

“Granito Azul Sucuru”: da preocupação ambiental às alternativas de reaproveitamento pela caracterização tecnológica

SUCURU BLUE GRANITE: FROM ENVIRONMENTAL CONCERNS TO REUSE POSSIBILITIES BASED ON TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION

LÚCIO F. M. CAVALCANTI, FELISBELA M. C. OLIVEIRA, EVENILDO B. MELO, AMANDA C. FERNANDES, ALMANY C. SANTOS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL, UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Av. ARQUITETURA, s/nº, C. UNIV., 50740-550 RECIFE - PE (BRASIL)

E-MAIL: FLAVIOMAT2004@HOTMAIL, FELISBELA.OLIVEIRA@UFPE.BR, EVENILDODEMELO@HOTMAIL.COM, AMANDAFERNANDESTT@GMAIL.COM, ALMANY@UFPE.BR.

ABSTRACT: Environmental concerns have become common in mining companies that seek to reconcile development with sustainability concerns. Thus, the possibility of better use of the tailings of the Sucuru Granite is presented. Those deposits are deactivated, located in the region of Cariri Paraibano, mainly in the municipalities of Serra Branca and Sumé. The objective of this proposal is the development of the production chain in the region and the preservation of the environment. The environmental field research and the study of the industrial rocks in this work involved direct observation of the analyzed area and bibliographical research focused on environmental studies. And their possible interface with applications of industrial rocks in civil construction, including laboratory tests that analyzed physical indices, granulometry of the available stone material, and microscopy investigations in thin sections and also in grains, complemented by X-ray diffraction analysis. Therefore, with this study it is possible to envision a better economic and environmental viability for the studied area, in which waste rock and tailings can be used in the form of crushed stone and mortar for industry, in addition to being used as ornamental rock for internal or external wall covering.

Manuscrito:

Recebido: 25/01/2018

Correção: 13/02/2018

Aceito: 24/10/2018

Citação: Cavalcanti, L. F. M., Oliveira, F. M. C., Melo, E. B., Fernandes, A. C., Santos, A. C. 2019. “Granito Azul Sucuru”: da preocupação ambiental às alternativas de reaproveitamento pela caracterização tecnológica. *Terræ Didática*, 15, 1-11, e019013. doi: 10.20396/td.v15i0.8650328

Palavras-chave: Desenvolvimento, meio ambiente, Granito Sucuru, brita.

1. Introdução

A mineração é uma atividade indispensável no atual modelo econômico da sociedade, inerente à sobrevivência desse grupo social em constante mudança. Assim, a importância assumida pelos bens minerais se adequa 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 da paisagem, do solo, do relevo, alterações na qualidade das águas, e também gera transtornos às populações do seu entorno, assim como o comprometimento da saúde das pessoas diretamente envolvidas no empreendimento. Frente a essa realidade, conciliar sustentabilidade e atividades mineradoras é um grande desafio ao conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que esta atividade 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 que o desenvolvimento ocorra sob processo de mitigação de impactos.

Este trabalho versa sobre a exploração da rocha que produz o “Granito Azul Sucuru” nos municípios de Serra Branca e Sumé. Este litotipo, por conta de sua beleza, fruto de sua textura inequigranular com fenocristais e cor azulada, é usado como rocha

ornamental. Os problemas ocasionados pela exploração desta rocha devem-se às poucas pesquisas realizadas no âmbito geológico-estrutural da jazida, ao alto valor para retirada do seu produto final, apesar do grande valor comercial que esta rocha alcança no mercado, além de escassez em técnicas para o manejo, corte e polimento do material.

Alencar et al. (1996) destacam a necessidade de estudos de caracterização da jazida de rocha ornamental, por meio de levantamentos geológicos de detalhe e sondagens, obtendo informações que permitam prever as dimensões dos blocos exploráveis e as variações da qualidade do material. Segundo Ferreira (2004), nota-se que o enfoque dos autores a respeito de pesquisa, extração e qualidade de rochas ornamentais é sempre muito semelhante e quase todos relacionam a importância de uma caracterização geológica adequada, levando em consideração parâmetros ligados às características do maciço, como as variações litológicas, suas estruturas e condições geomecânicas. No caso específico de rochas silicáticas, comercialmente denominada de “Granito Azul Sucuru”, a falta de conhecimento das características da jazida e do seu material, ocasiona grande volume de rejeitos, pois apenas cerca de 15% foi aproveitado para a produção de blocos e chapas polidas. Portanto, deve-se buscar novas formas de aproveitamento desses rejeitos, que podem ser reutilizados, seja sob forma artística (mosaicos, ornamentos e produção de artesanato), seja sob forma de agregados graúdos (britas) e/ou agregados miúdos, minimizando o impacto ambiental na área de exploração e viabilizando o aproveitamento econômico desse material.

