta baixa porosidade está associada ao fato da amostra imageada por nanoCT possuir dimensões inadequadas para ter todos os seus poros capturados. A Figura 6a, apresenta a estrutura 3D da amostra MPB_01_05 e a Figura 6b apresenta a porosidade presente nesta amostra destacada em azul.

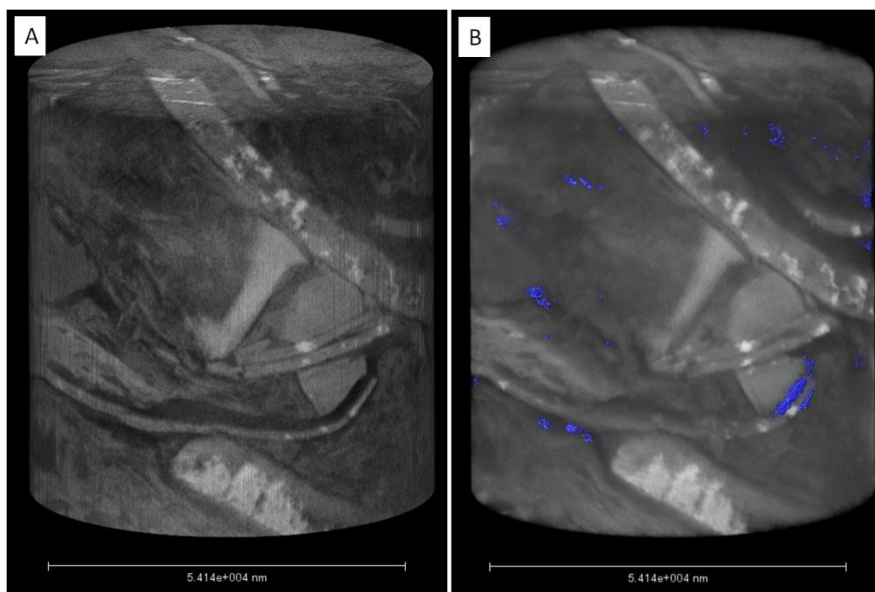


Figura 6: Estrutura 3D da amostra MPB_01_05 (A) Porosidade presente na amostra MPB_01_01 destacada em azul.

Foi identificado na amostra MPB_01_05 em torno de 19% de halita. Este mineral é bastante comum, e possui ocorrência na forma interestratificada com rochas sedimentares como o folhelho. A halita pode ser encontrada associada com a gipsita, como no caso dessa amostra.

A gipsita, por sua vez, foi identificada em 42% da amostra. Este mineral ocorre em corpos lenticulares ou cristais disseminados em argilas e folhelhos, e possui associação com minerais como halita e calcita, como foi observado na amostra MPB_01_05.

Tal qual a amostra anterior, a MPB_01_05 possui um teor de argila+calcita elevado, cerca de 35%. Esta proporção é esperada visto que os folhelhos são compostos boa parte por argila, contendo em sua composição frações variadas entre 15% e 100% (ABGE 1998).

Por fim, a limonita presente em cerca de 3% da amostra, tem sua formação associada a alteração de minerais de ferro preexistentes.

Conclusões

Os valores de porosidade estimados nas imagens nanotomográficas são excessivamente pequenos. Isto ocorre porque a amostra imageada por nanoCT possui dimensões inadequadas para ter todos os seus poros capturados nas imagens nanotomográficas.

As imagens com resolução de 64 nanômetros obtidas nessa técnica permitiu a identificação da geometria de alguns minerais presentes, como foi observado na amostra MPB_01_01. A pirita, presente em tal amostra, identificada a partir do seu hábito cristalino, facilitou a caracterização mineralógica da amostra. Devido a este fator, a caracterização mineralógica na escala de nanômetro tende a ser mais precisa. Tal comportamento não foi possível analisar na segunda amostra estudada.

Ainda com relação à amostra MPB_01_01, foi observado que os folhelhos negros possuem teores de matéria orgânica acima de 20%, visto isso, são considerados difíceis de ser encontrados. Tais valores influenciam diretamente no valor da densidade, visto que, a presença de teores elevados de matéria orgânica irá reduzir o valor da densidade, gerando uma densidade aparente.

Com relação aos teores de argila, ambas as amostras apresentaram valores elevados. Corroborando o fato que folhelhos são compostos boa parte por argila, contendo em sua composição frações variadas entre 15% e 100%.

Agradecimentos

Os autores agradem ao corpo técnico-administrativo dos laboratórios LAMCE e LAB2M da COPPE/UFRJ, bem como ao Laboratório de Petrofísica da UFCG pela oportunidade da realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

ABGE, 1998, "Geologia de Engenharia", Eds: OLIVEIRA, A. M. S., BRITO, S. N.A. São Paulo: ABGE, 576p.

DOBRIN, M. B., 1976, *Introduction to Geophysical Prospecting*. USA, McGraw-Hill, 3 ed., 630p.

NEUMANN, V. H., BORREGO, A. G., CABRERA, L., DINO, R., 2003, *Organic matter composition and distribution through the Aptian-Albian lacustrine sequences of the Araripe Basin, northeastern Brazil*. International Journal of Coal Geology, v. 54, pp. 21-40.

THOMAS, J. E., 2000, *Velocidades Sísmicas*. Universidade Petrobras, núcleo BA, Rio de Janeiro, 132p.

TOURTELOT, H. A., 1979, *Black shale- Its deposition and diagenesis*. U. S. Geological Survey. Clays and Clay Minerals, Denver, Colorado, v.27.