

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

**DESCRIÇÃO DE AMOSTRAS DE CALHA DO POÇO ONSHORE
TÍPICO DA REGIÃO NORTE DO ESPÍRITO SANTO**

AUTORES:

HENRIQUE DE SOUZA PAMPONET, KAREN CARNEIRO MACEDO, ANA PAULA MENEGUELO, MARILÉA GOMES DOS SANTOS RIBEIRO.

INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES

DESCRIÇÃO DE AMOSTRAS DE CALHA DO POÇO ONSHORE TÍPICO DA REGIÃO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Resumo

A exploração de poços de petróleo envolve duas técnicas cruciais: coleta de testemunhos e estudo de cascalho, cada uma com suas vantagens e desafios. A coleta de testemunhos, embora forneça informações detalhadas e precisas da formação rochosa, é tecnicamente complexa e requer análises laboratoriais. Em contrapartida, o estudo de cascalho é mais acessível financeiramente e oferece uma visão menos detalhada, sendo composto por fragmentos moídos e limitados para análise. Este estudo foca na análise de amostras de cascalho obtido de um poço onshore típico da região norte do Espírito Santo, na Bacia do Espírito Santo, visando compreender as características geológicas em uma faixa de profundidade específica. Técnicas como sedimentologia, granulometria e cristalografia são empregadas para uma compreensão abrangente da composição das rochas. As análises granulométricas e de difração de raios X (DRX) realizadas identificaram a distribuição granulométrica das amostras e caracterizaram os minerais mais abundantes presentes. Como resultado, a amostra contém quartzo, calcita e dolomita. Para criar plugs representativos para ensaios de bancada, deve-se adicionar argila e utilizar uma granulometria mais ampla para melhorar a porosidade e a permeabilidade.

Palavras-chave: coleta de testemunhos, estudo de cascalho, análise granulométrica, Bacia do Espírito Santo, sedimentologia, cristalografia, composição mineral.

Abstract

The exploration of oil wells involves two crucial techniques: core sampling and cuttings analysis, each with its own advantages and challenges. Core sampling, while providing detailed and accurate information about the rock formation, is technically complex and requires laboratory analyses. In contrast, cuttings analysis is more cost-effective and provides a less detailed view, consisting of ground fragments that are limited in scope for analysis. This study focuses on the analysis of cuttings samples obtained from a typical onshore well in the northern region of Espírito Santo, in the Espírito Santo Basin, aiming to understand the geological characteristics within a specific depth range. Techniques such as sedimentology, granulometry, and crystallography are employed to gain a comprehensive understanding of the rock composition. Granulometric and X-ray diffraction (XRD) analyses identified the granulometric distribution of the samples and characterized the most abundant minerals present. As a result, the sample contains quartz, calcite, and dolomite. To create representative plugs for laboratory tests, clay should be added, and a wider granulometric range should be used to improve porosity and permeability.

Keywords: core sampling, cuttings analysis, granulometric analysis, Espírito Santo Basin, sedimentology, crystallography, mineral composition.

Introdução

A coleta de testemunhos e o estudo de cascalho são duas técnicas fundamentais para exploração de petróleo, cada uma com suas vantagens, limitações e custos. Ao compreender esses métodos é possível avaliar a eficácia e a eficiência de cada um no contexto da exploração e produção de petróleo.

A coleta de testemunhos durante a perfuração de poços envolve a extração de cilindros de rocha para análise de características geológicas e petrofísicas, como porosidade, permeabilidade e conteúdo de hidrocarbonetos (Silva, 2014). Esta técnica embora forneça informações precisas sobre a formação rochosa e potencial de hidrocarbonetos é limitada pela complexidade técnica, tempo e custo. Alternativamente, o estudo de cascalho é mais acessível, pois fragmentos de rocha moídos são trazidos à superfície pelo fluido de perfuração. No entanto, essa técnica é menos precisa e detalhada que a testemunhagem oferecendo informações menos confiáveis e podendo levar a interpretações menos precisas sobre as características do reservatório (Fagundes, 2018). Diante do exposto, a escolha entre esses dois métodos depende de uma avaliação entre o custo e a necessidade de detalhamento das informações para o sucesso do projeto de exploração de petróleo.

