Pesquisas em Geociências

http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias

Análise Tecnológica dos Granitos Cerro do Sandi e Bela Vista, Piratini-RS Para Uso Como Rocha Ornamental

Ruy Paulo Philipp, Cássio Alexandre Rodrigues Pinheiro, Clóvis Gonzatti, Roberto Sacks de Campos, Marcus Vinicius Dorneles Remus

Pesquisas em Geociências, 33 (1): 67-82, maio/ago., 2006.
Versão online disponível em:
http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19527

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos

UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br
Políticas: http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy
Submissão: http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions
Diretrizes: http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines

Data de publicação - maio/ago., 2006.
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Pesquisas em Geociências, 33 (1): 67-82, 2006
ISSN 1807-9806

Instituto de Geociências, UFRGS
Porto Alegre, RS - Brasil

Análise Tecnológica dos Granitos Cerro do Sandi e Bela Vista, Piratini-RS Para Uso Como Rocha Ornamental

RUY PAULO PHILIPP[1,], CÁSSIO ALEXANDRE RODRIGUES PINHEIRO[2], CLÓVIS GONZATTI[3], ROBERTO SACKS DE CAMPOS[4], MARCUS VINICIUS DORNELES REMUS[1]

1. Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,Caixa Postal 15001, CEP – 91540-000, Porto Alegre, Brasil. e-mail: ruy.philipp@ufrgs.br
2. Pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimeto Científico e Tecnológico
3.Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
4.Pesquisador do Departamento de Geotecnia, Fundação de Ciência e Tecnologia, CEP 90010-460, Porto Alegre, Brasil

(Recebido em 02/06. Aceito para publicação em 08/06)

Abstract- Cerro do Sandi and Bela Vista granites occur in the Piratini region and belong to Dom Feliciano Suite. This suite is the most recent magmatic episode of the Pelotas batholith construction. The granitic massifs have elongate forms along NE-SW direction and constitute a positive relief of aligned crysts. Mapping of geological, structural and superficial deposits indicated the presence of outcrops and areas dominated by boulders with potential for exploration of blocks for dimensional stones. Petrography and technological essays confirmed favorable results to this utilization. Bela Vista Granite presents high mechanical resistance and low abrasion, qualities that recommended its utilization as external and internal covering. Cerro do Sandi Granite showed physical indexes and ultrasonic propagation velocity characteristic of rocks without weathering alteration. However, in the alterability essay this granite showed incipient modification of color and minimal loss of material. These characteristics limit the utilization of this granite as external and internal floor.

Keywords- Cerro do Sandi and Bela Vista granites, ornamental rocks, Pelotas Batholith, dimensional stones.

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento são constituídas por todos tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Os campos de aplicação incluem principalmente, os revestimentos internos e externos de edificações, pisos, pilares e colunas, e também peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral. Estas rochas são comumente explotadas na forma de blocos de dimensões metricas, que posteriormente são serrados em chapas, que receberão polimento de superfície e outros tipos de acabamentos.

A produção brasileira estimada de rochas ornamentais totaliza 4 milhões de toneladas, sendo 3 milhões de granitos e 1 milhão de mármores (Peiter & Chiodi, 2001). Considerando ainda ardósias, quartzitos e arenitos, dentre outros, a produção total brasileira de rochas ornamentais e de revestimento supera 5,8 milhões de toneladas. O Estado do Rio Grande do Sul está situado na oitava posição no setor de rochas ornamentais do país, com uma produção anual de cerca de 86.000 toneladas, perfazendo apenas 2% da produção nacional (Peiter & Chiodi 2001). Os tipos de rochas extraídos estão representados por cerca de 58% de granitos e 42% de basaltos.

A metade sul do Estado do Rio Grande do Sul apresenta várias regiões onde são abundantes os afloramentos rochosos, sobretudo nas áreas em que ocorrem rochas graníticas. Diversos municípios da porção centro-sul extraem o granito para pedras de calçamento, de alicerce, moirões para cerca e como brita. O saibro do granito também é utilizado com base para a pavimentação das estradas. Entretanto, o mais nobre dos usos é a extração de blocos para rocha ornamental. Neste sentido, a região de Piratini tem sido alvo de diversas tentativas de extração de granitos para rocha ornamental, ocorrendo uma jazida que já foi explorada comercialmente. Os granitos Cerro do Sandi e Bela Vista estão localizados a oeste da cidade de Piratini, na porção sul da Folha Piratini (SH.22-S-II-4). No município de Piratini, a principal jazida de rocha ornamental é definida pelo Granito Cerro do Sandi, comercialmente denominado Rosa Piratini.

