

# GEOLOGIA DE JAZIDAS DE BRITA E AREIA ARTIFICIAL DE QUALIDADE ESPECIAL: EXEMPLOS DO ÁLCALI SIENITO DE NOVA IGUAÇU, RJ, E RIOLITO DE NOVA PRATA, RS

Giannis Hans PETRAKIS <sup>1</sup>, Akihisa MOTOKI <sup>1</sup>, Susanna Eleonora SICHEL <sup>2</sup>,  
Lóris Lodir ZUCCO <sup>3</sup>, José Ribeiro AIRES <sup>4</sup>, Sidney Luiz Matos MELLO <sup>2</sup>

- (1) Departamento de Mineralogia e Petrologia Ígnea, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DMPI/FGEL/CTC/UERJ). Rua São Francisco Xavier 524, Sala A-4023 – Maracanã. CEP 20550-990. Rio de Janeiro, RJ. Endereços eletrônicos: giannis.uerj@gmail.com; rochasornamentais@yahoo.com.br
- (2) Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense (LAGEMAR/UFF). Avenida General Milton Tavares de Souza s/n, 4º andar – Gragoatá. CEP 24210-340. Niterói, RJ. Endereços eletrônicos: susanna@igeo.uff.br; sidney@igeo.uff.br
- (3) Colégio Técnico Agrícola da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (CTUR/UFRuralRJ). BR-465, km 8 – Seropédica, s/n. CEP 23890-000. Rio de Janeiro, RJ. Endereço eletrônico: llzucco@yahoo.com.br
- (4) Abastecimento, Petróleo Brasileiro S.A. (ABAST/PETROBRAS). Avenida República do Chile, 65, sala 902 – Centro. CEP. 20031-912. Rio de Janeiro, RJ. Endereço eletrônico: aires@petrobras.com.br

Introdução  
Reação Álcali-Sílica  
Álcali Sienito do Maciço Mendanha  
Jazida de Álcali Sienito  
Região de Ocorrência de Álcali Sienito  
Areia Artificial  
Basalto da Serra Gaúcha  
Jazida de Riolito  
Considerações  
Conclusões  
Agradecimentos

**RESUMO** – Este artigo apresenta a geologia de jazidas de duas rochas em mineração ativa que têm características físicas e químicas especiais, e sua utilização eficiente com o objetivo de menor impacto ambiental: 1) Álcali sienito da borda nordeste do Maciço Mendanha, Município de Nova Iguaçu - RJ; 2) *Basalto da Serra Gaúcha*, extraído nas áreas em torno da cidade de Nova Prata - RS. O álcali sienito não contém quartzo e outros minerais de sílica, portanto a brita para agregados desta rocha é livre de reação álcali-sílica. Graças a esta característica química, formam-se corpos de concreto de alta durabilidade, garantindo longevidade das construções. Devido à rara ocorrência desta rocha no mundo, são necessárias fontes alternativas tal como resíduos sólidos de rochas ornamentais originados de álcali sienito. O *Basalto da Serra Gaúcha* é uma família peculiar de riolito, riodacito e dacito com altíssima firmeza mecânica, com esforço para ruptura por compressão uniaxial em torno de 260 MPa, sendo mais que o dobro de rochas graníticas. Esta vantagem física é devida ao processo altamente desenvolvido de devitificação do magma riolítico superaquecido, o que produz a brita de melhor qualidade do Brasil. Além disso, é considerado como um material ideal para areia artificial. O aproveitamento eficiente do resíduo desta rocha realiza alto rendimento dos materiais minerados, em torno de 70%. Este fator possibilita a operação com menor impacto ambiental e alta sustentabilidade econômica.

**Palavras-chave:** brita, areia artificial, álcali sienito, traquito, riolito, meio ambiente.

**ABSTRACT** – G.H. Petrakis, A. Motoki, S.E. Sichel, L.L. Zucco, J.R. Aires. *Ore geology of special quality gravel and artificial sand: examples of alkaline syenite of Nova Iguaçu, State of Rio de Janeiro, and rhyolite of Nova Prata, State of Rio Grande do Sul, Brazil.* This article presents ore geology of two types of Brazilian rocks with special physical and chemical properties and their efficient utilization with the objective of minor environmental impact: 1) Alkaline syenite from north-east border of the Mendanha Massif, Nova Iguaçu, State of Rio de Janeiro; 2) The Serra Gaúcha Basalt extracted in the areas around Nova Prata city, State of Rio Grande do Sul. The alkaline syenite contains no quartz and other silica minerals, and therefore, the gravel for aggregates of this rock is free from the alkali-silica reaction. Because of this chemical characteristic, high durability concrete bodies with long-life can be constructed. Due to the rare world occurrence of this rock, alternative sources are necessary, such as solid residuals of alkaline syenite for ornamental use. The Serra Gaúcha Basalt is a peculiar family of rhyolite, rhyodacite, and dacite, with excellent mechanical firmness, with yield compression stress of about 260 MPa, being more than twice of granitic rocks. This physical advantage is due to highly developed devitrification process of superheated rhyolitic magma, which can produce the best quality gravel of Brazil. In addition, this rock is considered to be a best raw material for artificial sand. The efficient utilization of the residuals of this rock makes high yield rate of the mined materials, about 70%. This factor makes possible the operation with minor environmental impact and high economic sustainability.

**Keywords:** gravel, artificial sand, alkaline syenite, trachyte, rhyolite, environment.

## INTRODUÇÃO

As britas e areias são materiais essenciais para a construção civil, sendo utilizados como agregados para compor corpos de concreto. Diferentemente das jazidas de minerais metálicos, a geologia dos depósitos minerais desses materiais tem sido pouco estudada devido possivelmente, ao baixo valor por tonelada. Entretanto, a contribuição de britas e areias à civilização contemporânea é imensurável tanto quanto os minerais metálicos. Como por exemplo, durante o ano 2001, foram produzidos 399 milhões de toneladas de brita e 236 milhões de toneladas de areia no Brasil (DNPM 2001; 2002). Certas rochas naturais têm características físicas e químicas peculiares, podendo ser utilizados para aplicações especiais.

Mineração e processos industriais de rochas naturais emitem resíduos que podem causar problemas ambientais. Conforme crescente tomada de consciência ambiental, muitos países vêm criando medidas, sob o respaldo da lei, a fim de atribuir às indústrias a responsabilidade pela emissão de rejeitos. Para o desenvolvimento sustentável, a evolução da ciência e tecnologia deverá ser destinada à busca de compatibilidade entre a produção e a proteção do meio ambiente, colocando o manejo adequado de detritos

industriais como uma importante meta. Os exemplos são a resolução 307/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

O manejo adequado dos resíduos representa um dos mais relevantes e urgentes temas da ciência e tecnologia atuais. Neste sentido, busca-se cada vez mais o aproveitamento eficiente dos materiais minerados. Para tanto, os estudos de geologia dos depósitos minerais e de propriedades físicas e químicas dos materiais minerados são fundamentais.

