

Granito Azul Sucuru: caracterização tecnológica por meio do aproveitamento do material



Lúcio F. M. Cavalcanti ^[1], Felisbela M. C. Oliveira ^[2], Evenildo B. Melo ^[3], Amanda Cristiane Gonçalves Fernandes ^[4]

[1] flaviomat2004@hotmail. [2] felisbela.oliveira@ufpe.br. [3] evenildodemelo@hotmail.com3. [4] amandafernandestt@gmail.com.
Universidade Federal de Pernambuco – Campus Recife.

RESUMO

Neste estudo busca-se apresentar possibilidades de um aproveitamento dos rejeitos do Granito Azul Sucuru, cuja jazida, que encontra-se desativada, situa-se na região do Cariri Paraibano, no município de Sumé-PB. Foram determinados os índices físicos deste material que apresentou os seguintes valores: densidade 2660 kg/m³; porosidade 0,26% e absorção 0,10%, sendo estes índices compatíveis com aqueles propostos pela NBR 15844 – requisitos para granitos como material de revestimento. Partindo de visitas de campo, coletamos materiais oriundos do rejeito, os quais foram britados, e, de cem fragmentos selecionados, identificaram-se valores de comprimento, espessura e largura, analisados à luz da NBR 9654. O agregado grosseiro produzido apresenta grande percentual de material cúbico (64%) e 36% de material alongado/lamelar. Assim, a utilização de britas alongadas/lamelares na confecção de concretos reduz sua resistência, com o aumento da porosidade e da possibilidade de segregação da argamassa quando do adensamento do material nas formas. As britas fabricadas a partir do material, portanto, embora apresentem boa resistência às ações intempéricas por conta de sua composição mineralógica (baixo conteúdos em minerais ferromagnesianos e 60% de feldspatos alcalinos), podem ser usadas na confecção de concretos, desde que se tenha precauções quanto à forma e dimensão do grão, para evitar que fiquem presas entre as barras de aço que compõem a armadura e dificultem o adensamento do concreto, podendo causar problemas como segregação da mistura e vazios nas formas. Tais britas, entretanto, não servem para constituírem lastros de vias férreas, pois apresentam 36% de partículas alongadas/lamelares quando, neste uso, o máximo permitido é de 10%. Apesar disso, conclui-se que é possível uma melhor viabilidade econômica e ambiental para os blocos que não são aproveitados com finalidade ornamental, de modo que os rejeitos possam ser aproveitados sob a forma de brita para a indústria da construção civil.

Palavras-chave: Granito Azul Sucuru. Brita alongada lamelar. Minerais.

ABSTRACT

In this study aims to present possibilities for utilization of waste of "Blue Granite Sucuru" obtained in the exploration phase and whose field is disabled, located in the Paraíba Cariri, in the municipality of Sumé, PB. It was determined the physical indices of this material that showed the following values: density 2660 kg / m³; porosity and absorption 0.26% 0.10%, and these ratios are consistent with those proposed by NBR 15844 - granites requirements for such coating material. Starting from field visits collect materials from the waste, which were crushed and one hundred selected pieces were measured values of their lengths, thickness and width, analyzed in the light of ISO 9654. The coarse aggregate produced shows high percentage of cubic materials (64%) and 36% elongated / lamellar material. Thus, the use of elongated gravel / lamellar in the manufacture of concrete reduces the strength thereof to increase the porosity and the possibility of segregation of the mortar when the density of the material in ways. Therefore, the crushed rock produced from the material even though they have good resistance to weathering actions on account of their mineralogical composition (low content in minerals iron and magnesium oxides and 60% alkali feldspar) can used in the manufacture of concrete, provided it has precautions as to and grain size to prevent them from becoming trapped between the steel bars that make up the armor and hinder the consolidation of the concrete, which may cause problems such as segregation of the mixture and the empty forms. However these same britas not lend themselves to constitute ballast railways, as have 36% of elongated / lamellar particles when, in use, the maximum allowed is 10%. Therefore, a better economic and environmental feasibility of the blocks which are not used with ornamental purpose is possible, in which the waste can be availed in the form of crushed stone for the construction industry.

Keywords: Blue Granite Sucuru. Crushed rock elongated lamellar. Minerals.

1 Introdução

A mineração é uma atividade indispensável no atual modelo econômico da sociedade; é algo inerente à sobrevivência desse grupo social em constante mudança. Assim, a importância assumida pelos bens minerais corresponde a várias atividades humanas como habitação, construção, saneamento básico, transporte, agricultura, além de tecnologia de ponta em diferentes áreas do conhecimento.

Sendo considerado um dos setores básicos da economia do país, a mineração vem contribuindo de forma decisiva para o bem-estar e a melhoria da qualidade de vida de várias gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável (FARIAS, 2002). Apesar da sua importância para a qualidade de vida da sociedade, o processo de mineração é ainda muito impactante ao meio ambiente, causando degradação visual da paisagem natural, que traz à tona transtornos gerados às populações do entorno dos projetos minerários e à saúde das pessoas diretamente envolvidas no empreendimento. Frente a essa realidade, conciliar sustentabilidade e atividades mineradoras é um desafio ao conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que a atividade minerária retira da natureza recursos naturais exauríveis.

