

Caracterização Geofísica das Amostras de Rocha do Campo de Tupi, Bacia de Santos

Palavras-Chave: Gamaespectrometria, Suscetibilidade Magnética, Carbonatos.

Autores:

PEDRO DIAS ANTUNES (IG/UNICAMP)

Prof. Dr. EMILSON PEREIRA LEITE (orientador) (IG/UNICAMP)

1. INTRODUÇÃO

Desde 2006, a descoberta de reservatório de hidrocarbonetos em rochas carbonáticas do pré-sal na Bacia de Santos, o ramo de exploração e produção de petróleo tomou rumos extraordinários, tornando-os como campos centrais de exploração de óleo e gás natural no âmbito nacional. Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP), em 2018 a produção média de barris a partir dos poços do pré-sal era em cerca de 17 mil, gerando dez vezes mais quando comparado as demais áreas de offshore do país. Em 2020, no que se refere ao pré-sal brasileiro, o campo chegou a gerar 2,7 milhões de barris de óleo por dia, representando cerca de 70% da produção.

Muitas dúvidas surgiram nas áreas de geologia e geofísica no que se refere aos reservatórios, tanto no imageamento do substrato profundo e processo evolutivo quanto na determinação das diferentes propriedades das rochas para suas caracterizações faciológicas. Regiões de reservatórios são extremamente variáveis em largura e espessura e propriedades geofísicas (Mello, 2020).

Mensurar a emissão de radiação gama e transformar a contagem radiométrica em concentração de elementos radioativos é um método geofísico muito utilizado há dezenas de anos na indústria de hidrocarbonetos, afim de mapear o conteúdo de elementos radioativos nas rochas, que por sua vez, estão associados à presença de certos tipos de minerais (Nilsen et al. 1987).

A medida da magnetização tem sido menos utilizada, mas alguns estudos demonstram a importância deste parâmetro para caracterização de reservatórios de hidrocarbonetos, principalmente por auxiliar na identificação de proporções de vários minerais da matriz da rocha e controladores de permeabilidade e na detecção de inconformidades e falhas nas sequências de rochas-reservatório (Pérez-Pérez et al., 2016).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar as rochas sedimentares de diferentes fácies provenientes do Campo Tupi, Bacia de Santos, a partir de medidas gamaespectrométricas e de suscetibilidade magnética de amostras de rocha do pré sal.

2. METODOLOGIA

O projeto consistiu em três etapas, sendo elas: i) aquisição dos dados de gamaespectrometria e suscetibilidade magnética das amostras, ii) tratamento e consolidação dos dados e, iii) interpretação dos resultados obtidos com base em descrições de fácies geológicas. A revisão bibliográfica está presente em todo o processo do projeto.

As amostras de rochas carbonáticas utilizadas e caracterizadas são provenientes do poço 9-RJ-660, localizado no Campo Tupi, Bacia de Santos, RJ, e pertencem à Petrobras, logo, elas são de domínio público. A caracterização contou com 88 plugues cilíndricos no total, os quais contemplam seis fácies distintas, sendo elas: grainstone, packstone, wackstone, spherulitic shrubstone/mudstone, muddy spherulitestone e mudstone.

A gamaespectrometria foi realizada com um espectrômetro portátil capaz de mensurar a radiação gama e obter as concentrações de K-40, U-238 e Th-232 dos plugues. O aparelho corresponde ao modelo RS-230 da Radial Solutions onde a medição de raios gama é realizada a partir de um detector de germanato de bismuto, emitindo centelhas de luz por meio de um cintilômetro (RSI, 2015).

As medidas foram realizadas a partir do contato superficial entre o equipamento e a amostra no “modo de ensaio”, para alta precisão, uma vez durante dois minutos, para que fosse obtida uma média da contagem de radiação emitida por segundo, proporcionando resultados

estatisticamente mais estáveis e confiáveis. Logo, a contagem de raios gama é convertido em concentrações de eU (Urânio “equivalente”), eTh (Tório “equivalente”) e K, sendo os dois primeiros medidos em parte por milhão (ppm) e o K em porcentagem (%).