O estudo do cascalho utiliza técnicas como sedimentologia, granulometria e cristalografia para compreender a composição das rochas, incluindo tamanho e distribuição dos grãos, composição mineral e origem dos sedimentos. Essas informações são essenciais para avaliar o potencial petrolífero, influenciando diretamente a capacidade de um reservatório de armazenar e transmitir fluidos. Além disso, ajudam a identificar ambientes deposicionais antigos favoráveis à geração e acumulação de hidrocarbonetos (Allen, 1985).

No estudo do cascalho a sedimentologia é o estudo do depósito sedimentar e sua origem. O procedimento de análise é baseado na observação e na descrição de numerosas e intrincadas feições de sedimentos moles e duros em sequências naturais, seguidas de reconstrução dos ambientes e paleoambientes de sedimentação em termos estratigráficos e tectônicos (Siqueira *et al.*, 2014). Já a granulometria é a subdivisão das porções componentes em classes de tamanho, podendo ser de natureza mineral ou orgânica de forma a se estabelecer as grandezas das partículas e suas proporções. Desta forma, trata-se da subdivisão de diferentes classes e tamanhos, determinado suas dimensões e porcentagem, estabelecendo a grandeza das partículas (Morais *et al.*, 2021), estabelecendo-se assim o Ensaio de Análise Granulométrica.

Ademais, a classificação granulométrica de sedimentos clásticos, determinada por diversos autores, incluindo William Christian Krumbein (1934), apresenta variações, com cascalhos geralmente variando de 2 a 64 mm ou 2 a 60 mm, conforme a norma ABNT NBR 6502.

Dimensões	Nome dos agregados	Dimensões	Nome dos agregados
> 256 mm	Rocha	1-2 mm	Areia muito grossa
64-256 mm	Seixos	½ - 1 mm	Areia grossa

32-64 mm	Cascalho muito grosso	¼ - ½ mm	Areia média
16-32 mm	Cascalho grosso	125 - 250 µm	Areia fina
8-16 mm	Cascalho médio	62.5 - 125 µm	Areia muito fina
4-8 mm	Cascalho fino	3,9 - 62,5 µm	Silte
2-4 mm	Cascalho muito fino	< 3,90625 µm	Argila
		< 1 µm	Coloidal

Tabela 1: Caracterização de cascalhos de perfuração de poços de petróleo por técnicas balísticas instrumentais. Fonte: Fagundes, (2018).

A análise granulométrica e a sedimentologia convergem em um diálogo essencial para desvendar a complexidade dos depósitos sedimentares. Enquanto a sedimentologia se dedica à observação e descrição de feições sedimentares em sequências naturais, a análise granulométrica analisa a subdivisão e proporções das partículas. Essas abordagens complementares proporcionam uma compreensão abrangente, conectando a gênese dos sedimentos às características granulométricas, enriquecendo assim a narrativa do ambiente sedimentar (Teixeira *et al.*, 2017).

Complementar às análises de sedimentologia e granulometria a difração de raios X (DRX) é essencial na identificação de minerais, revelando suas estruturas cristalinas. Os raios X interagem com a rede cristalina do mineral, criando padrões de difração que permitem determinar a composição e estrutura interna dos minerais. Esse processo envolve a análise de índices de Miller e distâncias interatômicas para descrever planos cristalinos. Os cristais, organizados em sete sistemas cristalinos, são identificados por suas propriedades estruturais e simetria. A caracterização por DRX compara o difratograma da amostra com padrões de referência de bancos de dados, facilitada por microcomputadores que identificam materiais cristalinos ao comparar picos de difratogramas com os de compostos conhecidos (Bleicher e Sasaki, 2000; Silva, 2013).