O bom gestor ambiental precisa conciliar os pontos negativos de suas atividades e a sustentabilidade como forma de garantir o desenvolvimento que resulte no processo de mitigação de impactos. Este trabalho apresenta aspectos sobre o aproveitamento dos rejeitos da exploração da rocha que, após beneficiamento (corte em chapas e polimento), produz o material pétreo denominado “Azul Sucuru”, existente no município de Serra Branca-PB. Este litotipo, por conta de sua beleza, fruto de sua textura e cor azulada, é usado como rocha ornamental. Os problemas ocasionados pela exploração desta rocha devem-se às poucas pesquisas acerca dela, ao alto valor para retirada do seu produto final – apesar do grande valor comercial –, além de escassez em técnicas para o manejo e retirada do material e falta de tratamento adequado.

Alencar, Caranassios e Carvalho (1996) destacam a necessidade de estudos de caracterização da jazida de rocha ornamental a partir de levantamentos geológicos de detalhe e sondagens, obtendo infor-

mações que permitam prever, entre outras coisas, as dimensões dos blocos exploráveis e as variações da qualidade do material. Segundo Ferreira (2004), o enfoque dos estudos realizados por vários autores a respeito de pesquisa, extração e qualidade de rochas ornamentais é sempre muito semelhante; quase todos esses estudos relacionam a importância de uma caracterização geológica bem feita, levando em consideração parâmetros ligados às características do maciço, como as variações litológicas, suas estruturas e condições geomecânicas. No caso do Granito Azul Sucuru, devem-se buscar novas formas de aproveitamento dos rejeitos que, embora não sejam apropriados para a indústria de rochas ornamentais, podem ser reutilizados seja como artesanato, seja como agregados graúdos (britas) e/ou agregados miúdos (areia), minimizando o impacto ambiental na área de exploração e viabilizando a ordem econômica.

2 Fundamentação teórica

2.1 Sustentabilidade

O desenvolvimento sustentável é definido como aquele que “permite atender às necessidades básicas de toda a população e garante, a todos, a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (JOHN, 2000, p. 102).

O setor de agregados para a construção civil possui a parcela de insumos minerais mais consumidos e, conseqüentemente, os mais significativos em termos de quantidades produzidas no mundo. Os agregados são os recursos minerais mais acessíveis e as matérias-primas mais importantes usadas na indústria da construção civil, sendo o concreto, depois da água, o segundo material mais consumido, em volume, pela humanidade (FERREIRA, 2004).

A importância dos agregados é de uma grandeza tal que é possível identificar o nível de desenvolvimento e perfil econômico de uma localidade, cidade, região ou até país, por meio do seu consumo. Isso é possível porque o consumo de agregados está diretamente relacionado ao consumo do concreto que, por sua vez, retrata a qualidade de vida de uma comunidade, pois a maioria das obras de infraestrutura (pavimentação e construção de estradas, pontes, viadutos, ferrovias, aeroportos, praças e ruas) e de-

envolvimento de uma sociedade, dependem direta ou indiretamente do seu uso, o que pode ser exemplificado por construção de habitações, indústrias em geral, obras de repesamento, saúde e saneamento básico (incluídos os sistemas de captação, adução, tratamento e distribuição de água e esgoto) (SILVA, 2016).

O reaproveitamento de resíduos é uma alternativa econômica e ecologicamente viável, que diminui o impacto no meio ambiente, seja por minorar a quantidade de rejeitos a descartar, seja por reutilizar os materiais poupando recursos naturais que, de outra maneira, seriam extraídos da natureza, notadamente no que concerne às matérias-primas para a construção civil. O reaproveitamento também proporciona um destino definitivo para os resíduos oriundos não só da construção civil como também de indústrias de mineração. Como exemplo desse procedimento, podemos citar a extração de mármore e granitos e seus processos de beneficiamento (corte em chapas, polimento e esquadrejamento) que geram muitos resíduos em cada uma das fases do processo de produção das placas. Durante o beneficiamento das rochas naturais, 25% a 30% destes materiais são transformados em pó. No Brasil, estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas/ano de resíduos dessas rochas. Sem um direcionamento correto, esse pó é depositado em locais totalmente inapropriados, gerando graves impactos ambientais (FORMIGONI, 2006). Em decorrência dessa problemática, tornam-se imprescindíveis estudos que sugiram solução, seja em se tratando de reutilização, reciclagem, processamento ou mesmo correta disposição final desses resíduos. O seu emprego como agregados graúdo (britas) ou miúdo (argamassas) diminuiria o desperdício e pouparia significativa quantidade de extrações de matérias-primas naturais para a confecção desses produtos, pois as jazidas são limitadas e as técnicas de extração envolvem danos e dispêndios. Em síntese, pode-se afirmar que o reuso dos resíduos visa a um equilíbrio entre o crescente setor da construção civil e a presente necessidade de preservar jazidas limitadas de recursos naturais (SANTOS, 2011).