Posteriormente, houve plotação dos dados derivados do método gamaespectrométrico em 3 gráficos diferentes para relacionar todos os parâmetros obtidos. Para cada fácies sedimentar utilizou-se a média das medidas, permitindo obter uma relação e os respectivos resultados.

A medição da suscetibilidade magnética (SM) foi feita com o equipamento KT-10 da Terraplus, também portátil. O suscetibilímetro magnético consiste num oscilador LC de 10 kHz com uma bobina indutiva, possuindo sensibilidade de seis casas decimais. Ademais, o funcionamento do equipamento é baseado nas Leis de Ampere e na de Faraday e foi calibrado com medições efetuadas sobre blocos de SM conhecidos.

A SM foi calculada a partir da medição da frequência de oscilação do circuito LC no ar livre (*background*) para, posteriormente, medir a frequência na superfície da amostra e, em seguida, novamente ao ar livre. O equipamento determina a suscetibilidade magnética do material a partir da diferença entre as frequências medidas no ar e na amostra. Foram realizadas dez medidas para cada amostra e a média e o desvio padrão dela foram registrados com intuito analisar estatisticamente as medidas.

Os dois equipamentos utilizados, o suscetibilímetro e o gamaespectrômetro, além dos blocos de calibração da susceptibilidade magnética,

foram disponibilizados pelo Laboratório de Geofísica do Instituto de Geociências (IG) da UNICAMP.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de gamaespectrometria foi feita com auxílio de gráficos para buscar correlações entre os teores de K, U e Th e as fácies geológicas (Figuras 1, 2 e 3)

No Figura 1, apresenta-se a média da concentração e a relação de K e U para cada fácies. É possível visualizar uma concentração não muito variável de K entre as fácies, com exceção do wackstone que possui uma concentração de 0,8%, destoando das demais. Nota-se também uma menor concentração de U nas fácies com maior quantidade de matriz presente.

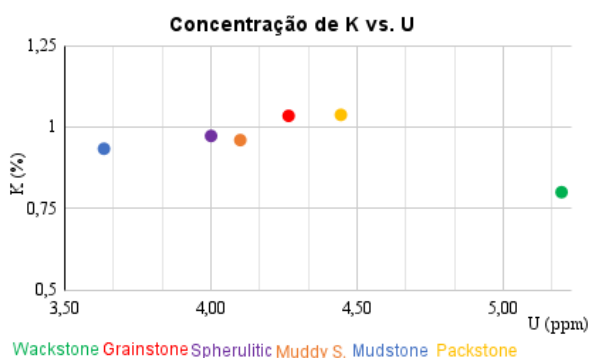


Figura 1 – Comparação entre a concentração de K (%) e o U (ppm) das diferentes fácies analisadas.

No figura abaixo (2), a relação corresponde a concentração de K e Th e, logo, nota-se uma maior média de Th nas fácies que contém muita matriz, que se refere ao mudstone. De maneira semelhante ao gráfico 1, a fácies wackstone apresentou maior diferença das demais, mas no parâmetro em questão apresentou-se menor valor de Th na sua composição com apenas 5,60 ppm.

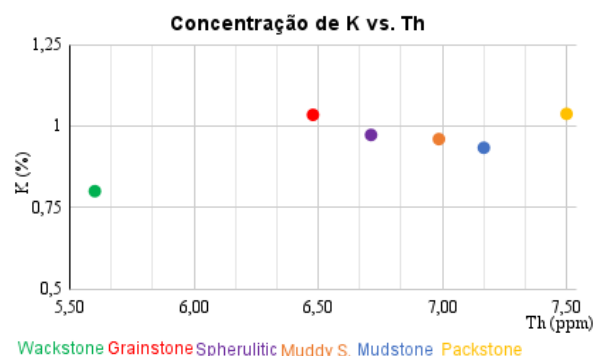


Figura 2– Comparação entre a concentração de K (%) e o Th (ppm) das diferentes fácies analisadas.

