



## PETROFÍSICA DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA FORMAÇÃO COTINGUIBA, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS.

Wellington Martins Bezerra da Silva<sup>1</sup>, José Agnelo Soares<sup>2</sup>, Louis Dostoievsky Gomes Tabosa<sup>3</sup>, Isis da Silva Rodrigues<sup>4</sup> (Autores: Fonte Arial 12, centralizado, apenas iniciais maiúsculas, regular)

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – wellington1991@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia - agnelosoaresl@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia – louis.tabosa@me.com

<sup>4</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – isis\_rodrigues\_pb@hotmail.com

### RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos em ensaios petrofísicos realizados em 15 amostras de rocha carbonáticas extraídas da Formação Cotinguiba, Bacia de Sergipe-Alagoas. As propriedades analisadas são a porosidade, densidade de grãos, densidade total, velocidade e módulos elásticos. Os valores obtidos de densidade de grãos indicam que as amostras analisadas são calcários não puros, provavelmente com participação de componentes clásticos e/ou matéria orgânica. A porosidade situa-se no intervalo de 20 a 34%, valores compatíveis com um reservatório em potencial. As velocidades elásticas apresentam, em geral, uma boa correlação inversa com a porosidade e uma baixa anisotropia, limitada a 1,5%. Os módulos elásticos apresentam uma constante de redução de valores com o aumento da porosidade.

**Palavras-chave:** Propriedades Petrofísicas, Formação Cotinguiba, Carbonatos.

### 1. INTRODUÇÃO

As rochas carbonáticas têm ganhado grande destaque no cenário geológico internacional. Isto se deve ao fato de que nestas rochas se encontram pelo menos 40% das reservas mundiais conhecidas de hidrocarbonetos (Tucker, 1990). Devido a essa grande importância diversos estudos têm sido realizados com as rochas carbonáticas.

Dentro deste contexto, a análise petrofísica aparece como uma ferramenta de fundamental importância na exploração mineral moderna, principalmente na exploração petrolífera. A Petrofísica interessa-se particularmente pelas propriedades que permitem determinar a porosidade, permeabilidade

e saturação de fluidos em uma rocha-reservatório, de modo que a partir destas, se possa caracterizar o armazenamento e a passagem de fluidos na rocha, com o objetivo de poder gerenciar e também prever a performance de um reservatório (Soares, 2011).

Neste trabalho, são analisadas as propriedades petrofísicas de 15 amostras de rochas carbonáticas da Formação Cotinguiba, localizada na Bacia Sergipe-Alagoas.

#### 1.1. Geologia Regional da Bacia Sergipe-Alagoas

A Bacia de Sergipe-Alagoas (SE-AL) está localizada na margem equatorial do nordeste brasileiro, entre os paralelos 9° e 11°30'S. Na porção *onshore* apresenta



uma área de 13.000 km<sup>2</sup>, enquanto que a parte *offshore* se estende por uma área de 32.760 km<sup>2</sup>, até a cota batimétrica de 3.000 metros. A Bacia limita-se, a norte, com a Bacia de Pernambuco/Paraíba, pelo Alto de Maragogi; a sul, o limite da porção emersa é constituído pela Plataforma de Estância e, *offshore*, pela Bacia de Jacuípe, através do sistema de falhas do Vaza-Barris (Aquino *et al*, 1990). A Bacia é dividida em 2 Sub-bacias: Sub-bacia de Sergipe e Sub-bacia de Alagoas separadas pelo Alto de Japoatã-Penedo.

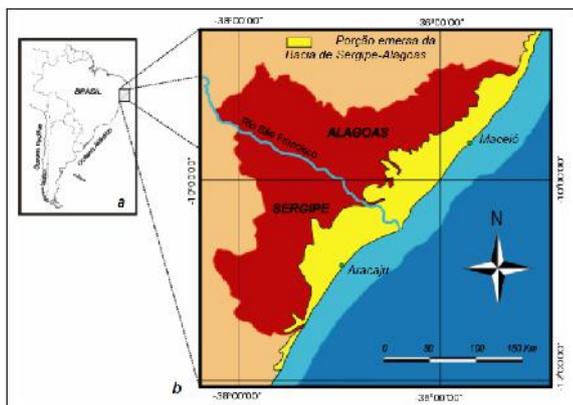


Figura 1: Mapa de Localização da Bacia de Sergipe-Alagoas

A Formação Cotinguiba ocorre desde o flanco sudeste do Alto de Penedo até a Foz do Rio Real, tendendo a desaparecer ao longo da costa (Bandeira Jr., 1978). Aflora apenas em Sergipe e suas exposições estendem-se desde Japarutuba ao norte até o Rio Real, ao sul, com exposições de 5 a 10 km de largura (Schaller, 1969). Constitui-se de carbonatos com interestratificações clásticas e é dividida nos Membros Sapucari e Aracaju (Schaller, 1969).

