

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DAS PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO GRANITO ASA BRANCA E ROSA IRACEMA DO CEARÁ (BRASIL)

P.Figueiredo¹, L.Aires-Barros¹, J.R.Torquato², M.F.Bessa², M.A.B.Lima²,
A.H.M.Fernandes² e P.Machaquero³

¹ Laboratório de Mineralogia e Petrologia. I.S.T. Av. Rovisco Pais, 1096 – 1049-001 - Lisboa - Portugal
E_mail: pfigminas@popsvr.ist.utl.pt, airesbarros@popsvr.ist.utl.pt

² NUTEC – DITEM. Av. Prof. Rômulo Proença, s/n, Campus do Pici – 60.451-970 – Fortaleza - CE
Fone: (85)287-5211 - Fax: (85)287-1522

E_mail: torquato@nutec.ce.gov.br, fbessa@nutec.ce.gov.br, angelica@nutec.ce.gov.br,

³ Licenciado em Engenharia de Minas e Georrecursos, I.S.T. Av. Rovisco Pais, 1096 – 1049-001 - Lisboa - Portugal

RESUMO

As rochas estudadas no presente trabalho são granitos designados comercialmente por Asa Branca (Branco Ceará) e por Rosa Iracema. São granitos do Estado do Ceará, Brasil. A jazida do Asa Branca situa-se no município de Santa Quitéria a 247 Km de Fortaleza, enquanto que a do Rosa Iracema ocorre na Serra da Barriga, município de Forquilha, a 220 Km de Fortaleza.

Neste trabalho analisam-se as propriedades relacionadas com a transferência de fluidos (água), nomeadamente a porosidade às 48 horas, a porosidade aberta, a porosidade total, o teor em água máximo, o coeficiente de Hirschwald e o coeficiente de capilaridade. Determinam-se, ainda, a velocidade de propagação dos ultra-sons e da resistência à compressão simples para as amostras secas e saturadas. Tenta-se estabelecer uma comparação entre os dois granitos estudados.

Com base neste conjunto de determinações procura-se estabelecer comparação geomecânica entre estes dois tipos de granitos. No que concerne à transferência de fluidos (água em especial) verifica-se que são muito semelhantes. Conclusões sobre a alterabilidade destas rochas exigem a realização de ensaios laboratoriais de envelhecimento acelerado.

INTRODUÇÃO

Rosa Iracema e Asa Branca são designações comerciais dadas aos granitos estudados neste trabalho. Devido às suas características estéticas, estes tipos de granitos têm uma aplicabilidade muito ampla.

Todavia, as modernas técnicas de construção de edifícios colocam novos desafios e levam ao limite a resistência desses materiais.

Sendo assim, a realização de ensaios que permitam o conhecimento das propriedades físico-mecânicas das rochas, é uma das maiores preocupações actuais no seu estudo tecnológico.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O granito Rosa Iracema é lavrado e comercializado pelo Grupo GRANOS-IMARF na localidade denominada Fazenda Maurício na Serra da Barriga, Município de Forquilha, a noroeste da cidade com o mesmo nome. (Fig.1)

É uma jazida grosso modo elipsoidal com cerca de 7,5 Km a 8,5 Km de diâmetro que irrompe e corta todas as estruturas regionais (Fig.2). A sua idade ainda não foi determinada com precisão por se tratar de um corpo rochoso onde os sistemas químicos permanecem abertos. No entanto, por comparação com outros granitos regionais (Meruoca e Mucambo) acredita-se que se situará entre os 490 e os 550 Ma.