O presente trabalho visa à caracterização petrográfica, estrutural e tecnológica dos granitos Bela Vista e Cerro do Sandi, com vistas ao seu apro-

veitamento como rocha ornamental. Estas informações serão utilizadas para divulgar a qualidade das rochas graníticas da região de Piratini, servindo de subsídio para a atração de investimentos para o setor. Para alcançar este objetivo foram realizados o mapeamento geológico e estrutural dos granitos, mapeamento de depósitos superficiais, análises petrográficas e ensaios tecnológicos. O conhecimento das propriedades físicas, fisico-mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas é importante, pois estes são fatores que influenciam na qualidade e na definição da utilização específica do material. Além dos fatores estéticos e das características tecnológicas, a formação do preço de mercado está associada ao conhecimento geológico da jazida e as reservas dos produtores.

METODOLOGIA

Inicialmente foram interpretadas as imagens de satélite e fotografias aéreas na escala 1:60.000 da área estudada. Os trabalhos de campo objetivaram o mapeamento geológico e estrutural em escala 1:25.000, com a delimitação das áreas aflorantes, tipos de afloramentos (lajeados, campo de blocos e matacões) e densidade de exposição, além da coleta de amostras para estudos petrográficos e ensaios tecnológicos. Os afloramentos foram localizados na carta topográfica PIRATINI (SH.22-S-II-4), em escala 1:50.000, mediante uso do GPS. 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 de amostras selecionadas e submetidas ao ataque químico por cobaltinitrito desódio. Foram analisadas 10 amostras do Granito Cerro do Sandi e 08 do Granito Bela Vista, com a contagem em amostra macroscópica de cerca de 500 pontos por amostra. Os valores obtidos foram normalizados e representados no diagrama QAP de Streckeisen (1976), de acordo com revisão Le Maitre (1989). 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, hidrotermal ou intempérico).

Os ensaios tecnológicos (índices físicos, resistência à flexão nos quatro pontos, desgaste abrasivo, velocidade de propagação de ondas ultrasônicas, dilatação térmica linear e brilho) foram obtidos no Laboratório de Mecânica e Tecnologia de Rochas do Departamento de Geotecnia da CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Os granitos estudados estão localizados na porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense, perten-