2.2 Britas

A brita constitui o maior volume do concreto, com o qual se realizam inúmeras obras de engenharia. As funções da brita no concreto são: contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes; resistir ao desgaste originado pela ação de intem-

péries; reduzir as variações de volume de qualquer natureza; contribuir para a redução do custo do concreto. As solicitações a que a brita fica submetida são: atrito e impacto, durante a preparação do concreto; compressão e tração, solidariamente à estrutura do concreto; possível reação com álcalis do cimento; ação do intemperismo, como expansão e contração térmica; ação química da água da chuva e das águas agressivas. Uma das propriedades mais importantes exigidas da brita é a não reatividade e a resistência ao intemperismo;

Quanto à forma do agregado, em geral, quanto maior a dimensão máxima do agregado, menor será a área superficial por unidade de volume, que tem de ser coberta pela pasta de cimento para uma dada relação água/cimento.

Além do aspecto econômico, existem outros fatores que governam a escolha da dimensão máxima do agregado para uma mistura de concreto. De acordo com uma regra prática, usada pela construção civil, a dimensão máxima do agregado não deve ser maior que um quinto da dimensão mais estreita da forma na qual o concreto será colocado. Como partículas maiores tendem a produzir mais microfissuras na zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento, a dimensão máxima do agregado nos concretos de alta resistência é limitada a 19 mm (PINHEIRO, 2003).

2.3 Rochas ornamentais

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define rocha ornamental como uma substância rochosa natural que, submetida a diferentes graus de modelamento ou beneficiamento, pode ser utilizada como uma função estética qualquer. Rocha de revestimento, por sua vez, é qualificada, pelo mesmo órgão, como material rochoso, passível de desdobramentos e beneficiamentos diversos, com emprego em acabamentos de superfícies de paredes e pisos em construções civis. A *American Society for Testing and Materials* (ASTM), órgão normatizador americano, define *dimension stone* (pedra ornamental) como qualquer material rochoso natural serrado, cortado em chapas e fatiado em placas, com ou sem acabamento mecânico, excluindo produtos acabados baseados em agregados artificialmente constituídos, compostos de fragmentos e pedras moídas e quebradas, (Frasca e Frazão, 2002, p. 28-33). Com base nos conceitos da ABNT (1995) e ASTM (2003), entendem rocha para revestimento como "um produto de desmonte de materiais rochosos e de seu subsequente

desdobramento em chapas, posteriormente polidas e cortadas em placas”. Costa et al. (2002) conceitua rocha ornamental e de revestimento como tipos litológicos extraídos em blocos ou chapas, que podem ser cortados em formas diversas e beneficiados por técnicas de esquadreamento, polimento e lustro. De acordo com Mattos (2002), para ser considerada ornamental, uma rocha deve apresentar, como requisito básico, beleza estética, ou seja, homogeneidade textural e estrutural, e possuir características tecnológicas dentro de padrões aceitáveis pelas normas técnicas.

O aspecto estético é o primeiro condicionante para uso das rochas ornamentais nas edificações, seguido das qualidades adequadas conhecidas e aferidas por meio de ensaios tecnológicos. Estas características condicionam a qualificação das rochas para serem utilizadas em revestimentos verticais de espaços internos e externos, assim como em pisos de edificações, atendendo a alguns requisitos, tais como: alta resistência ao intemperismo, baixa capacidade de absorção de líquidos, alta resistência ao desgaste e à flexão e um aspecto estético agradável (NEVES, 2010).

Do ponto de vista comercial, as rochas são divididas basicamente em mármore e granitos, caracterizando-se, os primeiros, como rocha carbonática passível de polimento, incluindo os calcários e os mármore propriamente ditos; e os granitos – expressão generalizada para as rochas silicáticas, que recebem polimento – como os granitos propriamente ditos, os sienitos, charnoquitos, basaltos e rochas similares, petrograficamente classificáveis como de origem ígnea. Também podem ser incluídas entre as rochas ornamentais: **i.** filitos, xistos, ardósias, quartzitos e metaconglomerados do grupo dos litotipos metamórficos; **ii.** arenitos e conglomerados do grupo dos sedimentos diagenizados e, por fim, **iii.** os serpentinitos, mais conhecidos como pedra-sabão, oriundos de alteração de rocha ígnea máfica a ultramáfica e indispensáveis ao surgimento das obras pétreas esculturais como as do Aleijadinho.

