



Caracterização Tecnológica de Litotipos da Região de Tucano, no Interior da Bahia Para Fins Ornamentais

Rafael Franco e SILVA¹, Anaísa Barbosa dos Anjos PEREIRA², Márcio Luiz S. Campos BARROS¹, Alexandre Souza RODRIGUES¹, Silas Leonardo Dias VASCONCELOS¹

Resumo: O trabalho trata da determinação dos índices físicos e resistências à compressão simples de amostras de dois maciços rochosos da região de Tucano no interior da Bahia. As rochas amostradas são descritas macroscopicamente como um diorito basáltico e um sienogranito aplitóide. A determinação dessas propriedades físico-mecânicas é importante para caracterização de rochas para fins ornamentais porque informa sobre o comportamento do material quando de sua aplicação. Desta forma, o valor da tensão de ruptura do diorito basáltico analisado é de 153,48 MPa e a tensão de ruptura do sienogranito aplitóide é de 82,02 MPa. O diorito possui uma resistência à compressão simples muito maior do que o sienogranito. Entretanto, com relação à NBR 15844/2010 (Normas Brasileiras rochas para revestimento – requisitos para granitos), que diz que o valor do ensaio de compressão uniaxial deve ser maior que 100 Mpa, apenas o diorito basáltico pode ser usado, sem restrição, como material de revestimento. Com relação aos índices físicos, os valores determinados (densidade aparente: diorito, 2730 kg/m³; sienogranito, 2640 kg/m³; porosidade aparente: diorito, 0,66%; sienogranito, 2,43%; absorção d'água: diorito, 0,24%; sienogranito, 0,93%) indicam que, dentre os maciços rochosos estudados, o diorito possui uma densidade maior do que o sienogranito, além de menor porosidade e absorção de água. Estas características do diorito são compatíveis para serem utilizados em locais úmidos e externos. O sienogranito apresenta boa densidade, entretanto a porosidade e a absorção ultrapassam os limites prescritos nas NBR 15844/2010. Os resultados encontrados na determinação da resistência à compressão simples e na determinação dos índices físicos, o diorito apresenta características compatíveis com a NBR 15844/2010, mas o sienogranito só apresenta resistência a compressão simples compatível com a norma em questão. Dependendo do uso que se pretenda dar a essas rochas, mais estudos devem ser realizados para obter um perfil mais completo dos maciços.

Palavras-Chave: Rocha Ornamental, resistência à compressão simples, índices físicos.

Abstract: *The work deals with the determination of the physical indices and resistance to simple compression of samples of two rocky masses of the Tucano region in the interior of*

¹ Programa de Pós Graduação em Eng. Mineral PPGEMinas – Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

² Departamento de Eng de Minas DEMINAS - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Autor para correspondência: Rafael Franco e Silva

Rua Major João Ribeiro Pinheiro, 245 – Cond. Cidades do Mundo, Edif. Vársovia, Apt. 111 – Várzea – Recife – PE. CEP. 50740-170. E-mail: rafaelfrancosil@gmail.com

Recebido em 19 de Dezembro de 2017 / Aceito em 05 de Abril de 2018.

Bahia. The rocks sampled are described macroscopically as a basaltic diorite and an aplitoid sienogranite. The determination of these physical-mechanical properties is important for the characterization of rocks for ornamental purposes because it informs about the behavior of the material when it is applied. Thus, the rupture stress value of the analyzed basaltic diorite is 153.48 MPa and the rupture stress of the aplitoid sienogranite is 82.02 MPa. Diorite has a much higher compressive strength than sienogranite. However, with respect to NBR 15844/2010 (Brazilian Rules for Coating Rocks - Requirements for Granites), which states that the value of the uniaxial compression test should be greater than 100 MPa, only basaltic diorite can be used, without restriction, as coating material. In relation to the physical indexes, the determined values (apparent density: diorite, 2730 kg/m³, sienogranite, 2640 kg/m³, apparent porosity: diorite, 0.66%, sienogranite, 2.43%, water absorption: diorite, 0.24%, sienogranite, 0.93%) indicate that, among the rocky masses studied, diorite has a higher density than sienogranite, in addition to lower porosity and water absorption. These diorite characteristics are compatible for use in wet and outdoor locations. The sienogranite presents good density, however the porosity and the absorption exceed the limits prescribed in NBR 15844/2010. The results obtained in the determination of the resistance to simple compression and in the determination of the physical indices, the diorite presents characteristics compatible with the NBR 15844/2010, but the sienogranite only presents resistance to simple compression compatible with the norm in question. Depending on the intended use of these rocks, further studies should be carried out to obtain a more complete profile of the rocks.