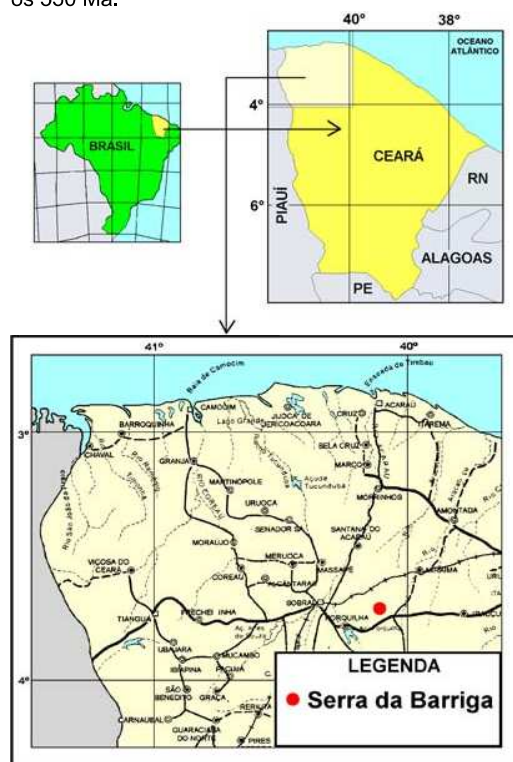


Figura 1: Localização geográfica da região da Serra da Barriga

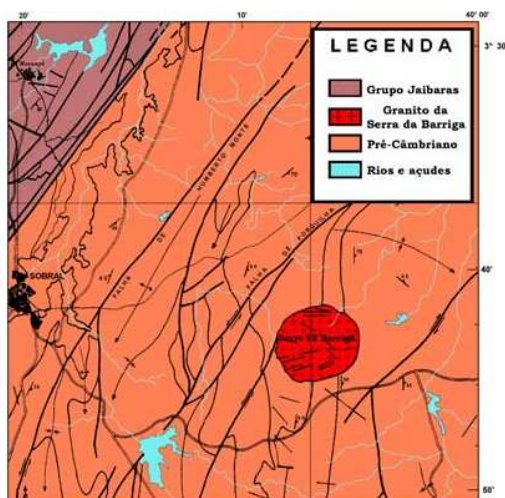


Figura 2: Esboço geológico da região da Serra da Barriga. (Fonte: COSTA et al., 1977 – modificado)

Petrograficamente corresponde a um granito grosseiro de textura porfiróide e pegmatitóide, branco, cinza claro e avermelhado de acordo com o grau de metamorfismo potássico presente. A sua textura é hipidiomórfica granular grosseira, por vezes cataclástica como na região central cortada por importante fracturação, com microclina pertítica sob a forma de ripas e cristais subeuédricos. A parte restante da rocha é composta por quartzo e oligoclase. Como acessórios principais temos a biotite, mais raramente a fluorite, a moscovite e a sericite são acessórios secundários. Por vezes observa-se caulinição selectiva nos feldspatos, actuando nas plagioclases ficando os feldspatos alcalinos praticamente inalterados (COSTA et al, 1979).



Figura 3 – Aspecto da pedreira do granito Rosa

A pedreira do granito Asa Branca dista 250 km de Fortaleza e está situada no Ceará, Município de Santa Quitéria, Distrito de Trapiá, na localidade denominada de Serrote Morrinhos. Ocupa parte da Fazenda Memória/Lagoinha, com uma área de lavra de 565,25 ha. (Figuras 4 e 5). O granito é lavrado e comercializado pela mineração Granistone e recebe a

denominação comercial no Sudeste do Brasil com o nome de Branco Ceará.

A região onde se situa o granito é, na sua maior parte, pertencente ao Pré-câmbrio tendo várias denominações de acordo com os diversos autores que a estudaram. Assim, por exemplo, para Campos et al.(1976) e para Braga et al.(1977) toda a região foi ocupado pelos Complexos Caicó e Tamboril-Santa Quitéria, ambos de constituição gnáissico-migmatítica. Para o Projeto Radambrasil (1981) toda as rochas da região foram englobadas no Complexo Nordestino desenvolvido durante o evento Transamazónico (ca. 2 Ga). Estudaram ainda a região Farina (1977) e outros autores que separaram o Pré-câmbrio em sequências metamórficas e Brito Neves (1983) que caracterizou os migmatitos do Maciço de Santa Quitéria e os “stocks” graníticos da Serra da Barriga e de Morrinhos.