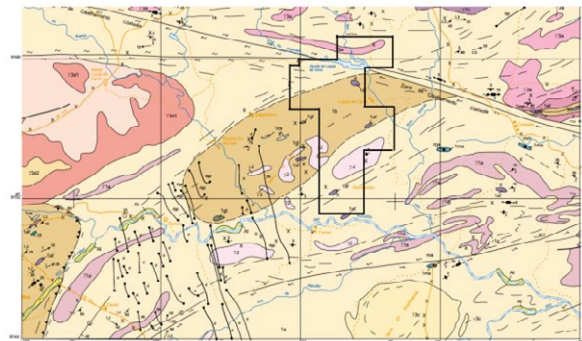
As rochas como elementos duráveis e decorativos em revestimentos horizontais e verticais têm a função de manter os aspectos estéticos ao longo do tempo; proteger a estrutura da ação do intemperismo; promover o isolamento térmico da edificação e facilitar a limpeza, mantendo a higidez no ambiente (FRAZÃO; PARAGUASSU, 1998). Segundo Neves (2010), as rochas graníticas são muito bem aceitas no

mercado mundial, principalmente as brasileiras, por apresentarem enorme variedade de cores, texturas e estruturas.

2.4 Localização da jazida do Granito Azul Sucuru

A área do Granito Azul Sucuru situa-se no compartimento da Borborema, na porção centro sul do Estado da Paraíba, na localidade do Sítio Riacho do Buraco, Município de Serra Branca- PB.

Figura 1– mapa de localização da jazida do Granito Azul Sucuru



Fonte: Elaborada pelo autor.

Está localizada na Folha Sumé (Referência: SB.24-Z-D-V SUDENE, ano 1986), na escala 1:100.000, conforme se observa na Figura 1, anterior.

O acesso à área é feito a partir de Campina Grande-PB. O percurso totaliza 165 km, dos quais 150 km são percorridos por rodovias pavimentadas e o restante por estrada não pavimentada, que podem ser percorridas durante qualquer período do ano.

2.5 Geologia local e regional

Segundo o Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (CPRM, 2000), a região objeto de investigação deste projeto de lavra está posicionada no interior de uma unidade geotectônica, denominada de Terreno Alto Moxotó e, mais especificamente, por litologias do Complexo Sumé, constituídas por gnaisses, ortognaisses e migmatitos, calcários metamórficos, faixas de anfíbolitos, ortognaisses e migmatitos e rochas plutônicas granulares, na forma de stocks, com pouca ou nenhuma expressão topográfica, e rochas graníticas filonianas.

A área de ocorrência do Granito Azul Sucuru corresponde a um enxame de diques alongados com direção NNW e comprimento variando de 50 m a 700

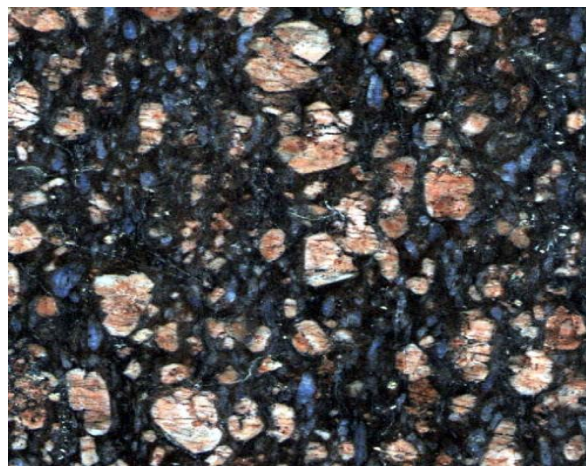
m que cortam os metassedimentos aluminosos (biotita gnaisses com granada e sillimanita), com larguras médias variando de 15 a 20 metros, do Complexo Gnáissico-Aluminoso Sertânia. Menos frequentemente cortam os gnaisses claros do Complexo Sumé, a NE de Sucuru (NAVARRO, 2006). Os diques são de quatro tipos (CPRM, 2000): 1) granitos porfíricos (dgp) com fenocristais de microclínio e quartzo azul, imersos numa matriz cinza-escura, milonitizada, de granulação fina a média, correspondentes aos comercializados como Azul Sucuru; 2) microdiorito porfírico (ddp) com fenocristais ovóides e arredondados de plagioclásio em matriz cinza afanítica, composto essencialmente por plagioclásio, ferromagnesianos, quartzo e pouco microclínio; 3) diques ácidos compostos essencialmente por quartzo, biotita e feldspatos; e 4) diques básicos com amígdalas, compostos por quartzo, feldspato e anfibólios (NAVARRO, 2006).

