

Controles Geológicos das Jazidas de Granitos Ornamentais da Região de Encruzilhada do Sul, RS: Origem das Variedades Comerciais do Granito Encruzilhada do Sul

RUY PAULO PHILIPP¹ & ROBERTO SACKS DE CAMPOS²

1. Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP - 91540-000, Porto Alegre, RS.
e-mail: ruy.philipp@ufrgs.br

2. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Caixa Postal 15001, CEP - 91540-000, Porto Alegre, RS.

(Recebido em 01/05. Aceito para publicação em 06/05)

Abstract - In the region of Encruzilhada do Sul, it is common the exploration of three faciological varieties of Encruzilhada do Sul Granite: porphyritic, heterogranular coarse and heterogranular very coarse. These varieties are commercially known as *Rosa Encruzilhada*, *Bege Pérola* and *Coral*, respectively. The petrographic analyzes and spatial disposition of the studied types indicated that the textural variations identified present a pattern of lateral zoning and are related mainly to the cooling of the granitic body and secondly to the accumulation of K-feldspar. Porphyritic sieno to monzogranite represents the cooled edges of *Encruzilhada* granite on embasement metamorphic rocks of *Várzea do Capivarita* and *Arroio dos Ratos* complexes. The heterogranular coarse facies represent the core portion of the body and the heterogranular very coarse facies a central and basal of the magmatic chamber, indicated by the accumulation of K-feldspar, followed by the diminishing of plagioclase, quartz and biotite teors. Beyond that, the petrographyc analysis demonstrate that the chromatic variations found in each faciology are related to the state of granite alteration, with colour variations oscilating among white and gray (sane rock), light pink to orange (signs of incipient hydrothermal and weathering alteration) and tones from light brown to very light brown (notable weathering alteration).

Keywords- Granite, Industrial Granite, Encruzilhada do Sul Granite.

INTRODUÇÃO

O conhecimento geológico de semidetelhe na maior parte das jazidas de rochas ornamentais do RS é pouco satisfatório. Este desconhecimento resulta da dificuldade de determinar o volume de rocha aproveitável e na ausência de fatores que permitam estabelecer as linhas básicas para o aproveitamento da jazida. Estes parâmetros controlam a evolução da mineração e a capacidade de produção da empresa. O conhecimento da geologia obtido através do mapeamento da jazida e da sua área de entorno pode fornecer subsídios fundamentais para o comprometimento da empresa com os seus clientes e investidores. Em outro caso extremo, uma região que apresente potencial para a

exploração só poderá evoluir na medida em que sua a geologia é conhecida e que apresente elementos que permitam ao mercado a avaliação precisa de sua potencialidade.

As rochas aqui estudadas estão localizadas na porção leste do Escudo Sul-rio-grandense, na borda noroeste do Batólito Pelotas, segmento principal do Cinturão Dom Feliciano (**Fig. 1 e 2**). No município de Encruzilhada do Sul ocorrem as principais jazidas de rocha ornamental do RS, definidas pelo Sienito Piquiri, comercialmente denominado *Marrom Guaíba* e por diversas variedades texturais do Granito Encruzilhada do Sul. Entre estes tipos comerciais destacam-se: *Rosa Encruzilhada*, *Bege Pérola* e *Coral* (ou *Amêndoa Guaíba*). Estas denominações estão relacionadas

respectivamente a um granito de composição monzogranítica que exibe as seguintes variações texturais: (i) porfírica de matriz média a grossa, (ii) heterogranular grossa e (iii) heterogranular a equigranular muito grossa.

O mapeamento geológico sistemático em escala 1:25.000 da região de ocorrência das jazidas, acompanhado pela análise de fotografias aéreas, petrografia e levantamentos estruturais, tem demarcado a extensão das mesmas e demonstrado que estes tipos comerciais representam variedades faciológicas de um mesmo corpo plutônico, o Granito Encruzilhada do Sul, pertencente a suíte homônima.

O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir os principais fatores que controlam a geologia das jazidas de granitos ornamentais da região de Encruzilhada do Sul.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada inicialmente uma revisão do tema abordado, seguido por análises de imagens de satélite e de fotografias aéreas na escala 1: 60.000. Para a interpretação das imagens foi utilizada uma

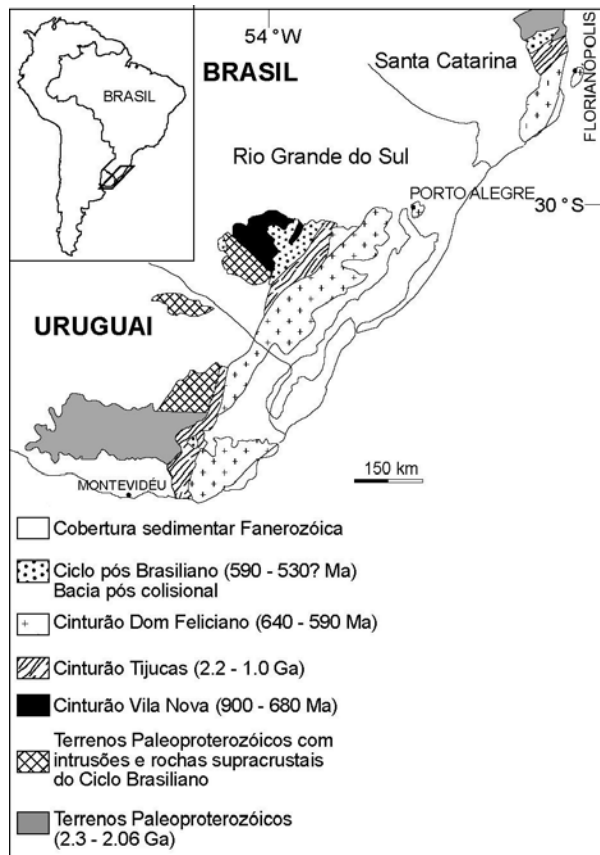


Figura 1 – Principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguai. (modificado de Chemale Jr. 2000).

composição de imagens Landsat ETM+ (pixel de 14,25 m), com a seguinte configuração: banda 7 (infravermelho médio) mostrada como vermelho, banda 4 (infravermelho próximo) mostrada como verde e banda 2 (verde visível) mostrada como azul. Os trabalhos de campo objetivaram o mapeamento geológico e estrutural em escala 1:25.000 das principais jazidas de granitos ornamentais, com a delimitação das áreas aflorantes, tipos de afloramentos (lajeados, campo de blocos e matações e áreas com ocorrência localizada de blocos), densidade de exposição e coleta de amostras para os estudos petrográficos. A etapa de campo teve como base cartográfica

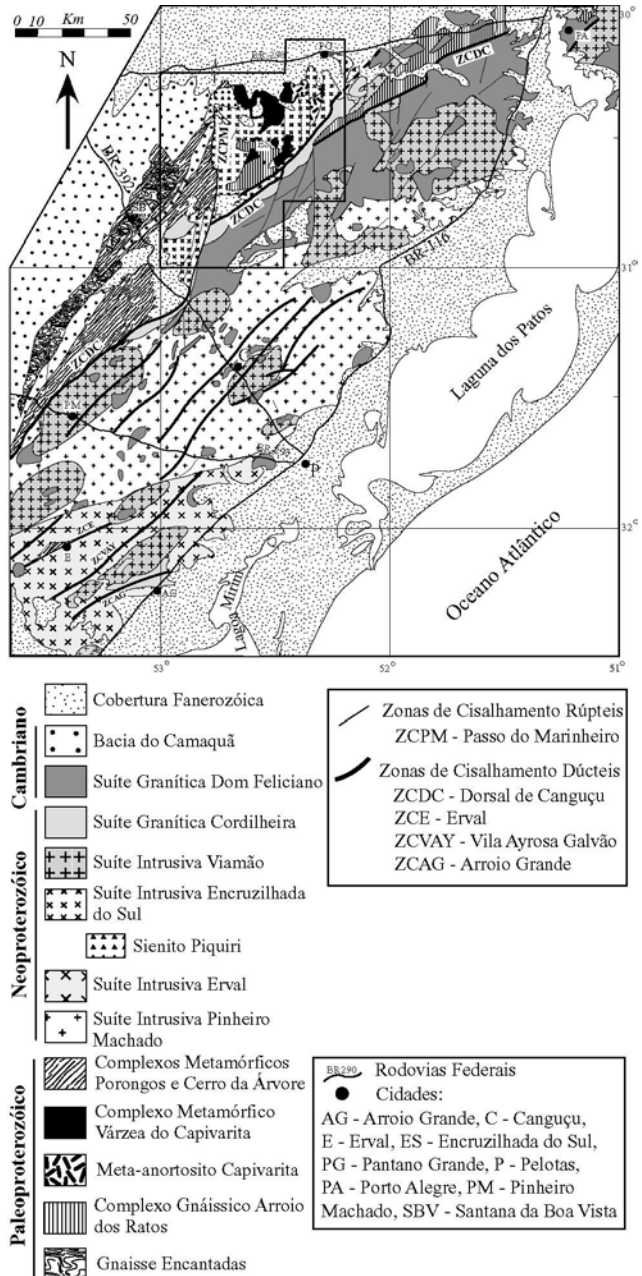


Figura 2 – Mapa geológico do Batólito Pelotas com a distribuição das suítes graníticas e das principais zonas de cisalhamento transcorrentes, destacando a área de estudo (Philipp et al. 2002).

fica as cartas topográficas Encruzilhada do Sul e Cerro da Árvore, ambas confeccionadas pelo Exército Brasileiro, em escala 1:50.000. Os afloramentos descritos foram localizados mediante uso de GPS e de carta topográfica 1:50.000 do Serviço Geográfico do Exército.