As amostras de rochas carbonáticas analisadas neste trabalho foram coletadas em um afloramento da Pedreira Sá, a qual está localizada no município de Santo Amaro das Brotas, em Sergipe.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Preparação das amostras

Para a realização dos ensaios no Laboratório de Petrofísica da UFCG, as amostras de rochas necessitam de uma preparação prévia, de modo que sejam retirados plugues delas e que eles fiquem com forma cilíndrica e com dimensões de 1,5 polegadas de diâmetro e com altura aproximada de duas polegadas.

A preparação consiste na serragem das amostras de mão enviadas pela Universidade Federal de Sergipe, extração de plugues em plugadeira de bancada, retirificação das extremidades dos plugues, de modo a garantir faces planas e perfeitamente paralelas. A figura 2 mostra os equipamentos utilizados na preparação dos plugues.

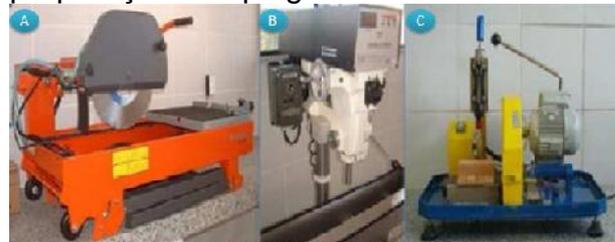


Figura 2: (a) Serra, (b) Plugadeira manual e (c) Retificadora.

Terminada esta fase, os plugues foram colocados em uma estufa onde foram submetidos à secagem por 24 horas à uma temperatura constante de 80°C. Após a secagem, os plugues foram retirados da estufa e então foram medidas as suas dimensões com o paquímetro digital e os mesmos são pesados em balança de precisão semi-analítica.

### 2.2. Ensaio de porosidade e densidade de grãos

A fase de análise laborais tem início com a medição da porosidade e da densidade de grãos em permoporosímetro a gás.

O equipamento utilizado é o UltraPorPerm 500, fabricado pela Corelab, o qual se utiliza do método da porosimetria por expansão gasosa. Ao utilizar um copo matriz foi possível medir o volume de grãos de cada plugue. A diferença entre o volume de grãos e o volume total do plugue consiste o seu



volume de vazios. Para encontrar a porosidade basta determinar a razão entre o volume de vazios e o volume total. A Figura 3 apresenta os equipamentos utilizados na medição da porosidade e da densidade de grãos e total.



Figura 3:(a) UltraPoroPerm 500, (b) Copo matriz e (c) Balança semi-analítica

É possível medir o volume de grãos pela expansão do nitrogênio contido em uma câmara no interior do porosímetro. Nesta câmara, de volume conhecido  $V_1$ , é medida a pressão  $P_1$  na qual o gás encontra-se comprimido. Em seguida, permite-se que o gás se expanda através de uma conexão ao copo matriz, de volume  $V_2$ , também conhecido, o qual contém o plugue. Após a estabilização da expansão do gás, mede-se a pressão  $P_2$ . A queda de pressão dada pela diferença  $P_1 - P_2$  é proporcional ao volume  $V$  ocupado pelo gás:  $V = V_1 + V_2 - V_G$ , em que  $V_G$  é o volume de grãos do plugue. Aplicando a Lei de Boyle e considerando que  $V_G$  é a única incógnita, este parâmetro pode ser determinado de forma direta.

### 2.3. Ensaios elastodinâmicos

Para medir as velocidades elásticas foi utilizado o sistema AutoLab 500®, marca New England Research, que permite registrar simultaneamente três formas de onda: a onda P, que se propaga e possui polarização na direção axial do plugue, e duas ondas S com direções de polarização mutuamente

ortogonais e perpendiculares ao eixo do plugue:  $S_1$  e  $S_2$ . A medição das propriedades elásticas não precisa ser realizada, necessariamente, em amostras secas, porém a medição sob essas condições permite modelar as velocidades das amostras saturadas.

Os ensaios foram realizados em 15 amostras secas, com pressão de poros e temperatura nas condições normais do ambiente. A pressão confinante inicial estabelecida foi de 40 MPa. A amostra fica sob esta pressão por no mínimo 5 minutos, quando se captura a primeira onda, sendo que o tempo para esta estabilização depende do tipo de amostra. Após a primeira onda ser capturada, as demais com as pressões confinantes de 35, 30, 25, 20, 15, 10, 5 MPa, são capturadas sequencialmente.