No setor de exploração de petróleo, a análise detalhada de testemunhos de *plugs* provenientes de poços de petróleo desempenha um papel crucial no entendimento da geologia e na avaliação da viabilidade dos reservatórios. No entanto, a dependência de importações de *plugs* para estudos de recuperação representa um desafio significativo para a academia e a indústria. Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo principal caracterizar e estudar cascalhos de poços de petróleo, visando a fabricação de *plugs* para análises laboratoriais. Esta pesquisa busca contribuir para a academia e a indústria promovendo a autonomia na produção de amostras e *plugs* caracterizados, reduzindo custos e otimizando processos de análise e estudos de recuperação de petróleo. A produção local de *plugs*, com características específicas do meio, não apenas diminui a dependência externa, mas também desenvolve habilidades técnicas dos envolvidos, promovendo avanços na pesquisa e na prática da engenharia de petróleo. Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas amostras de cascalho oriundas de um

poço *onshore* localizado na Bacia do Espírito Santo, especificamente no distrito de Barra Nova, município de São Mateus, no Espírito Santo. O cascalho analisado foi retirado entre as profundidades de 1397 a 1532 metros,

Metodologia

As etapas do trabalho envolveram a aquisição e preparação das amostras e aplicação de técnicas analíticas. As técnicas selecionadas estão de acordo com o Manual de Subsuperfície – roteiro básico para o acompanhamento geológico de poços, elaborado pela IBP/PETROBRAS (1984).

Foram selecionadas amostras de fragmentos de rocha (amostras de calha) de um poço *onshore* pioneiro, pertencente à Bacia do Espírito Santo, localizada no sudeste do Brasil, uma região com uma longa tradição de exploração de petróleo. O campo selecionado pertence à formação São Mateus e o poço selecionado faz parte do acervo de dados públicos (fora do período de confidencialidade), divulgado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

A Bacia do Espírito Santo localiza-se na margem continental leste do território brasileiro, ocupando uma área de aproximadamente 115.200 km², dos quais 101.880 km² encontram-se submersos. Os limites da bacia ocorrem ao Norte pela Bacia de Mucuri, que por sua vez faz fronteira com a Bacia de Cumuruxatiba pelo Complexo Vulcânico de Abrolhos. Ao Sul, há o limite com a Bacia de Campos pelo Alto de Vitória. (Portella *et al.*, 2021)

As amostras adquiridas estavam acondicionadas em sacos de pano com a identificação da profundidade (Figura 1). Selecionou-se o intervalo de 1397 a 1484 m de profundidade para iniciar a caracterização do meio. As amostras dos cascalhos de perfuração foram coletadas em intervalos regulares de 3 em 3 metros totalizando 30 pontos de análise.



Figura 1 - Amostras de cascalhos acondicionadas em sacos de pano com indicação da profundidade.

Inicialmente, conduziu-se o estudo granulométrico conforme as diretrizes da NBR 7181 da ABNT (1982). A preparação das amostras envolveu o peneiramento em sete peneiras com as malhas 12, 20, 30, 50, 80, 100, 200 Mesh e fundo. O peneiramento foi realizado empregando-se peneiras da série Tyler e agitador (Bertel), conforme ilustrado na Figura 2. O procedimento foi realizado por 5 minutos a uma velocidade máxima (10) na máquina vibratória. Após o peneiramento, procedeu-se à pesagem da massa do material retido em cada peneira.

As análises de DRX foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais do Programa de Pós-Graduação em Energia do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (PPGEN/CEUNES/Ufes) no difratômetro Miniflex 600 da Rigaku. O equipamento está equipado com cátodo de Cu. A velocidade de varredura foi de 0,02 °2θ/0,6s e amplitude de 2 a 100 °2θ. As leituras foram realizadas em um porta-amostra para difratometria em pó, portanto as amostras foram depositadas

em pó e a interpretação dos difratogramas coletados foi realizada através do software Match! 4 da Crystal Impact, que permite a identificação de fases cristalinas.