Os trabalhos de escritório e laboratório constituíram-se de análises petrográfica, estrutural e de ensaios tecnológicos. Para a classificação dos granitos foram realizadas análises modais das amostras selecionadas, obtidas através do ataque químico de uma superfície cortada da rocha por cobaltinitrito de sódio. Foram analisadas 16 amostras do Granito Encruzilhada do Sul, com a contagem em amostra macroscópica de cerca de 500 pontos por amostra. Normalizando os valores obtidos, chega-se ao teor modal de quartzo, K-feldspato e plagioclásio, que foram então representados no diagrama QAP e classificados petrograficamente segundo Streckeisen (1976), de acordo com a revisão Le Maitre (1989). A análise petrográfica foi realizada com a utilização de microscópio petrográfico. Após a descrição, os dados mineralógicos foram agrupados em uma tabela de síntese mineral, quantificando a mineralogia e relacionando os ambientes em que foram geradas (ígneo de alta temperatura, hidrotermal ou intempérico).

Os dados estruturais, representados pelos lineamentos, foram vetorizados no programa AUTOCAD, posteriormente transformados pelo programa DXF2XYZ (para transformar o arquivo de dados em uma tabela de coordenadas) e, finalmente, transformados para uma tabela do programa Excel. De posse deste arquivo, os dados foram tratados no programa ROCKWORKS, originando diagramas de rosetas com contagem por frequência e por comprimento de lineamento.

Os dados de campo foram relacionados com os dados gerados em laboratório, como os diagramas estruturais e as descrições petrográficas, e correlacionados com os ensaios tecnológicos (índices físicos, resistência ao impacto de corpos duros, resistência à flexão nos quatro pontos, desgaste abrasivo, velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, dilatação térmica linear e brilho) disponíveis em Philipp & Scopel (2001) e obtidos neste trabalho.

CONTEXTO GEOLÓGICO E ASPECTOS ESTRUTURAIS

A região de Encruzilhada do Sul é constituída

essencialmente por granitóides e sienitos de idade neoproterozóica, ocorrendo porções subordinadas de rochas metamórficas paleo a mesoproterozóicas e rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Paraná (Fig. 3). A identificação das unidades plutônicas da região de Encruzilhada está relacionada aos trabalhos de Franco (1944), Leinz *et al.* (1945), Tessari & Picada (1966), Bitencourt *et al.* (1993) e Vasquez (1997).

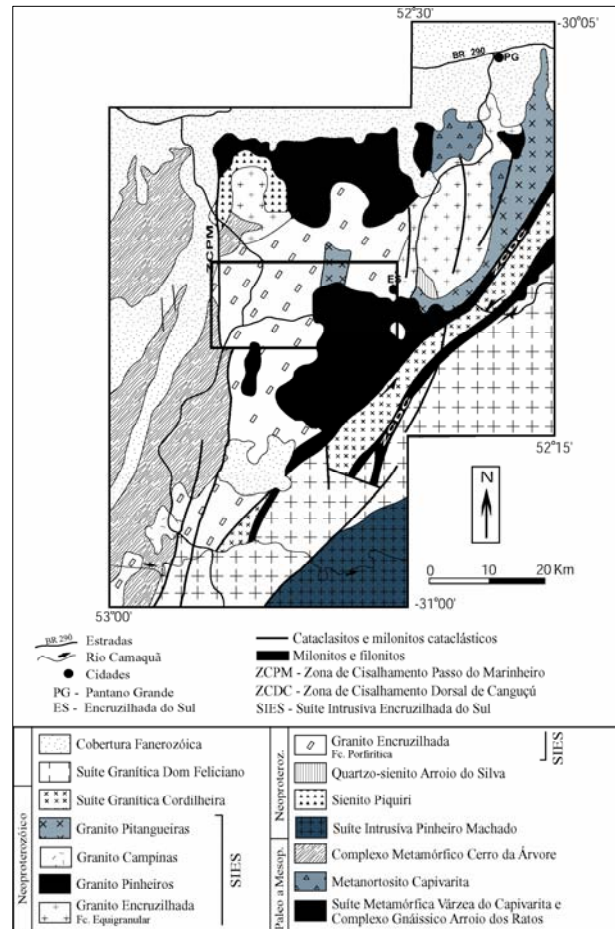


Figura 3 – Mapa geológico da região de Encruzilhada do Sul com destaque para a área estudada (modificado de Vasquez 1997).

O Granito Encruzilhada, a principal unidade da Suíte Encruzilhada do Sul, apresenta forma pouca alongada segundo a direção N30°E com área de exposição descontínua de aproximadamente 55 por 35 km. É constituído por duas fácies petrográficas caracterizadas principalmente por sienos a monzogranitos porfíricos a heterogranulares e, subordinadamente, por sienogranitos equigranulares. Corpos menores como os Granitos Pinheiros e Pitangueiras também fazem parte da suíte (Vasquez, 1997). Os dados geocronológicos Rb-Sr e U-Pb da Suíte Encruzilhada indicam idades de cristalização entre 582 ± 17 Ma a 594 ± 1 Ma (Vasquez, 1997;

Babinski *et al.*, 1997).

As relações de intrusão do Granito Encruzilhada do Sul são definidas pela presença de uma margem resfriada contra as rochas do embasamento, por xenólitos das rochas do embasamento no interior do granito e por corpos graníticos tabulares cortando as associações metamórficas. Ao norte e ao sul, o granito é intrusivo em gnaisses pelíticos e calci-silicáticos do Complexo Várzea do Capivarita, nos ortognaisses do Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos e, na sua porção nordeste, no Anortosito Capivarita. As relações de contato com o Sienito Piquiri são discordantes, com presença de fragmentos de rochas sieníticas no interior dos granitos, bem como diques graníticos cortando a referida unidade (Bitencourt *et al.* 1993). Idades Pb-Pb dos Sienitos Piquiri e Arroio do Silva em torno de 610 ± 5 Ma confirmam estas observações (Philipp *et al.* 2002). Na porção oeste, faz contato através de uma zona de cisalhamento rúptil-dúctil com as rochas metavulcanosedimentares do Complexo Porongos.

A fácies porfirítica do Granito Encruzilhada apresenta estrutura maciça, ocorrendo, entretanto, porções localizadas com orientação dimensional de

K-feldspato e biotita. Do mesmo modo, o granito apresenta zonas com acumulação de K-feldspato gerando cumulos com formas alongadas e espessuras centimétricas a métricas e/ou concentrações de minerais máficos (biotita e anfibólio) resultando em *schlieren* de espessuras centimétricas. Estas estruturas são observadas principalmente na variedade heterogranular grossa (Bege Pérola) e ocasionam importantes variações texturais no granito. No uso desta rocha como lajotas, torna-se necessário uma pré-seleção para controlar as variações de cor e textura da peça.

A análise das principais estruturas que afetam o maciço granítico aponta para a existência de importantes lineamentos com formas contínuas e direção entre N40-60°E e NS-N10°E, representando, respectivamente, zonas de cisalhamento transcorrentes dúctil-rúpteis e rúpteis. Subordinadamente, são identificados lineamentos descontínuos de menor expressão e elevada intensidade nas direções N20-40°W e N70-85°W, que estão caracterizados em campo por zonas de fraturas contínuas, com superfícies lisas e retilíneas e espaçamentos métricos médios entre 5 a 20 m e/ou 20 a 100 m (Fig. 4).