Se faz necessário fornecer informações durante o ensaio de velocidade de ondas como, dados de comprimento (mm), diâmetro (mm), densidade total ( $\text{g/cm}^3$ ) e porosidade (%). A amostra é inserida em uma camisa de borracha e presa a dois transdutores (fonte e receptor). A fonte gera pulsos que atravessam a amostra e são registradas pelo receptor, que transformam esses pulsos em sinal elétrico e os envia a um osciloscópio, onde é mostrado na tela do mesmo.

Após o ensaio é realizada a picagem das ondas, que é a marcação do tempo de chegada de cada uma destas ondas ( $V_p$ ,  $V_{s1}$  e  $V_{s2}$ ).

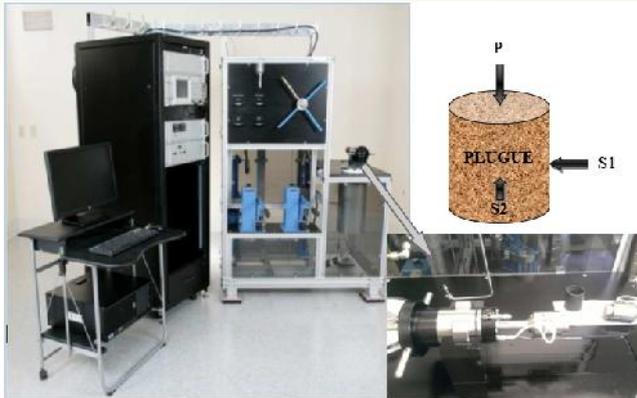


Figura 4: Sistema AutoLab500®.

A partir das velocidades de propagação das ondas P e S e da densidade total dos plugues, foram calculados os módulos elásticos: módulo de elasticidade (E), incompressibilidade (K), módulo de cisalhamento (G) e Razão de Poisson ( $\nu$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 5 apresenta os valores de densidade de grãos medidos nas amostras analisadas. Nesta figura observa-se, que as densidades de grãos estão relativamente baixas, logo, vê-se que as amostras não são calcários puros, uma vez que para serem calcários puros as amostras deveriam possuir a densidade de grãos em torno de  $2,7 \text{ g/cm}^3$  e como observa-se na figura, nenhuma amostra possui densidade de grãos de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ .

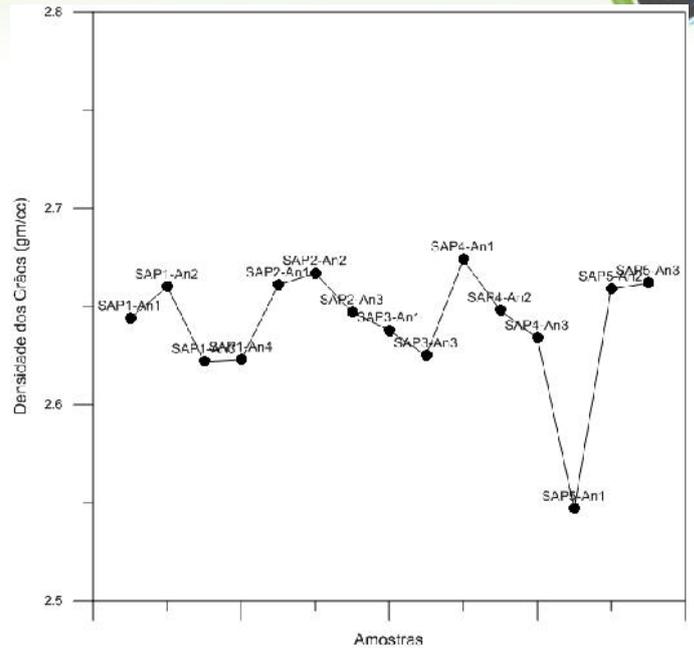


Figura 5: Densidade dos grãos das amostras analisadas.

A figura 6 apresenta a relação entre a porosidade e a densidade total (matriz mais fluido contido nos poros). Observa-se nesta figura, que quanto maior o valor da porosidade, menor será o valor da densidade total, nota-se também que as amostras seguem uma linha de tendência, e através dela foi determinada a equação de regressão para as amostras da Pedreira Sá. Através desta equação de regressão, conhecendo a densidade pode-se estimar com bastante precisão a porosidade, sendo assim, uma maneira rápida de estimar a porosidade de uma amostra desta Pedreira.



