

11º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Caracterização Gamaespectrométrica e de Susceptibilidade Magnética de Amostras de Rocha do Campo Tupi, Bacia de Santos.

AUTORES:

Pedro Dias Antunes
Emilson Pereira Leite

INSTITUIÇÃO:

Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

CARACTERIZAÇÃO GAMAESPECTROMÉTRICA E DE SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA DE AMOSTRAS DERCOHA DO CAMPO TUPI, BACIA DE SANTOS

Resumo

A caracterização geofísica realizada neste trabalho foi feita sobre 89 amostras de rocha do Campo Tupi e contemplou dois tipos de medidas: susceptibilidade magnética e gamaespectrometria. As amostras utilizadas são plugues de rochas carbonáticas de diferentes fácies do pré-sal na região do Campo de Tupi, Bacia de Santos. A susceptibilidade magnética foi mensurada a partir de equipamento portátil. Esta propriedade física permite identificar a presença de componentes ferromagnesianos e sua origem pode ser interpretada à luz do conhecimento geológico. No que tange a gamaespectrometria, foram feitas medições das concentrações de K (%), U (ppm) e Th (ppm) para cada amostra, a partir da contagem da radiação gama por segundo em diferentes faixas do espectro de energia do sensor. O equipamento utilizado foi um gamaespectrômetro portátil com sensor de germanato de bismuto. Este método elucidou a variação na concentração desses elementos radioativos nos plugues e contribuiu para a associação de certos minerais que podem estar presentes. As fácies carbonáticas previamente conhecidas são: Mudstone, Muddy spherulitestone, Packstone, Wackestone, Grainstone e Spherulitic shrubstone/mudstone. A associação dos dados geofísicos com os dados geológicos permitiu a correlação entre a susceptibilidade magnética, a gamaespectrometria e as fácies dos plugues que, a partir da consolidação estatística dos valores mensurados, forneceu padrões em função das fácies. Um exemplo de destaque são os valores significativamente distintos de Th e U nas amostras de Wackestones quando comparados com as demais fácies. Além disso, nota-se que as fácies Grainstone e Packstone apresentam valores de U e K maiores em comparação com Wackestones. Ao avaliar a distribuição dos plugues em profundidade, este trabalho fornece interpretações que poderão ser estendidas ao longo dos perfis de poços onde não há plugues disponíveis.

Palavras-chave: plugues, gamaespectrometria, susceptibilidade magnética, rochas carbonáticas.

Abstract

We conducted a geophysical characterization on 89 rock samples from Campo Tupi, which included two types of measurements: magnetic susceptibility and gamma-ray spectrometry. The samples used are plugs of carbonate rocks from different pre-salt facies in the Tupi Field, Santos Basin. The magnetic susceptibility was measured using portable equipment. This physical property allows the identification of the presence of ferromagnesian components and their origin can be interpreted in the light of geological knowledge. Regarding the gamma-ray spectrometry, measurements of K (%), U (ppm) and Th (ppm) concentrations were made for each sample, based on the counting of gamma radiation per second in different bands of the sensor's energy spectrum. The equipment used was a portable gamma-ray spectrometer with a bismuth germanate sensor. This method elucidated the variation in the concentration of those radioactive elements in the plugs and contributed to the association of certain minerals that may be present. The previously known carbonate facies are: Mudstone, Muddy spherulitestone, Packstone, Wackestone, Grainstone and Spherulitic shrubstone/mudstone. The association of the geophysical data with the geological data allowed the correlation between the magnetic susceptibility, the gamma-ray spectrometry and the facies of the

plugs which, from the statistical consolidation of the measured values, provided patterns as a function of the facies. A prominent example is the significantly different values of Th and U in the Wackestones samples when compared to the other facies. Furthermore, it is noted that the Grainstone and Packstone facies present higher U and K values compared to Wackestones. By evaluating the distribution of the plugs with depth, this work provides interpretations that can be extended along well logs where plugs are not available.