O granito Asa Branca ou Branco Ceará não apresenta indícios de deformação dúctil, mas sim nítidas evidências de deformação frágil, com regiões de intenso fracturamento provavelmente gerado por alívios tensionais. Composicionalmente este corpo varia de granito a monzogranito e mostra texturas variando de equigranular a porfiróide com foliação tectónica pouco a muito desenvolvida. Os minerais essenciais são quartzo (22%), feldspatos (54%), moscovite (20%) e minerais acessórios tais como hornblenda, titanite, apatite, minerais do grupo do epidoto, clorites e opacos.

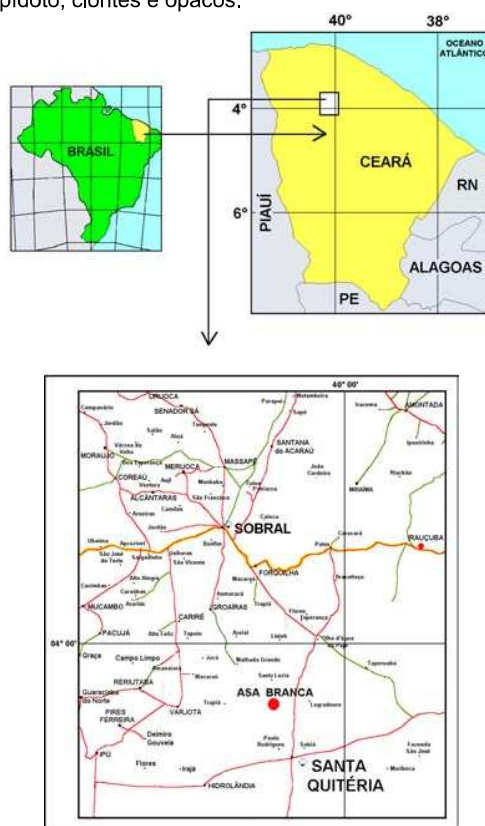


Figura 4: Localização geográfica da região do Granito Asa Branca.

corpos de prova eram de granito Asa Branca e 10 de Rosa Iracema.

Determinação da massa volúmica real e aparente, da porosidade aberta, da porosidade total e do teor em água máximo.

Para a determinação da porosidade aberta e da massa volúmica aparente utilizámos o método da balança hidrostática de acordo com a norma EN1936 (1999). O ensaio inicia-se com a secagem dos corpos de prova em estufa a 70 ± 5 °C até peso constante. Após a sua pesagem, em que se determina M_s , colocam-se em um recipiente de vácuo, tendo-se diminuído a pressão até 2.6667 kPa. Esta pressão manteve-se durante 24 horas para permitir a saída do ar dos poros. Findo este período, foi colocada dentro do recipiente água a uma temperatura próxima dos 20°C, mantendo-se o vazio durante a introdução da água e por mais 24 horas. Posteriormente deixaram-se as amostras durante mais 24 horas à pressão atmosférica normal. Findo o ensaio pesaram-se as amostras dentro de água, M_h e limpavam-se com um pano húmido para a determinação do peso saturado M_{sat} .

Figura 5: Esboço geológico da região do granito Asa Branca.



Figura 6 – Aspecto da pedreira do Asa Branca

A massa volúmica aparente γ_d corresponde à razão entre o peso do corpo de prova seco M_s e o seu volume aparente V_t (para amostras com geometria definida calcula-se por medição directa) ou através de :

$$V_t = \frac{M_{sat} - M_h}{\gamma_a} \quad (m^3)$$

Em que γ_a é a massa volúmica da água (988 kg/m³ a 20°C).

$$\gamma_d = \frac{M_s}{V_t} \quad (kg/m^3)$$

A porosidade aberta N_a é a razão entre o volume dos poros abertos e o volume aparente do corpo de prova.

$$N_a = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_h} \times 100 \quad (\%)$$

A massa volúmica real γ_s pode ser determinada através da relação entre a massa do corpo de prova seco M_s e o volume da parte sólida V_s (igual à diferença entre o volume aparente e o volume de poros) ou pelo método do picnómetro.