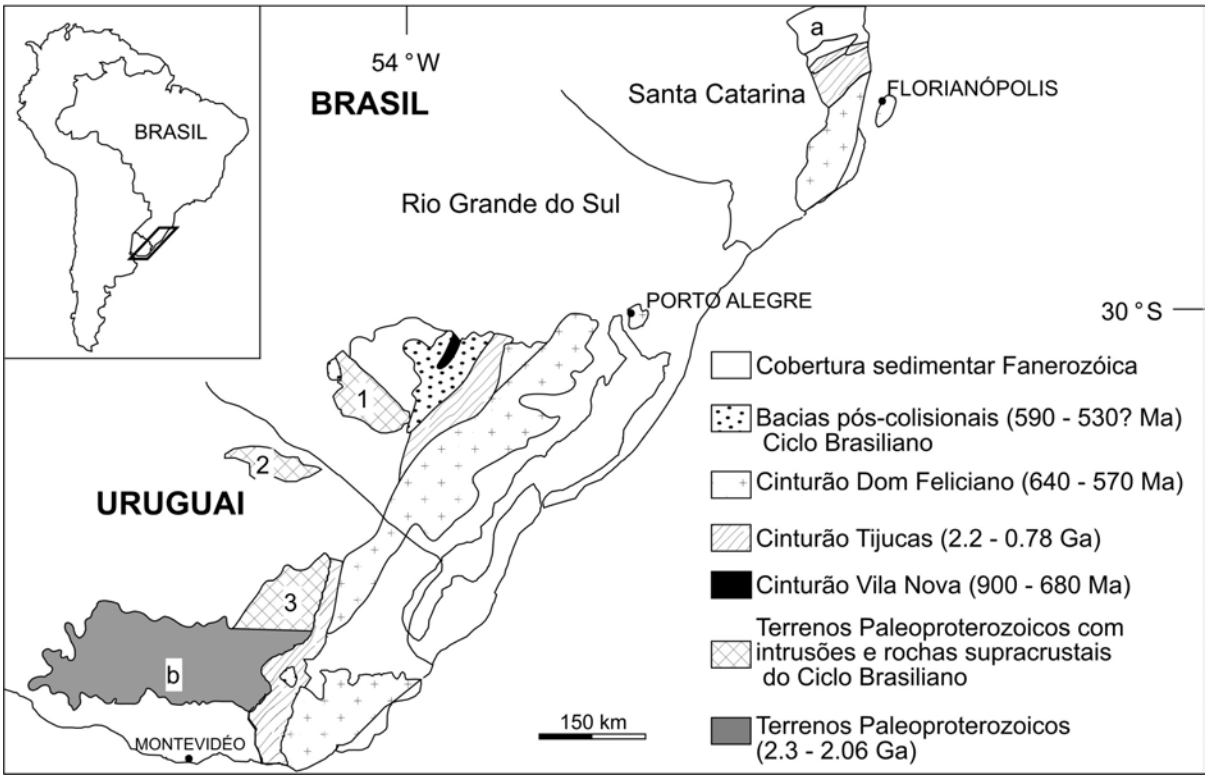

Figura 1 – Principais unidades geotectônicas do sul do Brasil e Uruguai (a= Terreno Florida, b= Terreno Luis Alves, 1= Terreno Taquarembó, 2= Terreno Rivera, 3= Terreno Valentines, (modificado de Chemale Jr. 2000).