Na figura 3 utilizou-se a relação entre a concentração de U e Th. O seguinte gráfico permitiu melhor relação para interpretação da composição do material, uma vez que a concentração de K das diferentes fácies não apresentou uma variação significativa. Os dados apresentam menores valores de U e maiores de Th nas fácies com alta quantidade de matriz, ou seja, aos Mudstones e seus semelhantes. Já as fácies de composição granulométrica maior apresentam maiores diferença nas concentrações de Th e mais semelhantes na de U, como é visto no Grainstone e Packstone.

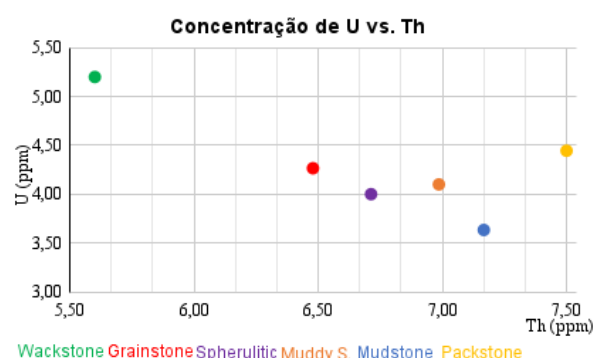


Figura 3 – Comparação entre a concentração de U (ppm) e o Th (ppm) das diferentes fácies analisadas.

As concentrações medidas pelo método radiométrico permitem uma compreensão da sua composição pelo diagrama ternário de classificação de Wollenberg (1977) (Figura 1). Assim, as

amostras medidas, de modo geral, apresentam valores mais altos de Th e U e mais baixos de K, o que pode indicar carbonatos mais impuros, ou seja, rochas carbonáticas com presença de sedimentos clásticos provenientes ígneos ácidas a intermediárias ou metamórficos, uma vez que ainda a concentração de Th apresenta-se maior que a de U. Porém, a alta presença de Th pode estar relacionada a fatores externos, como interferência devido a materiais próximos, e/ou em relação ao tamanho das amostras.

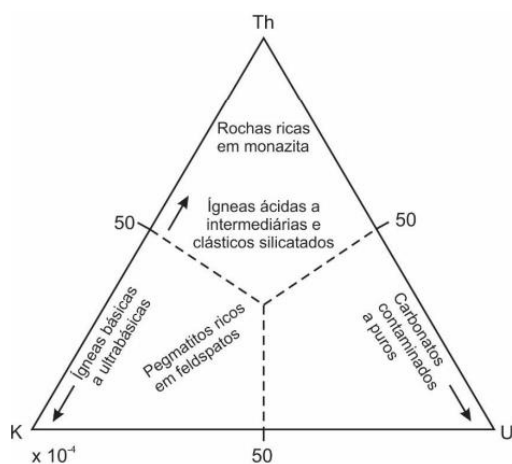


Figura 4 – Abundâncias relativas dos radioelementos K, Th e U em diferentes tipos de rochas (Kearey et al., 2009)

As suscetibilidades magnéticas obtidas, apresentadas no gráfico 4, mostram diferenças significativas em função das fácies. O gráfico em questão levou em consideração o valor máximo,

mínimo e médio de cada fácies. Como é possível visualizar, o aumento da granulometria das amostras de rochas carbonáticas demonstrou um aumento progressivo da suscetibilidade magnética.

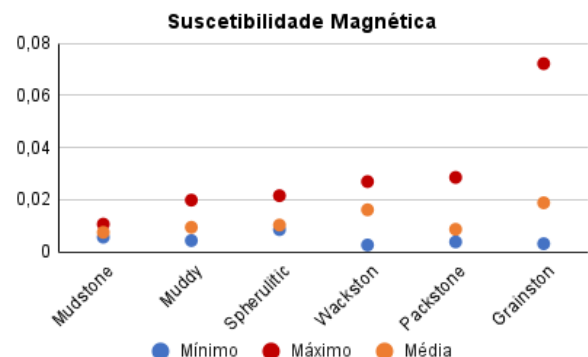


Gráfico 4 – Comparação entre a concentração de K e o Th (ppm) das diferentes fácies analisadas.

