

## CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE ROCHAS ESCURAS E SUA CORRESPONDÊNCIA COM ALTERABILIDADE, RESISTÊNCIAS E ÍNDICES FÍSICOS; EXEMPLO DO PRETO SÃO MARCOS

R. B. SANTOS<sup>1</sup>, T. M. F. KÁLIX, F. M. C. OLIVEIRA, E. B. MELO, S. A. SILVA e M. L. S. C. BARROS  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da UFPE  
E-mail: ar.arqeng@gmail.com<sup>1</sup>

Artigo submetido em novembro/2013 e aceito em dezembro/2013

DOI: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2014.1805>

### RESUMO

As rochas silicáticas escuras, como os gabros, cuja composição apresenta mais plagioclásios e minerais ferromagnesianos, sobretudo piroxênios, anfibólios e micas, mostram maior tendência à alteração, seja em meio anidro (oxidação), seja em meio aquoso, através da hidratação. Rochas escuras sofrem limitações para aplicação, seja em ambientes úmidos ou secos, graças à susceptibilidade às alterações. A grande quantidade de rejeitos poderá ser minorada através da melhor adequação da exploração (extração das pranchas e blocos) aos elementos marcadores de deformação.

Assim, é necessária a análise prévia e localização da frente de produção na pedreira, de acordo com a forma e orientação do sólido segundo o qual a rocha tende a se partir naturalmente. Quanto aos índices físicos, o "Preto São Marcos" apresenta maior densidade que as rochas silicáticas claras. Os valores de porosidade e absorção d'água se mostraram compatíveis com aqueles da NBR 15844:2010, assim como as resistências mecânicas. A produção de britas a partir dos rejeitos das pedreiras contribui para redução da agressão ao meio ambiente e uso sustentado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Preto São Marcos; minerais ferromagnesianos; gabros; reuso de rochas.

### PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF DARK ROCKS AND THEIR CORRESPONDENCE WITH CHANGEABILITY, RESISTANCE AND PHYSICAL INDEX: "PRETO SÃO MARCOS"

### ABSTRACT

The dark silicate rocks, such as gabbros, whose composition has more plagioclase and ferromagnesian minerals, especially pyroxene, amphibole and micas, show a greater tendency to change, either in anhydrous medium (oxidation) or in aqueous medium, through hydration. Dark rocks suffer limitations for application, either in wet or dry environments, thanks to the susceptibility to changes. The large amount of waste can be alleviated through better matching of exploitation (extraction of boards and blocks) elements markers deformation. Thus, it is necessary to prior analysis of the

location and in front of quarry production, according to the shape and orientation of the second solid rock which naturally tends to crack. As for the physical index, "Preto São Marcos (Black Mark)" has a higher density than the silicate rocks clear. The values of porosity and water absorption proved to be compatible with those of NBR 15844:2010, as well as mechanical strength. The production of crushed rock from quarries waste contributes to reducing harm to the environment and sustainable use

**KEYWORDS:** Preto São Marcos"; ferromagnesian minerals; gabbros; reuse rocks.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à sua diversidade e versatilidade, as rochas vêm sendo utilizadas no decorrer da história em diversas situações por engenheiros, arquitetos e artesãos. Contudo, o amplo leque de rochas ofertados no mercado, possibilita uma grande variedade de escolhas, estimulando a criatividade dos profissionais ligados à área. Todas essas possibilidades podem trazer consequências não satisfatórias ao uso destinado do material, resultando na deterioração precoce, no desgaste, na alterabilidade, na perda de características de suas singularidades, tais como mudanças de cor e perda de brilho, que afetam diretamente a beleza estética do material. (SANTOS, 2012).

É importante lembrar que quando se fala de rochas não está se referindo a um material homogêneo, mas sim, heterogêneo, principalmente porque rocha é, não raro, um agregado de minerais de tipologias diferentes. Portanto, acrescentando a textura e a granulometria dos minerais, as rochas podem apresentar características estéticas e físico-mecânicas muito diferentes, o que aponta, já a princípio, a não possibilidade de uma padronização de uso. Destaca-se, então, a importância de, na escolha da rocha, aliar-se ao padrão estético, as características tecnológicas e o uso previsto. Assim, é necessário determinar em laboratório as características físicas e mecânicas das rochas, assim como as propriedades químicas como composição mineralógica e descrição petrográfica do material pétreo e também os aspectos estéticos brilho, cor e textura. O conhecimento destas qualidades do material rochoso facilita sua adequação ao uso (SANTOS, 2012).

É sabido que na cadeia produtiva do uso de material pétreo, é destacada a aplicação como rocha ornamental. Também compõem a referida cadeia produtiva as produções de pedrachão e cantaria. Outrossim, a rocha ornamental é utilizada com diferentes modalidades de acabamento tais como flamejada, apicoada, serrada, levigada ou polida, o que caracteriza a amplitude de sua utilização.