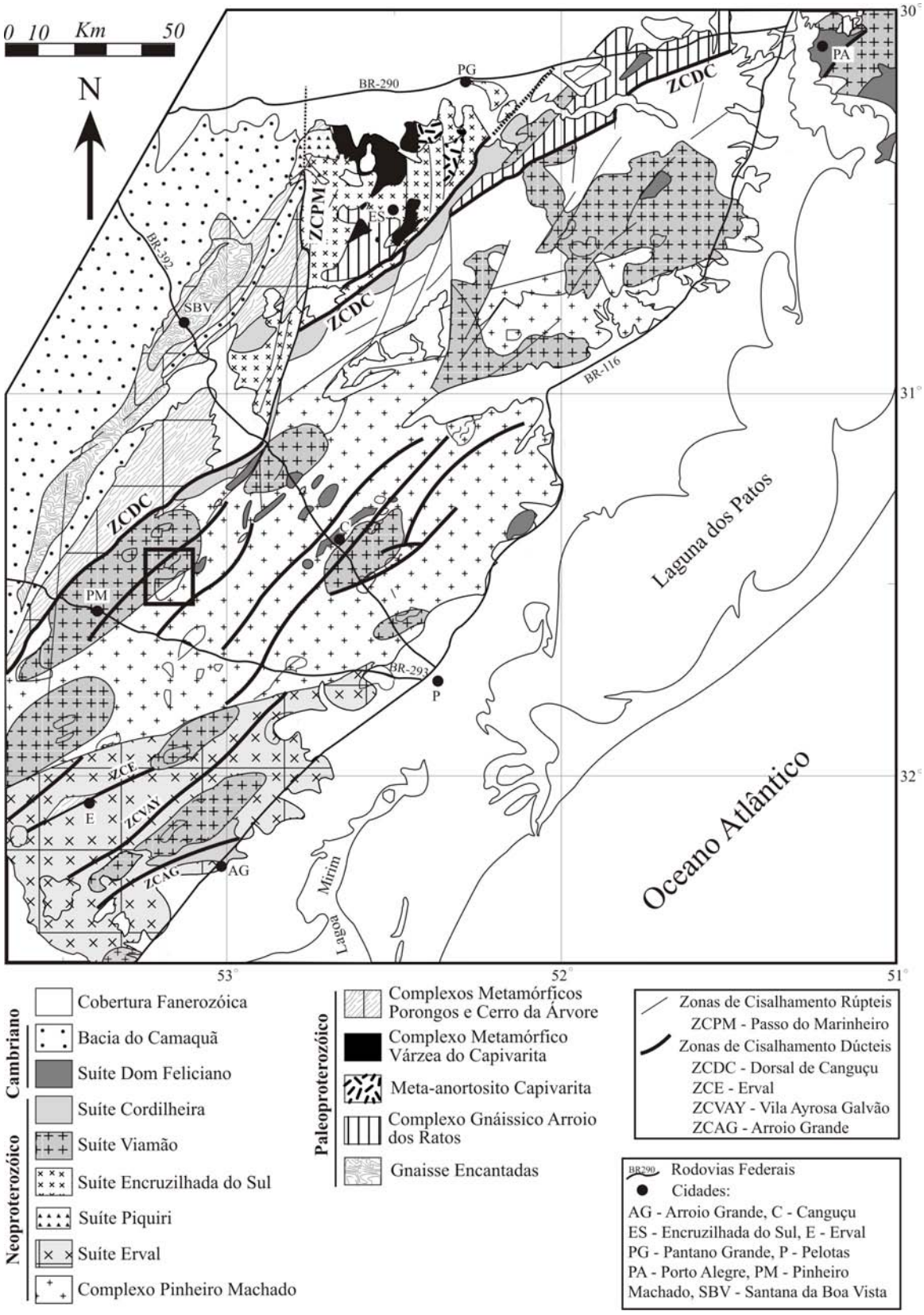

Figura 2 – Mapa geológico do Batólito Pelotas com localização da área estudada (modificado de Philipp *et al.* 2002).

cendo ao Batólito Pelotas, segmento principal do Cinturão Dom Feliciano constituído por múltiplas injeções magmáticas com evolução e posicionamento relacionado ao final do Ciclo Brasiliano (Philipp *et al.* 2003), (Fig.1). Os granitos Cerro do Sandi e Bela Vista pertencem a Suíte Dom Feliciano, uma das últimas manifestações magmáticas do batólito (Fig.2) Os granitos desta suíte ocorrem como corpos de formas alongadas, alojados em zonas de cisalhamento dúcteis de direção N40-50ºE, com as quais mantém relações de posicionamento tardias.

Estudos preliminares dos granitóides da região de Canguçu, Pinheiro Machado e Piratini, surgiram a partir dos trabalhos de Fragoso Cesar *et al.* (1986), Frantz & Remus (1986), Soliani Jr. (1986), Figueiredo *et al.* (1990) e Philipp *et al.* (1993). Estes autores estabeleceram a caracterização preliminar das unidades abordando informações sobre a geologia, petrografia, geocronologia e geoquímica. A caracterização dos Granitos Cerro do Sandi e Bela Vista foi tema dos trabalhos de Almeida *et al.* (1990), Gomes *et al.* (1991) e Philipp *et al.* (1991). Mais recentemente, a caracterização químico-mineralógica dos minerais do Granito Bela Vista foi apresentada por Philipp *et al.* (2002).

GEOLOGIA DOS GRANITOS

Granito Cerro do Sandi

O Granito Cerro do Sandi ocorre como um corpo com forma pouco alongada segundo a direção N35ºE, distando cerca de 8 km a sudoeste da cidade de Piratini (Fig.3). O granito constitui uma região de relevo destacado composto por coxílias pouco arra-