KEY WORDS: *Natural rock, simple compression strength, physical indexes.*

1. INTRODUÇÃO

A caracterização de rochas ornamentais é de suma importância para determinar a melhor utilização dos diversos tipos de rochas com fins ornamentais, considerando a aplicação e o ambiente onde as mesmas serão usadas; com isso se faz necessário a realização de ensaios de índices físicos, que vão determinar a porosidade, massa específica aparente seca e saturada, absorção de água, e resistência a compressão simples; estes ensaios seguem o modelo da Norma Brasileira NBR 15845/2010 (VIDAL *et al.*, 2013).

Sendo o Brasil de vasta extensão territorial (8.500.000 Km²) e construído por estrutura geológica diversificada (escudos cristalinos, bacias sedimentares e terrenos vulcânicos), há uma grande variedade de material rochoso. Esta variedade de estruturas geológicas produz

diversidade nos litotipos e torna o Brasil o 5º maior exportador de rochas ornamentais do mundo (ABIROCHAS, 2017).

A Bahia é o maior produtor de rocha ornamental do nordeste, estando na 3ª posição no âmbito nacional, tem em sua vasta extensão territorial uma, grande variedade de rochas que podem ser exploradas como rochas de revestimento. Diante deste panorama, a região de Tucano apresenta dois litotipos: um diorito basáltico e um sienogranito aplitóide. Este artigo verifica a possibilidade de uso destes materiais com fins ornamentais, analisando os índices físicos e a resistência à compressão destes materiais rochosos.

A Bacia de Tucano é uma das bacias constituintes do rift do Recôncavo-Tucano-Jatobá, um rift intracontinental

que evoluiu como um braço abortado da ruptura continental que originou o Oceano Atlântico Sul como mostra a figura 3. Englobando uma área de aproximadamente 30.500 km², a bacia encontra-se dividida em três sub-bacias, Tucano Sul, Central e Norte, separadas, entre si, pelos cursos dos rios Itapicuru e Vaza-Barris, respectivamente (FILHO, 1997).

Do ponto de vista estrutural, há um forte controle dos traços do embasamento sobre o arcabouço estrutural do rift. A bacia de Tucano, como de resto todo o rift do Recôncavo-Tucano-Jatobá possui uma geometria de um semi-graben, cuja assimetria é gerada por uma falha de borda principal. A margem oposta constitui-se na borda flexural, a qual é limitada por falhas de pequeno rejeito ou

posicionada discordantemente sobre o embasamento.

Os blocos falhados constituintes dos semi-grabens da bacia de Tucano orientam-se para NE-SW e N-S, sendo tipicamente agrupados em compartimentos estruturalmente coerentes que dão origem às sub-bacias.

As sub-bacias são separadas por feições transversais orientadas NW-SE, que constituem zonas de acomodação ou de transferência, as quais podem não somente deslocar as falhas de borda, mas também alternar a polaridade das mesmas.

A sub-bacia de Tucano Sul é estruturalmente caracterizada por um semi-graben basculado para sudeste, ocupando uma área triangular de aproximadamente 7.000 km² (OLIVEIRA, 1998).