As rochas sedimentares, metamórficas e ígneas são extensivamente utilizadas com a finalidade ornamental, dado que contribui ainda mais para a importância do material pétreo e, conseqüentemente com as possibilidades de aproveitamento cada vez mais racionalizado, inclusive com a questão ambiental e o decorrente uso sustentado. Exemplos são inumeráveis, mas podem ser destacados desde rochas sedimentares clásticas (o arenito tipo Panetone), evaporíticas carbonáticas (calcário da região do Araripe, etc), rochas metamórficas (metaconglomerado verde tipos Gauguin e Fashion, quartzito Azul Bahia), outros quartzitos, filitos e ardósias, cordierita-xistos ("Black Cosmic") até as rochas magmáticas mais predominantes, sejam granitoides a gabroides.

Por fim deve ser também dada ênfase para a utilização do material pétreo como agregado graúdo, dado que importante para o aproveitamento otimizado das pedreiras.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas permitiram conduzir uma atenção especial aos aspectos significantes que pudessem influenciar nas questões discutidas neste trabalho. Realizou-se, através de visita a

campo, levantamento básico das frentes de exploração ativas e paralisadas da rocha ornamental “Preto São Marcos”. “Durante essa fase buscou-se identificar e avaliar os fatores e condicionantes geológicos locais, que poderiam determinar as feições estéticas e decorativas do material” (SANTOS, 2012, apud GIORGIO, 2003). Em seguida, foi realizada análise petrográfica das amostras colhidas in loco; nas amostras obtidas em marmorarias, executaram-se ensaios de caracterização tecnológica através de ensaios para a determinação dos índices físicos e da resistência à tração.

## 2.1 Caracterização Geológica

A pedreira onde é explotado o “Preto São Marcos” está situada a cerca de 10km da sede do Município de Casserengue e 64km da cidade de Campina Grande, Paraíba, e sua ocorrência se dá em forma de matacões e maciços. A lavra desta rocha ornamental ocorre em um plúton gabróide que ocupa uma área de aproximadamente 6km<sup>2</sup>, localizado a cerca de 10km ao sudoeste (SW) da sede do Município de Casserengue, PB. Do ponto de vista geotectônico, o “Preto São Marcos” é parte constituinte de uma suíte plutônica neoproterozóica que ocupa parte dos terrenos São José do Campestre e Faixa Seridó, integrante da sub-província Rio Grande do Norte, da Província Borborema. Em afloramentos, o “Preto São Marcos” apresenta um aspecto quase homogêneo, tanto na cor como na textura, e pode ser descrito como uma rocha ígnea, melanocrática, de granulometria média a grossa e textura hipidiomórfica a porfirítica com fenocristais de até mais de um centímetro (SANTOS, 2012, apud LIMA, 2008). Portanto, trata-se de rocha gabroide, cuja granulometria dos cristais varia desde supramilimétrica a centimétrica, o que se desdobraria potencialmente em baixa alterabilidade, entretanto a presença de minerais ferromagnesianos induz o potencial de oxidação estimulado principalmente pelo ferro.



**Figura 1 - Vista frontal do maciço rochoso, mostra fratura sub-horizontal que corta o maciço da esquerda para direita.**

Na escala mesoscópica, o “Preto São Marcos” é uma rocha cuja textura e estrutura tende à isotropia e homogeneidade. Todavia, encontra-se cortada por várias famílias de fraturas, inclusive zonas de cisalhamento localizadas, afora veios preenchidos com quartzo ou quartzo-feldspato, com extensões e espaçamentos variados. Entre as fraturas, destacam-se fraturas sub-horizontais (fraturas de esfoliação), acompanhando a superfície topográfica, que pode ser observadas em toda parte do afloramento do “Preto São Marcos” (Figura 1). As famílias de

fraturas subverticais, não preenchidas, apresentam as seguintes direções: N45°E, N10°W e N45°-55°W. Uma família de fraturas inclinadas preenchidas apresenta direção N83°E mergulho de 65° para SE. Algumas fraturas isoladas preenchidas apresentam as seguintes orientações: N20°E, 58°NW; N70°W 45°SW; N40°W, 45°SW. (SANTOS, 2012, apud LIMA, 2008).

## 2.2 Análise petrográfica

A análise petrográfica foi executada através do exame macroscópico de amostra *in natura*, segundo a NBR 15845:2010, anexo A. O exame microscópico das laminas delgadas consiste na descrição dos minerais e suas inter-relações (ou arranjo textural), com a observação do estado microfissural e grau de alteração das rochas e de seus constituintes minerais, além da classificação formal da rocha. As análises petrográficas foram realizadas no laboratório de Estudos Metalogenéticos Aplicados – LEMA, do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

De um modo geral, a rocha é composta por 40 a 55% de minerais félsicos, destacadamente o plagioclásio e 55% a 40% de minerais máficos, com destaque para micas, anfibólios e piroxênios ferromagnesianos. O plagioclásio se encaixa como andesina básica a labradorita, dado que se traduz numa composição molecular com grande presença de CaO e se desdobra em formação de carbonato, responsável pela melhoria do aspecto estético-decorativo, sobretudo marcado por cintilância nas superfícies polidas.