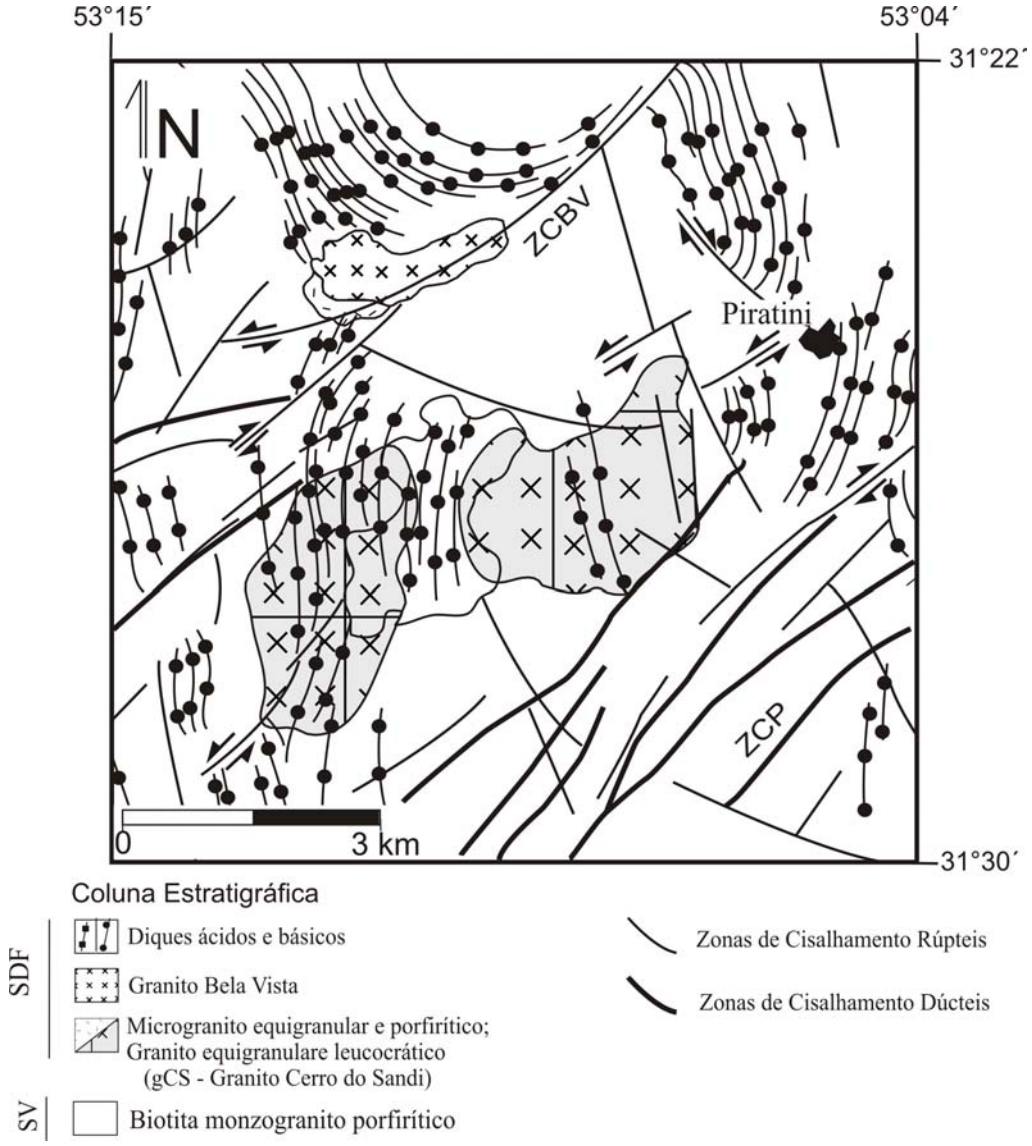

Figura 3 – Mapa geológico dos granitos Cerro do Sandi e Bela Vista (modificado de Almeida *et al.* 1990 e Philipp *et al.* 1991).

sadas. Os afloramentos são descontínuos e estão localizados na porção central do corpo, sendo constituídos por campos de matacões com diâmetros entre 3 a 8 metros.

O granito foi definido e delimitado a partir dos trabalhos de Gomes *et al.* (1991), que reconheceram a partir de critérios petrográficos e estruturais, três fácies petrográficas principais: leucogranitos, microleucogranitos e diques ácidos. Estas rochas apresentam uma mesma composição mineralógica e litogeoquímica, representando desta maneira apenas variedades texturais que indicam as distintas condições de cristalização do magma granítico (Gomes *et al.* 1991).

Os contatos do Granito Cerro do Sandi com os granitóides do Complexo Pinheiro Machado são discordantes e intrusivos, marcados por falhas e zonas de intenso fraturamento. O posicionamento do granito está relacionado a movimentação de zonas de cisalhamento rúptil-dúcteis, de orientação geral nordeste e que determinaram a sua forma aproximadamente elíptica.

O corpo principal é composto por leucogranitos de coloração rosada com estrutura maciça e textura equigranular hipidiomórfica média (2 a 4 mm). Apresentam composição sienogranítica e mineralogia composta essencialmente por K-feldspato e quartzo, com ocorrência subordinada de plagioclásio e biotita (Fig.4). Não apresentam enclaves ou xenólitos de rochas encaixantes. Os microleucogranitos constituem apófises de dimensões da ordem de 300 m a 3 km, dispostas na porção norte-noroeste do corpo granítico principal. Os diques de riolito ocorrem na forma de enxames, de 2 a 8 metros de espessura, direcionados segundo N10º-30ºW. Apresentam contatos retos e bem definidos, mostrando relações intrusivas que inclusive ultrapassam a extensão do corpo granítico, prolongando-se para dentro das rochas encaixantes (Almeida *et al.* 1990).