A porosidade total N_t é dada pela relação entre o volume total de poros e o volume aparente do corpo de prova.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Para a realização de todos os ensaios utilizaram-se 24 corpos de prova cilíndricos com altura de 100 mm e diâmetro de 44 mm. Destes, 14

$$N_t = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) \times 100 \quad (\%)$$

O teor em água máximo $W_{m\acute{a}x}$. é dado por:

$$W_{m\acute{a}x} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\%)$$

PROPRIEDADES DE IMBIBIÇÃO OU ABSORÇÃO

Absorção da água por imersão total

A absorção por imersão total de uma rocha à pressão atmosférica dá uma boa estimativa do grau de saturação natural, ou coeficiente de Hirschwald que uma rocha pode ter em meio natural. Este grau de saturação está directamente ligado à natureza da rocha e em particular às características do meio poroso, representando a percentagem em volume de poros livres (BOUSQUIE et al, 1980). Foi determinado o grau de saturação ou coeficiente de Hirschwald S48 segundo a norma Francesa NFB 10-504 (1973).

Em primeiro lugar, os corpos de prova vão à estufa a 70 ± 5 °C até peso constante, pesam-se, determinando-se M_s e colocam-se em um recipiente com água desmineralizada até $\frac{1}{4}$ da altura dos corpos de prova durante uma hora. Posteriormente enche-se com água até metade da altura durante 23 horas. Passadas estas 24 horas coloca-se água até à imersão total durante mais 24 horas, retiram-se do

$$N_{48} = \frac{V_w}{V_t} \times 100 \quad (\%)$$

recipiente, limpam-se com um pano húmido e pesam-se (M_{sat})

A porosidade acessível à água à pressão atmosférica, N_{48} é dada por:

Em que : V_w é o volume de água absorvido à pressão atmosférica
 V_t é o volume total do provete ensaiado

O coeficiente de Hirschwald S48 é dado por:

$$S_{48} = \frac{N_{48}}{N_t} \times 100 \quad (\%)$$

Absorção da água por capilaridade

Este ensaio tem como finalidade o estudo da cinética de imbibição e do grau de saturação. O ensaio realizou-se segundo o projecto de norma prEN1925 (1995).

Previamente os corpos de prova são secos a 70 ± 5 °C até peso constante, após o que são colocados num recipiente sobre tiras plásticas de modo a minimizar a superfície de contacto com o suporte e assegurar uma boa alimentação da água na base da amostra.

O nível de água tem 5mm de altura em relação à base da amostra, devendo-se manter o recipiente coberto, de forma a evitar a evaporação da água. Em intervalos de tempo crescentes (1/2, 1, 3, 8, 24, 48 e 72 horas) as amostras são pesadas depois de limpas com pano úmido.

Os resultados obtidos apresentam-se graficamente tendo em abcissas a raiz quadrada do tempo (\sqrt{t}) em $s^{1/2}$ e em ordenadas, a massa de água absorvida por unidade de superfície ($\Delta W/S$) em g/m^2 . Através do declive do primeiro troço determina-se o coeficiente de capilaridade C ($g/m^2 \cdot s^{1/2}$).

Para efeitos de comparação com os valores obtidos para o coeficiente de Hirschwald, S48 determinou-se o valor do grau de saturação no fim do ensaio de capilaridade Scap.

Resistência à compressão uniaxial

O ensaio de resistência à compressão uniaxial realizou-se com a finalidade de determinarmos a tensão de rotura à compressão simples, σ_c .