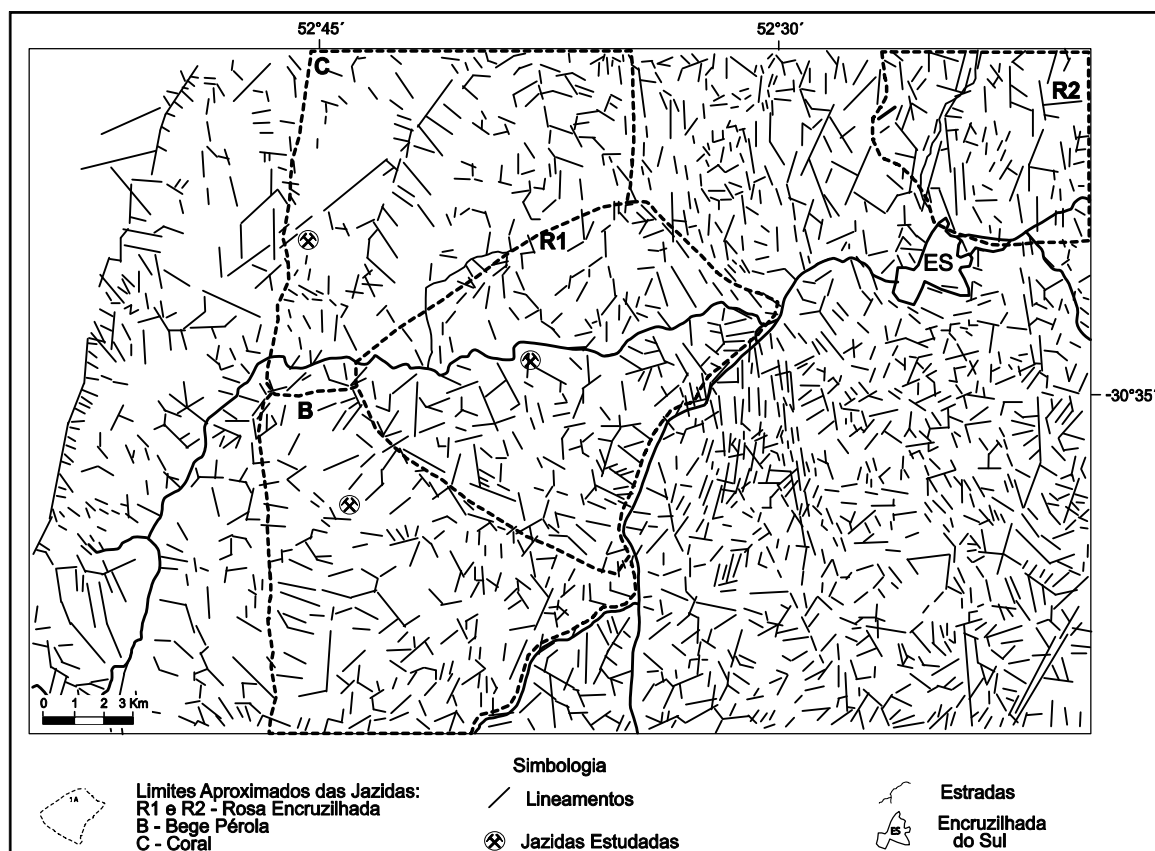


Figura 4 – Mapa de lineamentos baseado na interpretação da imagem de satélite, com a localização das jazidas estudadas.

A presença de taxas de deformação mais elevadas na porção oeste do Granito Encruzilhada resulta em uma ampla zona de fraturas contínuas e aproximadamente retilíneas. Estas fraturas são responsáveis pelo controle das jazidas deste segmento do granito, caracterizadas por extensos campos de matacões com diâmetros médios entre 4 a 10 m, intensidade aflorante da ordem de 5 a 20 % e cobertura de solo entre 20 cm a 1 m (Fig. 5a e 5b).

Ao norte e a leste, o relevo tectonizado relacionado à evolução da Zona de Cisalhamento Passo dos Marinheiros é responsável pelo aparecimento de escarpas de falha e de linha de falha que estão parcialmente preservadas. Nestas áreas, a abundância de afloramentos é favorável ao desenvolvimento de lavras em maciço rochoso, ocorrendo amplas exposições com baixa intensidade de fraturamento e pequena ou nenhuma cobertura de solo (Fig. 5d).

O controle da variedade textural predominante em cada região está associado ao desenvolvimento em todo o segmento leste do granito, de uma margem resfriada definida pela diminuição da granulação em direção às rochas do embasamento. De modo subordinado, outras variações texturais são promovidas pela variação na concentração de cristais de K-feldspato e de minerais máficos. No seu extremo oeste, o granito faz contato tectônico com as rochas metassedimentares do Complexo Porongos. Esse contato está marcado pela Zona de

Cisalhamento Passo do Marinheiro, que ocasiona o desenvolvimento de zonas de cisalhamento transcorrentes responsáveis por um rejeito lateral de cerca de 40 km.

PETROGRAFIA

O Granito Encruzilhada apresenta composição sieno a monzogranítica, sendo constituído por duas fácies petrográficas reconhecidas como porfirítica-heterogranular e equigranular. A fácies porfirítica é dominante e mostra maior variação composicional e textural, além da presença comum de corpos e *enclaves* microgranulares máficos de composição diorítica. A fácies equigranular exibe grande homogeneidade composicional e textural, com ausência de feições de mistura de magmas. Os contatos entre estas variedades petrográficas são interlobados e ocorrem intrusões de uma fácies na outra (Vasquez, 1997).

Os granitos explorados para rocha ornamental pertencem à fácies porfirítica-heterogranular e possuem cor variável de bege amarronada, alaranjada e amarelada, cinza claro com pontuações rosadas e/ou alaranjadas, dada por megacristais de K-feldspato. A matriz mostra cor cinzenta e contém quartzo, feldspatos, biotita e anfibólio. As variedades comercializadas são compostas por sienogra-

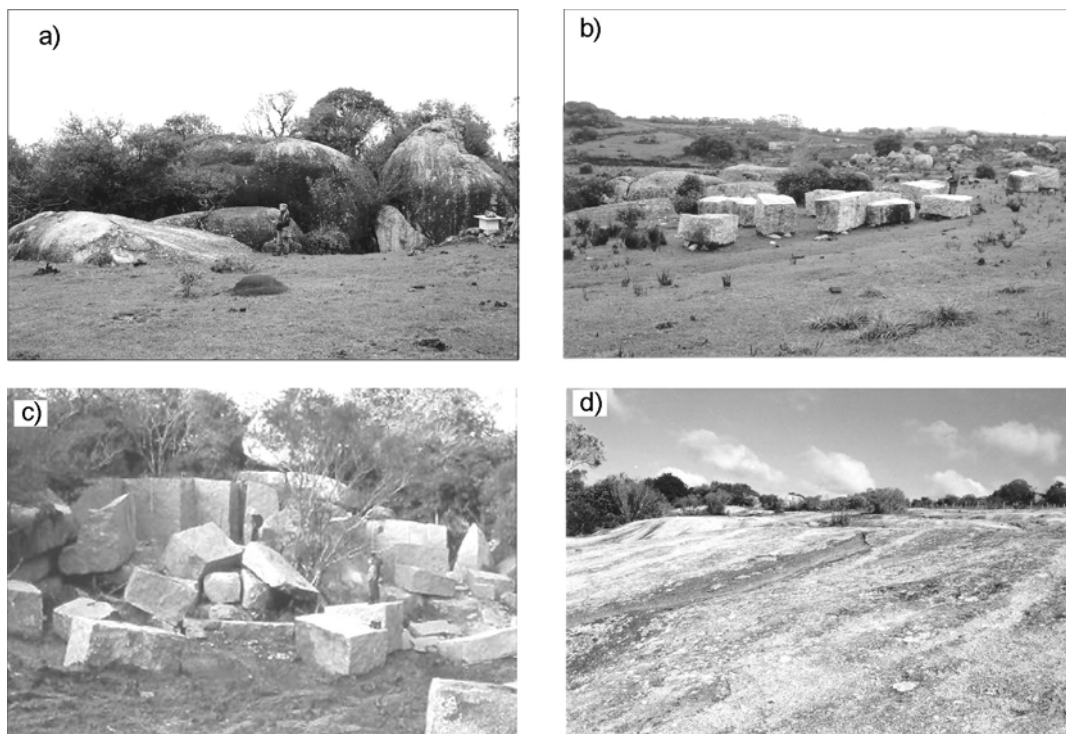


Figura 5 – Aspectos gerais de campo dos granitos estudados. 5a) Campo de matacões da variedade *Bege Pérola*; 5b) Campo de matacões e blocos extraídos da variedade *Bege Pérola*; 5c) Extração de blocos em matacões da variedade *Coral*; 5d) Lajeado em maciço rochoso da variedade *Rosa Encruzilhada*.

nitos e monzogranitos, com ocorrência subordinada de quartzo-sienitos, representando amostras de zonas com acumulação de K-feldspato (Fig. 6).