O presente trabalho introduz a geologia de jazidas de duas rochas em mineração com características físicas e químicas especiais e sua utilização eficiente com menor impacto ambiental: 1) *Álcali sienito* e *traquito* da borda nordeste do Maciço Mendanha, Município de Nova Iguaçu, RJ, que é livre da reação álcali-sílica; 2) *Basalto* da Serra Gaúcha, minerado em torno da cidade de Nova Prata, RS, que é uma família peculiar de riolito, riocacito e dacito com resistência mecânica extraordinariamente alta. Com base nos estudos geológicos, litológicos, petrográficos e de propriedades físicas, os autores apresentam recomendação para aproveitamento eficiente desses materiais a fim de reduzir o impacto ambiental com sustentabilidade econômica.

## REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA

A reação álcali-sílica, chamada também de ASR, é um fenômeno químico de reação heterogênea que ocorre entre componentes da massa de concreto composta de álcali-hidróxidos (NaOH e KOH) e minerais de sílica reativos presentes em certos agregados. Calcedônia e tridimito são materiais representativos de sílica reativa. Quando esses absorvem água, ocorre a expansão volumétrica irreversível, gerando rachaduras e fraturas nos corpos de concreto e conseqüente dano à estrutura arquitetônica. Nos casos mais avançados, o colóide álcali-sílica escorre por fissuras do corpo de concreto. Maiores danos estruturais ocorrem cerca de 5 a 20 anos após a construção, sendo um grave problema para a construção civil.

A reação álcali-sílica foi estudada primeiramente nos Estados Unidos da América, a partir da década de 1940. No Japão, os notáveis danos às estruturas de concreto foram relatados nas construções da linha de trem bala Sanyô Shinkansen. Diante deste problema, o Governo Japonês foi obrigado a dispor de um grande valor orçamentário para os reparos e anunciou medidas para controlar os problemas da reação álcali-sílica através de normas nacionais, tais como: 1) uso de

agregados sem minerais reativos; 2) uso de cimentos de baixa alcalinidade; 3) uso de cimento misturado com *fly-ash* de alto forno; 4) evitar infiltrações de água na estrutura de concreto.

O uso de agregados sem minerais reativos parece ser a melhor solução, porém as rochas sem minerais de sílica com firmeza física suficiente são raras no mundo. Entretanto, elas ocorrem com relativa frequência na região Sudeste do Brasil. Outras medidas são de caráter tecnológico e têm sido priorizadas. Apesar das medidas, o relatório divulgado em 2003 pelo Ministério do Transporte e Infra-estrutura (Kokudo Kôtsûshô) apontou que apesar das medidas tecnológicas os problemas da reação álcali-sílica em construções japonesas, em vista da exposição de vergalhões em condições precárias, foram muito mais graves do que a estimativa. Além disso, caso ocorra incêndio, os cimentos com *fly-ash* podem explodir, tal como no caso do World Trade Center em 11 de setembro de 2001. Em adição, certos tipos de cimento de rápida consolidação contêm teor elevado de álcalis. Portanto, em determinados casos é necessário utilizar os agregados rochosos que são livres da reação álcali-sílica.

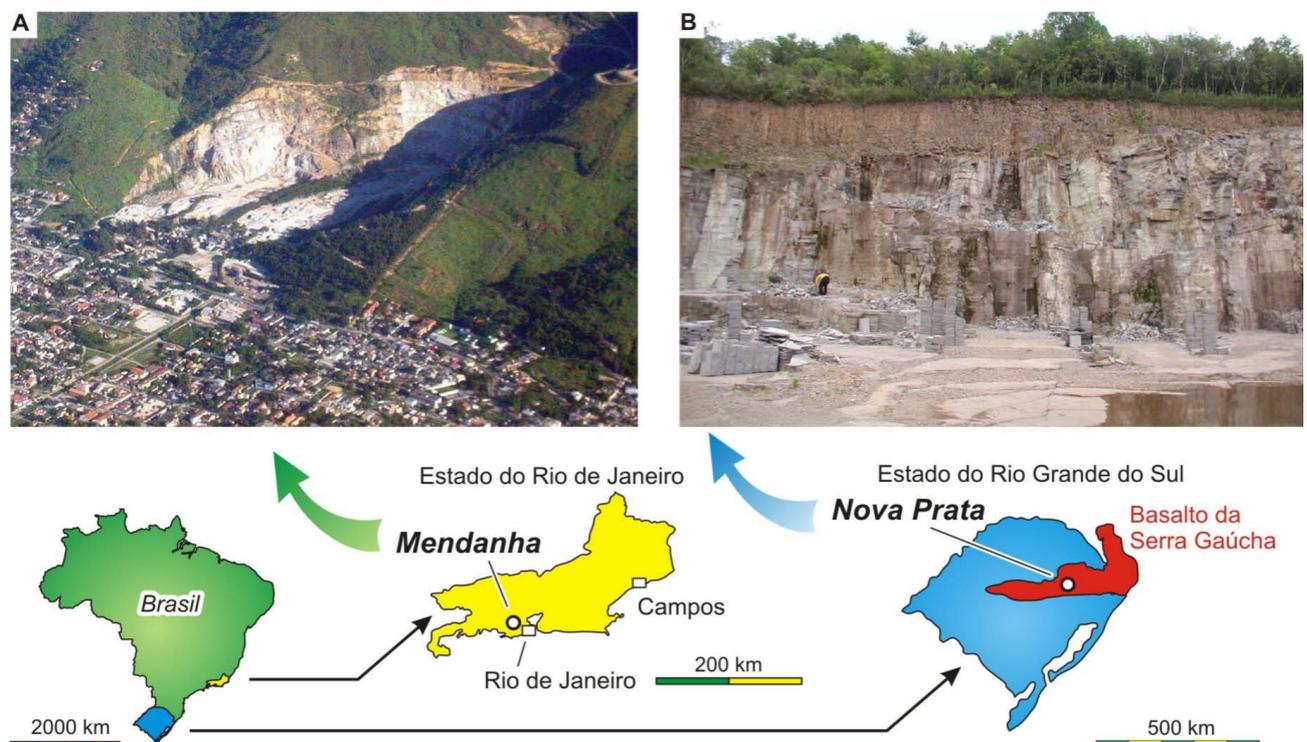
## ÁLICALI SIENITO E TRAQUITO DO MACIÇO MENDANHA

A expressão “álcali sienito” corresponde à abreviação de “álcali feldspato sienito”, sendo uma rocha ígnea de granulometria grossa, composta principalmente de feldspato alcalino e subordinadamente de clinopiroxênio e anfibólio, com baixo teor de biotita. Quartzo e nefelina são ausentes, ou de teor desprezível. Segundo a nomenclatura de IUSG (*International Union of Geological Sciences*, Streckeisen, 1973), esta rocha se projeta na proximidade do vértice A do diagrama QAPF. Traquito é uma rocha de granulometria fina, com composição química e mineralógica equivalente a do álcali sienito, porém é de granulometria fina. Devido à ausência de quartzo, os agregados provenientes destas rochas são livres da reação álcali-sílica. Somado a sua alta resistência mecânica, o concreto formado com agregado dessas rochas tem boa firmeza mecânica e longa vida útil.