## 2.3 Índices Físicos

Os ensaios dos índices físicos consistiram em definir a relação básica entre a massa e o volume das amostras através das propriedades de massa específica aparente (densidade), porosidade e absorção d'água, conforme Norma da ABNT NBR 15845:2010, Anexo A. Os corpos-de-prova em chapa polida foram lavados em água corrente, pesados, e colocados para secar em estufa ventilada, temperatura de 70 +/- 5°C, por 24 horas. Após secagem, as amostras foram pesadas obtendo-se a massa seca (Msec.). Posteriormente, os corpos de prova foram colocados em bandeja com água destilada na medida 1/3 de sua altura; após 4 horas foram completados 2/3 de água e deixados por mais 40 horas. Transcorridas as 48 horas de submersão, os corpos de prova foram pesados individualmente em balança hidrostática, modelo AS500C com precisão 0,01g, e capacidade máxima de 500g da marca Marconi, e determinadas suas massas submersas (Msub.). Depois, os corpos de prova foram emersos, sua superfície enxuta em toalha absorvente e em seguida pesados e determinados as suas massas saturadas (Msat.). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

## 2.4 Resistência à Compressão Uniaxial

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 e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física” (FRASCÁ, 2001). A tensão suportada varia de acordo com a composição mineralógica, a textura, o estado de alteração e a porosidade do material (KALIX, 2011). Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da

Universidade Federal de Pernambuco, de acordo NBR/ABNT 15845/2010, ANEXO E. O procedimento consiste em submeter cinco corpos-de-prova cúbicos, com dimensões 7cmx7cmx7cm, na condição seca. Antes do ensaio, os corpos de prova foram deixados na estufa (70°C +/- 5°C) por 48 horas. Depois, as amostras foram inseridas uma por vez na prensa hidráulica da marca WPM, e submetidos à ação de uma força de compressão, sob uma taxa de 300KN/min.

### 2.5 Módulo de Ruptura (Flexão por carregamento em três pontos)

O ensaio de flexão por carregamento em três pontos, ou ainda, módulo de ruptura determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores, permitindo avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, e também fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração (FRASCÁ, 2001). Foram confeccionados corpos-de-prova, com dimensões de 5 cm x 10 cm x 20 cm, para a realização de ensaio na condição seca, sendo 3 corpos-de-prova ensaiados na direção perpendicular ao plano de fraqueza e 2 na direção paralela ao plano de fraqueza. Os corpos de prova foram inseridos um por vez na prensa hidráulica manual SOLOTEST de três pontos, com capacidade de 20 toneladas, e submetidos à ação de esforços flexores. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, conforme a NBR ABNT 15845:2010, ANEXO F.

### 2.6 Desgaste Abrasivo *Amsler*

Para o ensaio de desgaste abrasivo foram confeccionados quatro corpos-de-prova com dimensões de 10cm x 10cm x 2cm, os quais tiveram suas espessura medidas (mm) antes e após desgaste abrasivo em um percurso inicial, de 500 metros e posteriormente de 1000 metros, frente ao atrito com areia quartzosa seca nº 50 com 92% de sílica (SiO<sub>2</sub>), realizada na Máquina *Amsler*. Esse ensaio determina a resistência ao desgaste do material pétreo frente ao tráfego de pessoas e/ou veículos. Os ensaios foram executados segundo a norma da ABNT NBR 12042:1992, no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os materiais pétreos têm variada utilização nas obras civis. Desde materiais de revestimento que embelezam e protegem as obras até as pedras britadas que constituem os concretos, lastros, drenos, etc. O conhecimento das características dos materiais pétreos orienta sua aplicação e uso. A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da caracterização geológica, da análise petrográfica e dos ensaios tecnológicos.

### 3.1 Geometria Estrutural da Área Explotada

O estudo compreendeu a análise de duas áreas de exploração, uma em estado de paralisação (cava I) e a outra em plena atividade (cava II). As áreas estudadas se tratam de um exemplo de exploração realizada a céu aberto, através do método de bancadas baixas. Os cortes e esquadreamento da rocha são feitos com o uso das tecnologias de corte em costura, com

abertura através de argamassa expansiva e por meio do fio diamantado. As áreas visitadas localizam-se nas coordenadas  $06^{\circ}48'46,440''S/035^{\circ}51'17,280''W$  (Cava I) e  $06^{\circ}49'08,820''S / 035^{\circ}51'11,880''W$  (cava II). Segundo observações mais detalhadas, a cava I apresenta superfície alongante de  $070^{\circ}Az - 250^{\circ}Az$ , (cerca de 250 m), e superfície trincante segundo  $350^{\circ}Az - 170^{\circ}Az$ . Outrossim, a cava II, constitui apenas uma frente dentre outras tantas no local, tendo máximo aprofundamento, sendo notável o processo de decapeamento. Alonga-se segundo  $085^{\circ}Az - 265^{\circ}Az$ , sendo a trincante  $030^{\circ}Az - 210^{\circ}Az$  com extensão menor da ordem de 80m. O maciço, onde faz sentido a tomada de orientações dos parâmetros estruturais, apresenta veios com orientação de  $100^{\circ}Az - 280^{\circ}Az$  e mergulho de  $55^{\circ}/190^{\circ}Az$ , compativelmente com direções medidas em outro local, indicando a extensividade da orientação.