Keywords: plugues, gamma spectrometry, magnetic susceptibility, carbonate rocks

Introdução

A partir da descoberta recente dos reservatórios de hidrocarbonetos em rochas carbonáticas do pré-sal na Bacia de Santos, a área de exploração e produção de petróleo progrediu e atingiu feitos inimagináveis, resultando a bacia como um polo central de exploração de óleo e gás natural do país. Em 2018, a Agência Nacional de Petróleo (ANP) divulgou que o pré-sal produziu em média 17 mil barris que resultaram em um retorno de 10 vezes mais quando comparado aos demais reservatórios offshore do Brasil. Já em 2020, os campos do pré-sal representaram por volta de 70% da produção e geraram 2,7 milhões de barris de óleo por dia.

Desde a descoberta dos reservatórios promissores, surgiram muitas questões no que diz respeito ao processo de produção e exploração do petróleo. O imageamento do substrato e processo evolutivo são questões estudadas a fundo nos ramos da geologia e geofísica. Além disso, as propriedades físicas e químicas do meio e do produto (petróleo), como o estudo das rochas que armazenam o óleo e suas condições, são aspectos importantes para o desenvolvimento técnico científico do ramo, tanto acadêmico quanto industrial (Mello, 2020).

Com isso, um dos métodos geofísicos para o estudo dos reservatórios de hidrocarbonetos é a gamaespectrometria, que consiste em mensurar a emissão de radiação gama para obtenção da concentração de certos elementos radioativos a partir da contagem radiométrica. O estudo permite identificar a concentração desses elementos e estimar certos minerais possivelmente presentes a partir de uma associação (Nielsen et al. 1987).

Outro parâmetro é a magnetização das rochas, apesar de menos utilizada no meio industrial, tal aspecto se torna muito importante quando se trata da caracterização dos reservatórios de óleo e gás natural. A magnetização permite identificar a proporção de elementos ferromagnesianos na composição das rochas, possibilitando a identificação de controles de permeabilidade, como inconformidades nas rochas de reservatórios que facilita a permeabilidade do fluido (Pérez-Pérez et al., 2016).

O presente projeto vem com o objetivo caracterizar as rochas carbonáticas dos pré-sal do Campo Tupi, Bacia de Santos, a partir de dois parâmetros geofísicos: gamaespectrometria e susceptibilidade magnética. Ademais, correlacionar os dados mensurados com aspectos geológicos e os dados de profundidade do poço de origem das amostras. Por fim, analisar e tentar estabelecer parâmetros de correlação.

Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de três etapas. A primeira etapa consistiu na aquisição de dados gamaespectrométrico e de susceptibilidade magnética dos plugues. O tratamento e consolidação dos resultados coletados corresponde à segunda etapa. Por último, a terceira etapa tratou da interpretação e correlação dos dados obtidos com as descrições de fácies geológicas e dados de poço. A parte de revisão bibliográfica contemplou todas as três etapas do projeto.

Os plugues carbonáticos, originados do pré-sal brasileiro, correspondem ao poço 9-RJ-660 do Campo Tupi, Bacia de Santos, RJ. As amostras do poço pertencem a Petrobras, ou seja, são de domínio público. A análise e correlação de dados contou com um total de 89 amostras cilíndricas de fácies e profundidades distintas. Dentre as fácies presentes, temos: grainstone, packstone, wackestone, spherulitic shrubstone/mudstone, muddy spherulitestone e mudstone. O intervalo de profundidade possui aproximadamente 161 m, variando desde 4842,65 m até 5021,25 m.

A gamaespectrometria permitiu medir a radiação gama do material e as concentrações de potássio (K-40), urânio (U-238) e tório (Th-232) por meio do decaimento radioativo dos elementos. O equipamento portátil corresponde ao espectrômetro RS-230 da Radial Solutions, onde os aspectos são mensurados através de um detector de germanato de bismuto a partir da emissão de centelhas de luz por um cintilômetro (RSI, 2015).

A partir disso, o espectrômetro foi colocado no “modo ensaio” para maior precisão e, para realizar as medidas, o equipamento foi colocado em contato superficial com os plugues durante dois minutos. O tempo de medida foi determinado a fim de obter a média da contagem de radiação por segundo, adquirindo dados estatisticamente mais confiáveis e com menor erro. No equipamento, os elementos U e Th são disponibilizados por equivalência (e) através da captação de radiação, logo, são dados por eU e eTh dimensionados pela unidade ppm e o K em porcentagem (%).