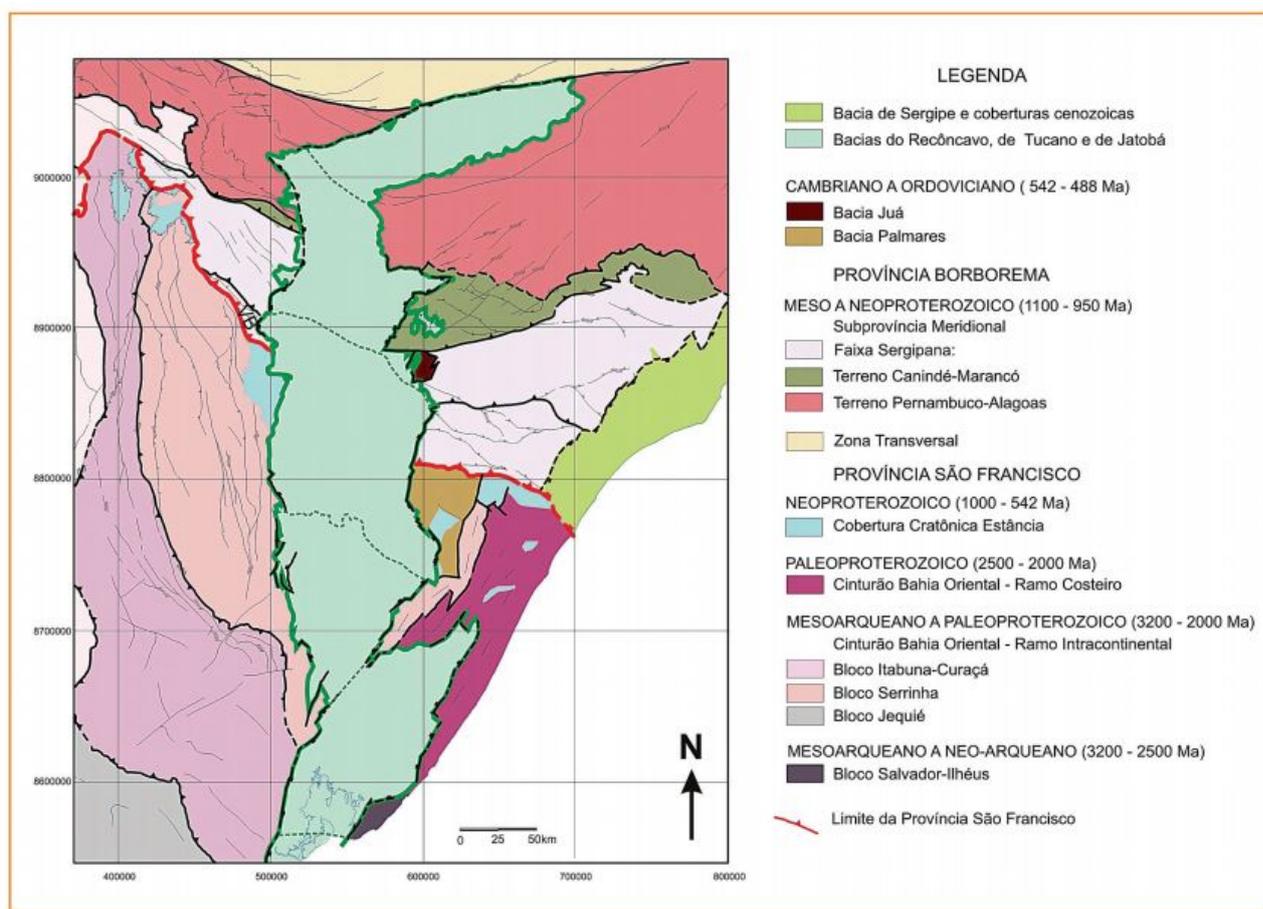


Figura 1 - Arcabouço estrutural da bacia de Tucano, com indicação da profundidade estimada para o embasamento.

A sub-bacia de Tucano Central possui cerca de 14.700 km² em área, constituindo-se na maior sub-bacia da região. Sua borda falhada é determinada pela falha de Adustina, havendo ainda duas áreas plataformais: a plataforma de Umburana, a oeste, e a plataforma de Quilombo, a leste (OLIVEIRA, 1998).

A sub-bacia de Tucano Norte ocupa uma área de cerca de 8.800 km², marcada por uma inversão na geometria do rift, uma vez que no Tucano Norte, ao contrário das sub-bacias mais ao sul, os estratos mergulham para oeste, em direção à falha de São Saité (FILHO, 1997).