1.1. Sustentabilidade e gestão ambiental

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 (1999, apud Chen & Chambers 2000, p. 16). Gestão ambiental é um sistema de administração empresarial que dá ênfase à sustentabilidade. Desta forma, a gestão ambiental visa o uso de práticas e métodos administrativos que irão reduzir ao máximo o impacto ambiental das atividades econômicas nos recursos da natureza. Para Meyer (2000), a gestão ambiental é apresentada da seguinte forma: (a) objeto de manter o

meio ambiente saudável (à medida do possível), para atender as necessidades humanas atuais, sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras; (b) atuar sobre as modificações causadas no meio ambiente pelo uso e/ou descarte dos bens e detritos gerados pelas atividades humanas, a partir de um plano de ação viável técnica e economicamente, com prioridades perfeitamente definidas; (c) instrumentos de monitoramentos, controles, taxações, imposições, subsídios, divulgação, obras e ações mitigadoras, além de treinamento e conscientização; (d) base de atuação de diagnósticos (cenários) ambientais da área de atuação, a partir de estudos e pesquisas dirigidos em busca de soluções para os problemas que forem detectados. De acordo com a ABNT (1996), entende-se por sistema de gestão ambiental o conjunto ordenado dos elementos da administração com vistas à implementação da política ambiental da organização.

O reaproveitamento de resíduos é uma alternativa econômica e ecologicamente viável, que proporciona um destino definitivo para os resíduos oriundos não só da construção civil, como também de indústrias de mineração, por exemplo, extração de mármore e granitos e seus processos de corte em chapas, polimento e esquadreamento. Durante o beneficiamento das rochas naturais, 25% a 30% destes materiais são transformados em pó, sendo que no Brasil, estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas/ ano de resíduos destas rochas. Sem um direcionamento correto, este pó é depositado em locais totalmente inapropriados, gerando graves impactos ambientais. Em decorrência dessa problemática, tornam-se imprescindíveis estudos que apontem solução, seja na reutilização, reciclagem, processamento ou mesmo correta disposição final destes resíduos. O seu emprego como agregados graúdo (britas) ou miúdo (argamassas) diminuiria o desperdício e pouparia significativa quantidade de novas extrações 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 um equilíbrio entre o crescente setor da construção civil e a presente necessidade de preservar jazidas limitadas de recursos naturais (Santos, 2011).

1.2. 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 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 normalizador 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. Frascá (2002), com base nos conceitos da ABNT (1995) e ASTM (2003), entende 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) conceituam rocha ornamental e de revestimento como tipos litológicos extraídos em blocos ou chapas, que podem ser cortados em formas diversas e beneficiados por meio de esquadrejamento, polimento e lustro. Para Mattos (2002), uma rocha para ser considerada ornamental deve apresentar como requisitos básicos beleza estética 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, e assim como em pisos de edificações, atendendo a alguns requisitos tais como: alta resistência ao intemperismo, baixa capacidade de absorção de líquidos, altas resistências à compressão, ao desgaste e à flexão e um aspecto estético agradável (Neves, 2010).

Considerando que os tipos de rochas são predominantemente silicáticas e carbonáticas, a terminologia comercial sumariza para “granitos” e “mármore”, respectivamente. Resulta que, ignorando conceitos petrográficos, a terminologia comercial inclui como “granitos” rochas silicáticas polidas de composição granítica propriamente dita, monzogranítica, sienítica, granodiorítica, gabróide, charnoquíticas, basálticas.

As rochas como elementos duráveis e de 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. Ainda 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.

1.3. Agregados graúdos (britas)

Agregados são materiais geralmente inertes com dimensões e propriedades adequadas para preparação de argamassas e concretos, utilização como lastros ferroviários, enrocamentos e filtros. Podem ser pétreos e utilizados como encontrados na natureza (agregados naturais) ou resultarem de fragmentação mecânica de rochas (pedra britada e pó de pedra). Também são obtidos a partir de subprodutos ou resíduos de processos industriais, (agregados artificiais), de atividades minerárias e da construção civil (agregados reciclados), conforme Tannus e Carmo (2007). Segundo Petrucci (1998), agregado é “o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia”. Este material desempenha importante papel nas argamassas e concretos, quer sob o ponto de vista econômico, quer sob ponto de vista técnico, exercendo influência benéfica sobre algumas propriedades importantes como: retração e resistência ao desgaste por abrasão, sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos (Pimenta, 2012).

Segundo Mehta & Monteiro (2008), devido a uma melhor compreensão do papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades importantes do concreto, a visão tradicional do agregado como um material inerte vem sendo seriamente questionada. As características relevantes do agregado para a composição do concreto incluem: porosidade, composição ou distribuição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial, resistência à compressão, módulo de elasticidade e tipo de substâncias deletérias presentes. Essas características resultam da composição mineralógica da rocha fonte, das condições de exposição a que a rocha foi submetida antes de produzir o agregado e do tipo de equipamentos utilizado para a produção do agregado.

De acordo com a NBR 7225, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, agregado é definido como material pétreo natural, de propriedades adequadas ou obtido por fragmentação

artificial de pedra, de dimensão nominal máxima de 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou inferior a 0,075 mm. Além disso, esta norma faz a seguinte distinção: i. Agregado graúdo – definido com pedra britada ou brita ou pedregulho (muito grosso, grosso ou médio), tendo dimensões nominais entre 100 mm e 4,80 mm; ii. Agregado miúdo – definido como pedregulho fino, pedrisco grosso, médio e fino, areia grossa, média e fina, de dimensões nominais entre 4,80 mm e 0,075 mm.