As rochas acima citadas estão em extração na Pedreira Vigné, que se situa na borda nordeste do Maciço Mendanha, Município de Nova Iguaçu, RJ

(Figura 1A). O corpo sienítico do Maciço Mendanha ocorre em uma área alongada a ENE-WSW, com extensão de 15 x 5 km (Figura 2). A borda oriental é composta de álcali sienito e a parte ocidental, nefelina sienito. O corpo sienítico apresenta feições geológicas da base de uma câmara magmática (Figura 2; Motoki et al., 2007a; 2008a), sendo similar aos corpos alcalinos circunvizinhos, tais como Itaúna (Motoki et al., 2008b) e Ilha de Cabo Frio (Sichel et al., 2008). As datações por laser-spot Ar-Ar apresentaram idades em torno de 60 Ma, correspondendo ao início do Cenozóico (Smith et al., 2001).

Encontram-se dois tipos de traquito que estão em produção nesta pedreira (Figura 3): 1) traquito da primeira geração; 2) da segunda geração. O traquito da primeira geração tem textura porfirítica com massa fundamental holocristalina, contendo micrólitos de feldspato alcalino de 0.5 a 1.0 mm de comprimento. O traquito da segunda geração ocorre como diques de largura métrica, caracterizado pela textura devitrificada da massa fundamental.



**FIGURA 1.** Pedreiras produtoras de britas de qualidade especial: A) álcali sienito e traquito do maciço Mendanha, Município de Nova Iguaçu, RJ; B) riolito devitrificado da Unidade Palmas, Município de Nova Prata, RS.

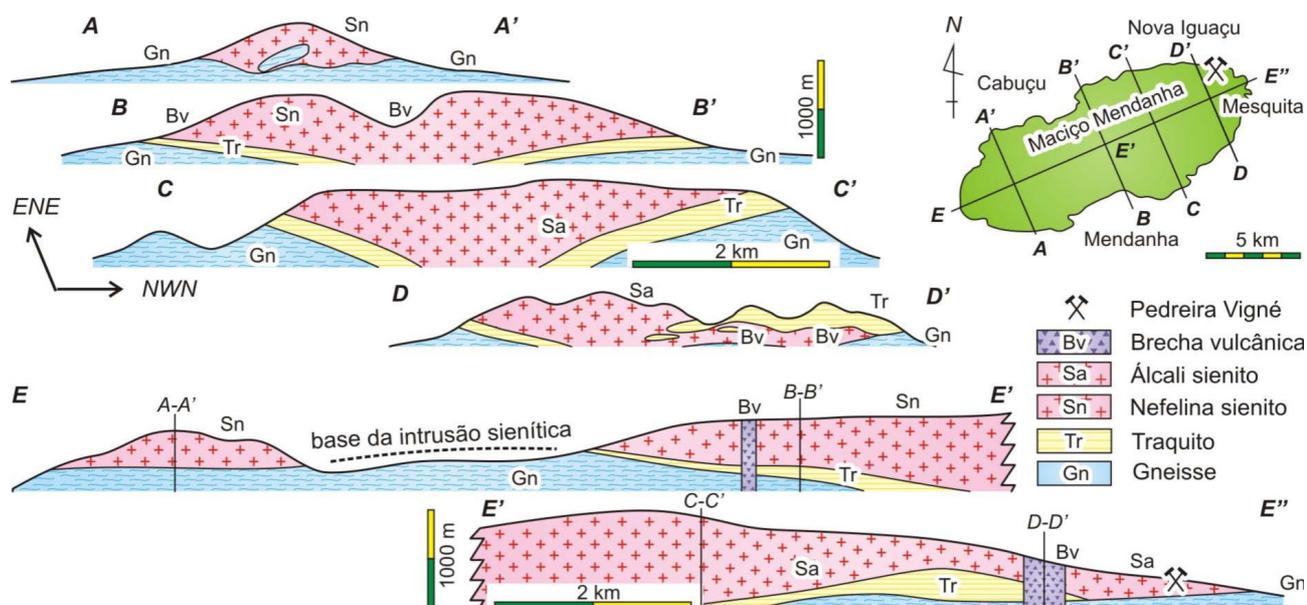


FIGURA 2. Perfil geológico do corpo sienítico do maciço Mendanha, modificado de Motoki et al. (2007a).

Traquito da primeira geração



Traquito da segunda geração

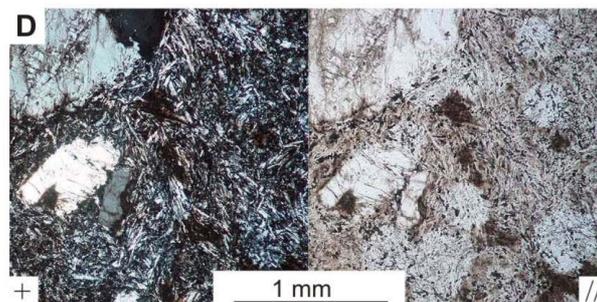
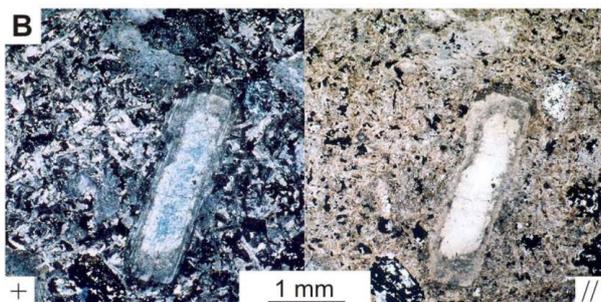


FIGURA 3. Rochas extraídas da Pedreira Vigné, limítrofe nordeste do maciço Mendanha, Município de Nova Iguaçu, RJ, segundo Motoki et al. (2007a): A) álcali sienito; B) traquito.

### JAZIDA DE ÁLCALI SIENITO

Na Pedreira Vigné, o álcali sienito e o traquito vêm sendo explotados há cerca de seis décadas. Ambas as rochas são imunes à reação álcali-sílica. Na construção da ponte Rio-Niterói, que ocorreu entre 1969 e 1974, foram utilizadas as britas provenientes desta pedreira (Dutra et al., 2005). Devido à imunidade

à reação álcali-sílica, até o presente não há sinais de rachaduras causadas por este fenômeno. As rochas têm firmeza mecânica comparável ou superior a rochas graníticas. A combinação dos fatores químico e físico acima citados torna estas rochas uma importante matéria prima para agregado de qualidade especial.

Apesar da ocorrência de álcali sienito e traquito ser rara no mundo, estas rochas são encontradas com relativa frequência no Estado do Rio de Janeiro. Dentro do corpo intrusivo sienítico, qualquer localidade em que não ocorra nefelina, quartzo e alteração hidrotermal pode se tratar de uma jazida de álcali sienito. Além do Mendanha, existem outros corpos intrusivos com álcali sienito, tais como Soarinho, Itatiaia, Ilha da Vitória e Ilha dos Búzios. Entretanto, a maioria não pode ser explorada por se situar em área de proteção ambiental.

A vantagem química do álcali sienito e traquito não chamou grande atenção nas comunidades de construção civil, devido à ausência de publicação em revistas científicas e industriais. O material tem sido valorizado devido à elevada resistência mecânica. De fato, a qualidade química das rochas que compõem as britas não tem sido considerada como um fator importante devido, provavelmente, à insuficiente interação entre geólogos e engenheiros.