A presença de veios e fraturas é bem visível tanto nos maciço quanto nos matacões, apresentando espessuras e direções distintas em vários pontos da pedreira. Os veios aparecem na ordem de 0,01m a 0,03m de espessura, com distância de aproximadamente dois metros entre si, e orientações variáveis de  $100^{\circ}Az - 280^{\circ}Az$  a  $110^{\circ}Az - 290^{\circ}Az$ , com mergulhos de  $35^{\circ}/190^{\circ}Az$  a  $50^{\circ}/200^{\circ}Az$ , respectivamente, em determinado ponto do maciço na Cava I. Contudo, as fraturas se apresentam com mais frequência, segundo duas direções:  $115^{\circ}Az - 295^{\circ}Az$ , com mergulho de  $60^{\circ}/025^{\circ}Az$ , frequência de 2/m (duas por metro) e distância entre elas de  $d = 6cm$ ;  $140^{\circ}Az - 320^{\circ}Az$ , com mergulho de  $18^{\circ}/050^{\circ}Az$ , frequência de 4/m (quatro por metro) e distância mínima entre elas  $d = 30cm$ , o que caracteriza, nesses caso, uma rocha frágil-rúptil (cava I). Na cava II, as fraturas mostram-se com  $085^{\circ}Az - 265^{\circ}Az$  (mergulho de  $60^{\circ}/355^{\circ}Az$ ), com frequência de 2/m e distância  $d=6cm$ ;  $160^{\circ}Az - 340^{\circ}Az$ , com frequência de 3/m e distância mínima  $d=10cm$ . Na cava I foram realizadas observações em um ponto identificado como 3º ponto. O maciço no terceiro ponto estudado cujas coordenadas são  $06^{\circ}48'46,620''S / 035^{\circ}51'16,020''W$  aponta reforço à diversidade de orientações dos elementos planares que marcam a sua descontinuidade, dado que se reflete num bloco de partição natural diferente daqueles dos pontos anteriores. Portanto, sumariamente, os blocos de partição natural da rocha nas cavas visitadas mostram que poderia ter sido aproveitado melhor o correspondente na cava I, o que não aconteceu. Em contrapartida, a cava II é a que mais se aproxima da partição natural do maciço localmente, conforme figura 2, abaixo

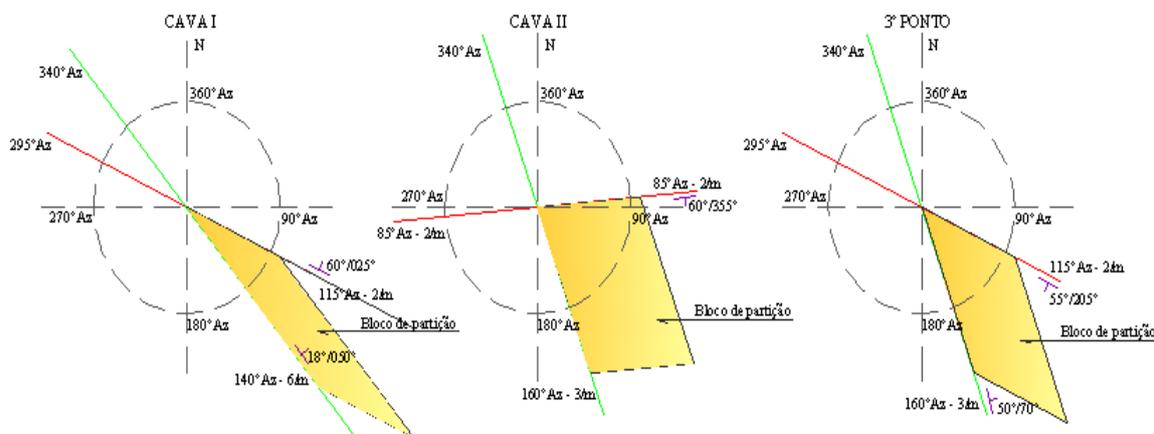


Figura 2 - Imagem do topo ou mapa dos blocos das cavas I, II e terceiro ponto. Fonte: Santos, 2012.

Portanto a exploração do maciço do “Preto São Marcos” é dificultado pela necessidade de acompanhamento sistemático e determinação do bloco de partição, bastante variável no local da jazida. Atribuem-se tais variações à múltipla deformação, pois a forma do corpo é alongada, mas irregular e há presença de delgados veios, o que significa, à primeira vista, que o corpo escuro recebeu injeções de material claro e, subsequentemente houve cisalhamentos, resultando numa diversidade de orientação de elementos planares. A exploração se processa tanto em maciços como em matacões, desde que sua dimensão permita a produção de pranchas, donde serão retirados os blocos.

É importante observar se a presença das fraturas no maciço se apresenta com frequências superiores a 1/m (uma por metro), o que caracteriza o estágio de deformação do maciço rochoso como rúptil e, portanto, o torna inadequado à produção de pranchas e blocos com finalidades ornamentais.