No limite entre as bacias de Tucano Central e Tucano Norte, além do Alto do Vaza-Barris, ocorre às falhas de transferência de Caritá e de Jeremoabo que, juntamente com Alto do Vaza-Barris,

constituem uma zona de acomodação determinante da inversão da assimetria dos semi-grabens (FILHO, 1997).

Estudos efetuados na região limítrofe entre as sub-bacias de Tucano Central e Tucano Norte, evidenciaram uma compressão ao longo da falha de Jeremoabo, permitindo a formulação de um modelo cinemático para a abertura da porção norte do rift como visto na figura 2. No modelo, o bloco situado entre as falhas de Ibimirim e de Jeremoabo, além de translação, teria sofrido também uma leve rotação, evidenciada pela distensão diferencial ao longo da falha de Ibimirim na bacia do Jatobá, sendo maior a oeste e menor a leste, onde esta bacia termina. Desse modo, a distensão na falha de Ibimirim é acompanhada por empurrão na falha de Jeremoabo (OLIVEIRA, 1998).

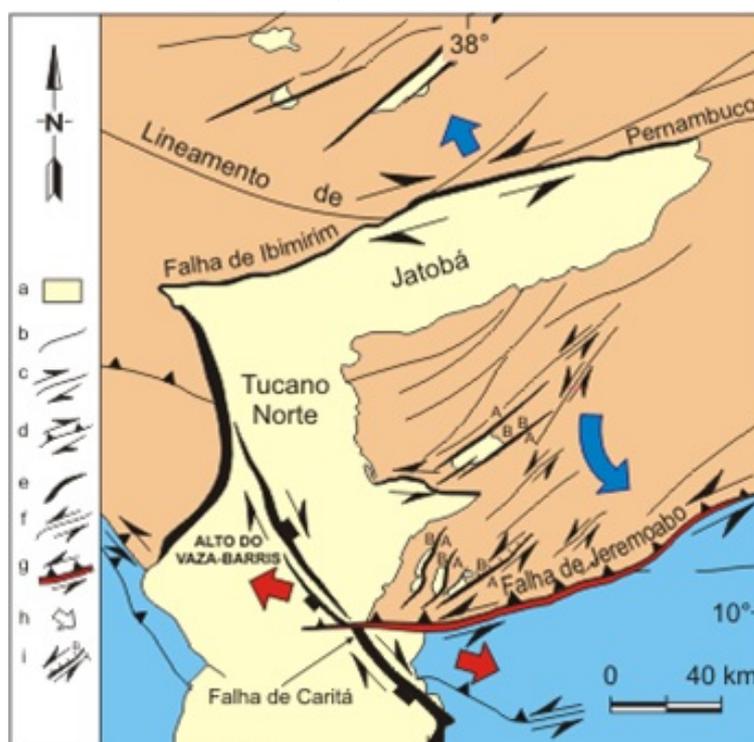


Figura 2 - Modelo geométrico-cinemático para a abertura da porção norte da bacia de Tucano. A rotação é indicada pela seta azul sobre o bloco situado entre as falhas de Ibimirim e Jeremoabo. Legenda: a - bacia de Tucano-Jatobá; b - falhas pré-cambrianas indiferenciadas; c - falha de rejeito direcional pré-cambriana; d - falha de rejeito direcional pré-cambriana com componente reversa de movimento; e - falhas maiores da borda do rift do Tucano-Jatobá; f - falha de rejeito direcional cretácea; g - falha de Jeremoabo; h - direção de distensão; i - zona transtraccional com sentidos de movimentação normal e direcional. (OLIVEIRA, 1998)

Semelhanças estratigráficas e estruturais são mais marcantes entre as sub-bacias de Tucano Sul e Central e, devido a isso, uma única coluna estratigráfica é utilizada para essas sub-bacias como podemos observar na figura 3. Já a sub-bacia de Tucano Norte tem maiores afinidades com a bacia de Jatobá, localizada mais ao norte.