Além disso, ocorreu uma denúncia ao Ministério Público do Estado, requerendo a suspensão da mineração na Pedreira Vigné, sob alegação de que a extração estivesse descaracterizando a cratera intacta do único vulcão existente no país (Vieira, 2005). Entretanto, as publicações científicas recentes comprovaram a inexistência do vulcão, cratera, fluxo piroclástico, lava e bomba vulcânica, considerando as rochas piroclásticas como formadoras de condutos e fissuras subvulcânicas posicionados por quilômetros de profundidade (e.g. Motoki et al., 2007b; c; 2008c). Desta forma, a mineração foi reaberta com escala reduzida (Valente et al., 2005). Durante o processo judicial, a imunidade desta rocha à reação álcali-sílica não foi colocada em consideração.

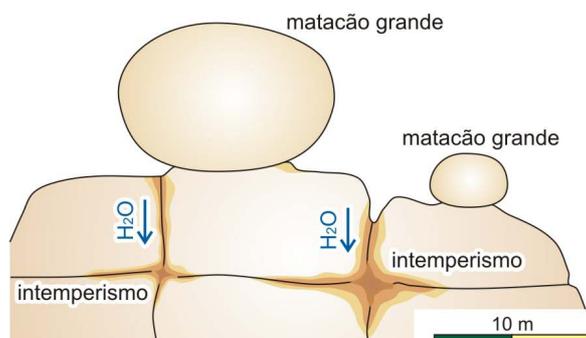
O ortognaisse rico em biotita é uma rocha frequentemente utilizada para fabricação de britas, devido à ocorrência abundante e fácil extração. O esforço para ruptura por compressão uniaxial desta rocha é em torno de 90 MPa. Granito, granodiorito e ortognaisse granítico

com baixo teor de biotita são considerados como bons materiais para britas. O esforço para ruptura por compressão uniaxial dessas rochas é em torno de 120 MPa. Segundo a informação da Pedreira Vigné, o álcali sienito e o traquito, especialmente o último, têm excelente resistência mecânica e a compressão uniaxial pode chegar a 170 MPa. A textura homogênea sem orientação dos minerais constituintes pode ser um dos aspectos responsáveis por esta resistência mecânica, o que compõe um importante fator para a formação de jazidas de agregado rochoso de alta qualidade.

O álcali sienito apresenta forma de intemperismo diferente das rochas graníticas e ortognássicas, devido à vulnerabilidade ao intemperismo de feldspato alcalino, que é o mineral constituinte principal do álcali sienito. Sob a condição climática tropical, com alta temperatura e alta umidade, o álcali sienito é coberto pelo manto de intemperismo composto de materiais argilosos originados de feldspato alcalino. A camada argilosa dificulta a percolação da água superficial no interior do corpo rochoso. Desta forma, a rocha presente abaixo desta camada superficial é relativamente pouco alterada, apesar desta rocha ser constituída por minerais vulneráveis ao intemperismo (Figura 4). Este fenômeno, aparentemente paradoxal, é denominado passividade intempérica (*weathering passivity*, Motoki et al., 2008a). Devido à passividade intempérica, as jazidas de brita de álcali sienito e traquito, ou seja, o corpo rochoso destas rochas com firmeza mecânica suficientemente alta, ocorrem em profundidade relativamente pequena, o que facilita a exploração nas pedreiras.

Os afloramentos e matações de álcali sienito têm superfície intemperizada de pequena espessura, inferior a 2 cm, que é muito menor do que no caso de rochas graníticas. A rocha que constitui a subsuperfície é quase intacta. A pequena espessura é atribuída à eliminação parcial da superfície intemperizada pela ação pluvial. Este fator também facilita a exploração destas rochas.

#### A. Granito



#### B. Sienito



**FIGURA 4.** Ilustração esquemática comparativa de formas de intemperismo entre granito e sienito. Modificada de Motoki et al. (2008b).

## REGIÃO DE OCORRÊNCIA DE ÁLCALI SIENITO

Álcali sienito ocorre em duas regiões tectonicamente distintas: 1) fase final do evento de separação continental; 2) retroarco da zona de colisão continental. O maciço sienítico do Mendanha é um exemplo do primeiro caso. O magmatismo ocorreu no início do Cenozóico, sendo logo após a separação continental entre atual América do Sul e África no Cretáceo (Ulbrich & Gomes, 1981). No Estado do Rio de Janeiro, ocorrem rochas similares em Itatiaia, Soarinho e Ilha de Cabo Frio (Sichel et al., 2008; Motoki & Sichel, 2008; Motoki et al., 2008d). Dentre esses, Itatiaia e Ilha de Cabo Frio não podem ser explorados pelo fato de se localizarem em áreas de proteção ambiental. As rochas sieníticas de Tanguá, o corpo vizinho de Soarinho, eram exploradas, porém a mineração atualmente está inativa. O álcali sienito do Maciço Tunas - PR, é explorado como rocha ornamental, chamado comercialmente de *Granito Verde Tunas*. No Estado de São Paulo, o álcali sienito ocorre na Ilha de Vitória, Ilha dos Búzios e Ilha de São Sebastião. Entretanto, essas também são áreas de proteção ambiental. Sob o ponto de vista da ocorrência geológica mundial, pode-se dizer que o Sudeste do Brasil é uma região privilegiada.

Um exemplo de álcali sienito na fase final de evento de colisão continental é encontrado no Município de Caldas, região sul do Estado de Minas Gerais. Esta rocha é explorada para usos ornamentais, chamada comercialmente de *Granito Marrom Caldas* ou *Granito Café Imperial*, sendo caracterizada pela cor macroscópica marrom. Apesar da presença de quartzo, o teor deste mineral é baixo, sendo inferior a 2%. O magma foi gerado durante a colisão continental do evento Pan-Africano, em torno de 630 Ma.

Nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, a obtenção de agregados livres de reação álcali-sílica é dificultada pelas ocorrências em áreas de proteção ambiental. Uma fonte alternativa destes materiais, apesar da pequena quantidade, é o resíduo de rochas ornamentais. Além das rochas nacionais, existe álcali sienito importado tal como *Granito Azul Labrador (Blue Norway)*, da região de Larvik, Noruega.

Os blocos de rochas ornamentais de álcali sienito são transportados para complexos industriais e fábricas. Durante o processo de corte e polimento, cerca de 40% em volume da massa são descartados, gerando resíduos rochosos que podem ser aproveitados como uma fonte alternativa de agregados livres de reação álcali-sílica.

## AREIA ARTIFICIAL

Junto com a brita, a areia é um material indispensável para construção civil. Considera-se que a maior parte da areia natural seja extraída a partir de depósitos fluviais ou sedimentos não consolidados do Pleistoceno e Holoceno (Figura 5). Caso ocorra a mineração predatória de areia natural sem tratamentos adequados após a mineração, isso pode causar severos

danos ambientais. Portanto, a mineração de areia natural tende a ser coibida por órgãos fiscalizadores do meio ambiente e, a concessão de alvará de lavras tende a ser mais difícil. Desta forma, as indústrias de construção nas regiões urbanas vêm sendo obrigadas a buscar os materiais em distância cada vez maior, tornando o custo operacional mais elevado.



**FIGURA 5.** Extração de areia natural a partir do depósito quaternário no Município de Barra de São João, RJ: A) jazida de areia natural; B) lavagem da areia extraída.