Para a execução da análise DRX a amostra foi macerada de forma a garantir a execução da análise cristalográfica.

Resultados e Discussão

Após o procedimento de peneiração fez-se o estudo da distribuição granulométrica das amostras conforme a profundidade. Na Figura 2 é possível observar o perfil médio de distribuição granulométrica assim como o desvio padrão.

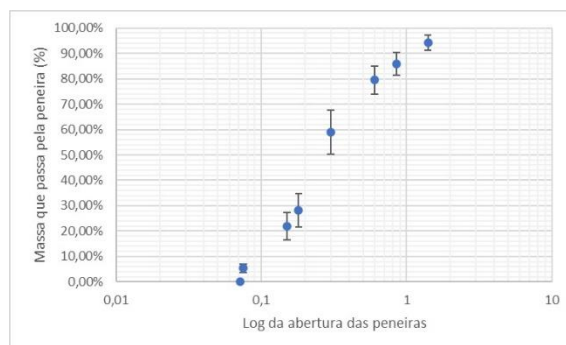


Figura 2 – Perfil médio e desvio padrão da distribuição granulométrica das amostras.

Pela análise dos resultados e observando a curva granulométrica da norma ABNT NBR7211 é possível identificar que o conjunto de amostras de calha pode ser classificado como agregado miúdo. Além disso, observa-se que na região central da curva de distribuição granulométrica há maior desvio padrão entre a granulometria ao longo da profundidade e tendência à convergência das curvas nas regiões extremas. Esse comportamento da distribuição é corroborado pela norma supracitada.

Pelos resultados das análises de DRX das amostras segundo a profundidade foi possível observar perfis difratométricos semelhantes, indicando similaridade mineralógica entre as amostras (Figuras 3-a e 3-b).

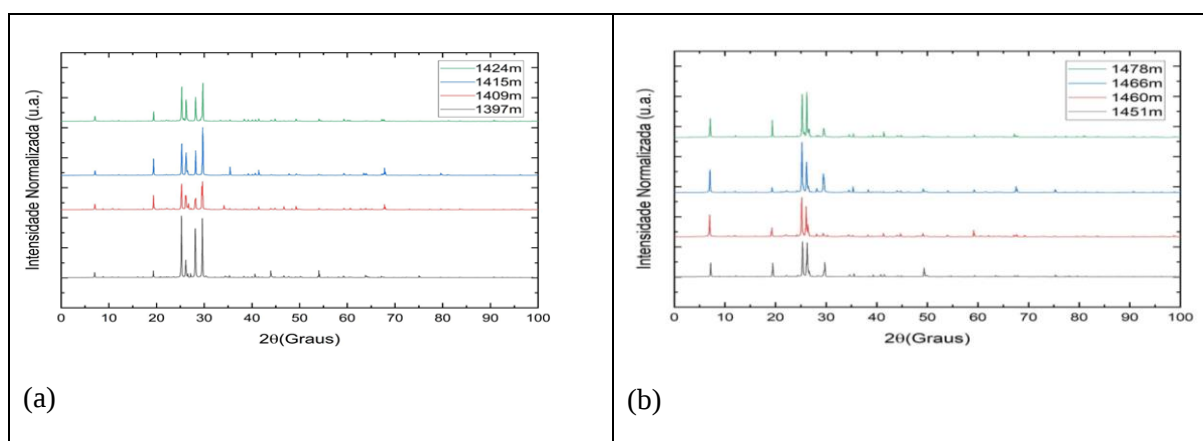


Figura 3 - Difratogramas ao longo da profundidade analisada.

A análise das fases presentes em cada profundidade geraram resultados difratométricos semelhantes, sendo a Figura 4 representativa da caracterização mineralógica em todas as profundidades.