2. PETROGRAFIA

As amostras utilizadas são provenientes de dois maciços distintos, um mais claro e outro mais escuro, ambos do interior da Bahia da região de Tucano. As rochas são representadas a seguir, as mais escuras na figura 4 podem ser descritas como de um diorito basáltico e as mais claras na figura 5 são de um sienogranitos.



Figura 3 - Carta estratigráfica simplificada da bacia de Tucano Central-Sul.



Figura 4 – Amostras do Diorito basáltico utilizadas nos ensaios com dimensões de 7,0 X 7,0 X 7,0 cm.

Os dioritos são rochas ígneas, formadas pelo lento resfriamento no interior da crosta terrestre, e são frequentemente encontrados na borda de plutonitos. São rochas com quantidades intermediárias de sílica (entre 52 - 65%), conferindo-lhes acidez intermediária. Esta rocha contém piroxênios e anfibólios como minerais essenciais, que estão inseridos no grupo dos minerais ferromagnesianos, e plagioclásios. O diorito é o equivalente plutônico ou intrusivo do andesito. O lento arrefecimento dos magmas que origina esta rocha proporciona a formação de minerais visíveis a "olho nu" - rocha fanerítica/granular.

Os sienogranitos são rochas ígneas intrusivas de granulometria intermediária e de mesma composição geral de um granito. Eles são caracteristicamente félsicos. O componente de feldspato é predominantemente alcalino no sienogranito (geralmente ortoclásio). O sienogranito é semelhante ao sienito, no entanto, a diferença principal é o seu maior teor de quartzo (15-25%), geralmente às custas de algum feldspato alcalino (45-50%), o



Figura 5 – Amostras de sienogranito utilizadas nos ensaios com dimensões de 7,0 X 7,0 X 7,0 cm.

domínio de biotita sobre a homblenda e a presença de moscovita e rutilo como minerais acessórios adicionais no sienogranito.

3. METODOLOGIA

3.1. Resistência à Compressão simples

O ensaio de resistência à compressão determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural, com o objetivo de obter um parâmetro indicativo de sua integridade física (FRASCÁ, 2001). Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, de maneira simplificada em relação ao que versa o acordo NBR/ABNT 15845/2010, já que a quantidade de amostra coletada se tornou insuficiente, para confeccionar a quantidade de corpos de prova como manda a NBR/ABNT 15845/2010. O procedimento consistiu em submeter dois

corpos-de-prova cúbicos de cada rocha amostrada, com aproximadamente dimensões 7cmx7cmx7cm, na condição seca. As amostras foram inseridas uma por vez na prensa hidráulica, marca WPM, e submetidos à ação de uma força de compressão, sob uma taxa de 300KN/min como pode ser observado na figura 6.

A tensão de ruptura é dada pela equação:

$$\delta_r = \frac{P}{A}$$

onde P é o esforço de ruptura aplicado pela prensa e A é a área de carga do corpo de prova submetida ao esforço.



Figura 6 – Ensaio de compressão simples.

3.2. Índices físicos

Por falta de amostra suficiente foi necessário obter do material resultante do ensaio de compressão uniaxial, sete amostras de cada maciço estudado, para realizar o ensaio dos índices físicos como mostra a figura 7.

Para determinação dos índices físicos foi utilizado um modelo adaptado da NBR 15845/2010. Esta adaptação da metodologia se deve a ordem das etapas em relação de como é executada a saturação em água. Os corpos-de-prova dos dois litotipos foram saturados juntos, em um mesmo recipiente, pois a

quantidade de material foi reduzida: estes corpos-de-prova foram obtidos dos resíduos do material testado nos ensaios de resistência à compressão simples possibilitando a saturação dos corpos-de-prova simultaneamente em um mesmo recipiente. Para a saturação em água, as amostras foram inicialmente semi submersas por 18 horas e posteriormente completamente submersas até completar um tempo total de 24 horas como visto na figura 8.



Figura 7 – Amostras após secagem na estufa.



Figura 8 – Corpos de prova semi-submersos.