Quanto mais arredondada for a forma dos agregados, mais trabalháveis serão o concreto e a argamassa com eles produzidos. Além do mais, com estes agregados serão produzidos concretos com menor consumo de cimento, o que é vantagem tanto no aspecto técnico como no econômico. Os grãos do agregado podem ter formas: arredondadas ou facetadas, preferencialmente tendendo a isotrópicas, conhecidas como cubóides – formadas pelo atrito, com conseqüente perda de vértices e arestas como, por exemplo, as areias e pedregulhos de rio; angulosas – resultantes da britagem de rochas, possuindo vértices e arestas bem definidos; lamelares ou achatadas – quando uma das dimensões (espessura) é bem menor que as outras duas dimensões; alongadas – quando uma das dimensões (comprimento) é bem maior que as outras duas dimensões. Normalmente, os agregados naturais, obtidos nas redes hidrográficas, graças ao transporte fluvial a que são submetidos, possuem classificação e seleção granulométrica, correspondentes, respectivamente, à homogeneidade granulométrica e ao grau de arredondamento. Resultam grãos menos, ou mais arredondados. Estes últimos aparecem mais isométricos e isotrópicos, conhecidos como cubóides, de superfície arredondada e lisa, enquanto os primeiros expressam superfícies angulosas e extremamente irregulares. Similarmente aos primeiros, ocorre com os grãos dos agregados industrializados, o que torna a mistura com agregados naturais melhor trabalháveis. Assim, concretos com agregados de britagem exigem 20% mais de água de amassamento que os preparados com agregados naturais, porém, têm maiores resistências, ao desgaste e à tração, devido à maior aderência entre os grãos e a argamassa. Grãos irregulares têm maior área de contato do que os cubóides por conta da forma irregular, mas têm o inconveniente de poderem ficar presos entre as barras de armação do concreto armado resultando em enchimento irregular da forma. Quando se aumenta a porcen-

tagem de grãos lamelares e alongados, o concreto perde trabalhabilidade. Por outro lado, os grãos irregulares devido a sua forma e textura superficial, apresentam maior aderência da argamassa resultando em maior resistência para um mesmo traço do que os constituídos com grãos cubóides e de superfície lisa. Dependendo da aplicação existem limitações quanto ao formato dos grãos, como no caso de agregados para pavimentos rodoviários, que podem ter no máximo 10% de grãos irregulares, enquanto que o agregado para lastro ferroviário deve ter no mínimo 90% de seus grãos com formato cubóide. Graças à forma cristalina e clivagem dos minerais constituintes, o tipo de rocha influencia no formato do grão. Desse modo, o granito produz cristais de melhor forma que o basalto e rochas orientadas, que produzem grande quantidade de cristais lamelares (Perdiz, 2009).

No caso do “Granito Azul Sucuru”, a grande quantidade de rejeitos justifica a produção de britas. A maior parte dos blocos remanescentes na jazida, decorrentes do processo de extração para a produção de chapas e placas polidas, não apresentam dimensões compatíveis com os teares multi-lâminas, portanto sem grande valor na cadeia produtiva do material ornamental. Deste modo, uma das formas de reutilização destes rejeitos seria a produção de britas, gerando vários aspectos positivos como diminuição da quantidade de blocos abandonados na área, mitigando os efeitos nefastos sobre o meio ambiente (impacto sobre a vegetação local, rede de drenagem, etc.), possibilidade de geração de renda com conseqüente melhoria da qualidade de vida para a comunidade local.

2. Localização da jazida do “Granito” Azul Sucuru

A área requerida para exploração do “Granito Azul Sucuru” situa-se no compartimento da Borborema, na porção centro-sul do Estado da Paraíba. Ocorrem nas localidades Sítio Riacho do Buraco e Sucuru, Municípios de Serra Branca e Sumé, respectivamente, conforme se observa na figura 1, área hachurada em vermelho. O acesso à área é feito a partir de Campina Grande-PB, utilizando as rodovias federais BR 230 e BR 412. O percurso totaliza 165 km, dos quais, 150 km são percorridos por rodovias pavimentadas e o restante por estradas carroçáveis, que podem ser percorridas durante qualquer período do ano, até as localidades de Sítio Riacho do Buraco e de Sucuru, esta, distrito de Sumé.

2.1. Geologia local e regional

Na Paraíba, estudos sobre mármore e granitos, com a finalidade de uso como materiais de revestimento na construção civil, surgiram no início da década de 1980, pela CDRM – Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais. Desse estudo, resultou a descoberta de granitos, entre eles o “Azul Sucuru”, de cor azul, que por sua raridade e beleza logo fez sucesso no mercado externo.