A produção de pranchas á a etapa da inicial da atividade da pedreira, indispensável ao desdobramento em blocos, com dimensões que permitam o transporte para os teares e às serrarias.

As frentes de exploração ou de extração do “Preto São Marcos” foram levantadas quanto aos elementos geométrico-estruturais e respectivos blocos de partição, para o que foram identificados os elementos planares, sua frequência por metro na busca de identificação do respectivo bloco de partição. A estrutura geológica é fator interferente essencial e no caso há uma disposição do corpo na forma de um mega-sigmóide, limitado por estruturas de cisalhamento, genericamente alongado segundo Norte-Sul. O resultado é que, embora geralmente o estágio de deformação seja frágil-dúctil, há locais em que o estágio alcança a frágil-ruptibilidade, com todos os desdobramentos ao bloco de partição, sobremodo gerando sólidos não ortogonais.

As figuras 3, 4 e 5, seguintes, mostram os blocos de partição em cada local e o seu aproveitamento otimizado nas frentes mais recentes.



Figura 3 – Vista da face do maciço, com presença de inúmeras fraturas e veios, que impossibilitam a continuidade da exploração (Cava I).



Figura 4 - Vista mostra espessura do capeamento na área, e fraturas de cisalhamento sub-horizontais. (Cava II).



Figura 5 – Vista da face do maciço no terceiro ponto,

### 3.2 Descrição Petrográfica e aspectos de alterabilidade

Macroscopicamente o material estudado se trata de uma rocha ígnea, de aparência heterogranular, fanerítica, com estrutura maciça e granulação média a fina, rica em minerais

ferro-magnesianos (biotita, anfibólio, piroxênio), plagioclásio e quartzo mais raramente. Apresenta um aspecto homogêneo, tanto da cor quanto da textura, e apresenta minerais de tamanho supramilimétrico (Figura 5). A presença de minerais ferro-magnesianos explica grande potencial de oxidação da amostra. A observação das lamina delgadas do “Preto São Marcos”, representada no quadro 1, revelam a presença de: plagioclásio cálcico (Ca>Na) como constituinte mineralógico predominante, representado por cristais de diversos tamanhos de andesina  $[(Na_{0,7-0,5}, Ca_{0,3-0,5})Al(Al_{0,3-0,5}, Si_{0,7-0,5})Si_2O_8]$  e secundariamente por albita  $[(Na_{1-0,9}, Ca_{0-0,1})Al(Al_{0-0,1}, Si_{1-0,9})Si_2O_8]$ . E exibe geminações de albita e periclina. Outros minerais observados no estudo foram a biotita  $K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2(Al,Fe)Si_3O_{10}$ , o piroxênio, e o anfibólio, como minerais essenciais O anfibólio é representado pela hornblenda magnésiana  $(Ca_2[Mg_4(Al,Fe^{3+})](Si_7Al)O_{22}(OH)_2)$ , que apresenta com pleocroísmo verde-oliva a verde-claro, contendo inclusões de minerais opacos e biotita. Os intercrescimentos contêm inúmeras inclusões de biotita, anfibólios, piroxênios e minerais opacos. A biotita ocorre comumente na cor castanha com tonalidade avermelhada e associa-se aos anfibólios e piroxênios. Costuma ser produto de alteração da hornblenda. Os minerais opacos são primários e ocorrem dispersos em grãos. As microfissuras se apresentam de forma intergranulares preenchidas com produtos de alteração. Materiais pétreos com minerais supramilimétricos possuem menor capacidade de absorção, e menor suscetibilidade à alterabilidade, enquanto aqueles com granulometria mais fina, submilimétrica, apresentam maior resistência à compressão e maior alterabilidade, inclusive para os minerais essenciais, no caso específico das rochas gabroides ou mesmo dioritoides - as principais rochas de cor escura - cuja composição envolve maior presença de plagioclásios e minerais ferromagnesianos, sobretudo micas, anfibólios e piroxênios.



Figura 5 – Chapa do “Preto São Marcos onde se observa minerais escuros

Quimicamente, os plagioclásios são mais ricos em cálcio e daí, quando alteram em meio aquoso, há maior chance de precipitação de hidróxidos de cálcio, concentricamente e na forma de geles, com expansão associada devida ao correspondente aumento do volume da rocha, ou mesmo microfissuramento. Quando se alteram em meio seco, são susceptíveis à oxidação, dado

melhor observável nos minerais férrico-ferrosos, que também se desdobra na agregação de massa, não raro também na forma concêntrica e, portanto, no fissuramento da rocha, associado ao seu manchamento. Portanto, rochas escuras como o “Preto São Marcos” sofrem fortes limitações para aplicação em ambientes úmidos sujeitos ao processo de secagem e molhagem, graças à susceptibilidade à oxidação, ou à hidratação via hidrólise. O granito “Preto São Marcos” também apresenta outro uso, sem ser o ornamental. É preciso considerar a alternativa da produção de britas, para aproveitamento do material extraído que não resulte na produção de placas polidas. Outra possibilidade é sua utilização como um substrato agrícola pois, devido à presença de magnésio nos minerais desta rocha, no sentido da melhoria da fertilidade e adequação de regiões de plantios extensivos ou intensivos (preparação de mudas), sobretudo na otimização de planejamentos ao desenvolvimento sócio-econômico. É sempre oportuno lembrar que a disputa entre magnésio e alumínio, que possuem raio atômico próximo e cargas elétricas diferentes, tende a ocorrer na relação 3Mg:2Al, dado que se reflete na inibição do alumínio e no comportamento pouco esturricado do substrato, permitindo melhor desenvolvimento de mudas.