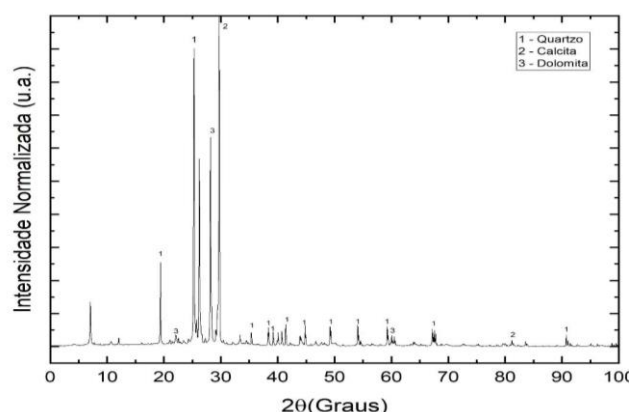


Figura 4 – Identificação das fases do difratogramas da profundidade de 1415m

Observa-se a presença de três principais minerais, sendo: quartzo, calcita e dolomita. As amostras apresentaram semelhança em termos de posição e intensidade relativa entre os picos, que é o reflexo da similaridade mineralógica das mesmas.

Conclusões

Com base nos dados de DRX e nas Figuras 3-a, 3-b, e 4, observa-se que a composição química da amostra é predominantemente de quartzo (SiO_2), com o restante composto por calcita e dolomita. Para preparar os *plugs*, será necessário adicionar argila, a fim de torná-los mais representativos dos *plugs* descritos na literatura e utilizados em ensaios de recuperação de bancada. Além disso, uma granulometria maior resultará em melhores propriedades de porosidade e permeabilidade. Assim, amostras com grãos maiores de areia seriam mais indicadas para ensaios em células reservatório de bancada. Segundo Rosa, Carvalho e Xavier (2006), maiores tamanhos de grãos em rochas reservatório geram mais espaços vazios, aumentando a porosidade e a permeabilidade. Portanto, será possível confeccionar *plugs* adequados com a adição de argila, refletindo melhor as condições do poço estudado.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradecemos às nossas famílias e colegas pelo encorajamento constante e apoio incondicional.

Referências Bibliográficas

- ALLEN, J. R. L. **Principles of Physical Sedimentology**. London: George Allen & Unwin, 1985.
- BLEICHER, Lucas; SASAKI, José Marcos. **Introdução à difração de raios-X em cristais**. Revista Brasileira de Mineralogia, v. 13, n. 3, p. 47-55, set. 2000.

FAGUNDES, Thais. **Caracterização de cascalhos de perfuração de poços de petróleo por técnicas analíticas instrumentais**. Biblioteca Digital USP, 2018.

MORAIS, Amanda; MARTINS Denize Aparecida; ANDRADE, Letticia Moronari. PEREIRA, Ragila Sabrina Fernandes; OLIVEIRA, Tiago Macel. **Análise granulométrica: uma revisão bibliográfica**. *Journal of Exact Sciences*, v. 28, n. 1, p. 5, 2021. PORTELLA, Andessa; MONTEIRO, Heloisa. Bacia do Espírito Santo. Brasília, DF: Agência Nacional do Petróleo, 2021.

ROSA, A. J.; CARVALHO, R. D. S.; XAVIER, J. A. D. **Engenharia de reservatório de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2006.

SIQUEIRA, Allan; et al. **Sedimentologia do Quaternário em Pelotas**. Centro de Desenvolvimento Tecnológico, 2014.

SILVA, Alex Luz. **Caracterização petrofísica em área produtora de minério de ferro: investigação de porosidade, permeabilidade e velocidade de ondas acústicas compressionais e cisalhantes em plugs de rocha**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica, Núcleo de Geotecnia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4533>. Acesso em: 21 jul. 2024.

SILVA, Amanda Luzia da. **Caracterização mineralógica por difração de raios X e determinação de terras raras por ICP-MS de rochas da região sul da Bahia**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/livro-manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 21 jul. 2024.