Segundo mapa do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, em 1998 e 2000, a região objeto desta lavra está posicionada no interior do Terreno Alto Moxotó e, mais especificamente, pelo Complexo Sumé, constituído 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. Neste contexto ocorrem estruturas rochosas, na forma de diques intrusivos, pós-tectônicos, discordantes, deformados e encaixados em rochas migmatíticas e gnáissicas do embasamento pré-cambriano, sob a forma de diques verticalizados a subverticalizados, orientados predominantemente segundo as direções N-S a NNW-SSE.

A área de ocorrência do “Granito Azul Sucuru” corresponde a um enxame de diques alongados nas direções supracitadas 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, conforme observado na figura 1. Menos frequentemente cortam os gnaisses claros do Complexo Sumé, a NE de Sucuru (Navarro, 2006).

Os diques são de quatro tipos, conforme figura 2: 1) granitos porfíricos com fenocristais de microclínio e quartzo azul, imersos numa matriz granodiorítica, cor cinza-escuro, anisotrópica, de granulação fina a média, correspondentes aos comercializados como “Azul Sucuru”; 2) diorito a granodiorito porfírico com fenocristais ovóides e arredondados de plagioclásio em matriz cinza afanítica, composto essencialmente por plagioclásio e minerais ferromagnesianos (piroxênio e hornblenda), 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 anfíbolios (Navarro, 2006).

O “Azul Sucuru” é explotado em grandes matações remanescentes dos diques cujo alinhamento faci-



Figura 1. Embasamento gnáissico, rocha encaixante do dique do “Azul Sucuru”. Fonte: Cavalcanti (2016).

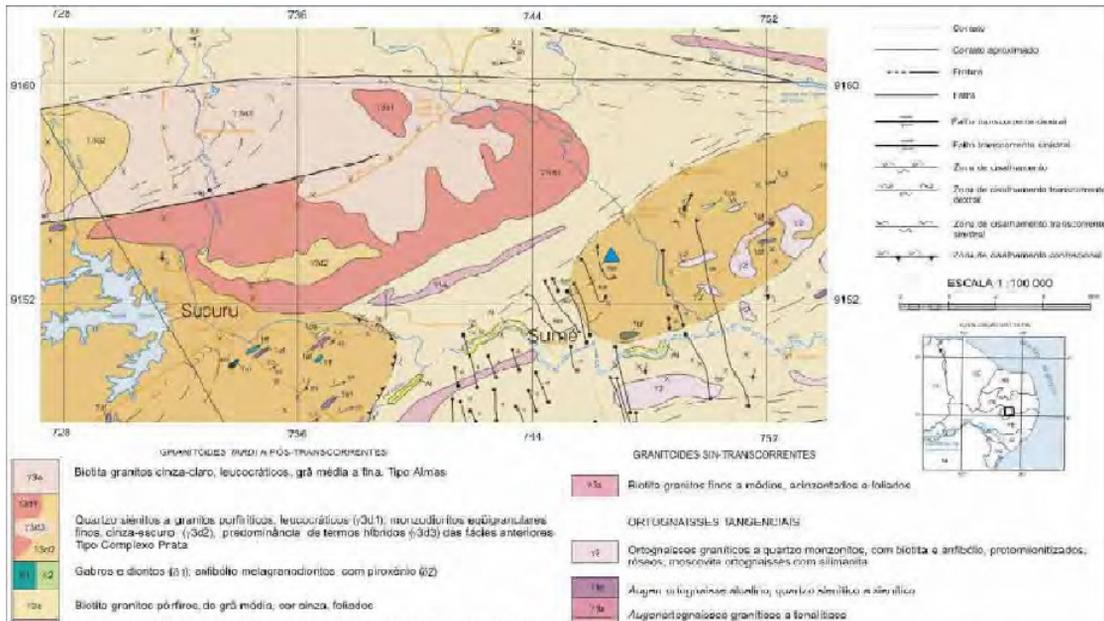


Figura 2: Contexto Geológico do Granito Azul Sucuru. (CPRM 2000).

lita a exploração como se pode observar na figura 3.

A lavra do Granito Azul Sucuru é feita pelo modo a céu aberto, no qual o material de interesse é extraído mediante utilização das tecnologias de fio diamantado e argamassa expansiva, com o objetivo de retirar blocos com especificidades adequadas ao mercado produtor. Porém o fato dessa rocha apresentar grande quantidade de quartzo em elevado teor na sua composição modal e, localmente, ainda ser bastante fraturada, constituem dificuldades à preparação de pranchas. Daí, os blocos extraídos não possuem dimensões adequadas e são pouco susceptíveis ao beneficiamento nos teares multi-lâminas e

multi-fios, dificultando a produção de blocos que atendam às especificações mercadológicas exigidas.

O conteúdo de quartzo na composição modal do monzogranito aponta para desdobramentos, tais como possível absorção de umidade nas placas.

Na figura 4 observa-se rejeito desse material. Assim, a lavra apresenta uma grande quantidade de blocos de vários tamanhos, inadequados ao corte em teares, produzindo-se grande número de rejeitos o que, além de deixar o ambiente com um aspecto degradado, prejudica a drenagem local, destrói e dificulta a recuperação da vegetação, o que traz transtornos à fauna da região.