Apesar desse aumento progressivo, a suscetibilidade magnética pode ser considerada baixa quando comparado com outras litologias. Isso se deve ao fato de que as rochas em questão são pobres em minerais ferromagnesianos, como a magnetita, goethita, hematita, etc. Entretanto, uma rocha de maior granulometria, como o grainstone, é mais propícia a ter minerais ferromagnesianos provenientes de outras rochas.

Para melhor visualização dos valores obtidos a partir da caracterização geofísica das amostras, criou-se uma tabela (tabela 1) com os dados de suscetibilidade magnética e gamaespectrometria apresentados nos gráficos

Fácies	Suscetibilidade Magnética			Gamaespectrometria (Médias)		
	Mínimo	Máximo	Média	K	U (ppm)	Th (ppm)
Mudstone	5,70E-03	1,07E-02	7,55E-03	0,93%	3,63	7,17
Muddy spherulitestone	4,40E-03	1,99E-02	9,49E-03	0,96%	4,10	6,99
Spherulitic shrubstone/mudstone	8,60E-03	2,16E-02	1,03E-02	0,97%	4,00	6,71
Wackstone	2,70E-03	2,70E-02	1,62E-02	0,80%	5,20	5,60
Packstone	3,90E-03	2,86E-02	8,71E-03	1,04%	4,44	7,50
Grainstone	3,20E-03	7,22E-02	1,89E-02	1,03%	4,27	6,48

Tabela 1 - Valores de Suscetibilidade Magnética (mínimo, máximo e média) e Média de K, U e Th para cada fácies sedimentar das amostras analisadas.

discutidos acima.

4. CONCLUSÃO

A análise das concentrações de K, U e Th e da susceptibilidade magnética permitiu estabelecer padrões de valores em função das fácies geológicas.

As amostras estudadas não são distribuídas igualmente, ou seja, a presença de mais amostras de uma fácies geológica pode trazer mais precisão quando comparada a uma fácies menos presente no estudo. Como por exemplo o wackstone, onde possuiu valores significativamente diferentes de Th e U quando comparado as demais fácies. Tal resultado pode estar ligado a presença de apenas duas amostras desta fácies. Além disso, vemos os grainstone e packstone obtendo valores de U e K maiores quando comparados os spherulitic shrubstone/mudstone, muddy spherulitestone e mudstone. Porém, em relação ao Th nota-se uma separação dessas duas fácies, assim, o grainstone obtém valor menor e o packstone valor maior, tendo as demais fácies, com exceção do wackstone, intermediando as duas.

Apesar de não haver muitos trabalhos que utilizem plugues para caracterização geofísica, o presente trabalho, ainda em andamento, contará com mais medições, seguindo os mesmos critérios, afim de estabelecer valores mais eficientes e confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cavalcante, I.R.M., 2016. **Estudo de Caso para Caracterização e Avaliação de Soluções para o Pré-Sal no Campo de Libra Resoluto à Exploração no Campo de Lula**. Universidade de Brasília – UnB, Brasília, DF, 70 p.

Kearey, P., Brooks, M. & Hill, I. 2009. **Geofísica de Exploração**. Ed. Oficina de Textos. Sob licença da Blackwell Publishing Company (UK).

Mello V.L, 2020. **Classificação de Rochas Carbonéticas do Pré-Sal com Relação à Composição Mineralógica a Partir de Parâmetros Elásticos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense.

Nielsen, B.L., Løvborg, L., Sørensen, P., Mose, E., 1987. **Gamma-Ray Analysis for U, Th, and K on Bulk Cutting Samples from Deep Wells in the Danish Subbasin and the North German Basin**. Risø National Laboratory. Risø-M No. 2646.

Pérez-Pérez, A. R., Romero, H. E., & D'Onofrio, L. (2016). **A statistical and graphical workflow for the analysis of magnetic susceptibility data from drill cuttings in a hydrocarbon exploration setting**. *Geophysics*, 81(2), J35-J46.

RSI, 2015. RS125/230: Manual do Usuário.