Durante o processo de fabricação de britas, gera-se um resíduo denominado “fração fina”. Esta é constituída por fragmentos de rochas com tamanho inferior a 3 mm, ou seja, mais fina do que a *brita zero*. Devido à pouca utilidade, a fração fina vem sendo acumulada nas pedreiras (Figura 6). Este material pode ser utilizado como substituto de areia natural, ou seja, como areia artificial. Com a aplicação da tecnologia de aeroseparação pneumática, a fração fina é separada em duas partes: 1) 3 mm a 0.074 mm como areia para concreto; 2) menor do que 0.074 mm como *filler* para argamassa.



**FIGURA 6.** Fração fina de fragmentos de rocha, um subproduto de fabricação de brita, Seropédica, RJ.

Nas indústrias de construção de São Paulo, o uso de areia artificial está em crescimento: em 1999, 7%; 2000, 8.5%; 2001, 9% (Almeida & Sampaio, 2002). Em 2003, a produção de areia artificial foi em torno de 190 milhões de toneladas, superando a de brita, com produção de 130 milhões de toneladas.

O ortognaisse granodiorítico é a rocha mais comum em regiões continentais do Brasil. Esta rocha tem pouca utilidade como rocha ornamental devido à abundância de biotita. Desta forma, a maioria das pedreiras de brita está instalada sobre os terrenos de ortognaisse granodiorítico. Em Minas Gerais, essa areia artificial é chamada comercialmente de “areia de gnaisse”. Em comparação com a areia natural, a areia artificial de

ortognaisse granodiorítico não é preferida pelos construtores locais, devido à: 1) baixa resistência mecânica da própria rocha; 2) a forma não arredondada de grãos; 3) a heterogeneidade da granulometria dos grãos.

A resistência mecânica da rocha e dos minerais constituintes de areia artificial é considerada um fator importante. Entretanto, este fator não foi estudado pelos grupos de engenharia do ramo. Os trabalhos anteriores sobre areia artificial vêm se dedicando a técnicas para fabricação de concretos com base na areia artificial, porém não tratam as respectivas rochas mãe (e.g. Almeida, 2000; Almeida & Sampaio, 2002; Costa, 2005).

A areia natural é composta principalmente de grãos de quartzo. Este mineral não apresenta clivagem e possui alta resistência mecânica. Além disso, tem imunidade ao intemperismo químico em ambientes natural e urbano. Por outro lado, a fração fina de ortognaisse granodiorítico é composta principalmente de feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo e biotita. Diferentemente do quartzo, os demais minerais possuem clivagem desenvolvida, portanto, apresentam relativa fraqueza mecânica. Além disso, esses minerais são vulneráveis ao intemperismo químico. A biotita é vulnerável tanto física, quanto quimicamente devido à clivagem altamente desenvolvida. Souza et al. (2006) utilizaram resíduo de concreto como matéria prima de areia artificial. Este material tem resistência mecânica significativamente inferior às rochas e minerais naturais.

Os grãos de quartzo que constituem areia natural são geralmente arredondados. Entretanto, os fragmentos finos produzidos por britagem têm forma angulosa. Quando o corpo de concreto é submetido a um esforço, as pontas angulosas de grãos podem se romper com facilidade. Surgiu recentemente o equipamento que ajusta a forma dos grãos por processos mecânicos. Contudo, considera-se que este sistema não é eficiente para biotita devido à forte clivagem.

O tamanho de grãos de quartzo de areia natural é relativamente homogêneo devido à seleção granulométrica que ocorre durante o processo de transporte e sedimentação. Os grãos rochosos constituintes de areia artificial têm tamanho muito variável. O tamanho heterogêneo dos grãos pode dificultar a adesão entre agregado e cimento. A tecnologia de aeroseparação pneumática oferece uma solução.

## BASALTO DA SERRA GAÚCHA

Existe uma rocha que pode ser o material ideal para areia artificial, chamada comercialmente de *Basalto da Serra Gaúcha*. Essa é uma família peculiar de pórfiro e ocorre na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul e na região sul do estado de Santa

Catarina. A rocha ocorre nas formações vulcânicas da Unidade Palmas (Melfi et al., 1988), chamada também de Formação Nova Prata (Roisenberg & Viero, 2000).

Apesar do nome comercial, esta rocha não corresponde cientificamente ao basalto de composição

máfica, mas sim, ao dacito, riodacito e riolito de composição félsica (Motoki et al., 2003). É uma rocha para usos ornamentais e estruturais, originada de depósitos de fluxo piroclástico com grau de soldamento e fluxo secundário extremamente alto (*rhyoignimbrite*, Milner et al., 1995; Roisenberg & Viero, 2000). Existe, também, a opinião de que esta rocha é originada de fluxos de lava que percorreram dezenas a centenas de quilômetros (Umann et al., 2001). As erupções explosivas ocorreram no início do Cretáceo, cerca de 135 Ma (Turner et al. 1994; Stewart et al., 1996). A paisagem característica da região da Serra Gaúcha, com base nos fluxos piroclásticos, resulta em alguns pontos turísticos, tais como Cascata do Caracol, Canela (RS), e Parque Nacional de Aparatos da Serra, Itaimbezinho (RS-SC).

Esta rocha é holocristalina fina, porém foi originalmente vítrea. Apesar de ter composição félsica, o magma tinha alta temperatura, em torno de 1050°C (Roisenberg & Viero, 2000). Devido ao magma superaquecido e conseqüente alto grau de devitificação, a rocha ganhou a resistência mecânica extraordinariamente alta. As rochas similares ocorrem

raramente no mundo, tais como no Egito, na Itália e na Argentina, sendo vendidas com nomes comerciais de *Pórfido*, *Lapiris Porfirites*, *Torentino*, *Roman Stone*, etc. (Flora, 2002). A rocha similar está sendo extraída em torno da Sierra Chata, Província de Chubut, Argentina, com nome comercial de *Pórfido* ou *Patagonian Stone*.

A maioria da extração do *Basalto da Serra Gaúcha* ocorre no Estado do Rio Grande do Sul, tendo sua produção concentrada em torno da cidade de Nova Prata, abrangendo 17 municípios. Nesta área, há mais de 300 pedreiras em operação. Segundo o Sindicato da Indústria de Extração de Pedreiras de Nova Prata e Região, a produção durante o ano 2002 foi de 15.500 m<sup>2</sup> de *laje* para pisos e calçamento de ruas, que são produtos principais (Figura 7A). O material sem polimento da superfície é utilizado amplamente para pisos, muros, alicerces, e calçamento de ruas. Entretanto, as vendas estão limitadas nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Existem poucas pedreiras, tais como de Bento Gonçalves e Farroupilha, RS, que extraem blocos maciços para fabricação de chapas polidas.