Figura 3. Aspecto físico das reservas e da rocha lavrável. Fonte: Cavalcanti (2016). Destaque para as fraturas de distensão, quase horizontais mais frequentes do que as fraturas transversais quase verticais, integrantes do bloco de partição natural do dique, cuja orientação é ao longo da foto.



Figura 4. Enorme quantidade de rejeitos remanescentes da lavra do Azul Sucuru. Fonte: Cavalcanti (2016).

3.1. Métodos

Foram realizadas visitas de campo às áreas de extração de Granito Azul Sucuru, no município de Serra Branca, PB, onde se verificou a grande quantidade de rejeitos na jazida. Observou-se, dentro do contexto ambiental, que a disposição aleatória desses resíduos gera impactos ambientais, nas etapas de extração. Amostras deste litotipo foram coletadas para ensaios e análises laboratoriais.

Placa polida do “Granito Azul Sucuru” foi obtida do acervo do laboratório de Rochas Ornamentais da UFPE. Em laboratório, corpos-de prova foram produzidos a partir desta placa polida e foram usados para a determinação dos índices físicos (densidade, porosidade e absorção de água), segundo a norma NBR/ABNT 15845, anexo B. Também foi realizada a determinação da resistência à abrasão por meio do ensaio Amsler, de acordo com a NBR 12042. Ainda foi realizada a cominuição dos rejeitos do “Granito Azul Sucuru” em britador MAQ-BRIT para avaliação da forma das britas. O grau de cubicidade dos agregados foi definido em função das dimensões A (comprimento), B (largura) e C (espessura), a partir da medição das dimensões de 100 fragmentos do “Azul Sucuru”. Estes ensaios fornecem subsídios para análise da viabilidade do aproveitamento deste litotipo seja como material ornamental, seja como agregados graúdos para a construção civil.

3.2. Características Petrográficas

Trata-se de uma rocha esteticamente nobre, devido à presença de cristais na cor azul, associados com quartzo, cuja investigação microscópica será procedida, pois ambos os minerais ocorrem disseminados numa matriz escura constituída de minerais máficos, que também hospeda fenocristais de feldspato potássico, figura 5.

Dentro das análises feitas em superfícies polidas do material, constata-se que a textura porfirítica está sempre presente no granito Sucuru, porém ocorrem variações locais na granulação e na coloração dos fenocristais de quartzo e de feldspatos, de forma que o azul, marcador estético e característico daquelas rochas, varia em intensidade em certos locais, até tornar-se quase imperceptível. Os feldspatos se mostram ora róseos, ora esbranquiçados, com variações localizadas quanto à intensidade de cor. Assim, observam-se fenocristais de microclínio, na cor rósea, ora supra, ora subcentimétricos dispostos em toda a estrutura da matriz da rocha, mais os cristais de cor azulada, com frequente forma sigmoidal. É interessante o efeito exercido pela matriz mais escura que apresenta maior proporção de minerais máficos, sugerindo-se conteúdo mais magnésiano, graças à natureza da cor de alteração. Portanto, a investigação microscópica a seguir foi



Figura 5 – Placa polida do “monzogranito Azul Sucuru” com fenocristais de microclínio numa matriz rica em biotita e quartzo contendo cordierita. Destaque estrutural para sigmoides e rods que marcam a deformação dúctil a rúptil-dúctil. Fonte: Cavalcanti (2016).

feita na expectativa de esclarecer a origem da estética especial do Azul Sucuru.

Reitera-se que a rocha apresenta textura fanerítica inequigranular a porfirítica, de composição granodiorítica até monzogranítica, respectivamente. Constituída por feldspatos, variando de branco a róseo, quartzo e mineral acessório azul, distribuídos em uma matriz também composta de biotita e hornblenda. Estudos sob microscopia óptica situam o “Granito Azul Sucuru” no campo das rochas ácidas, contendo, em média, 40% de microclínio, 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. (apud Cavalcanti, 2016). Oportuna e estimulante a identificação da cordierita, mineral potencialmente também responsável pela cor azul, a exemplo do que 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).

4. Resultados e discussão

Após os ensaios, os índices físicos do “Granito” Azul Sucuru apresentaram os seguintes valores: (a) massa específica aparente: 2.660 kg/m³; (b) porosidade aparente: 0,26% e (c) absorção de água: 0,10%. De acordo com a NBR 15844 – Requisitos para granitos – o valor mínimo para a massa específica (densidade aparente) é 2550 kg/m³; a porosidade aparente máxima, de acordo com esta norma, é 1,0% e, com relação à absorção o valor máximo é 0,40%.

Portanto, os parâmetros supracitados caracterizam o “Granito” Azul Sucuru como material com boa resistência ao impacto, graças ao valor da massa específica, dado que também traduz e incorpora o comportamento dúctil sugerido pelos marcadores do estágio de deformação. Outrossim, os dados

obtidos para a porosidade aparente e a absorção de umidade também reforçam a performance desta rocha ornamental utilizável como material de revestimento que aponta maior resistência ao impacto atende às especificações para uso como material de revestimento. (Somente por estes ensaios). Por conseguinte, pode-se assegurar que, em vistas dos valores dos índices físicos do “Granito Azul Sucuru”, este material apresenta excelente estado de sanidade. Adicionalmente, é baixa a sua susceptibilidade a processos de oxidação, potencializados em atmosferas úmidas, graças à composição mineralógica aponta para baixos teores de minerais máficos (máximo de 5%), ferro-magnesianos, principalmente biotita. Além disso, os elevados percentuais de microclínio (40%), quartzo (25%) e oligoclásio (20%) asseguram relativa estabilidade química frente a processos como hidrólise, oxidação e dissolução, condições comuns a revestimentos externos e de áreas úmidas.