Os dados de concentração de elementos a partir da radiação gama, foram plotados em gráficos de profundidade, a partir da profundidade do poço estudado já disponibilizado. Os gráficos desenvolvidos têm como objetivo realizar uma análise de caracterização geofísica a partir das propriedades sedimentológicas dos plugues

A susceptibilidade magnética (SM) dos plugues foi medida a partir do equipamento portátil KT10-10 da Terraplus, que permite identificar o quão suscetível o material, no caso as amostras, é quando inserido em um campo magnético. O equipamento é composto por um oscilador LC de 10 KHz com uma bobina indutiva e se baseia nas Leis de Ampere e na de Faraday. Ademais, o susceptibilímetro foi calibrado a partir de medições de blocos com valores de SM conhecidos.

O processo de obtenção da SM consiste em três movimentos. A medição da frequência de oscilação do circuito LC é feita ao ar livre (background), depois mede-se a frequência na superfície da amostra e, posteriormente, novamente ao ar livre. O equipamento calcula a SM do material a partir da diferença entre as frequências medidas no material e ao ar livre. Tal processo de medição foi realizado 10 vezes por plugue, sendo calculado sua média e desvio padrão para análise estatística.

O gamaespectrômetro, susceptibilímetro e os blocos de calibração de susceptibilidade magnética, equipamentos primordiais para o desenvolvimento do projeto, foram cedidos pelo Laboratório de Geofísica do Instituto de Geociências (IG) da UNICAMP.

Resultados e Discussão

Os dados obtidos a partir da gamaespectrometria e de SM, foram plotados em gráficos de profundidades a fim de tentar esclarecer os parâmetros geofísico das amostras simulando perfis de poço e interpretando em função consideração suas características geológicas (Figuras 1, 2 e 3).

Na Figura 1, apresenta-se a medida de concentração de potássio de cada amostra ao longo do poço em questão. A variação total do potássio foi entre aproximadamente 0,7% e 2,2%. Nota-se que a maior oscilação ocorre no intervalo de 4.840 m a 4.910 m onde a concentração de K-40 varia entre 0,8% e 1,2%. No intervalo citado temos presentes todos os tipos de fácies, o que pode ser considerado devido tal oscilação de valores. Na porção mais funda, entre 5.000 m e 5.200 m, corresponde a uma área onde predomina-se a fácies grainstone com intervalos de concentração de K um pouco maior quando comparado a porção mais inferior.

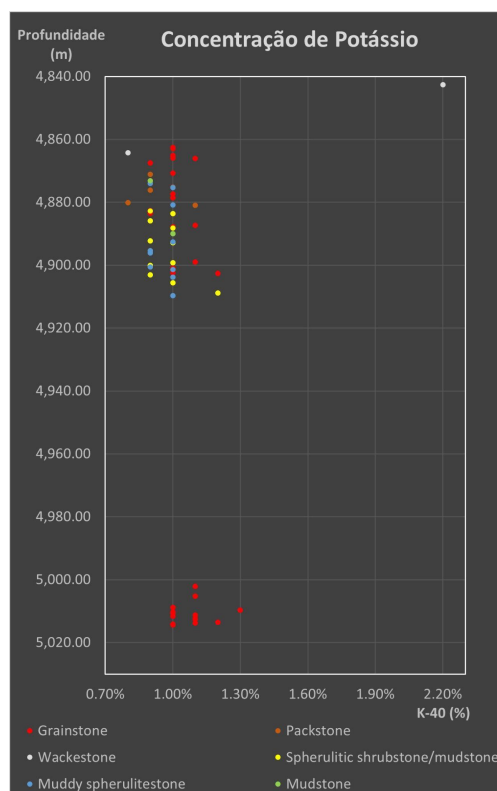


Figura SEQ Figura *ARABIC 1 - Concentração de Potássio-40 (%) em Profundidade.