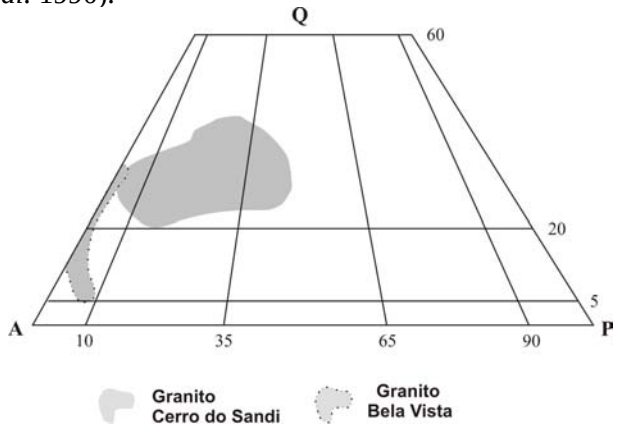

Figura 4 – Classificação das amostras estudadas no QAP de Streckeisen (1976) segundo revisão de Le Maitre (1989).

Granito Bela Vista

O Granito Bela Vista (Philipp *et al.* 1991) ocorre como um "stock" com forma elíptica, apresentando cerca de 6 km de extensão e 2 km de largura (Fig.5). Está localizado na folha Piratini, distando cerca de 2,5 km à oeste da cidade homônima, próximo da sede da Fazenda Bela Vista.

Este granito destaca-se no relevo da região por constituir um morro alinhado segundo a direção N50ºE. A colocação do maciço granítico ocorreu em condições epizonais, como indicado pela margem resfriada preservada na sua porção sul. O posicionamento está intimamente relacionado a uma zona de cisalhamento rúptil-dúctil de orientação geral N40-50ºE. Esta zona gera no granito o aparecimento de faixas centimétricas de brechas e microbrechas de esmagamento, além de protocataclasitos. Mantém, com as rochas graníticas encaixantes da Suíte Viamão, relações de contato bruscas e nitidamente intrusivas, destacando a presença de diques micrograníticos e riolíticos preenchendo fraturas de direção NW que cortam as rochas encaixantes.

A análise petrográfica do Granito Bela Vista permitiu a identificação de três fácies texturais distintas: granito equigranular, granito heterogranular e microgranito porfirítico. As rochas possuem em geral uma coloração avermelhada com pontuações pretas dadas por minerais máficos, principalmente, anfibólio.

Na maior parte do corpo granítico, a textura é equigranular-hipidomórfica grossa (5 a 10 mm), definida pela abundância de K-feldspato, dominantemente subédrico, enquanto que o quartzo e os minerais máficos possuem forte tendência ao xenomorfismo. No extremo nordeste, o granito adquire uma textura heterogranular, marcada pela presença de 30 a 45 % de megacristais tabulares de K-feldspato com 2 a 4 cm, imersos em uma matriz equigranular grossa a base de quartzo e anfibólio. Uma terceira variação faciológica é definida por microgranitos que constituem uma margem resfriada contornando a porção sul do corpo granítico. Os microgranitos possuem textura porfirítica a equigranular fina (1.0 mm), salientando pequenas proporções de fenocristais de K-feldspato e raro quartzo imersos em uma matriz fina a base de K-feldspato, quartzo, clinopiroxênio e anfibólio rico em ferro. Comparativamente os microgranitos apresentam teores de minerais máficos significativamente maiores que os encontrados nas outras fácies. A presença de fenocristais em uma matriz fina e de minerais com hábito acicular atestam as condições subvulcânicas da cristalização.

Ao longo de todo o corpo a estrutura é maciça, ocorrendo na sua porção sudoeste um intenso fraturamento de direção N10-40ºW e N15-50ºE. Estas fraturas estão preenchidas por diques de microgranitos e riolíticos com 1 a 4 metros de espessura, sendo ainda identificados diques básicos. Algumas fraturas estão preenchidas por quartzo de falha, com espessuras centimétricas a métricas. Pequenas e raras lentes de pegmatóides podem ser encontradas na porção central e sudoeste do corpo, destacando a presença de cristais de até 7 cm de anfibólio e K-feldspato. Nesta mesma porção do corpo é freqüente a ocorrência de enclaves de microgranitos com formas subarredondadas a arredondadas e tamanhos entre 15 a 40 cm, representando fragmentos da margem resfriada do granito. Os diques básicos que cortam o corpo são compostos por plagioclásio e piroxênio, este último