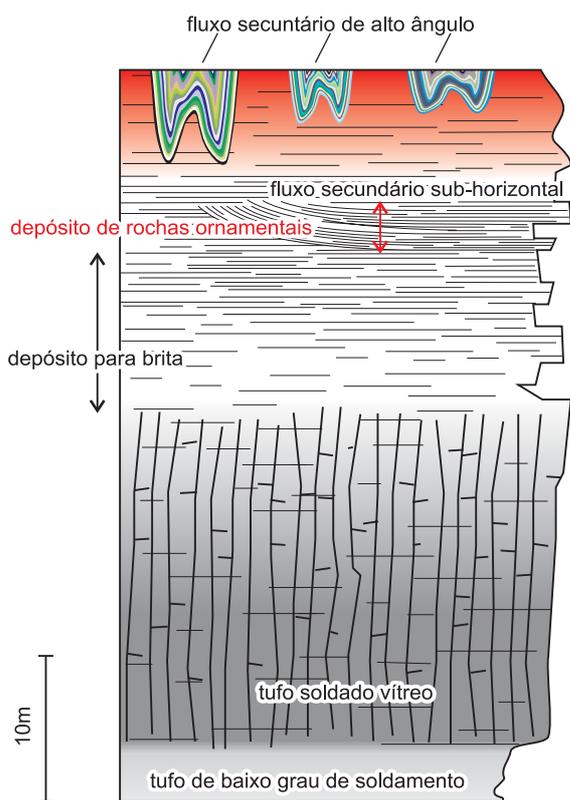
**FIGURA 7.** Pedreira do Basalto da Serra Gaúcha, Município de Nova Prata, RS: A) laje para calçamento de ruas, o produto principal; B) brita para agregados, aproveitamento de resíduos rochosos.

## JAZIDA DE RIOLITO

A estrutura vertical de unidades de resfriamento (*cooling unit*) do *Basalto da Serra Gaúcha* é similar ao modelo de Smith (1960), sendo divididos em quatro níveis: 1) base; 2) nível inferior; 3) nível médio; 4) nível superior (Figura 8, Motoki et al., 2003). Os aspectos litológicos e a firmeza mecânica de cada nível são diferentes, tendo suas aplicabilidades industriais específicas. A jazida do *Basalto da Serra Gaúcha* se encontra espalhada em uma área extensa, cerca de 300 km a E-W e 100 km a N-S, com 50 a 400 m de

espessura. Entretanto, existem muitas cidades grandes sobre a jazida, tais como Caxias do Sul e Bento Gonçalves, RS.

O nível de base tem pequena espessura, 1 a 3 m, constituído por fragmentos arredondados de rochas porosas com diâmetro variando de 5 a 50 cm. Os materiais piroclásticos de deposição primária foram constituídos principalmente por pó de vidro vulcânico (*glass shard*) de alta temperatura. Logo após a sua deposição, ocorreu o soldamento (*welding*) em grau



**FIGURA 8.** Perfil esquemático de unidade de resfriamento do fluxo piroclástico relativo ao Basalto da Serra Gaúcha, modificado de Motoki et al. (2003).

extremamente alto (Motoki et al., 2003). A massa vítrea densamente soldada tem os mesmos comportamentos físicos da lava riolítica e, portanto ocorreram fluxos viscosos, denominados fluxo secundário. Portanto, a camada brechóide deste nível é atribuída à *clinker* do fluxo secundário.

O nível inferior da unidade de resfriamento é vítreo, tendo aspectos similares à obsidiana, com espessura de 5 a 10 m. Certos afloramentos apresentam vidro vulcânico preto com baixo brilho na superfície, que é sugestivo de *pitchstone*. Alguns afloramentos

mostram disjunções colunares altamente desenvolvidas de 1 a 2 m de diâmetro. A rocha constituinte é frágil e com fraturas desenvolvidas em direções horizontal e vertical, sendo inadequada para usos estruturais. Entretanto, sua cor preta é relevante, sendo o vidro vulcânico utilizado como peças decorativas para paredes e pisos multicolores em mosaico. Conforme a medida quantitativa de cores com o auxílio do *software* Wilbur 1.0 (Motoki et al., 2005; 2006; 2007d), o parâmetro B (*brightness*) do sistema HSB é 18, sendo a rocha ornamental de cor mais escura do Brasil.

O nível médio da unidade de resfriamento tem espessura de 30 a 50 m e é composto de rocha com alto grau de devitrificação e com excelente firmeza mecânica, sendo o material adequado para usos estruturais de construção. Não se observam disjunções colunares neste nível. O esforço para compressão uniaxial é em torno de 260 MPa e a mesma para a dobra é cerca de 40 MPa. Segundo a informação do Pasinato S.A., a compressão uniaxial pode chegar a 325 MPa. Esses valores representam o dobro em relação às rochas graníticas ornamentais. A dureza em escala de Mohs é 7, sendo equivalente a do quartzo. Estas características são incomparáveis com outras rochas do Brasil. Em algumas localidades, encontram-se fraturas sub-horizontais altamente desenvolvidas. Estas fraturas viabilizam a extração desta rocha tão resistente por meios manuais. Na área em torno de Nova Prata, é notável o desenvolvimento das fraturas paralelas, o que justifica a concentração de pedreiras do *Basalto da Serra Gaúcha*. Por outro lado, em várias localidades no planalto da Serra Gaúcha, tal como Caxias do Sul, RS, existem pedreiras de brita que extraem riolito maciço, sem fraturas horizontais, por motivo da alta resistência mecânica desta rocha.

A rocha constituinte do nível superior é parecida com a do nível inferior, tendo espessura de 5 a 15 m. A rocha vítrea tem cores variáveis, sendo preto, marrom escuro, verde escuro e etc. Observam-se localmente estruturas relevantes de fluxos secundários e *blowpipe*, tal como de Nova Petrópolis, RS.

## TRATAMENTO DE RESÍDUOS ROCHOSOS

Os resíduos rochosos gerados nas pedreiras e fábricas são problemas sérios, também na região da Serra Gaúcha, tanto em termos ambientais quanto econômicos (Figura 9). Em vista da firmeza física, o *Basalto da Serra Gaúcha* é o melhor do Brasil e talvez do mundo. Desta forma, considera-se que o resíduo rochoso gerado durante a produção de lajes, paralelepípedos, alicerces, meio-fios etc., seja um excelente material para agregado. De fato, os retalhos rochosos

estão sendo triturados para produção de britas, suprimindo a necessidade regional de agregados (Figura 7B).

A operação combinada entre a fabricação dos produtos ornamentais de rochas e das britas realiza bom aproveitamento dos materiais minerados, com rendimento extraordinariamente alto, em torno de 60% (Motoki & Zucco, 2005). Há uma pedreira com rendimento próximo a 90%. O alto índice de aproveitamento representa alta produtividade com baixa



**FIGURA 9.** Retalhos rochosos acumulados na pedreira do Basalto da Serra Gaúcha, Município de Nova Prata, RS.

geração de resíduos, bem como, alto rendimento econômico com baixo impacto ambiental. A taxa acima citada é muito relevante em relação às pedreiras de rochas ornamentais de outras regiões, com o índice em torno de 30%.

A fração fina do *Basalto da Serra Gaúcha* pode ser um excelente material para areia artificial, devido à alta firmeza mecânica e alta resistência ao intemperismo, sendo livre dos problemas observados em areia artificial originada do ortognaisse granodiorítico. A areia artificial do *Basalto da Serra Gaúcha* pode constituir corpos de concreto capazes de sustentar grandes esforços. Entretanto, esta vantagem não é conhecida nem mesmo nas regiões produtoras e, a fração fina vem sendo acumulada nas pedreiras. Existem algumas, porém poucas pesquisas sobre o aproveitamento da fração fina (e.g. Busanello et al., 2002).