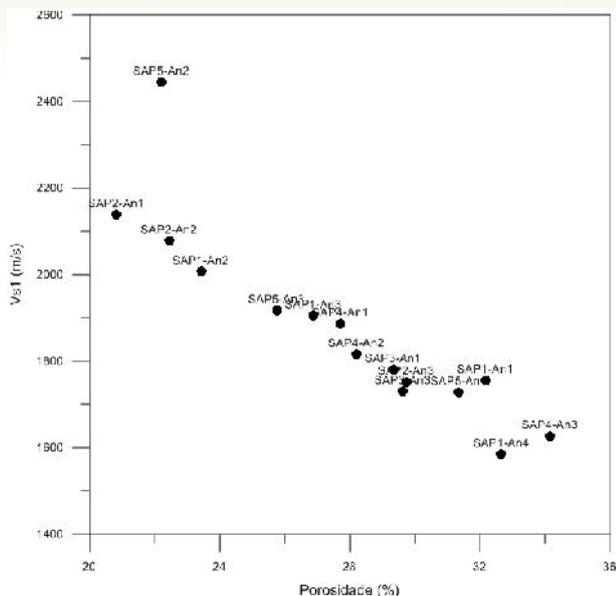


Figura 8: Relação entre  $V_{s1}$  medida sob 40 MPa de pressão confinante efetiva e porosidade.

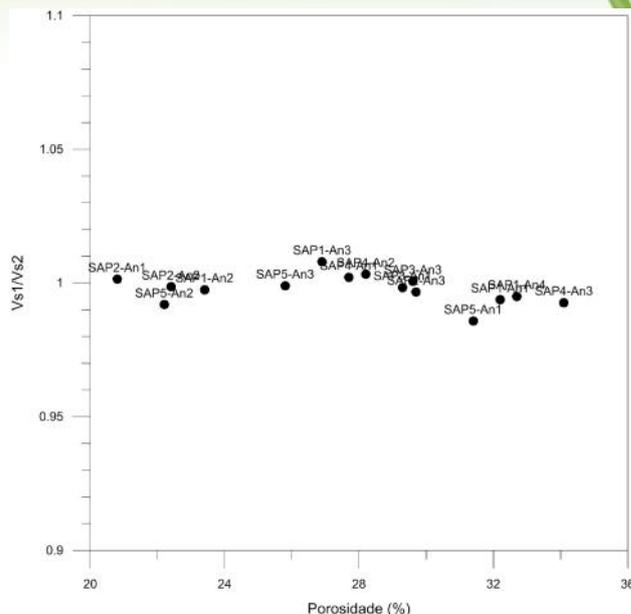


Figura 10: Relação entre a razão  $V_{s1}/V_{s2}$ , medida sob 40 MPa de pressão confinante efetiva e a porosidade.

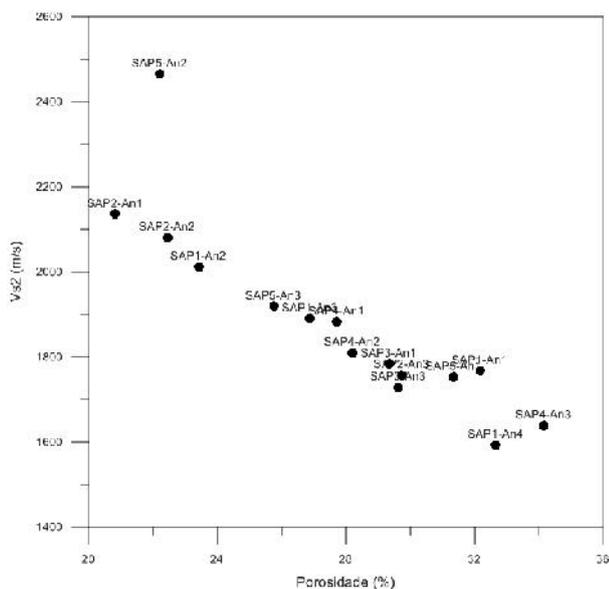


Figura 9: Relação entre  $V_{s2}$  medida sob 40 MPa de pressão confinante efetiva e porosidade.

Os módulos elásticos das amostras secas foram determinados a partir da densidade total e das velocidades das ondas P e  $S_1$ . As figuras 11 a 14 apresentam as relações entre o módulo de elasticidade e a porosidade, módulo de cisalhamento e a porosidade, a incompressibilidade e a porosidade e razão de Poisson e a porosidade, respectivamente.

A figura 11 mostra que o módulo de elasticidade das amostras apresenta uma forte correlação inversa com a porosidade. Isto é esperado, pois o aumento de porosidade provoca uma redução na resistência uniaxial da amostra.