Quanto à resistência à abrasão, esta característica é aferida por meio do ensaio “Amsler”, cujos resultados obtidos são mostrados na tabela 1. Por oportuno, o desgaste de 0,74 mm é inferior a 1,00 mm, referência máxima admitida pela Norma NBR 15844. Esta característica é explicada pelo elevado teor de quartzo (25%) presente nesta rocha, o mineral essencial de dureza mais elevada e pela anômala presença do acessório cordierita (5%), de dureza similar, mas distinguível do quartzo pelas características de microscopia óptica. A presença de cordierita explicita um conteúdo mais magnésiano e, portanto um menor potencial de oxidação para o material pétreo usável como agregado, cuja composição química silicático-magnésiana se explica pela geoquímica da rocha máfica, marcantemente em magnésio tão elevada. Desse modo, este material pode ser usado sem restrição para constituir pisos de áreas onde haja grande circulação de pessoas tais como centros comerciais, saguões de aeroportos, pisos de supermercados, etc.

O concreto constitui o segundo insumo mais utilizado no planeta, ficando atrás apenas da água (Mehta & Monteiro, 2008). Tecnologias que possibilitem a introdução como agregados no concreto

Tabela 1: Propriedades ornamentais do “Granito Azul Sucuru”

Propriedades	“Azul Sucuru”	NBR 15844 ABNT
Densidade aparente (Kg/m ³)	2660	2550
Porosidade (%)	0,26	1,00
Absorção de água (%)	0,10	0,40
Resistência ao desgaste (mm/1.000m)	0,74	1,00

de resíduos de qualquer que seja o processo de manufatura de produtos possibilitarão um ganho ambiental (Abreu, 2014).

Embora não tenham sido feitas análises para a identificação de minerais deletérios e potencialmente reativos quanto à possibilidade de instalação da reação álcali-agregado (RAA) em concretos produzidos a partir de britas oriundas do aproveitamento dos rejeitos das pedreiras que exploraram o “Azul Sucuru”, a ocorrência da RAA requer a atuação conjunta de água, do agregado reativo e dos álcalis [sódio (Na_2O) e/ou potássio (K_2O)] do cimento. Sua prevenção pode ser feita a partir da eliminação de um dos fatores, ou seja, a partir do emprego de agregados inertes ou de cimento com baixos teores de álcalis, ou ainda, por meio de uso de adições que inibam o processo expansivo. Portanto, como já relatado, em sendo o volume de agregados significativamente maior que o do cimento e, considerando ainda que seu custo é expressivamente menor que o desse aglomerante, opta-se na confecção de concretos, independentemente da origem da brita, por cimentos de baixos teores de álcalis ou a utilização de produtos que inibam a RAA: alguns materiais como escória de alto forno, metacaolim, cinzas volantes e compostos de lítio tem apresentado capacidade de inibir a reação álcali agregado (Taha *et Nounu*, 2009). Logo, para concretos de baixa a média resistência (até 50MPa) e que não estejam sujeitos à ação constante das águas como em obras hidráulicas, a identificação de minerais potencialmente deletérios presentes não é condição imprescindível para o uso da brita.

A forma e a granulometria dos agregados influem na resistência mecânica do concreto. A forma e a textura, por exemplo, podem alterar significativamente a área específica dos agregados, influenciando diretamente na ligação pasta/agregado. Partículas que tendem à forma cúbica apresentam maior área específica do que as que se aproximam da forma arredondada. De igual modo, quando a textura superficial é rugosa, a resistência mecânica do concreto aumenta consideravelmente, sobretudo nos esforços de tração na flexão. O mesmo efeito é obtido quando se reduz a dimensão máxima característica do agregado graúdo (Pimenta, 2012).

De acordo com 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 ao “Azul Sucuru”, o grau

Tabela 2. Relação entre as dimensões e formas das britas

B/A	C/B	Classificação da Forma
> 0,5	> 0,5	Cúbica
< 0,5	> 0,5	Alongada
> 0,5	< 0,5	Lamelar
< 0,5	< 0,5	Alongada-lamelar

de cubicidade dos agregados foi definido em função das dimensões A (comprimento), B (largura) e C (espessura), de acordo com a classificação proposta pela NBR 6954 (ABNT 1989), baseado na tabela 2, abaixo:

O gráfico de dispersão abaixo possui 100 amostras de fragmentos do “Granito Azul Sucuru”, figura 6, obtidas pelo processo de amostragem aleatória. Os dados C/B (espessura/largura) e B/A (largura/comprimento) são relacionados a partir de medidas em cada amostra dos fragmentos supracitados. O gráfico, dividido em quadrantes, tem por toda sua extensão uma malha de pontos que determina a frequência das amostras. A distribuição dos pontos permite observar que ocorre maior concentração acima de 0,5, tanto para o eixo horizontal (C/B) como para o vertical (B/A).