## CONSIDERAÇÕES

No Brasil existem pelo menos dois tipos de rochas para brita e areia artificial para construção civil com qualidade especial. O álcali sienito e traquito do Maciço Mendanha, RJ, se destaca quimicamente pela imunidade da reação álcali-sílica e conseqüente longa vida útil do corpo de concreto. O *Basalto da Serra Gaúcha* se enfatiza fisicamente pela resistência mecânica e conseqüente firmeza do corpo de concreto. Atualmente, ambas as rochas estão sendo comercializadas como britas comuns, sem conhecimento de suas características peculiares e utilidades especiais com grande potencialidade de contribuições sociais.

Existem determinadas construções civis de elevada importância social que necessitam da utilização de agregados livres de reação álcali-sílica, tais como pontes, portos, aeroportos, túneis e estrada de ferro para trem bala. O cimento de consolidação rápida, que se utilizam para construção de túneis submarinos, tem elevado teor de álcalis. A obra concluída é colocada no ambiente úmido, sendo exposta ao risco da reação álcali-sílica. O álcali sienito oferece uma solução a este problema. Nesse sentido, são necessárias intensas pesquisas deste material. Álcali sienito é uma rocha muito rara no mundo e as britas desta rocha devem ser reservadas para usos especiais.

O *Basalto da Serra Gaúcha* tem firmeza mecânica extraordinariamente alta. Nesse sentido, as britas desta rocha devem ser utilizadas especialmente para construções encarregadas de sustentar elevados esforços. Considera-se que o equipamento para arredondamento de grãos de areia artificial funciona bem para o *Basalto da Serra Gaúcha*, devido à

textura maciça por devitrificação.

O Brasil em geral está sobre regiões de continente estável, sem grandes abalos sísmicos. Entretanto, o Arquipélago de São Pedro e São Paulo, do Oceano Atlântico Equatorial, está no contato entre a Placa Sul-Americana e a Placa Africana. Portanto, esta localidade está sob intensos movimentos tectônicos (Motoki et al., 2009). Além disso, as rochas ultramáficas do manto abissal são muito fraturadas. Desta forma, as construções devem ter firmeza maior do que as das regiões continentais. O *Basalto da Serra Gaúcha* é um material adequado em termos físicos, porém possui alto teor de  $\text{SiO}_2$ . Desta forma, é necessária a atenção em relação ao cimento utilizado em suscetibilidade em termos de reação álcali-sílica. Por outro lado, no ambiente seco a rocha manifesta seu máximo desempenho.

A utilização das areias artificiais reduz impactos ambientais tanto do setor industrial de rochas ornamentais quanto de mineração. Mesmo que o custo-benefício da areia artificial seja atualmente inferior à areia natural, o uso é necessário em prol da proteção do meio ambiente e desenvolvimento sustentável. O *Basalto da Serra Gaúcha* fornecerá uma solução em termos de qualidade do material.

A areia natural apresenta uma série de vantagens relativas às areias artificiais. Desta forma, este material é indicado preferencialmente para construções que necessitem de corpo de concreto com alto desempenho mecânico. A qualidade do material de britas e areias depende altamente da rocha e do sedimento original. Desta forma, vantagens e desvantagens de cada material devem ser bem esclarecidas.

## CONCLUSÕES

As observações litológicas de rochas e estruturas de jazidas de álcali sienito do Maciço Mendanha, Município de Nova Iguaçu, Estado do Rio de Janeiro, e de riolito do *Basalto da Serra Gaúcha*, na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, apresentam os seguintes resultados:

1. O álcali sienito e traquito do Maciço Mendanha, RJ, é um exemplo raro no mundo em exploração comercial para produção de britas.
2. Essas rochas não contêm quartzo e nefelina, porém possuem firmeza mecânica superior às rochas graníticas ornamentais. Portanto, as britas servem como agregado livre de reação álcali-sílica, podendo formar corpos de concreto de longa vida útil.
3. O *Basalto da Serra Gaúcha*, RS, é um dos poucos exemplos de pórfiro com composição riolítica, riódacítica e dacítica em exploração para rochas ornamentais e britas.
4. Esta rocha tem resistência mecânica extraordinariamente alta, mais que o dobro das rochas graníticas ornamentais. Portanto, as britas desta

rocha podem servir como agregado para corpos de concreto que sustenta elevados esforços.

5. A fabricação de britas a partir dos retalhos de rochas ornamentais do *Basalto da Serra Gaúcha* realiza índice de aproveitamento extraordinariamente alto, em torno de 60%, no máximo 90%.
6. Conforme à resistência mecânica e intempérica, a fração fina do *Basalto da Serra Gaúcha* é um ótimo material para areia artificial.

Até o final do século XX, as minerações e indústrias de rochas objetivavam produção de grande quantidade por baixo custo e curto tempo, mesmo tendo um grande desperdício de materiais minerados. Entretanto, no século XXI, sob ponto de vista da preservação ambiental, os materiais minerados devem ser aproveitados de forma mais adequada possível, gerando menor quantidade de resíduos, mesmo com o custo operacional maior. Considerando o grande volume de materiais rochosos consumidos pela civilização contemporânea, são necessárias as pesquisas para aproveitamento eficiente dos materiais minerados em prol do desenvolvimento sustentável do setor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Sindicato da Indústria de Extração de Pedreiras de Nova Prata e Região, com atenção especial ao presidente Gilmar Lovison, que possibilitou as visitas técnicas da região produtora do *Basalto da Serra Gaúcha*. São gratos também ao aluno Rodrigo Soares da UERJ, pela colaboração de trabalhos de campo na região de Nova Iguaçu.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, S.L. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua, RJ, para produção de brita e areia**. São Paulo, 2000. 118 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Politécnica da Universidade de São Paulo. (Inédito).
2. ALMEIDA, S.L.M.; SAMPAIO, J.A.; SILVA, V.S. Produção de areia artificial com base em finos de brita de granito. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF DIMENSION STONES (ICIRO), 1, 2005, Guarapari. **Proceedings...** Guarapari: CETEM - CETEMAG, 2005, 6 p., CD-ROM.
3. BUSANELLO, G.; GARLET, G.; REGINATO, P. Uso da areia artificial oriunda de britagem de rochas na região de Caxias do Sul em substituição a areia natural para produção de concretos. In: ENCONTRO DE JOVENS PESQUISADORES DA UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL, 15, 2007, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: Universidade do Caxias do Sul, 2007, 1 p., CD-ROM.
4. COSTA, M.J. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento portland: Aplicabilidade de um método de dosagem**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2005. 46 p. Monografia (Graduação em Engenharia) – Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. (Inédito).
5. DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro**. DNPM/MME, Brasília, 2001.
6. DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral**. DNPM/MME, Brasília, 2002.
7. DUTRA, T.; VALENTE, S.C.; SILVEIRA, L.S. Possíveis modelos magmáticos associados aos fácies sieníticos aflorantes na Pedreira Vigné, Nova Iguaçu, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, Niterói. **Anais...** Niterói: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005, CD-ROM.
8. FLORA, L. Porphyry. Madrid: **Lithos**, v. 58, p. 12-13, 2002.
9. MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R. Geological and magmatic aspects of Paraná basin - an introduction. In: E.M. PICCIRILLO AND A.J. MELFI (Eds.), **The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects**. Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo, p. 1-13, 1988.