A análise de anisotropia, através da razão  $V_{s1}/V_{s2}$ , apresentada na figura 10, indica um grau de anisotropia muito baixo, limitado a 1,5%, sem uma clara relação com a porosidade.



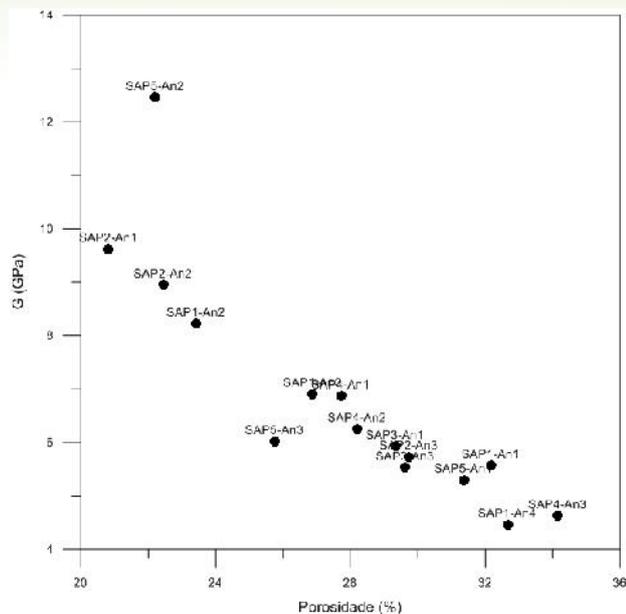


Figura 13: Relação entre o módulo de cisalhamento para amostras secas sob pressão confinante efetiva de 40 MPa e a porosidade.

A figura 14 apresenta o comportamento da razão de Poisson em função da porosidade. Observa-se uma suave tendência de redução do valor de (Razão de Poisson) com o aumento de porosidade.

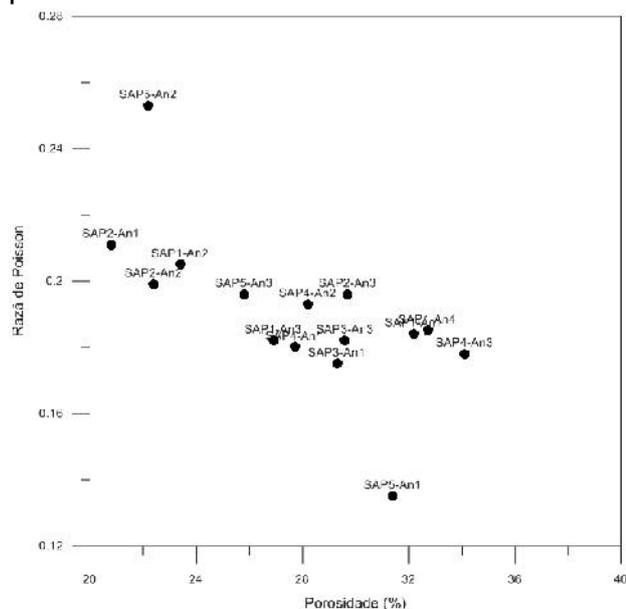


Figura 14: Relação entre a razão de Poisson para amostras secas sob pressão confinante efetiva de 40 MPa e a porosidade.

## 4. CONCLUSÕES

Os valores de densidade de grãos medidos indicam que as amostras da Formação Cotinguiba não são calcários puros.

A densidade total das amostras apresentam correlação inversa com a porosidade, ou seja, decrescem com o aumento da porosidade.

Para as amostras apresentadas observa-se que os valores de porosidade medidos encontram-se entre o intervalo de 20% e 34%. A partir destes valores, concluímos que a Formação apresenta um bom potencial para reservatório carbonático.

As velocidades das ondas elásticas indicam um reduzido nível de anisotropia, limitado a 1,5%, para todas as amostras analisadas. De maneira geral, as propriedades elastodinâmicas diminuem de forma consistente com o aumento da porosidade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aquino, G.S., Lana, M.C. **Exploração na Bacia de Sergipe-Alagoas: O "Estado da Arte"**. Boletim de Geociências.

Bandeira, A. N. Jr. **Sedimentologia e microfácies calcárias das Formações Riachuelo e Cotinguiba da Bacia Sergipe-Alagoas**. 1978. 69 p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

Schaller, H. **Revisão Estratigráfica da Bacia Sergipe-Alagoas**. Boletim Técnico da Petrobras. V.12, n. 1, p. 21-86. 1969.



Soares, J. A. ***Propriedades Físicas das Rochas***. Boletim SBGF. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, n.1. (2011).

Tucker, M. Wright, P. (1990). ***Carbonate Sedimentology***. Blackwell. USA. 421 p.