Quadro 1: Ficha petrográfica do granito “Preto São Marcos”

<b>Denominação comercial:</b> Preto São Marcos		<b>Procedência:</b> Casserengue - PB		<b>Amostra:</b> PSM	
<b>Descrição Macroscópica:</b> Rocha de cor escura, de aparência heterogranular, de granulação média a fina, rica em minerais ferro-magnesianos (cerca de 40 a 55%) Apresenta um aspecto homogêneo, tanto da cor quanto da textura.					
<b>Descrição Microscópica</b>					
<b>Análise Textural:</b> heterogranular, Fanerítica, com minerais de tamanho supramilimétrico a subcentimétrico.					
<b>Análise estrutural:</b>					
<b>Minerais Essenciais:</b> plagioclásio cálcico (andesina a albita (< 4 mm]) subordinadamente oligoclásio a andesina(menos cálcio); piroxênio, anfibólio magnésiano (> 0,25mm) e biotita magnésiana					
<b>Minerais Acessórios:</b> biotita magnésiana					
<b>Mineralogia:</b> Secundária: óxido de ferro, carbonatos					
<b>Descrição Microscópica:</b>					
<b>Análise Modal:</b> Ferro magnesianos (40 a 60%) Plagioclásios (60 a 40%)					
<b>Feldspato</b>	<b>Anfibólio</b>	<b>Piroxênio</b>	<b>Biotita</b>	<b>Outros:</b>	
Plagioclásio Andesina (40%) e secundariamente albita (15%)	Hornblenda magnésiana (20%)	Enstatita (10%)	Magnésiana (11 %)	Clorita magnésiana, carbonato dolomítico (4%)	
<b>Tipo de Contato (%)</b>				<b>Grau de Microfissuramento:</b> baixo (<5%)	
<b>Côncavo-convexo e/ou interlobado</b>	<b>Poligonal</b>	<b>Serrilhado e/ou Reto</b>	<b>Índice de Coloração</b>	<b>Índice de Quartzo</b>	

10%	70%	20%	M = 60 e 90%	4%
-----	-----	-----	-----------------	----

Fonte: Santos, 2012.

### 3.3 Índices Físicos

De acordo com os ensaios realizados, o litotipo estudado apresenta seus índices físicos dentro de uma margem satisfatória de acordo com as normas vigentes. Observa-se que o valor de densidade das amostras do “Preto São Marcos” (2916 Kg/m<sup>3</sup>), mostrou-se satisfatório ao estabelecido pela norma ASTM ( $\geq 2.560$  Kg/m<sup>3</sup>) e pelo índice sugerido pela ABNT Norma 15844:2010 ( $\geq 2550$  Kg/m<sup>3</sup>), como valor limite mínimo para as rochas silicáticas, conforme quadro 2, abaixo.

Quanto à porosidade, o comparativo se restringiu aos valores obtidos nos ensaios realizados e naqueles sugeridos pela ABNT NBR 15844:2010 tendo em vista que a ASTM não apresenta um índice limite para esta propriedade. Assim, ao correlacionar os dados existentes, observou-se que o valor de 0,21% de porosidade obtido através das amostras ensaiadas apresenta-se dentro da margem sugerida pela NBR 15844:2010, menor ou igual a 1%. No que se refere à absorção de água, os resultados dos ensaios estão abaixo daqueles preconizados pela ABNT e pela ASTM. Contudo ao correlacionar estas duas propriedades (“Preto São Marcos”, 0,07% para absorção e 0,21% para porosidade), “observam-se que as variações mineralógicas, a existência ou não de microfissuras, relações de contato entre os grãos minerais, granulação, aspectos estruturais, alteração mineral, entre outras, influenciam diretamente essas propriedades” (KÁLIX, 2011).

Assim, é possível afirmar que, quanto menor forem os granulados mineralógicos de um sólido rochoso, mais este se torna empacotado e mais compactos ficam seus grãos e tendencialmente, menos espaços vazios existirão em seu interior, diminuindo a porosidade e por consequência a absorção d’água. Logo, as propriedades referidas aos índices físicos estão diretamente relacionadas entre si, de modo que a densidade depende grandemente da composição mineral e do grau de compactação ou da interrelação entre cristais, resultando em uma relação inversamente proporcional entre a densidade e a porosidade o material.