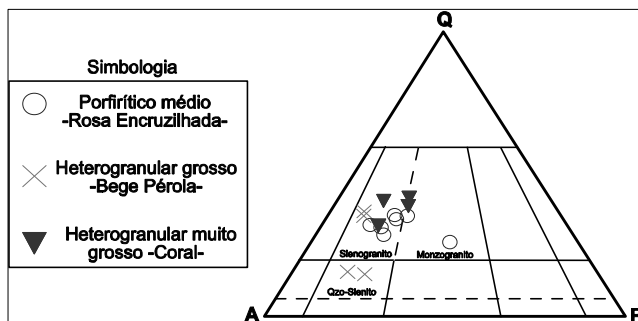


Figura 6 – Diagrama QAP de Streckeisen (1976) com a classificação petrográfica das amostras estudadas.

A variedade *Rosa Encruzilhada* possui cor cinza clara com pontuações rosadas e textura porfírica, definida por 15 a 25% de megacristais de K-feldspato com 2 a 4 cm, imersos em matriz equigranular hipidiomórfica, média a grossa (3 a 7 mm), composta por K-feldspato e plagioclásio prismáticos, quartzo globular e agregados intersticiais de biotita e hornblenda (Fig. 7a). Próximo ao contato com os gnaisses do Complexo Arroio dos Ratos o granito pode apresentar textura porfírica com 1 a 4% de megacristais com tamanho entre 0,5 e 1,5 cm, imersos em matriz equigranular média (1-2 mm)

(Fig. 7b).

A variedade denominada *Bege Pérola* apresenta cor bege a amarelada, com pontuações de cor castanha, branca e preta. Mostra textura heterogranular hipidiomórfica grossa (8 a 35 mm) com ocorrência de cristais prismáticos, subédricos de K-feldspato com 2 a 4 cm, plagioclásio com forma prismática equidimensional subédrica e cor branca, agregados de quartzo globular de cor castanha e biotita em agregados de cristais subédricos intersticiais (Fig. 7c). Variações na concentração de K-feldspato e biotita ocasionam modificações na cor original com o aparecimento local de um bandamento composicional ocasionado pela acumulação de K-feldspato e de biotita.

A variedade *Coral* mostra cor alaranjada a rosa alaranjado, com textura heterogranular hipidiomórfica muito grossa (10 a 70 mm), apresentando cristais subédricos de K-feldspato pouco alongados e com dimensões entre 3 a 7 cm, envoltos por plagioclásio com forma prismática equidimensional subédrica e cor branca, agregados de quartzo globular de cor castanha e biotita em cristais subédricos intersticiais (Fig. 7d). Ambas variedades mostram textura poiquilítica, com inclusão de biotita e plagioclásio em K-feldspato; biotita, apatita e zircão em plagioclásio; zircão e apatita em biotita; e zircão em quartzo. Salienta-se ainda a textura meso e microperítica marcada pela ex-solução de finos filmes de

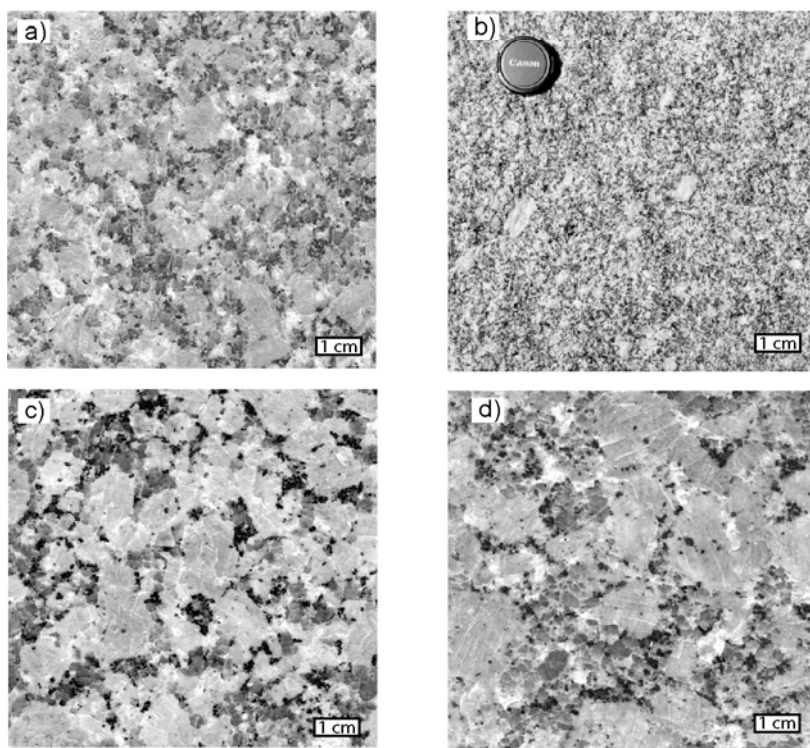


Figura 7 – Aspectos texturais macroscópicos das variedades faciológicas exploradas do Granito Encruzilhada do Sul, (a) *Rosa Encruzilhada*, (b) *Rosa Encruzilhada*, margem resfriada, (c), *Bege Pérola*, (d) *Coral*.

plagioclásio sódico (albita) no interior do K-feldspato. Todas as variedades apresentam textura *rapakivi*, caracterizada pela presença de coroas de plagioclásio ao redor de cristais do K-feldspato.

A mineralogia essencial é composta por K-feldspato (40 a 50 %), plagioclásio (25 a 35 %) e quartzo (25 a 30%), com biotita (3 a 8 %) e anfibólio (1 a 3 %) como minerais máficos e zircão, apatita, esfeno, allanita e magnetita como acessórios. Ocorrem ainda pequenos teores de clorita, sericita, epidoto, carbonato, titanita, minerais opacos e fluorita como minerais de alteração tardi-magmática (Tabela 1).

Tabela 1 – Tabela de síntese mineral e aspectos texturais das variedades graníticas estudadas.

Amostra	Rosa	Bege Pérola	Coral
	Encruzilhada		
CLASSIFICAÇÃO	Monzogranito	Qzo-Sieno	Sienogranito
K-Feldsp	36	69	52
Plagioclásio	32	14	15
Quartzo	26	14	31
Biotita	6	3	2
HornBlenda	–	TR	–
Min. Opacos	TR	TR	TR
Zircão	TR (bt e pl)	TR (bt)	TR
Apatita	TR	TR	TR
		(op e qzo)	
Alanita	TR	TR	–
Esfeno	–	TR	–
ALT. HIDROTHERMAL			
Mica Branca	Incipiente	Incipiente	Moderada
	Regular (pl)	Incipiente (fk)	Comum
Clorita	Rara (bt)	Intensa (pl)	(pl, fk, bt)
Epidoto		Incipiente (bt)	Comum (bt)
		Incipiente (fk)	
		Localizada (pl)	Comum
Quartzo	–	Borda (bt e hb)	(bt, ±pl)
Opacos anédricos	–	–	–
Carbonato	Regular (pl)	–	Raro (bt)
			Raro (pl)
ALT. INTEMPÉRICA			
K-Feldsp	Inexistente	Moderada	Moderada
	Argilização	–	Argilização
Plagioclásio	Incipiente		Irregular
	Incipiente a		Argiliz.
	Núcleo Argiliz	Argilização	Total
		Avançada	(-z. marg.)
Biotita	–	Ox. Incipiente	Ox. em
		em Clivagens	Clivagens
FRATURAMENTO	Qzo. (frat. c/ ox. de ferro)	Qzo.	Qzo.

A fácies equigranular apresenta cor vermelha e foi muito pouco explorada comercialmente. A textura é hipidiomórfica média a grossa (2-8 mm) dominada por cristais prismáticos de ortoclásio micropertítico e quartzo com forma globular, com ocorrência subordinada de plagioclásio prismáticos e euédricos e agregados intersticiais

de biotita. A mineralogia essencial é composta por K-feldspato (45 a 55%), plagioclásio (15 a 20%), quartzo (30 a 35%) e biotita (2 a 5%), com zircão, apatita, esfeno e magnetita com minerais acessórios. Ocorrem ainda clorita, sericita e fluorita como minerais de alteração tardi-magmática.