10. MILNER, S.C.; DUNCAN, A.R.; EWART, A. Trans-Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silicic volcanic units within the Paraná-Etendeka igneous province. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 69, p. 137-157, 1995.
11. MOTOKI, A. & SICHEL, S.E. Hydraulic fracturing as possible mechanism of dyke-sill transition and horizontal discordant intrusion: an example of Arraial do Cano area, State of Rio de Janeiro, Brazil. **Geofísica Internacional**, v. 47, n. 1, p. 13-25, 2008.
12. MOTOKI, A. & ZUCCO, L.L. Yield-rate improvement by means of innovative applications of residual fragments of the "Basalt" of the Rio Grande do Sul plateau, a distinct family of Brazilian felsic porphyry. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF DIMENSION STONES, 1, 2005, Guarapari. **Proceedings...** Guarapari: CETEM - CETEMAG, 2005, 5 p., CD-ROM.
13. MOTOKI, A.; VARGAS, T.; ZUCCO, L.L. El basalto, piedra semi-ornamental brasileña. **Lithos**, v. 66, p. 52-63, 2003.
14. MOTOKI, A.; NEVES, J.L.P.; VARGAS, T. Quantitative colour analyses using digital specification technique for Mármore Bege Bahia, a representative Brazilian ornamental limestone of breccia-like texture. **Revista de Escola de Minas**, v. 58, n. 2, p. 113-120, 2005.
15. MOTOKI, A.; ZUCCO, L.L.; SICHEL, S.E.; AIRES, J.R.; PETRAKIS, G.H. Desenvolvimento da técnica para especificação digital de cores e a nova nomenclatura para classificação de rochas ornamentais com base nas cores medidas. **Geociências**, v. 25, n. 4, p. 403-415, 2006.
16. MOTOKI, A.; SOARES, R.; NETTO, A.M.; SICHEL, S.E.; AIRES, J.R.; LOBATO, M. Reavaliação do modelo genético do Vulcão de Nova Iguaçu, RJ: origem eruptiva ou intrusão subvulcânica ?. **Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 4, p. 583-592, 2007 (a).
17. MOTOKI, A.; SOARES, R.; SICHEL, S.E.; AIRES, J.R.; LOBATO, M. Feições intempéricas em rochas alcalinas félsicas de Nova Iguaçu, RJ. **Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 3, p. 451-458, 2007 (b).
18. MOTOKI, A.; SOARES, R.; NETTO, A.M.; SICHEL, S.E.; AIRES, J.R.; LOBATO, M. Forma de ocorrência geológica dos diques de rocha piroclástica no Vale do Rio Dona Eugênia, Parque Municipal de Nova Iguaçu, RJ. **Geociências**, v. 26, n. 1, p. 67-82, 2007 (c).
19. MOTOKI, A.; PETRAKIS, G.H.; SOARES, R.; SICHEL, S.E.; AIRES, J.R. New method of semi-automatic modal analyses for phenocrysts of porphyritic rocks based on quantitative digital colour specification technique. **Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 1, p. 13-20, 2007 (d).
20. MOTOKI, A.; PETRAKIS, G.H.; SICHEL, S.E.; CARDOSO, C.E.; MELO, R.C.; SOARES, R.; MOTOKI, K.F. Origem dos relevos do Maciço Sienítico do Mendanha, RJ, com base nas análises geomorfológicas e sua relação com a hipótese do Vulcão de Nova Iguaçu. **Geociências**, Rio Claro, v. 27, n. 1, p. 99-115, 2008 (a).
21. MOTOKI, A.; SICHEL, S.E.; SOARES, R.; NEVES, J.L.P.; AIRES, J.R. Geological, lithological, and petrographical characteristics of the Itaúna Alkaline Intrusive Complex, São Gonçalo, State of Rio de Janeiro, Brazil, with special attention of its emplacement mode. **Geociências**, v. 27, n. 1, p. 33-44, 2008 (b).
22. MOTOKI, A.; SICHEL, S.E.; SOARES, R.S.; AIRES, J.R.; SAVI, D.C.; PETRAKIS, G.H.; MOTOKI, K.F. Rochas piroclásticas de preenchimento de condutos subvulcânicos do Mendanha, Itaúna e Ilha de Cabo Frio, RJ, e seu processo de formação com base no modelo de implosão de conduto. **Geociências**, v. 27, n. 3, p. 451-467, 2008 (c).
23. MOTOKI, A.; SICHEL, S.E.; SAVI, D.C.; AIRES, J.R. Corpos tabulares de intrusão subhorizontal discordante em torno do sienito da Ilha de Cabo Frio, RJ, e seu mecanismo de posicionamento. **Geociências**, Rio Claro, v. 27, n. 2, p. 207-218, 2008 (d).
24. MOTOKI, A.; SICHEL, S.E.; CAMPOS, T.F.C.; SRIVASTAVA, N.K.; SOARES, R.S. Taxa de soerguimento atual do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Oceano Atlântico Equatorial. **Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 3, p. 331-342, 2009.
25. ROISENBERG, A. & VIERO, A.P. O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: HOLZ & DE ROS (Coords.), **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 444 p., 2000.
26. SICHEL, S.E.; MOTOKI, A.; SAVI, D.C.; SOARES, R. Subvolcanic vent-filling welded tuff breccia of the Cabo Frio Island, State of Rio de Janeiro, Brazil. **Revista Escola de Minas**, v. 61, n. 4, p. 423-432, 2008.
27. SMITH, P.E.; EVERSON, N.M.; YORK, D.; SZATMARI, P.; CUSTODIO, O. Single-Crystal  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating of pyrite: No fool's clock. **Geology**, v. 29, n. 5, p. 403-406, 2001.
28. SMITH, R.L. Ash flows. **Geological Society of America Bulletin**, v. 71, p. 795-842, 1960.
29. SOUZA, C.A.; MAIS, M.F.; CORRÊA, E.C.S.; SANTOS, D.B.; AGUILAR, M.T.P. CETLIN, P.R. Avaliação mecânica e microestrutural de concreto fabricado com areia artificial obtida de resíduo de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17, 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, p. 4044-4055, 2006.
30. STEWART, S.; TURNER, S.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; KRISTEIN, L.; MANTOVANI, M. 3D -  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology in Paraná continental flood basalt province. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 143, p. 95-109, 1996.
31. STRECKEISEN, A.L. Plutonic rocks - classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. **Geotimes**, v. 18, n. 10, p. 26-30, 1973.
32. TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  high precision geochronology. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 121, p. 333-348, 1994.
33. ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. Alkaline rocks from continental Brazil. **Earth Science Reviews**, v. 17, p. 135-154, 1981.
34. UMANN, L.V.; LIMA, A.F.; SOMMER, C.A.; LIZ, J.D. Vulcanismo ácido da região de Camará do Sul - RS: Litoquímica e discussão sobre a origem dos depósitos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 3, p. 357-364, 2001.
35. VALENTE, S.C.; MELLO, E.F.; PALERMO, N. **Geologia de uma porção do complexo vulcânico de Nova Iguaçu limítrofe à área de lavra da pedreira Vigné, Nova Iguaçu, RJ**. Relatório Final do TAC. Ministério Público, Nova Iguaçu, 72 p., 2005. (Inédito).
36. VIEIRA, A.C. Pedreira destrói único vulcão intacto do país. Sérgio Torres entrevistando o geólogo André Calixto Vieira. **Folha de São Paulo**, 3 de janeiro, 2005.

*Manuscrito Recebido em: 16 de dezembro de 2009  
Revisado e Aceito em: 9 de fevereiro de 2010*