Para a execução deste ensaio seguiu-se o projeto de norma prEN1926 (1955). Os ensaios foram realizados em corpos de prova secos e em corpos de prova saturados com o objetivo de se determinar o coeficiente de enfraquecimento hidráulico.

Velocidade de propagação das ondas ultrasónicas

A velocidade de propagação das ondas ultrasónicas é uma característica do material e pode servir para determinar certas propriedades, nomeadamente o grau de fissuração e porosidade das rochas. É um meio de investigação complementar dos ensaios de resistência mecânica, ou seja as técnicas de ultrasons aplicam-se para o estudo da anisotropia, propriedades mecânicas e estrutura do meio (MOUZA et al, 1983).

O aparelho utilizado foi o Ultrasonic Instrument BPV, digital, cuja gama de medidas vai de 0,1 a 999,9 μs utilizando o método de transmissão de ondas sonoras que se encontra entre 25 e 200 kHz.

No presente trabalho apenas se determinaram as velocidades das ondas longitudinais, dado que são as que apresentam maior sensibilidade à presença de descontinuidades.

Os ensaios foram realizados sobre corpos de prova secos e sobre corpos de prova saturados em água.

A velocidade de propagação dos ultra-sons em rochas pouco porosas é controlada pela velocidade intrínseca da propagação dos minerais,

enquanto que as rochas porosas apresentam velocidade de propagação impostas pela proporção e morfologia dos vazios (DESSANDIER, 1995).

RESULTADOS OBTIDOS

Na tabela 1 encontram-se os valores médios obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica atrás referidos.

Tabela 1 – Resultados médios obtidos

| TIPOS DE ENSAIOS | RESULTADOS | |
|--|------------|--------------|
| | ASA BRANCA | ROSA IRACEMA |
| Porosidade às 48 horas (N_{48}) (%) | 0,79 | 0,68 |
| Porosidade aberta (N_a) (%) | 0,77 | 0,53 |
| Porosidade total (N_t) (%) | 2,05 | 1,69 |
| Teor em água máximo ($W_{máx}$) (%) | 0,29 | 0,20 |
| Coefficiente de Hirschwald (S_{48}) (%) | 38,29 | 40,75 |
| Massa aparente (γ_d) (g/m ³) | 2,60 | 2,61 |
| Massa real (γ_s) (g/m ³) | 2,66 | 2,65 |
| Coefficiente de capilaridade (C) (g/m ² .s ^{1/2}) | 0,69 | 0,62 |
| Velocidade de propagação de ondas (Vseco) (m/s) | 2963 | 2939 |
| Velocidade de propagação de ondas (Vsat) (m/s) | 3194 | 3211 |
| Resistência à compressão (σ_{seco}) (Mpa) | 135 | 92 |
| Resistência à compressão ($\sigma_{saturado}$) (Mpa) | 108 | 73 |

ANÁLISE DOS RESULTADOS

1. Comparando os valores obtidos da porosidade aberta com a porosidade às 48 horas verifica-se que os valores obtidos são da mesma ordem de grandeza, o que significa que a determinação da porosidade sob o vácuo não tem influência nos valores obtidos.
2. A porosidade total, como seria de esperar apresenta valores superiores aos das outras porosidades calculadas, uma vez que esta porosidade inclui o volume total de poros existentes na amostra, isto é os poros abertos e os poros fechados. A diferença de valores obtidos entre a porosidade total e as outras porosidades é justificada pela percentagem de poros oclusos e ocupados com ar.
3. Relativamente ao teor em água máximo, pouco se pode dizer pois os dois tipos de rocha apresentam valores muito baixos.
4. coeficiente de Hirschwald apresenta valores relativamente baixos, o que pode significar que a maior parte dos poros existentes estão preenchidos com ar. Como o coeficiente de Hirschwald exprime a capacidade natural da rocha para absorver água, é de prever face aos resultados obtidos, que as probabilidades de alteração por processos aquosos sejam fracas e

conseqüentemente a sua durabilidade não seja significativamente afetada.