A análise petrográfica das amostras selecionadas mostra que os granitos explotados apresentam efeitos incipientes de processos de alteração intempérica, alteração hidrotermal e microcataclase. A percolação de fluidos tardi-magmáticos nos granitos ocasiona a geração localizada de sericita e/ou epidoto sobre feldspatos, acompanhada pelo crescimento de clorita, epidoto, sericita e minerais opacos sobre biotita e/ou anfibólio. Destaca-se ainda a presença restrita de fraturas e faixas de microbrechas de esmagamento com espessuras milimétricas, por vezes preenchidas por quartzo e/ou fluorita. Estas transformações registradas em lâmina delgada não chegam a constituir 0,1 % do volume da rocha.

A alteração hidrotermal e/ou intempérica são fatores importantes no controle cromático dos granitos, que mostram cores amareladas a rosadas em termos mais alterados. No primeiro caso, a alteração intempérica de minerais opacos e de minerais ferro-magnesianos resulta na percolação e deposição através de solução aquosa, de filmes de hidróxidos de ferro ao longo de fraturas e dos contatos entre os minerais (Fig. 8a). A cor do quartzo modifica-se de incolor para castanho amarelado a avermelhado. O K-feldspato e o plagioclásio sofrem uma argilização superficial diminuindo a capacidade de brilho, adquirindo tonalidades claras, do branco ao amarelo claro (Fig. 8b, 8c e 8d). Estas transformações acarretam em valores mais elevados da porosidade e absorção de água aparente, bem como na diminuição da resistência flexural e de impacto, quando comparado com rochas não alteradas. No segundo caso, a alteração hidrotermal é responsável pela deposição de finas lamelas de hematita sobre o K-feldspato e pela sua cor rosada, que ainda está acompanhada pela formação de sericita. O plagioclásio mostra cor cinza clara com leve tom esverdeado caracterizado pelo crescimento nas porções de núcleo de lamelas de sericita, acompanhadas por epidoto e mais raramente, carbonato (Figs. 8e, 8f). Neste caso os valores de absorção e porosidade aparente são mais baixos e a resistência flexural é mais elevada que o caso anterior.

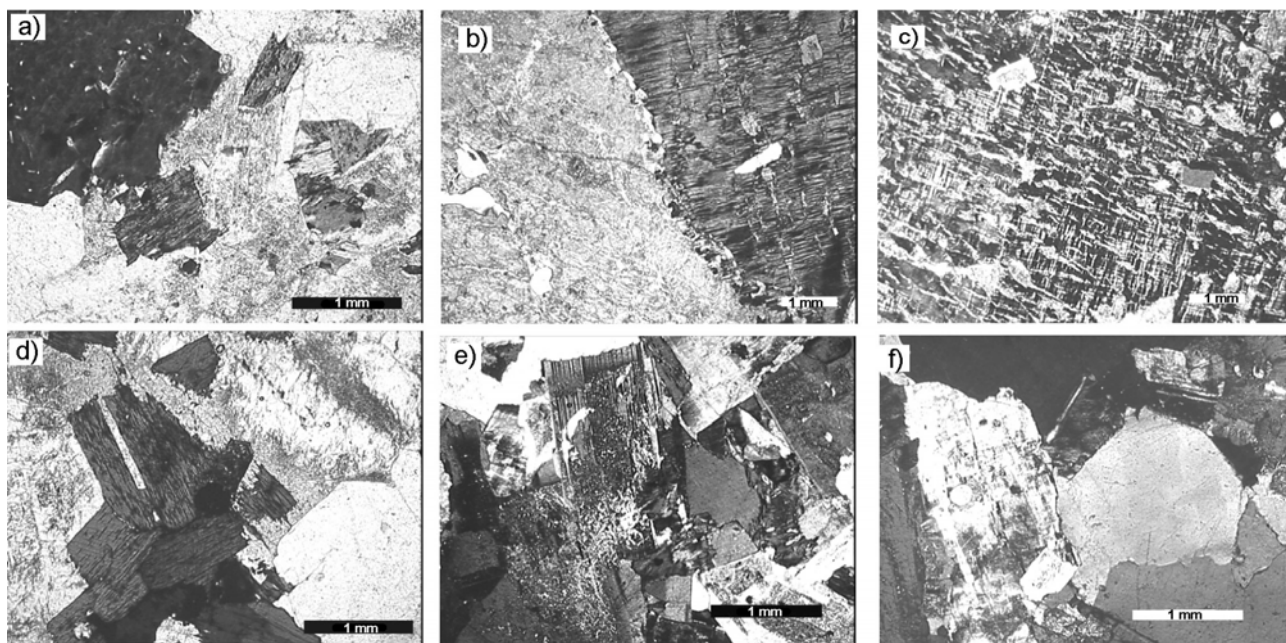


Figura 8 –Fotomicrografias do Granito Encruzilhada. a) aspecto geral da fácies porfirítica (*Rosa Encruzilhada*) com destaque para alteração de cristais de plagioclásio e biotita, luz natural; b) detalhe da alteração do K-feldspato na fácies porfirítica, luz polarizada; c) aspecto geral da fácies heterogranular grossa (*Bege Pérola*) com destaque para alteração dos feldspatos, luz natural; d) detalhe da argilização mais intensa do K-feldspato acompanhada pela formação de óxidos e hidróxidos de ferro ao longo das clivagens da biotita, fácies heterogranular grossa (*Bege Perola*), luz polarizada; e) aspecto geral da fácies heterogranular muito grossa (*Coral*), ressaltando a alteração hidrotermal do plagioclásio e da biotita, luz polarizada; f) detalhe das alterações anteriores.

ENSAIOS TECNOLÓGICOS

A identificação restrita de processos de alteração hidrotermal e intempérica é responsável pela alteração das propriedades físicas determinadas nos ensaios tecnológicos. Os resultados dos ensaios de caracterização tecnológica para as variedades graníticas estudadas e de outras rochas ornamentais da região de Encruzilhada obtidos por Philipp & Scopel (2001) podem ser observados na figura 9.

As variedades comerciais do Granito Encruzilhada do Sul apresentaram valores para massa específica aparente seca entre 2627 e 2758 kg/m³, acima de 2560 kg/m³, valor mínimo fixado pela norma C 615 da ASTM (1992) e sugerido por Frazão & Farjallat (1995). Os valores para porosidade aparente situam-se no intervalo entre 0,3 e 1,3%, sendo que a ampla maioria dos valores está em torno de 0,5%, intervalo semelhante ao observado em outros granitóides brasileiros. Os valores de absorção d'água entre 0,10 e 0,30%, situam-se abaixo do valor 0,4% indicado pela norma C 615 da ASTM (1992). As amostras do *Bege Pérola* e do *Coral* mostram valores relativamente mais elevados para porosidade e absorção aparente, indicando a presença de alteração intempérica incipiente e do maior grau de microfissuramento mineral, principalmente do quartzo e dos megacris-

tais de K-feldspato.

Para a resistência ao impacto foram encontrados valores entre 45 e 75 cm, superiores a 40 cm, valor mínimo estabelecido por Frazão & Farjallat (1995). Os valores da resistência à flexão em quatro pontos situaram-se entre 3,73 e 22,74 Mpa, em parte superiores ao valor mínimo de 8,27 MPa indicado pela ASTM (1992). As amostras dos granitos estudados apresentam valores entre 3,73 e 9,84 MPa, em parte abaixo do limite de resistência flexural, indicando que as chapas deste granito devem ser de maior espessura. Os valores mais baixos são da variedade *Coral* aumentando para o *Bege Pérola* e mostrando-se mais elevado para o *Rosa Encruzilhada*. Estes valores estão relacionados com a granulometria do granito e, em parte, com o estado de alteração intempérica. A granulometria muito grossa do *Coral* favorece a ruptura em microfissuras existentes entre o contato dos minerais e internamente, acrescentando ainda a grande quantidade de clivagens existentes no K-feldspato.

Os resultados para o desgaste abrasivo situam-se no intervalo entre 0,28 e 0,78 mm, com um valor médio de 0,4 mm, bastante inferior ao limite máximo de 1,0 mm sugerido por Frazão & Farjallat (1995). O Coeficiente de dilatação térmica linear das amostras estudadas está no intervalo entre 2,3 a 7 (10⁻³mm/m⁰C), situados dentro do padrão

estabelecido para as rochas brasileiras que é de no máximo 12 mm/m°C.