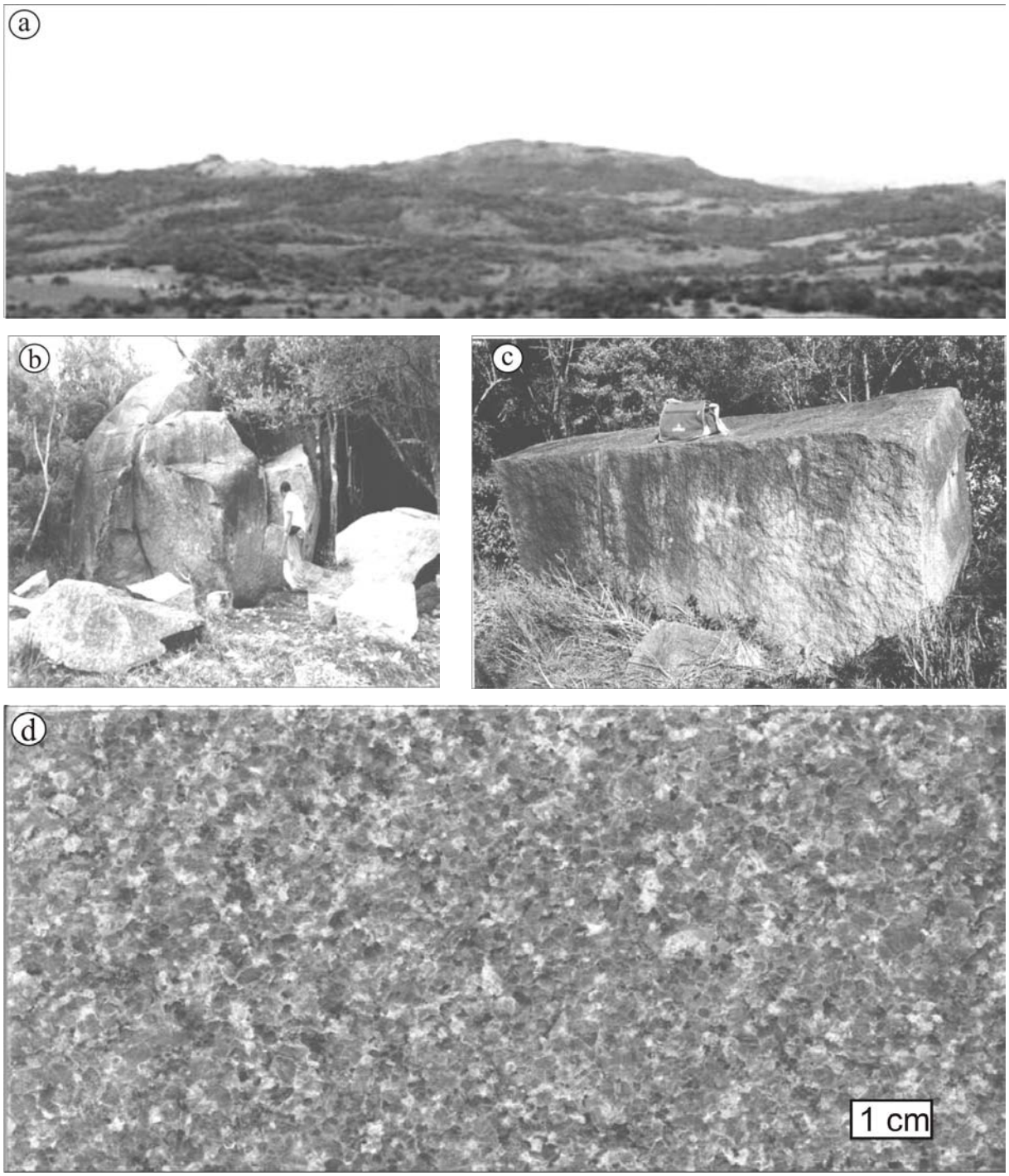

Figura 5 – Aspectos de campo do Granito Cerro do Sandi. 5a) Vista geral do granito destacando-se no relevo; 5b) Matacão cortado; 5c) Bloco pronto para transporte; 5d) Chapa polida do granito salientando a textura equigranular e a presença de dois feldspatos (FK= cinza e plagioclásio= branco a cinza claro).