5. Da observação do gráfico (Figura 7) que permitiu a determinação do coeficiente de capilaridade C, verifica-se estarmos na presença de um meio poroso heterogéneo, isto é, rochas em que a subida capilar é fraca e em que o volume poroso preenchido por água é inferior ao que se atinge na imbibição às 48 horas.

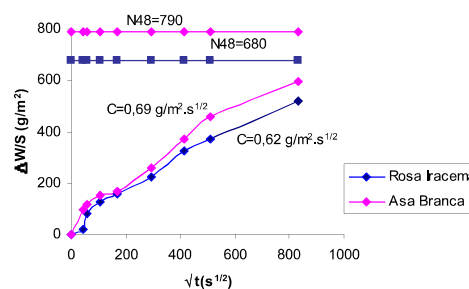


Figura 7 – Absorção da água por capilaridade em função \sqrt{t} .

6. Os valores obtidos para a velocidade de propagação dos ultra sons permitem verificar que ambas as amostras estudadas apresentam valores de propagação superiores quando estão saturadas em água, o que era esperado, pois a velocidade de propagação das ondas é maior na água do que no ar.
7. De acordo com ISRM (1979) verifica-se que o granito Asa Branca é uma rocha muito resistente quer seca quer saturada em água, enquanto que o granito Rosa Iracema é uma rocha classificada como resistente.

Calculando os valores para o coeficiente de enfraquecimento hidráulico obtém-se um valor de aproximadamente 80% para as duas rochas, o que significa que o decréscimo da resistência à compressão simples em climas muito chuvosos é cerca de 20%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos na caracterização física destes dois granitos verifica-se que eles são muito semelhantes no que concerne às propriedades relacionadas com a transferência de fluidos. A única diferença significativa reside na resistência à compressão simples em que se observa que o granito Asa Branca é significativamente mais resistente.

Deve salientar-se que estes ensaios se realizaram sobre rochas sãs, e que os mesmos ensaios deverão ser repetidos para rochas envelhecidas artificialmente em câmara de climatização, simulando o clima em que estas rochas ornamentais são aplicadas e os poluentes atmosféricos a que se sujeitam. Só assim se poderia

tirar conclusões mais precisas sobre a efetiva durabilidade destas rochas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado através do convênio de cooperação bilateral Brasil/Portugal (CNPq/ICCT).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, A. de P.G. et al. (1977) - *Projeto Fortaleza*; relatório final. Recife. DNPM/CPRM. 10 v.
- BRASIL (1981) - *Projeto Radambrasil*. Folha AS.24 – Fortaleza. Vol. 21. 483 pp.
- BRITO NEVES, B.B. de, (1983) - *O mapa geológico do Nordeste Oriental (escala 1/1.000.000)*. Tese de Livre Docência. IG/USP. Mimeografado. 177 p.
- CAMPOS, M. de (1969) - *Projeto Rio Jaguaribe*; Relatório final. Recife. DNPM/CPRM.
- COSTA, M.J., FRANÇA, J.B., LINS, C.A.C., BACCHIEGGA, I. F., HABEKOST, C. R. & CRUZ, W. B. (1979) - Geologia da bacia do Jaibaras, Ceará, Piauí e Maranhão. Projeto Jaibaras. Ministério das Minas e Energia-MME, Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM. Série Geológica n°14. 106 pp.
- FARINA, M. (1977) - Perspectivas metalogenéticas de alguns granitos pós-orogênicos do Nordeste Brasileiro. In: Simp. Geol. Nordeste. 8. Campina Grande, 1977. *Atas...* Campina Grande, Bol. Núcleo Nordeste da SBG. v. 6. p. 121-129.
- ISRM (1979) – Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol.16.