A capacidade de brilho representa o acabamento da superfície refletindo o aspecto estético. O valor é comparado ao brilho do vidro, cuja escala varia de 0 a 100. As amostras estudadas situam-se na média entre 68 e 83, com predomínio amplo de valores superiores a 75, o que demonstra o brilho destacado e a qualidade que as mesmas possuem.

CONTROLES GEOLÓGICOS

As investigações realizadas neste estudo resultaram na identificação dos principais fatores geológicos, responsáveis variedades petrográficas dos granitos ornamentais da região de Encruzilhada do Sul. As informações obtidas no mapeamento geológico e estrutural aplicado na área selecionada resultaram no mapa de faciologias graníticas (Fig.10). A reunião dos dados demonstra que o principal controle na gênese das variedades de granitos comercializadas na região de Encruzilhada do Sul foi à atuação de processos magmáticos e tardi a pós-magmáticos. Os fatores que controlam a geo-logia das jazidas estudadas são descritos a seguir.

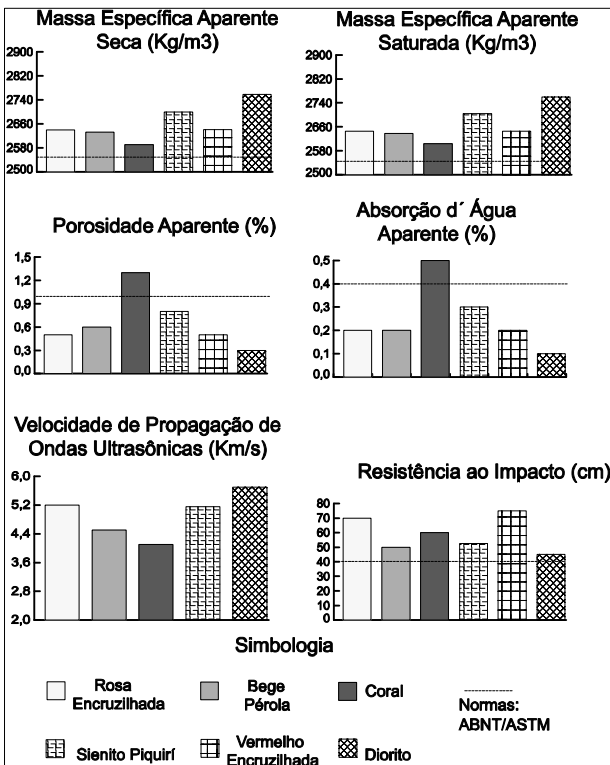


Figura 9 – Representação dos resultados dos ensaios de caracterização tecnológica disponíveis para o Granito Encruzilhada do Sul e para o Sienito Piquiri (fonte: Philipp & Scopel 2001).

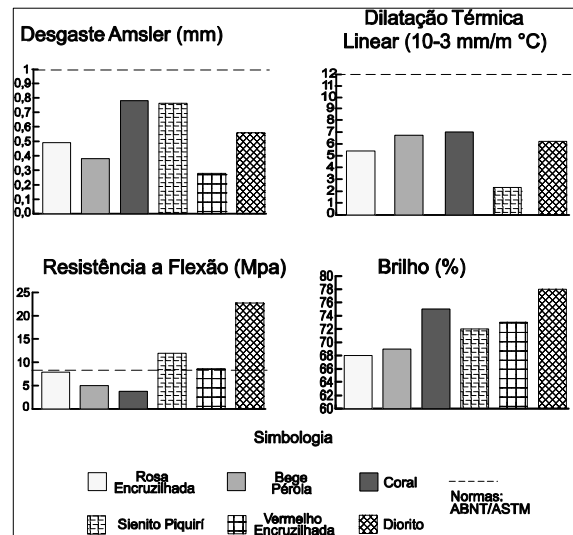


Figura 9 – Cont.

Taxa de Resfriamento e Variações Texturais

Os levantamentos geológicos de campo e as análises petrográficas resultaram na identificação de uma variação textural regular na porção leste do Granito Encruzilhada, revelando um padrão de zonação lateral, caracterizado por uma fácies porfírica com matriz média a grossa no seu bordo extremo, gradando para rochas heterogranulares grossas e heterogranulares muito grossas em sua porção central (Fig.11). Estas variações estão relacionadas essencialmente ao resfriamento mais rápido do magma granítico a partir do contato com as rochas do embasamento, indicando que o zoneamento do corpo granítico está relacionado ao fracionamento magmático por bordas de resfriamento. Desta maneira, a variedade porfírica (*Rosa Encruzilhada*) representa a margem resfriada do granito contra as rochas metamórficas encaixantes. A variedade heterogranular grossa (*Bege Pérola*) representa uma porção mais interna do corpo, enquanto a porção com textura heterogranular muito grossa, caracteriza um segmento ainda mais central e basal da câmara magmática, indicado pela concentração e/ou acumulação de K-feldspato, acompanhada pela diminuição dos teores de plagioclásio, quartzo e biotita.

De modo subordinado, observam-se modificações texturais associadas ao fluxo magmático e caracterizadas pela acumulação de cristais de K-feldspato e pela formação de bandas e/ou lentes mais ricas em biotita, com teores variáveis de plagioclásio e quartzo. A presença de enclaves microdioríticos de dimensões centimétricas e de pequenos corpos de dioritos podem ocasionar varia-

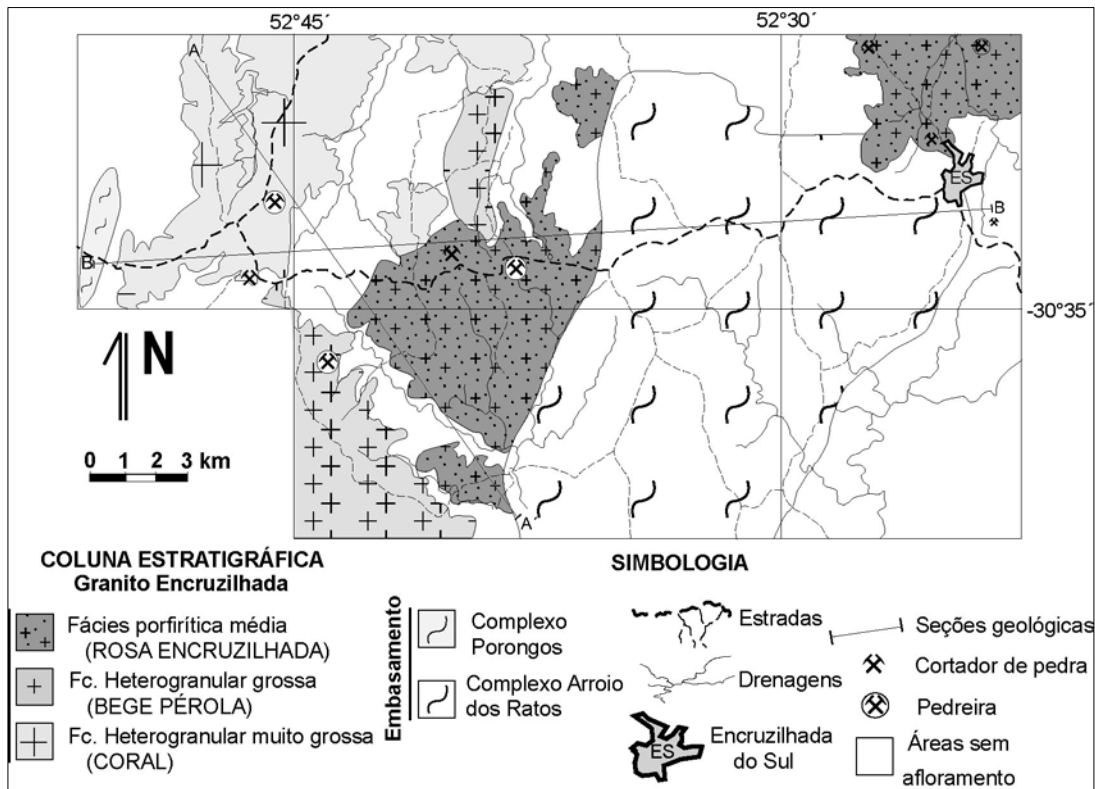


Figura 10 – Mapa das variedades faciológicas do Granito Encruzilhada do Sul com a localização das jazidas em exploração.