Petrograficamente esta rocha apresenta uma textura fanerítica inequigranular a porfírica, de composição sienogranítica até quartzosienítica, constituída por feldspatos, variando de branco a róseo, quartzo azul, distribuídos em uma matriz também composta de biotita e hornblenda. Estudos petrográficos situam o Granito Azul Sucuru no campo das rochas ácidas, contendo, em média, 40% de microclina, 25% de quartzo, 20% de oligoclásio, 5% de cordierita, 5% de biotita e 5% divididos entre hornblenda, fluorita, minerais máficos e minerais acessórios (titanita, clorita, zircão, calcita e opacos), conforme dados de investigações de microscopia em seções delgadas e também em grãos, complementados por análises de difratometria de raios X. (CAVALCANTI, 2016). Oportuna e estimulante a identificação da cordierita, mineral também potencialmente responsável pela cor azul, observável na chapa polida do Granito Azul Sucuru, mostrado na Figura 2, exemplo do que também ocorre no tipo comercial *Blue Cosmic*, um biotita xisto granada-cordieritífero, explorado na Serra da Dorna, nas Fazendas Saco dos Veados, Riacho Fechado e Quixabeiral, vizinhanças da cidade de Currais Novos-RN (PPGEMINAS, 2015).

O Azul Sucuru é explorado em grandes matacões remanescentes dos diques, cujo alinhamento facilita a exploração que é feita mediante uso de massa expansiva e desmonte manual (Figura 3), com o objetivo de retirar blocos com especificidades adequadas ao mercado produtor. Com volume da ordem de, aproximadamente, 8,0m³, a retirada de blocos a partir dos matacões facilita o corte nos teares multi-lâminas. Na

Figura 3, contudo, observa-se o aspecto da extração desse material que apresenta uma grande quantidade de blocos de vários tamanhos, inadequados ao corte em teares, produzindo grande quantidade de rejeito, o que degrada o ambiente, prejudica a drenagem local, destrói a vegetação e traz transtornos à fauna da região.

Figura 2 – Chapa polida do Granito Azul Sucuru



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3 – Embasamento gnáissico, litologia encaixante do dique e matacões



Fonte: Elaborada pelo autor.

3 Metodologia

A metodologia consta de revisão bibliográfica acerca de granitos e suas aplicações na construção civil, como das rochas ornamentais e/ou agregados. Também foram realizadas visitas de campo às áreas de extração de Granito Azul Sucuru, no município de Serra Branca-PB, onde se observou o contexto geológico estrutural da pedra e sua influência na retirada dos blocos para produção de chapas polidas. Constatou-se grande quantidade de rejeitos constituídos por blocos que não atendem às dimensões

compatíveis para corte nos teares multi-lâminas. Este fato gera grande volume de material que, consequentemente, gera passivo ambiental. Pequenos blocos desse material foram recolhidos para análise de uso como agregado graúdo para concretos. Os índices físicos (densidade, porosidade e absorção de água) do litotipo foram determinados utilizando-se nove corpos de prova oriundos de placa polida do acervo do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco. Estes índices foram definidos baseados na NBR 15845, no seu anexo B. Os corpos de prova foram secados em estufa até constância de peso, pesados (P_{sec}), saturados e posteriormente pesados ao ar (P_{sat}) e submersos (P_{sub}). A partir de cálculos rápidos especificados na NBR 15845, anexo B, usando-se estes vários pesos, são obtidos os índices físicos (densidade, porosidade e absorção de água). Estes ensaios são fundamentais para viabilidade do aproveitamento desse granito como material ornamental. Também foi realizada britagem dos blocos colhidos entre os rejeitos na jazida do Granito Azul Sucuru, em britador MAQBRT. Após britagem, foram selecionados aleatoriamente 100 fragmentos para a verificação de suas dimensões: comprimento, largura e espessura, de acordo com a NBR 6954, sendo o comprimento a maior dimensão. Estas medições são importantes para a determinação da forma do agregado e posterior verificação da possibilidade de aproveitamento desses rejeitos para a construção civil, sob a forma de brita em concretos e/ou lastros.

4 Resultados e discussões

Os índices físicos são definidos pela relação básica entre a massa e o volume das amostras por meio das propriedades de massa específica (densidade) seca e saturada, porosidade e absorção d'água. Estes valores vão implicar a aprovação da rocha para sua utilização como material ornamental. Maiores valores de densidade indicam menores porosidades e absorção de líquidos; estes dois últimos índices variam no mesmo sentido: quando a porosidade cresce, há aumento da absorção. Após ensaios, o Granito Azul Sucuru apresentou os seguintes índices físicos: (a) densidade: 2660 kg/m^3 ; (b) porosidade aparente: 0,26% e (c) absorção de água: 0,10%. De acordo com a NBR 15844 – Requisitos para granitos – que indica para a densidade, porosidade e absorção os valores, respectivamente, de 2550 Kg/m^3 (mínimo), 1,0% (máximo) e 0,40% (máximo), este material atende

às especificações para uso como material de revestimento. Estes índices, porém, consideram apenas as propriedades físicas, as quais podem se modificar durante o tempo de uso em função de fatores extrínsecos ao material, como quantidade de água, potencial de óxido-redução, potencial hidrogeniônico e forças bióticas do ambiente. Características intrínsecas ao material, como composição mineralógica e textura, devem ser consideradas nas aplicações feitas em locais onde haja abundância de água e agentes agressivos como banheiros, lavabos e balcões de cozinha.