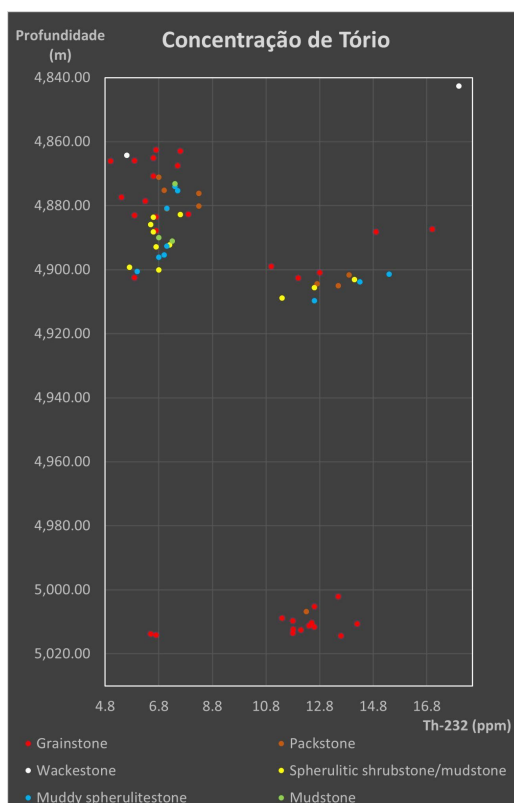


Figura SEQ Figura * ARABIC 2- Concentração de Tório-232 (ppm) em Profundidade.

concentração menor.

A Figura 3, corresponde a análise de concentração de Urânio em profundidade. De modo semelhante ao Tório, o Urânio-238 apresenta três intervalos de variações. A concentração de U variou aproximadamente de 2,9 ppm a 6,3 ppm em toda extensão analisada do poço. Onde na parte mais rasa, no intervalo entre 4.860 m e 4.900 m, obteve-se uma concentração menor do elemento e, apesar da oscilação, houve uma crescente quantidade de concentração do elemento, atingindo uma marca de 6,3 ppm onde se concentra a fácies grainstone. Logo, o intervalo que houve maior valor na concentração foi a porção mais funda, no intervalo entre 5000 e 5010 m.

Já na Figura 2, o elemento plotado no gráfico de profundidade é o tório. O intervalo de concentração do tório-238 nas amostras foi de aproximadamente 4,9 ppm à 18 ppm. Nota-se que apesar das variações decorrentes na linha de concentração, elas são contidas em intervalos distintos. O intervalo de concentração de Th mais baixo encontra-se na porção mais rasa da profundidade analisada, onde apresenta uma concentração de 4,9 ppm a 8,3 ppm entre 4.860 m e 4.900 m. O intervalo de 4.900 m a 4.910 m apresentou valores maiores de Th, sendo ele entre aproximadamente 11 ppm e 17 ppm, onde predominam as fácies muddy spherulitestone, spherulitic shrubstone/mudstone e mudstone. A porção constituída por grainstone, a mais funda do poço, resultou em valores altos de Th, variando entre 10 ppm e 14 ppm, apesar de que a média total calculada resultou numa

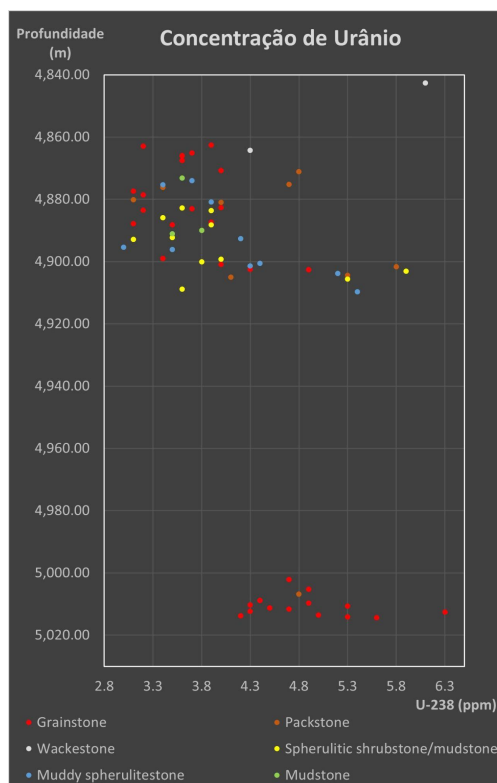


Figura SEQ Figura * ARABIC 3 - Concentração de Urânio-238 (ppm) em Profundidade.

Todos os gráficos apresentam um valor específico que é muito discrepante dos demais, o que corresponde a amostra mais rasa, tratando-se de um wackestone. Tal valor pode estar associado a algum material diferente presente no plugue, erro de medida ou até mesmo falta de igualdade entre as fácies das amostras.