De acordo com a malha de pontos distribuídos em toda extensão do gráfico, dividido em quadrantes, verificou-se um percentual de frequência dos pontos que aponta para o primeiro quadrante 5%, no segundo quadrante 4%, no terceiro quadrante 27% e finalmente no quarto quadrante 64%.

A tabela 2 foi baseada de acordo com o que determina a NBR 6954 (ABNT 1989), o que permite concluir, no que tange a alta porcentagem dos pontos no IV quadrante, que o material fragmenta-

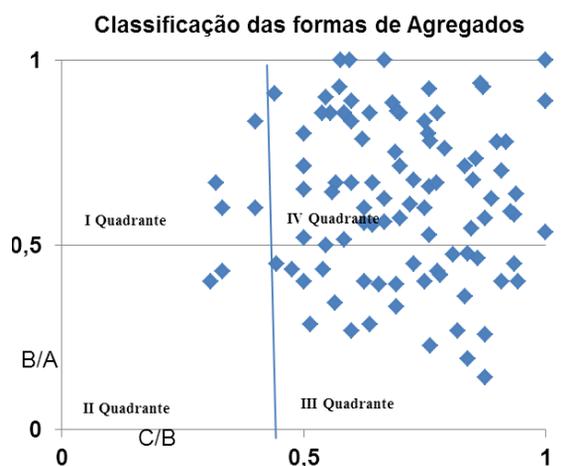


Figura 6. Forma dos agregados do material. Fonte: Cavalcanti (2016)

do apresenta uma forte tendência de classificação do tipo cúbica. Logo, as britas oriundas do “Azul Sucuru” apresentam tendência similar, ou seja, de classificação tipo cúbica. Alguns pesquisadores consideram que é indesejável a presença de mais de 15% de partículas lamelares ou alongadas em concretos. Isso se explica por que britas com partículas lamelares no concreto acumulam mais bolhas de ar e água sob elas acarretando o fenômeno da exsudação que é a tendência da água de amassamento vir à superfície do concreto recém-lançado. Como consequência a parte superior do concreto torna-se excessivamente úmida tendendo a produzir um concreto poroso e menos resistente, o que prejudica a durabilidade e reduz a resistência do concreto (CEFET-PR, 2004).

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 agregados naturais mais trabalhável que com os industrializados. Assim, concretos com agregados de britagem exigem 20% mais de água de amassamento do que os preparados com agregados naturais, porém, têm maiores resistências ao desgaste e à tração devido à maior aderência entre os grãos e a argamassa. Por outro lado, os grãos irregulares devido a sua forma e textura superficial, apresentam maior aderência da argamassa resultando em maior resistência para um mesmo traço do que os constituídos com grãos cubóides e de superfície lisa. Dependendo da aplicação existem limitações quanto ao formato dos grãos, como no caso de agregados para pavimentos rodoviários, que podem ter no máximo 10% de grãos irregulares, enquanto que o agregado para lastro ferroviário deve ter no mínimo 90% de seus grãos com formato cuboide. O tipo de rocha também influencia o formato do grão (Cunha, 2015).

Segundo Mehta & Monteiro *apud* Teodoro (2013), habitualmente a massa específica para as rochas utilizadas variam entre 2.600 e 2.700 kg/m³, valores típicos para granito, arenito e calcário denso são 2.690, 2.650 e 2.600 kg/m³, respectivamente. A massa específica do “Granito Azul Sucuru” é 2.660 kg/m³, portanto dentro do intervalo sugerido.

5. Conclusões

Esta pesquisa sugere um paradigma que enfoca a reutilização de recursos disponíveis na

atividade de mineração, após a fase de exploração ou lavra de rochas ornamentais.

No cenário atual o grande dano ambiental resulta das dificuldades de exploração da rocha produtora do Granito Sucuru, associadas com poucas pesquisas da mesma no que diz respeito às características geológico-estruturais da área com pouca definição do bloco de partição, certamente melhor orientadora para localização otimizada da conseqüente face livre. Adicionalmente, há conexão com os problemas enfrentados pela grande quantidade de blocos pouco aproveitáveis nos teares multi-lâminas, resultante em baixo interesse para as indústrias.

A utilização de minérios extraídos de rochas ígneas segue um novo modelo mercadológico promissor que é a ornamentação de interiores e, partindo de análises das características tecnológicas desse material, pode-se utilizá-lo na forma de agregados para a construção civil, por ser uma rocha que apresenta pouca porosidade e baixa absorção de água. Além disso, todo segmento de gestão permite uma expansão em estudos e análises em toda a área integrada, reabilitando-a com a retirada de matações e rejeitos, desenvolvendo a economia local de artesãos e futuramente a extensão para outras regiões que se encontram com limitações em seus recursos naturais na utilização de artesanatos. 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 e rejeitos que transformam a paisagem e alteram a rede de drenagem da área. Conseqüentemente possibilitará uma valorização da área, diminuição da poluição visual e aumento da cobertura vegetal.