Com efeito, a pouca presença de minerais ferromagnesianos, como biotita e hornblenda, e também o percentual elevado de feldspatos potássicos e sódicos (microclina, 40%; oligoclásio (20%)) tornam esta rocha menos suscetível aos processos químicos de alteração como hidrólise, oxidação e hidroxidação, induzidos pela presença constante de água e de produtos de limpeza nesses ambientes. A alterabilidade é a relação entre a alteração da rocha (variação das propriedades do litotipo) e o tempo, considerando a escala de duração das obras de engenharia. O uso do material pétreo, portanto, seja como revestimento, seja enquanto agregado, está subordinado à manutenção das características originais ao longo do tempo, o que se traduz por menor custo de manutenção da obra e maior durabilidade do material.

Nas pedreiras do Azul Sucuru, como observado em visita a essa jazida, existe enorme quantidade de rejeitos que degrada o ambiente natural. Assim, o reaproveitamento desses rejeitos, seja na construção civil como agregado grosso (britas) ou fino (areia), pode contribuir para o desenvolvimento sustentável da comunidade local e da região – com a geração de empregos e renda – e promover, ainda, a retirada dos entulhos do meio ambiente, minimizando o impacto sobre córregos, vegetação e paisagem natural. Considerando este aspecto, blocos obtidos no rejeito dessa pedreira foram cominuídos para obtenção de britas, que são o agregado grosso na confecção de concretos.

A forma e superfície do grão também exercem influência no aproveitamento desse material: formas arredondadas e superfícies lisas reduzem a porosidade entre os grãos e facilitam a fluidez do concreto; formas angulosas e superfícies rugosas facilitam a aderência do cimento (MARINHO, 2015).

De acordo com Frascá e Frazão (2002), existem diversos métodos para determinar as formas dos fragmentos. As mais comuns se baseiam na medição

das dimensões dos fragmentos por meio de linhas imaginárias que definem comprimento largura e espessura. Com relação aos agregados produzidos a partir do Azul Sucuru, o grau de cubicidade foi definido em função das dimensões A (comprimento), B (largura) e C (espessura), de acordo com a classificação proposta pela NBR 6954 (ABNT, 1989). As relações entre as dimensões (B/A e C/B) e a consequente classificação da forma em função dessas relações são mostradas, a seguir, na Tabela 1:

Tabela 1 – Classificação dos tipos de agregados

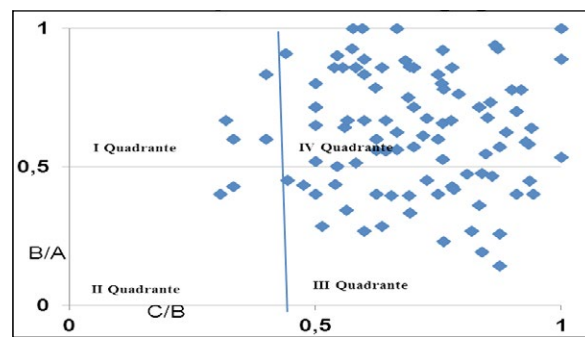
Relação entre as dimensões e forma das britas		
B/A	C/B	Classificação da Forma
> 0,5	> 0,5	Cúbica (IV quadrante)
< 0,5	> 0,5	Alongada (III quadrante)
> 0,5	< 0,5	Lamelar (II quadrante)
< 0,5	< 0,5	Alongada-lamelar (I quadrante)

Fonte: Frascá e Frazão (2002).

O gráfico de dispersão, apresentado na Figura 4, foi gerado a partir da medição das dimensões de 100 amostras (britas) obtidas por processo de amostragem simples e aleatória, tanto para os dados C/B como para os dados B/A. A análise deste gráfico permite observar que há maior concentração de pontos acima da linha B/A igual a 0,5. Além disso, a divisão do gráfico em quatro quadrantes enfatiza que a maioria das britas encontra-se no quarto (IV) quadrante onde B/A e C/B têm valores acima de 0,5, sendo então as britas deste quadrante classificadas como cúbicas. De acordo com a NBR 6954, as britas oriundas dos rejeitos do Granito Azul Sucuru foram classificadas conforme a frequência dos pontos distribuídos em todo o gráfico: no primeiro quadrante (B/A > 0,5 e C/B < 0,5) a quantidade de fragmentos corresponde a um percentual de 5%; no segundo quadrante (B/A < 0,5 e C/B < 0,5), equivalente a 4%; no terceiro quadrante (B/A < 0,5 e C/B > 0,5), as britas são 27% do total; no quarto quadrante (B/A > 0,5 e C/B > 0,5), as britas totalizam 64%. Assim, as britas originárias do Azul Sucuru apresentam uma forte tendência à classificação do tipo cúbica. Este fato corrobora a reutilização dos rejeitos da rocha como brita: a forma cúbica promove um menor índice de vazios no concreto. Alguns pesquisadores consideram que é

indesejável a presença de mais de 15% de partículas lamelares ou alongadas em concretos. Isso se explica porque britas com partículas lamelares no concreto acumulam mais bolhas de ar e água sob elas, o que prejudica a durabilidade e reduz a resistência do concreto. Ainda, britas lamelares apresentam alguns inconvenientes devido à sua forma mais alongada: maior consumo de cimento; maior possibilidade de formação de porosidade, pois a água de amassamento pode ficar contida nos vazios formados pelas britas com dimensões mais alongadas.