Quadro 2 – Valores dos índices físicos e valores limites da ABNT e ASTM

Rocha/ Normas	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade (%)	Absorção d’água (%)
“Preto São Marcos”	2916	0,21	0,07
NBR 15844	2550	1,00	0.40
ASTM C 615	2560	n.e.	0,40

### 3.4 Resistência à compressão uniaxial

As amostras foram divididas em dois lotes: lote I, que teve a carga de compressão aplicada na direção perpendicular ao plano de fraqueza, e lote II com a carga aplicada na direção paralela ao plano de fraqueza da rocha.

Os valores das resistências das amostras do lote I, onde a aplicação da carga foi direcionada perpendicularmente ao plano de fraqueza do material rochoso, e que representa o sentido de maior resistência do material, e do lote II, que teve as cargas aplicadas na direção paralela ao plano de fraqueza da rocha, que representa a direção de menor resistência do material, estão representados no quadro 3, a seguir. Observa-se que os valores determinados para a resistência à compressão do “Preto São Marcos” são inferiores àqueles preconizados pela ABNT (NBR 15844) e pela ASTM C-615.

Os valores alcançados são resultados da inter-relação entre aspectos intrínsecos da rocha, entre eles é possível citar a composição mineralógica, a granulometria, as fraturas e microfissuras. Assim este material sofrerá restrições de uso considerando os baixos valores de resistência que apresenta.

**Quadro 3 - Valores de resistência à compressão uniaxial do “Preto São Marcos”**

	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04
Lote I	78,84 MPa	82,24 MPa	91,21 MPa	81,23 MPa
Lote II	67,68 MPa	72,08 Mpa	59,95 MPa	75,00 MPa

### 3.5 Resistência à Flexão por três pontos (Módulo de Ruptura)

No lote I, as amostras tiveram a carga aplicada na direção paralela ao plano de fraqueza, e no sentido perpendicular ao plano de fraqueza, nas amostras do lote II. Neste ensaio é importante observar nos corpos de prova sinais de fraturas e microfaturas, elementos que podem comprometer os resultados dos ensaios. Por problemas de ordem técnica para a determinação do módulo de flexão, foram ensaiados um número menor de corpos-de-prova que no caso da determinação da resistência à compressão uniaxial. Os valores obtidos após a realização dos ensaios estão mostrados no quadro 4. Observa-se que os resultados mostram-se acima dos valores exigidos pela ABNT através da NBR 15844 (maior ou igual a 10 Mpa), e pela ASTM C-615 (maior ou igual a 10,34 Mpa), no caso do lote I. Entretanto, no caso do lote II, os resultados obtidos foram satisfatórios nas duas primeiras amostras, maiores que a determinação das normas. Entretanto a terceira amostra mostrou um resultado muito abaixo do esperado, o que se justificou pela presença de uma fratura perpendicular ao plano de fraqueza.

A correlação dos resultados obtidos com os das normas conclui que a resistência à flexão alcançada, para o “Preto São Marcos”, é satisfatória, e resultou no alerta com relação existência de faturas, que podem ser causadas na fase de extração dos blocos ou no beneficiamento, podendo levar ao comprometimento do uso do material.

**Quadro 4- Valores do módulo de ruptura do “Preto São Marcos”**

	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03
Lote I	11,42 MPa	14,90 MPa	---
Lote II	17,41 MPa	23,28 MPa	8,43 MPa

### 3.6 Resistência ao Desgaste Amsler

Os resultados dos ensaios de desgaste abrasivo do “granito Preto São Marcos”, estão mostrados no quadro 5.

Quadro 5 – Valores do desgaste Amsler referentes ao “granito Preto São Marcos”

Item	Desgaste aos 500m	Desgaste aos 1000m
“Granito São Marcos”	0,3475	0,4775

A norma ASTM C-615 (1992) não especifica valores limites como referencia para o desgaste abrasivo. Entretanto a ABNT, através da NBR15844:2010, estabelece um limite de  $\leq 1,0$  mm de desgaste, para percursos de 1000m, para que as rochas sejam consideradas de boa qualidade para serem utilizadas em revestimentos de pisos.

Embora o percentual de quartzo neste material seja baixo, apenas 4%, o teor de feldspatos, representados pela andesina e albita, é bastante significativo (55%). Sendo os feldspatos minerais de dureza 6 na Escala de Mohs (apenas um ponto inferior ao quartzo cuja dureza é 7), esta elevada resistência transfere ao “Preto São Marcos” alta resistência ao desgaste ao trânsito de pessoas.

#### 4 CONCLUSÕES

As rochas silicáticas de cor escura são representadas mais frequentemente pelos tipos petrográficos gabróides (dioritóides ou monzonitóides) cuja composição envolve maior presença de plagioclásios e minerais ferromagnesianos, sobretudo piroxênios, anfibólios e micas. Estes minerais apresentam maior suscetibilidade de alteração, seja em meio anidro (oxidação), seja em meio aquoso, através da hidratação. Nas rochas mais máficas, geralmente as espécies são andesínicas a labradoríticas, mais ricas em cálcio e daí, quando alteram em meio aquoso, há maior chance de precipitação de hidróxidos de cálcio, concentricamente e na forma de geles, o que causa aumento de massa no volume da rocha. Quando se alteram em meio seco, são mais susceptíveis à oxidação, como melhor se observa nos minerais férrico-ferrosos (hornblenda, enstatita, biotita). Como a oxidação se desdobra na agregação de massa provoca expansão e quebra do volume e da estrutura da rocha, incidindo em microfissuramentos, onde predominam as cores dos óxidos e hidróxidos de ferro mais frequentes, isto é, marrom avermelhada e amarelo-alaranjada, respectivamente.