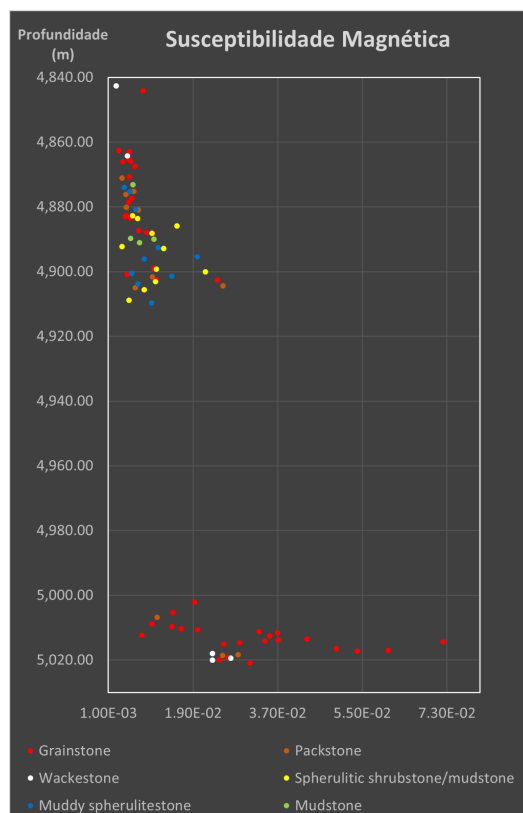


Figura SEQ Figura *ARABIC 4 - Susceptibilidade Magnética em Profundidade.

A Figura 5, demonstra as medidas de SM em cada plugue e relaciona também com a profundidade do poço. Nota-se valores mais baixos nas profundidades mais rasas do poço, onde a variedade de fácies é maior e predomina-se rochas de matriz fina a muito fina. Em contrapartida, na porção mais funda do poço, apesar de serem valores baixos, a SM se mostrou mais intensa, ou seja, com a maior presença de minerais ferromagnesianos que compõem a amostra quando comparada às demais. Isso se deve ao fato de que as rochas estudadas são pobres nesses minerais, como por exemplo a magnetita, goethita, hematita etc. Porém, os grainstone apresentaram valores mais altos de susceptibilidade magnética devido a sua granulometria mais grossa, o que torna mais propício a presença dos minerais citados acima, provenientes de outros tipos de rochas.

A Tabela 1 apresenta os valores de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria para cada fácies. No que se refere a SM, apresenta-se o mínimo, máximo e a média de cada fácies carbonática. Já a gamaespectrometria, obteve as médias de concentrações dos três elementos para cada fácies.

Fácies	Susceptibilidade 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
Packstone	3,90E-03	2,86E-02	8,71E-03	1,04%	4,44	7,50
Wackestone	2,70E-03	2,70E-02	1,62E-02	0,80%	5,20	5,60
Grainstone	3,20E-03	7,22E-02	1,89E-02	1,03%	4,27	6,48
Spherulitic shrubstone/mudstone	8,60E-03	2,16E-02	1,03E-02	0,97%	4,00	6,71

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

Conclusões

Este trabalho permitiu estabelecer algumas correlações entre as fácies carbonáticas e dados geofísicos de amostras de rochas do pré-sal em função da profundidade de um poço do Campo de Tupi.

Nos dois tipos de dados geofísicos medidos, com exceção da concentração de Th, conforme o aumento da profundidade do poço, aumentam os valores das concentrações de U, K e da SM, onde encontra-se a fácies grainstone. Apesar da concentração de Th também apresentar um aumento, o seu pico encontra-se na faixa de profundidade intermediária, onde estão presentes os packstones e de matriz mais fina. Ademais, é perceptível a diferenciação de dois grupos de dados, um mais na parte superior do poço que apresenta valores menores, em média, e o segundo, em maior profundidade, com valores maiores. Com isso, destaca-se um aumento significativo de U e Th em aproximadamente 4.900 m e um aumento mais sutil de K e SM na mesma profundidade.

Agradecimentos

Ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG-UNICAMP) e ao Laboratório de Geofísica pelo empréstimo dos equipamentos utilizados durante a pesquisa; e pelo Programa de Recursos Humanos em Exploração Petrolífera e Geologia Exploratória (PRH-19.1) fomentado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pela bolsa de iniciação científica.

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 Carbonáticas 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.