A norma técnica indica que o procedimento para a determinação dos índices físicos de rochas deve constar em: ter os corpos-de-prova lavados em água corrente, colocados para secar em estufa ventilada, temperatura de 70 +/- 5°C, por 24 horas. Após secagem, as amostras devem ser pesadas obtendo-se a massa seca. Transcorridas às 48 horas de submersão, os corpos de prova devem ser pesados individualmente em balança hidrostática conforme a figura 9 e determinadas suas massas submersas. Depois, os corpos de prova devem ser emersos, sua superfície enxuta em toalha absorvente e em seguida pesados e determinados as suas massas saturadas.



Figura 9 – Corpo de prova sendo pesado na balança hidrostática.

Essas diferenças de procedimentos são justificadas, pois pesquisas realizadas neste laboratório apontam que tais modificações na metodologia facilitam a realização dos procedimentos, poupando tempo. Ainda os possíveis desvios nos resultados causados por essas simplificações já foram comprovados em estudos próprios como insignificantes para o objetivo. Para

análise de índices Físicos (Porosidade, Absorção e Massa específica seca e saturada), as normas da ABNT sugerem o procedimento em que a rocha sofre aquecimento em estufa para retirada de água para posteriormente ser submetida a uma saturação em água a temperatura ambiente. Em análises nos laboratórios do DEMINAS/CTG/UFPE, chegamos a conclusão de que não havia lógica neste procedimento, haja vista a saturação ser demorada e imperfeita. Além disso, a ação de temperatura na secagem reabre as microfissuras naturais das rochas, o que leva a resultados falsos (FILHO, 2002).

O cálculo da determinação dos índices físicos das amostras a partir dos dados obtidos nos ensaios é feito com as seguintes fórmulas:

Massa específica aparente seca (kg/m³):

$$\rho_{seca} = \left(\frac{M_{seca}}{M_{sat} - M_{sub}} \right) \times 1000$$

Porosidade aparente (%):

$$n_a = \frac{(M_{sat} - M_{seca})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100$$

Absorção de água (%):

$$\alpha = \frac{(M_{sat} - M_{seca})}{M_{seca}} \times 100$$

Como os ensaios de índices físicos foram realizados com sete corpos de prova para cada maciço, em cima dos resultados obtidos foram feitos cálculos de média e desvio padrão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos a partir dos ensaios resistência à compressão simples bem como os resultados dos cálculos da tensão de ruptura estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de compressão simples.

Rocha	C (mm)	L (mm)	Carga (t)	Tensão de ruptura (MPa)	Valores NBR 15844 (Mpa)
Diorito	72,31	72,24	81,25	153,48	≥ 100
Sienogranito	72,06	75,05	45,00	82,02	≥ 100

Desta forma, a média da tensão de ruptura do diorito basáltico analisado é de 153,48 MPa e a média da tensão de ruptura do sienogranito aplitoide é de 82,02 MPa. Dentre as rochas amostradas, portanto, o diorito possui uma resistência à compressão simples superior ao que sugere a NBR 15844/2010, mas o sienogranito não alcança o valor sugerido pela respectiva norma. Portanto, este material só deve ser usado em situações onde a necessidade de resistência à compressão seja compatível com aquela apresentada por esta rocha. A resistência à

compressão do diorito basáltico é superior àquela da NBR 15844, podendo, então ser utilizado em projetos que requeiram resistências elevadas.

Ainda a resistência menor da resistência à compressão do sienogranito se deve à maior granulação de seus minerais, o que também se traduz por maior porosidade, maior absorção de água e, conseqüentemente, menor densidade.

Os resultados dos ensaios dos índices físicos para o diorito basáltico e os do sienogranito aplitoide, também se encontram na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Resultados médios dos ensaios de índices físicos do diorito basáltico e do sienogranito aplitoide.

Rocha	Peso submerso (g)	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	ρ_{seco} (Kg/m ³)	η_a (%)	α (%)
Diorito basáltico	9,71	15,31	15,28	2,73	0,66	0,24
Sienogranito aplitoide	8,35	13,44	13,32	2,61	2,43	0,93

O resultado dos cálculos de média e desvio padrão dos índices físicos das rochas ensaiadas está demonstrado na Tabela 3.