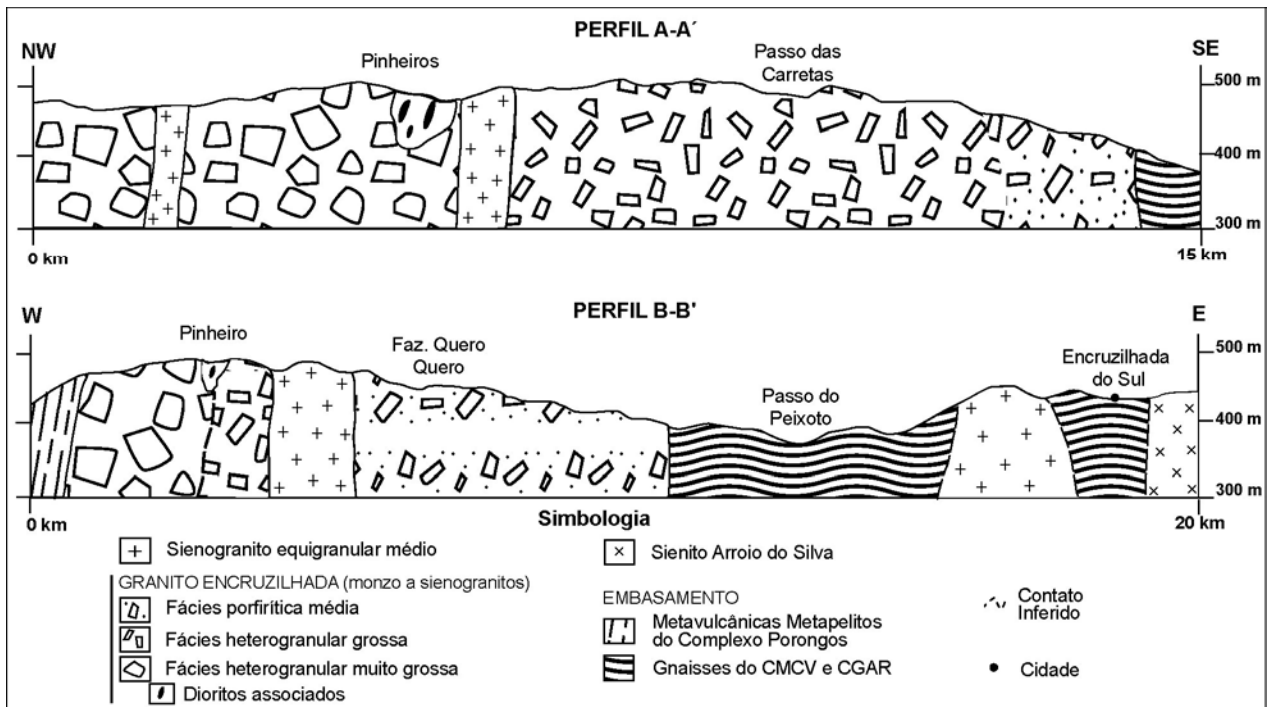


Figura 11 – Seções geológicas A-A' e B-B' (ver mapa de jazidas) evidenciando as variações texturais no Granito Encruzilhada.

ções texturais locais, responsáveis pela inutilização dos blocos que contenham tais inclusões.

Variações Cromáticas

A alteração hidrotermal e/ou intempérica são fatores importantes no controle cromático dos granitos estudados. O Granito Encruzilhada mostra na maior parte de sua extensão aflorante cor predominantemente cinza, com megacristais de K-feldspato em cores cinza claro a rosa claro. As variedades graníticas estudadas mostram cores amareladas, alaranjadas e rosadas.

No primeiro caso, a alteração intempérica de minerais opacos e minerais ferro-magnesianos resulta na percolação e deposição através de solução aquosa superficial, de filmes de hidróxidos de ferro ao longo dos contatos entre os minerais e em microfraturas, modificando a cor original dos minerais. O quartzo que mostra cor cinzenta, alterna entre o castanho claro, amarelo e castanho avermelhado. O K-feldspato e o plagioclásio sofrem com a argilização superficial, ocasionando a diminuição de sua capacidade de brilho, acompanhado pela modificação de sua cor, que grada para tonalidades claras, do branco ao amarelo. A cor amarelada a bege da variedade *Bege Pérola* está relacionada a este tipo de alteração. Na mesma forma, as tonalidades alaranjadas a amareladas da variedade *Coral* estão relacionadas ao moderado grau de alteração intempérica e alteração hidrotermal desta unidade. Estas considerações são corroboradas pelos ensaios tecnológicos, onde estas variedades apresentaram valores mais elevados de porosidade e absorção d'água, associados a valores mais baixos que as normas estabelecidas para massa específica e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas. Estes dados indicam o moderado grau de alteração intempérica, com destaque para os granitos heterogranulares muito grossos (*Coral*), que apresentam valores bem acima das outras variedades, principalmente do *Rosa Encruzilhada*, que pode ser considerado como rocha sã.

No segundo caso, estima-se que a alteração hidrotermal seja responsável pelo tom de cor rosada. Observa-se ainda a formação comum de palhetas de mica branca. O plagioclásio mostra cor cinza esbranquiçada com leve tom esverdeado caracterizado pelo crescimento nas porções de núcleo de lamelas de sericita, acompanhadas por epidoto e, mais raramente, carbonato. A biotita mostra-se transformada em grau incipiente, com crescimento de clorita, mica branca e, menos freqüente, epidoto,

ao longo das clivagens e bordos dos grãos. Este tipo de alteração hidrotermal ocorre de modo incipiente na variedade porfírica (*Rosa Encruzilhada*) e mais acentuadamente na variedade heterogranular muito grossa (*Coral*). Na variedade porfírica, a cor dos megacristais de K-feldspato varia de cinza clara a esbranquiçada nos tipos sem alteração hidrotermal, adquirindo cor rosa nos tipos que apresentam registros notáveis deste tipo de alteração. Acredita-se que este processo ocasione a percolação de fluidos hidrotermais que afetam os minerais máficos (principalmente, biotita e minerais opacos), formando uma solução aquosa rica em Fe^{+3} , responsável pela deposição de finas lamelas de hidróxidos e/ou óxidos de ferro ao longo dos planos de clivagens, maclas e microfraturas do K-feldspato, ocasionando o desenvolvimento da cor rosa no mesmo.

Controles Estruturais

As variedades graníticas estudadas mostram-se afetadas por um complexo padrão de fraturamento comum a todas as tipologias. As jazidas de rochas graníticas explotadas na região de Encruzilhada do Sul estão controladas principalmente por lineamentos de direção NW (N20-60°W) e NE (N40-80°E) que são responsáveis pela formação de zonas de falhas normais e por fraturas retilíneas e contínuas que apresentam espaçamento métricos da ordem de 2 a 20 m. O tratamento estatístico dos principais lineamentos observados na imagem de satélite pode ser observado nos diagramas de roseta da figura 12. A intersecção deste conjunto de estruturas rúpteis é responsável pela formação de campos de matações com dimensões médias entre 4 e 10 m. Todas as áreas exploradas constituem campos de matações e caracterizam a importância do desenvolvimento destas estruturas na própria formação dos jazimentos.

A presença de áreas com relevo muito tectonizado, como na porção ao norte da cidade de Encruzilhada, caracteriza-se pela formação de zonas de cisalhamento rúpteis (Passo do Marinheiro), onde ocorre intenso desenvolvimento de fraturas e falhas direcionadas segundo N-S, com a geração de escarpas de falha e escarpas de linha de falha, onde o modo de afloramento mais comum são os lajeados de granitos maciços.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise petrográfica e a disposição espacia-

al das variedades graníticas estudadas indicaram que as variações texturais encontradas na fácies porfirítica do Granito Encruzilhada apresentam um padrão de zonação lateral, estando relacionadas essencialmente ao resfriamento do magma a partir do contato com as rochas do embasamento. De modo subordinado, observam-se modificações texturais associadas ao fluxo magmático, caracterizadas pela acumulação de cristais de K-feldspato e biotita. Desta maneira, a fácies porfirítica (*Rosa Encruzilhada*) representa a margem resfriada do granito contra as rochas metamórficas encaixantes. A fácies heterogranular grossa (*Bege Pérola*) representa uma porção mais interna do corpo e a fácies heterogranular muito grossa (*Coral*) um segmento ainda mais central e basal da câmara magmática, indicada pela acumulação de K-feldspato, acompanhada pela diminuição dos teores de plagioclásio, quartzo e biotita.