Figura 4 – Classificação das formas de agregados, relação de C/B e B/A



Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo Yoshida, Frazão e Giroldo (1972), rochas com estruturas marcadamente estratificadas ou bandeadas ou xistosas tendem a produzir formas lamelares ou alongadas, tais como alguns quartzitos, arenitos estratificados e silicificados, gnaisses e xistos. As rochas de estrutura maciça, como os basaltos compactos, tendem a apresentar frequência maior de fragmentos de forma cúbica; esta frequência diminui, contudo, com a diminuição do tamanho dos fragmentos, passando a predominar as formas lamelares e alongadas nas dimensões menores. O Granito Azul Sucuru, classificado como sienogranito, apresenta macroscopicamente cristais de quartzo, feldspatos, disseminados em uma matriz escura; portanto, não apresenta orientação marcante e, como observado, não produz fragmentos de forma alongada ou lamelar, com frequência significativa no que diz respeito à produção de britas para a fabricação de concreto.

Normalmente, os agregados naturais têm grãos cubóides, de superfície arredondada e lisa contra as superfícies angulosas e extremamente irregulares dos grãos dos agregados industrializados, o que torna a mistura com aqueles mais trabalhável do que com estes. Assim, concretos com agregados de britagem

exigem 20% a mais de água de amassamento do que os preparados com agregados naturais, porém têm maior resistência ao desgaste e à tração, devido à maior aderência entre os grãos e a argamassa. Por outro lado, os grãos irregulares, devido à sua forma e textura superficial, apresentam maior aderência da argamassa, resultando em maior resistência para um mesmo traço do que os constituídos com grãos cuboídes e de superfície lisa. Dependendo da aplicação, existem limitações quanto ao formato dos grãos – no caso de agregados para pavimentos rodoviários, por exemplo, estes podem ter no máximo 10% de grãos irregulares; o agregado para lastro ferroviário, por sua vez, deve ter no mínimo 90% de seus grãos com formato cuboide. O tipo de rocha também influencia o formato do grão (CUNHA, 2015). Conclui-se, portanto, que britas oriundas do Granito Azul Sucuru não são material adequado para constituir lastro de vias férreas.

Segundo Teodoro (2013), habitualmente a massa específica para as rochas utilizadas varia entre 2600 e 2700 kg/m³; valores típicos para granito, arenito e calcário denso são 2690, 2650 e 2600 kg/m³, respectivamente. A massa específica do Granito Azul Sucuru é 2660 Kg/m³, ficando, assim, dentro do intervalo sugerido. Quanto aos minerais, devem-se evitar rochas em que predominem os minerais nocivos: micas (especialmente biotita e clorita, em percentagem superior a 20%), assim como os óxidos, sulfetos e carbonatos em grãos grossos. É preferível rochas com ausência de minerais desagregados ou em decomposição (feldspatos, micas e minerais máficos). Dessa forma, portanto, o Granito Azul Sucuru também atende a esta orientação, pois os conteúdos em minerais máficos são pequenos (5%) e os feldspatos (40% microclina e 20% oligoclásio) são minerais mais resistentes à ação das intempéries, proporcionando maior durabilidade e resistência ao concreto.

5 Conclusões

Diante do cenário atual da exploração do Granito Azul Sucuru, esta pesquisa sugere um novo paradigma no que tange à ideia de utilização de recursos naturais aliados à mineração.

As problemáticas enfrentadas pela exploração da rocha fonte do Granito Azul Sucuru devem-se às poucas pesquisas sobre esse material no que diz respeito às características geológico-estruturais da área, com pouca definição do bloco de partição para sua exploração, o que implica a produção de blocos

pouco aproveitáveis nos teares multi-lâminas, sendo de baixo interesse para as indústrias.

Partindo de análises das características tecnológicas desse material, pode-se utilizá-lo na forma de agregados para a construção civil, porque é uma rocha que apresenta pouca porosidade e baixa absorção de água, logo podendo ser aplicada em revestimentos internos, externos, áreas secas e úmidas e também em pisos de grande intensidade de pisoteio. Os rejeitos do Azul Sucuru podem ter aproveitamento sob a forma de brita para construção civil, apesar de apresentar 36% de britas de forma alongada/lamelar. Isto não seria empecilho para uso na confecção de concretos, embora cuidados devam ser tomados quanto à forma e dimensão do grão para evitar que as britas fiquem presas entre as barras de aço que compõem a armadura e dificultem o adensamento do concreto, podendo causar problemas como segregação da mistura e vazios nas formas.