Estes resultados indicam que, dentre os maciços rochosos estudados, o diorito possui uma densidade maior do que o sienogranito, além de menor porosidade e absorção. Em uma classificação grosseira, a amostra de diorito seria considerada muito compacta e a amostra de sienogranito seria considerada pouco porosa. A combinação de maior densidade e menor porosidade

e absorção faz sentido, visto que o peso aparente de uma rocha está tanto relacionado ao de seus minerais constituintes quanto à proporção de vazios na mesma.

A relação entre os resultados de resistência à compressão simples e os resultados dos ensaios de índices físicos também é consistente, já que maior densidade e menor porosidade de fato indicam a uma rocha de maior resistência. Entretanto o diorito basáltico que tem em sua composição minerais ferromagnesianos (piroxênios e

Tabela 3 – Índices físicos das rochas ensaiadas e parâmetros da NBR 15844.

ROCHA	ρ_{seco} (Kg/m ³)	η_a (%)	α (%)
Diorito Basáltico	2730,00	0,66	0,24
Sienogranito	2610,00	2,43	0,93
NBR 15844	2550,00	1,00	0,40

anfíbios), minerais de densidade mais elevada por causa da presença do ferro, conferindo à rocha maior densidade, é mais suscetíveis à alteração por oxidação e hidroxidação quando aplicada em ambientes onde exista umidade. Assim, apesar deste material apresentar características físico-mecânicas compatíveis com a NBR 15844, não deve ser usado em locais úmidos ou externos, sob pena de sofrer processos de alteração e, em consequência, ter suas características físico-mecânicas iniciais modificadas ao longo do uso. O sienogranito apresenta composição mineralógica rica em quartzo. A presença de quartzo se traduz por menor densidade para o material rochoso além de que a presença de quartzo, mineral rúptil e conseqüentemente microfissurado, aumenta a porosidade e, por conseguinte, a absorção de água. Daí os índices físicos do sienogranito serem menores que aqueles do diorito basáltico.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na determinação da resistência à compressão simples e dos índices físicos das amostras dos dois maciços rochosos da região de Tucano, Bahia, indicam que o diorito analisado tem boa qualidade e tem possibilidade de ser utilizado como rocha ornamental, sendo observada a necessidade de realização de testes complementares tais como medida da resistência à abrasão, resistência à flexão e ao impacto de corpo duro. Já o

sienogranito aplitoide não apresenta qualidade satisfatória, tendo em vista que os resultados obtidos nos ensaios indicam que este material tem restrição quanto a seu uso assim como a necessidade de utilização de alguns artifícios como envelopamento e selamento dos poros, para ser utilizado como rocha ornamental, principalmente em locais de umidade elevada. Dentre os dois maciços, o diorito basáltico apresenta maior resistência à compressão, maior densidade, menor porosidade e menor absorção, o que atesta a correlação destas propriedades, sendo, portanto, o mais indicado para fins ornamentais observando a composição mineralógica (minerais ferromagnesianos) deste material.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento – Métodos de ensaio. NBR 15845. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. NBR 15844. Rio de Janeiro, 2010.
- BARROS, M. L. de S. C. Classificação Geomecânica das Áreas de Deslizamento no km 17 na Rodovia PE -89. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Pernambuco, 2000.
- FILHO, C.L.M. Introdução à geologia de engenharia. 2.ed Brasília: Companhia de pesquisa de recursos minerais, 1997.

- FILHO, J.L.R, et. Al - III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste – Recife - PE – 2002.
- FRASCÁ, M.H.B.O. Tipos de Rochas Ornamentais e Características Tecnológicas – Rio de Janeiro – CETEM/MCTI, 2010.
- IAEG (International Association of Engineering Geology). Engineering geological maps: a guide to their preparation. Paris: Unesco Press, 1976.
- OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. – Geologia de Engenharia, 1a. ed. ABGE. 1998.
- VIDAL, F.W.H., AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. Tecnologia de Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento – Rio de Janeiro – CETEM/MCTI, 2013.