O “Granito” Azul Sucuru é um tipo de rocha que pode ser aplicada em revestimentos internos, externos, áreas secas e úmidas e também em pisos de grande circulação. Outrossim, os rejeitos do “Azul Sucuru” podem ter aproveitamento sob a forma de brita para construção civil, apesar de apresentar 27% de britas de forma alongada. Isto não seria empecilho para uso na confecção de concretos desde que cuidados devam ser tomados quanto à forma e dimensão do grão para evitar que as mesmas 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 fôrmas.

Referências

- Abreu, A.C.F., (2014). *Análise Corporativa dos agregados graúdos, britas, calcária e granítica, e dos agregados miúdos, resíduos de borracha de pneu e areia, para utilização em concreto*. (Monografia) Mossoró, Universidade Federal do Rural Semi-Árido. (Monogr. 14).
- Alencar, C.R.A.; Caranassios, A.; Carvalho, D. (1996)., *Tecnologia de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais*. Fortaleza, Inst. Euvaldo Lodi. 225p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1996. *NBR ISO 14001. SGA Especificação e diretrizes para uso*. Rio de Janeiro, ABNT.
- Cavalcanti, L.F.M. (2016). *Granito Azul Sucuru: estudo da viabilidade de uso através da caracterização tecnológica*. Univ. Fed. Pernambuco. C. Tecnol. e Geoc. (Mestr. Eng. Mineral).
- CEFET-PR. (2004). *Apostila de Tecnologia do Concreto*. Depto. Acad. Construção Civil. Eng. Produção Civil. CEFET-PR.
- Costa A.G., Campello M.S., Maciel S.L., Calixto C., Bezerra J.E. (2002). Rochas ornamentais e de revestimento: proposta de classificação com base na caracterização tecnológica. In: Simp. Rochas Ornamentais do Nordeste, 3, Recife, PE. *Anais...*, Recife, PE.
- Cunha, E. H. da. (2015). *Agregados – notas de aula PUC Goiás*. Goiânia, PUC de Goiás. Acesso em setembro 2015.
- Farias, C. E. G. Mineração e Meio Ambiente no Brasil. Outubro de 2002. Disponível em: http://www.cgec.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf. Acesso em: 14 Jul. 2014.
- Ferreira, S. N. (2004). *Geologia estrutural aplicada às rochas ornamentais na Pedreira Knawa, Cláudio (MG)*. Rio Claro: IGCE, Univ. Est. Paulista. (Dissert. Mestr.)
- Frasca, M. H. B., Frazão, E. B. (2002). Proposta de especificação tecnológica para agregados graúdos. *Areia & Brita*, 19, 28-33.
- John, V. M. (2000). *Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. 113p. São Paulo. Esc. Politécnica, Univ. São Paulo, Depto. Eng. Constr. Civil. (Tese Livre Docência).
- Meyer, M. M. (2000). *Gestão ambiental no setor mineral: um estudo de caso*. Florianópolis: Univ. Fed. Santa Catarina. (Dissert. Mestr. Eng. Produção).
- Navarro, F. C. (2006). *Influência da petrografia sobre a anisotropia à tensão de compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais*. Rio Claro: IGCE, Univ. Est. Paulista. (Tese Dout.).
- Neves, M. C. (2010). *Estudo Experimental do Polimento de Diferente “Granitos” e as Relações com a Mineralogia*. *Dissertação*. Dissertação (Mestre em Ciências). São Carlos (SP): Universidade de São Paulo.
- Perdiz, R. S. (2009). *Avaliação da utilização do granito da região de moura do município de Barcelos como agregado graúdo em concreto*. Dissertação, Manaus, AM, Universidade Federal do Amazonas.
- Petrucci, E.G.R. (1998). *Concreto de cimento Portland*. São Paulo: Globo.
- Pimenta, D. S. (2012). *Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita*. João Pessoa, PB, Univ. Fed. Paraíba. (Trab. Concl. Curso, Engenharia Civil).
- PPGE Minas, (2015). *Relatórios da Excursão da Disciplina Pesquisa e Prospecção de Rochas Ornamentais*. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral
- Santos, R. A. dos. (2011). *Reaproveitamento dos resíduos de britagem de granito: uso como agregado artificial na construção civil*. Trabalho de conclusão de curso. João Pessoa, PB, Univ. Fed. Paraíba. .
- Taha, B.; Nounu, G. (2009). Utilizing Waste Recycled Glass as Sand/Cement Replacement in Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2009, 709-721.
- Teodoro, S. B. (2013). *Trabalho Final de Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora*. Juiz de Fora, MG: Univ. Fed. Juiz de Fora. (Trab. Concl. Curso, Engenharia Civil).
- Yoshida, R.; Frazão, E. B.; Giroldo, A. M. P. (1972). *Estudos sobre a forma de agregados rochosos*. In: 4a. semana Paulista de Geologia Aplicada, 1972, São Paulo. Anais SPGA. São Paulo: APGA. p. 285-332.