As amostras “Preto São Marcos” apresentam valores de densidade mais altos que outras rochas ornamentais, refletindo-se em baixos valores dos índices de porosidade e absorção de umidade, que variam inversamente com a granulometria dos minerais. A ausência ou rara presença de quartzo deve contribuir com maior valor para a massa específica aparente e também com baixo valor na absorção de umidade, salvo ao longo de microfissuramentos intergrãos, localizadamente associados com campos de deformação frágil-rúptil.

Finalmente, tratando-se de rocha com composição essencialmente silicática, a rara presença de quartzo não interfere sobremodo na abrasividade, não restringindo, portanto a aplicação inclusive em pisos, desde que em ambientes internos e secos, protegidos da alterabilidade já citada.

As características das rochas máficas aqui abordadas também dão origem às patologias dos concretos, quando rochas deste tipo são aproveitadas como matéria-prima integrante dos agregados graúdos, isto é, britas. Portanto, as patologias em concretos, sobremodo as conhecidas como Reação Álcali-Silicato (RAS), são contra-indicadoras da utilização dos rejeitos das pedreiras de rochas ornamentais que explorem rochas máficas férrico-ferrosas na atividade da construção civil. Logo, a utilização dos seus rejeitos à produção de brita, deve sempre ser

cercada de análise das condições reinantes no local de aplicação, principalmente e, sobretudo em obras mais susceptíveis às patologias de concreto.

Por fim, quanto à construção civil, deve ser investigada a possibilidade de utilização dos rejeitos dessas pedreiras na fração areia, graças à susceptibilidade e possibilidade de resultar num agregado miúdo de maior resistência ao impacto, ao contrário das areias quartzosas naturais, embora com a acentuação dos riscos à alterabilidade.

O conteúdo em magnésio pode permitir a sua utilização do seu capeamento como um substrato agrícola para a da melhoria da fertilidade e adequação de regiões de plantios extensivos ou intensivos (preparação de mudas), no processo de Rochagem. Isto traz grandes benefícios ambientais e ao desenvolvimento sócio-econômico.

As rochas escuras sofrem fortes limitações para aplicação, seja para ambientes úmidos, seja em ambientes secos, graças à susceptibilidade às alterações, seja por oxidação, seja por hidratação via hidrólise.

É observável a grande quantidade de rejeitos nas pedreiras, seja pela forma inadequada dos blocos associada com o estado de deformação frágil-rúptil do local de origem, donde não devesse ter havido exploração do material, seja pela falta de reprodutibilidade de alguns padrões estéticos. Portanto, é importante a determinação dos parâmetros marcadores do estágio de deformação e o correspondente bloco de partição, para que se otimize o local em que se pretenda abrir a pedreira. Daí a importância de ser considerada a alternativa da utilização à produção de agregado graúdo, ou brita, para a construção civil, com objetivo de diminuir o passivo ambiental gerado.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 12042. Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão. 1992.
2. ABNT NBR 15845. Rochas para revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO A (normativo) Análise Petrográfica. 2010.
3. ABNT NBR 15845. Rochas para revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO B (normativo) Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. 2010.
4. ABNT NBR 15845. Rochas para revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO E (normativo) Resistência à Compressão Uniaxial. 2010.
5. ABNT NBR 15845. Rochas para revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO F (normativo) Módulo de Ruptura (Flexão por carregamento de três pontos). 2010.
6. ASTM C 615. Standard Specification for Granite Dimension Stone.
7. FRASCÁ, Maria Heloisa Barros de Oliveira. Estudos experimentais de alterabilidade acelerada de rochas graníticas para revestimento. Tese de doutorado, USP, São Paulo, 2003.
8. FRASCÁ, M. H. B. O. – CURSO: Qualificação de Rochas Ornamentais e para Revestimento de Edificações: Caracterização Tecnológica e Ensaio de Alterabilidade. Anais I Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, Bahia. 2001. p:128-135. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

9. KALIX, T. M. F., Estudo de Caracterização Tecnológica com ênfase em Alterabilidade dos Tipos Comerciais do “Granito” Marrom Imperial, dissertação, UFPE, Recife, 2011.
10. LIMA, R.R.; AGRAWAL, V.N. LIMA, A.A. & NETO, J.L.R. Características das fraturas do granito ornamental Preto São Marcos (Casserengue - PB) e seu impacto na Viabilidade de exploração da Jazida. Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais (3.:2007:Natal) e Anais do VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais. CETEM/MCT, 2008.
11. SANTOS R. B., Estética e aplicabilidade do material pétreo “Preto São Marcos”, dissertação, UFPE, Recife, 2012.