É preciso destacar que a utilização dos rejeitos desta rocha conseguirá reduzir significativamente alguns impactos, tais como a presença de matações de tamanho não adaptado aos teares que transformam a paisagem e alteram a rede de drenagem da área, consequentemente, possibilitando sua valorização, diminuição da poluição visual e aumento da cobertura vegetal.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Sistemas de Gestão Ambiental – Especificação e diretrizes para uso.** Rio de Janeiro: ABNT. Out/1996. 14p. Disponível em: <http://www.qsp.com.br>. Acesso em: 13 jan. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6954 (MB – 894), Lastro – Padrão – Determinação da forma de material.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2010). NBR 15844. Rochas para Revestimento - Requisitos para granitos, 2p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010) Rochas para Revestimento: Análise Petrográfica: NBR 15845 Rio de Janeiro.
- ASTM – American Society for Testing and Materials. C 615_99 **Standard Specification for Granite Dimension Stone.** Disponível em: <http://www.astm.org>.> Acesso em: 10 jan. 2015.

- ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. **Tecnologia de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais**. Fortaleza, Instituto Euvaldo Lodi, 1996, 225p.
- CAVALCANTI, L. F. M. **Granito Azul Sucuru: Estudo da Viabilidade de Uso Através da Caracterização Tecnológica**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral)—Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências e Tecnologia, 2016.
- CPRM EM PARCERIA COM A UFPE – Programa Geologia do Brasil. **Geologia da Folha Sumé**. Paraíba, 2000.
- COSTA, A. G. et al. Rochas ornamentais e de revestimento: proposta de classificação com base na caracterização tecnológica. In: SIMPÓSIO SOBRE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3., 2002, Recife. **Anais...** Recife: PE, 2002.
- CUNHA, ENG. M.SC. E. H. D. **Agregados – notas de aula**. PUC Goiás. Acesso em: set. 2015.
- FARIAS, C. E. G. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Outubro de 2002. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf> Acesso em: 14 Jul. 2014.
- FRASCÁ, M. H. B.; FRAZÃO, E. B. Proposta de especificação tecnológica para agregados graúdos. **Areia & Brita**, n. 19, p. 28-33, 2002.
- FRAZÃO, E. B.; PARAGUASSU, A. B. Materiais Rochosos para Construção. In: OLIVEIRA, A. M. S. O.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, CNPq/FAPESP. São Paulo: 1998. p. 331-342.
- FERREIRA, S. N. **Geologia estrutural aplicada às rochas ornamentais na Pedreira Knawa, Cláudio (MG)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional)—Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, 2004.
- FORMIGONI et al. Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais. **Unisul**, v. 3, n. 3, 2008. Disponível em: <<http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2014.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.
- MARINHO AREIA E PEDRA. **Site** com informações sobre agregados. Disponível em: <<http://www.marinhoareiaepedra.com.br/informese/pedra-britada>> Acesso em: 14 ago. 2016.
- MATTOS, I. C. Uso/adequação e aplicação de rochas ornamentais na construção civil – parte 1. In: SIMPÓSIO SOBRE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3., 2002, Recife. **Anais...** Recife: PE, 2002. p. 190.
- NAVARRO, F. C. **Influência da petrografia sobre a anisotropia à tensão de compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais**. 2006. Tese (Doutorado em Geologia Regional)—Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2006.
- NEVES, M. D. C. – **Estudo Experimental do Polimento de Diferente “Granitos” e as Relações com a Mineralogia**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo. São Carlos – São Paulo, 2010.
- YOSHIDA, R.; FRAZÃO, E. B.; GIROLDO, A. M.P. Estudos sobre a forma de agregados rochosos. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4., 1972, São Paulo. **Anais...** SPGA. São Paulo: APGA, 1972. p. 285-332.
- SANTOS, R. A. D. **Reaproveitamento dos Resíduos de Britagem de Granito-Uso como Agregado Artificial na Construção Civil**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2011.
- SILVA, M. A. D. P. **Influência das Características Morfológicas de Britas Graníticas e Gnaissicas na Resistência à Compressão do Concreto**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Mineral)—Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- PPGEMINAS. **Relatórios da Excursão da Disciplina Pesquisa e Prospecção de Rochas Ornamentais**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, 2015.
- PINHEIRO, W. M. G. **Utilização do Resíduo da Extração da Pedra Mineira como Agregado no Concreto**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)—Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2003.

TEODORO, S. B. **Avaliação do Uso da Areia de Britagem na Composição do Concreto Estrutural.** Trabalho Final de Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2013.

YOSHIDA, R.; FRAZÃO, E. B.; GIROLDO, A. M. P. Estudos sobre a forma de agregados rochosos. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4., 1972, São Paulo. **Anais SPGA.** São Paulo: APGA. p. 285-332.