A análise petrográfica demonstrou que as variações cromáticas encontradas em cada faciologia estão relacionadas ao estado de alteração intempérica e/ou vinculada com a percolação incipiente de fluídos tardi-magmáticos ricos em H₂O, com pouco CO₂. São observadas variações desde a cor cinza clara da rocha sã, para rosa claro a alaranjado (indícios de alteração hidrotermal e intempérica incipientes) e tons de bege a creme (alteração intempérica notável), produtos da oxidação dos minerais máficos (biotita, anfibólio e magnetita).

Os valores de porosidade e absorção de água obtidos para os granitos explorados são baixos, indicando para as variedades *Rosa Encruzilhada* e *Bege Pérola* um registro muito incipiente de microfissuras, alteração hidrotermal e intempérica. A granulometria muito grossa e o maior grau de microfissuramento do quartzo e do K-feldspato são responsáveis pela baixa resistência à flexão encontrada na variedade CORAL, que para seu aproveitamento necessita uma maior espessura da chapa. A maioria das amostras apresentou valores elevados de resistência ao impacto, indicando o aproveitamento das amostras analisadas como pisos, pias e colunas. O baixo desgaste abrasivo associado ao elevado poder de brilho favorece a utilização dos granitos como pisos em ambientes internos e externos. Os baixos valores do coeficiente de dilatação térmica linear também recomendam a utilização das rochas estudadas como revestimentos de fachadas ou de pisos em ambientes externos.

Os estudos realizados resultaram no zoneamento geológico das faciologias graníticas permitin-

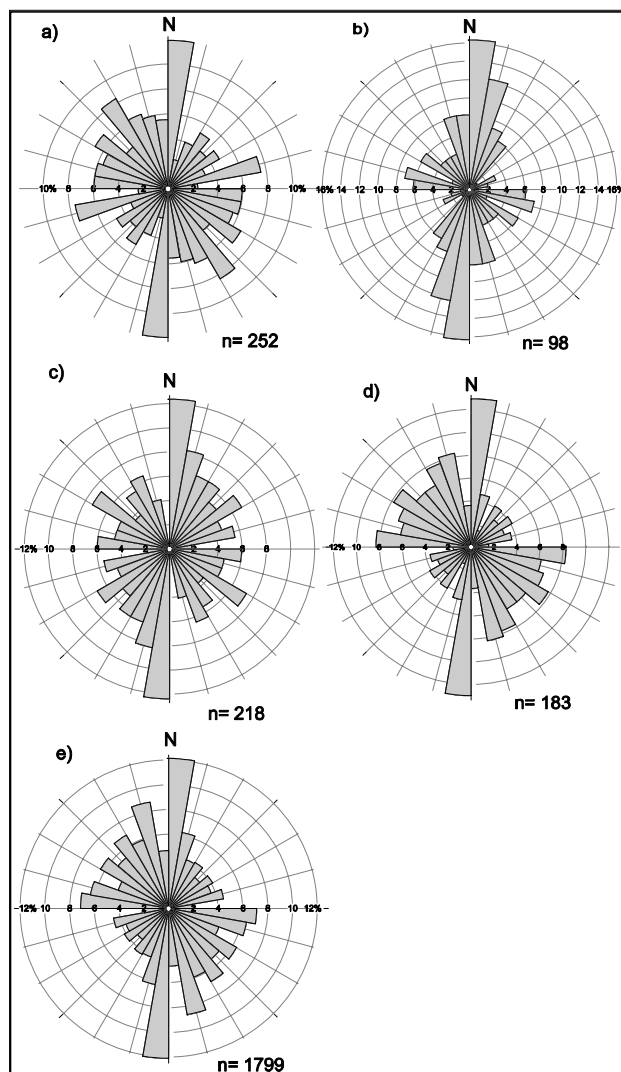


Figura 12 – Diagramas de rosetas indicando a frequência de direção dos lineamentos observados na figura 4. a) e b) jazidas do *Rosa Encruzilhada* 1 e 2, respectivamente. c) jazida *Bege Pérola*, d) jazida do *Coral*; e) todos os lineamentos da área da imagem.

do deste modo o controle da extensão da jazida e a possibilidade de novas ocorrências. A compreensão dos fatores que controlam a cor das variedades graníticas exploráveis e os dados tecnológicos levantados permite a otimização no controle dos blocos e nas características que definem o aproveitamento específico de cada faciologia granítica.

Agradecimentos- Os autores agradecem a FAPERGS (processo N° 99/19759) e a FAPESP (processo N° -1999/10207-2), pelo suporte financeiro que permitiu a realização dos trabalhos de campo e laboratório, ao CNPq (processo N° 309232/2003-1) pela concessão de bolsa de produtividade de Ruy Paulo Philipp e aos professores Drs. Marcus Vinicius Dorneles Remus e Vitor Paulo Pereira (IG-UFRGS) e ao prof. Dr. Antônio Carlos Artur (UNESP) pelas críticas e sugestões ao texto deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Almeida, D.P.M.; Philipp, R.P.; Gastal, M.C.; Remus, M.V.D. & Robaina, L.E.S. 1989. Identificação e caracterização das rochas graníticas da região de Canguçu, RS: uso para pedra ornamental. **Acta Geologica Leopoldensia**, **12**(28): 105-142.
- Almeida, D.P.M.; Robaina, L.E.S.; Philipp, R.P. & Remus, M.V.D. 1990. Granitos da região leste de Canguçu, RS: critérios para seu uso como pedra ornamental. **Acta Geologica Leopoldensia**, **13**(31): 41-58.
- Babinski, M.; Chemale Jr., F.; Van Schmus, W.R.; Hartmann, L.A.; & L.C. Silva. 1997. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, **10** (3-4): 263-274.
- Bitencourt, M.F., Gastal, M.C.P.; Kirchein, R.E.; Costa, K.B. & F.a.l. Toledo. 1993. Reavaliação preliminar das relações estratigráficas do Complexo Granítico Encruzilhada (CGE), RS. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DEL NEOPROTEROZÓICO-CAMBRICO DE LA CUENCA DEL PLATA, 1., 1993. **Boletim de Resumos Expandidos...**, Las Palomas-Minas, Montevideo, Uruguai, DINAMIGE. v.2, n. 34, p.
- Cashman, K.V. 1990. Textural constraints on the kinetics of igneous rocks. In modern methods of igneous petrology: understanding magmatic process. **Reviews in Mineralogy**, **24**:259-314.
- Chemale Jr. 2000. Evolução geológica do escudo Sul-Riograndense. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CIGO/UFRGS. p.13-52.
- Franco, R.R. 1944. A faixa estanífera do Rio Grande do Sul. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, USP, São Paulo**, **44**(6): 5-44.
- Frazão, E. B. & Farjallat, J. E. S. 1995. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedra de revestimento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PEDRA NATURAL, 1., 1995., **Comunicações...**, São Paulo, p. 49-58.
- Gonzatti, C.; Philipp, R.P.; Agostini, I.M.; Fiorentini, J.; Zorzi, L. & Remus, M.V.D. 2005. Características tecnológicas das rochas ornamentais do estado do Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico CIENTEC**, Fundação de Ciência e Tecnologia, Porto Alegre. (no prelo).
- Leinz, V. & H. Pinagel. 1945. Estanho e tungstênio no Rio Grande do Sul. **Boletim da Divisão de Fomento e Produção Mineral**, DNPM, **70**: 1-80.
- Le Maitre, R. W. 1989. **A Classification of igneous rocks and glossary of terms**. Blackwell Scientific Publications, London, 193p.
- Philipp, R.P. & Scopel, R. 2001. Avaliação tecnológica e aproveitamento dos granitos e sienitos da região de Encruzilhada do Sul e Cachoeira do Sul, RS – Brasil. **Pesquisas**, **28**(1): 107-120.
- Philipp, R.P.; Machado, R.; Nardi, L.V.S. & Lafon, J.M. 2002. O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. **Revista Brasileira de Geociências**, **32**(2): 277-290.
- Philipp, R.P.; Machado, R. & Chemale Jr., F. 2003. Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento. **Geologia. Série Científica**, Universidade de São Paulo, **3**: 71-84.
- Streckeisen, A., L. 1976. Classification and nomenclature of igneous rocks. **Neus Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen**, **107**: 144-240.
- Tessari, R.I. & R.S. Picada. 1966. Geologia da quadrícula de Encruzilhada do Sul, RS. **Boletim da Divisão de Fomento a Produção Mineral**, DNPM, Rio de Janeiro, **124**: 1-147.
- Vasquez, M. L. 1997. **Evolução petrogenética dos granitos da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul- RS**. Porto Alegre. 196f. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (inédito).