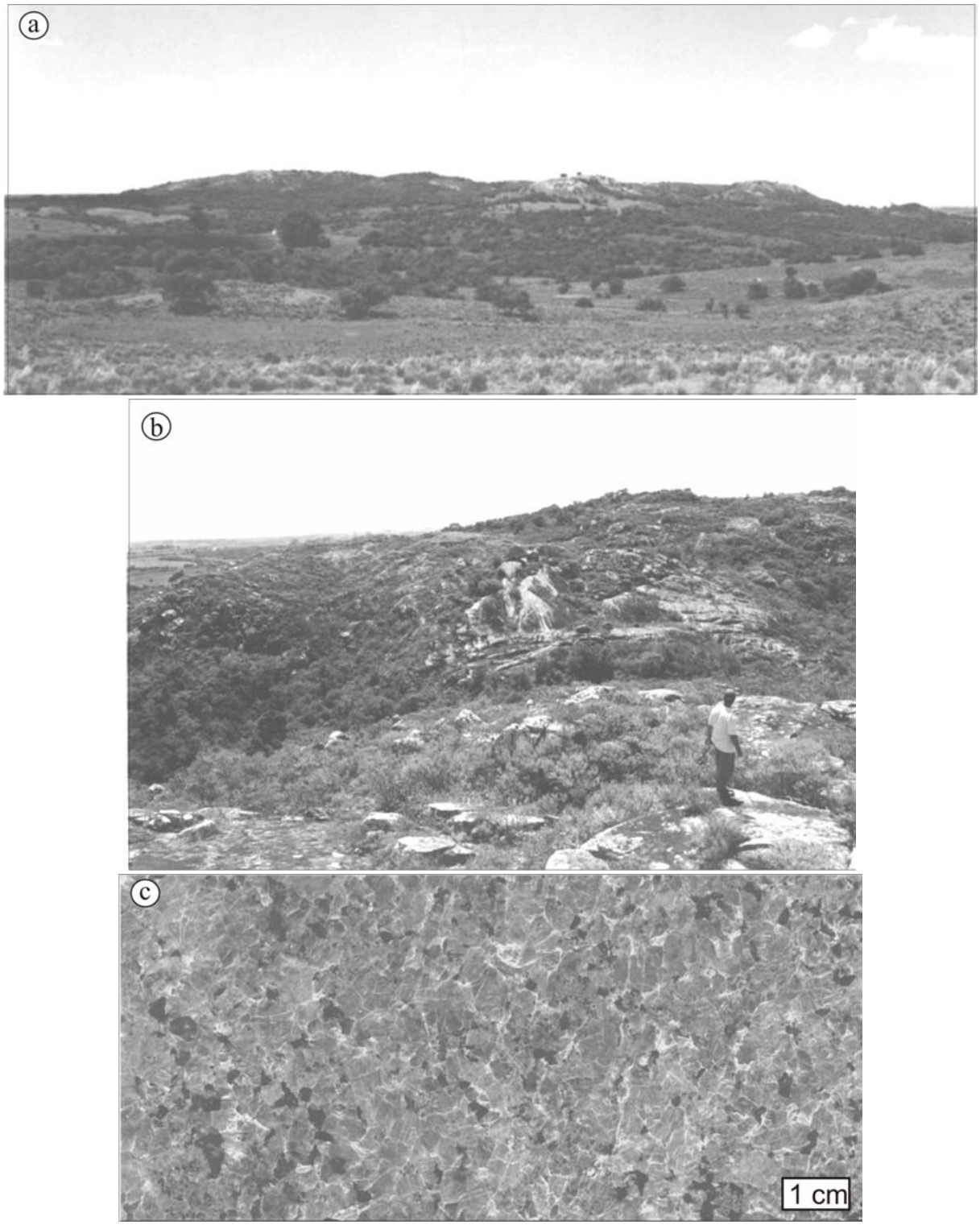

Figura 6 – Aspectos de campo do Granito Bela Vista. 6a) Vista geral do granito destacando-se no relevo; 6b) Afloramentos rochosos; 6c) Chapa polida do granito salientando a textura equigranular e a presença de anfibólio anédrico e intersticial.

do tipo titano-augita.

PETROGRAFIA

Granito Cerro do Sândi

Ao microscópio a textura é equigranular-hipidiomórfica, com K-feldspato hipidiomórfico e prismático, plagioclásio euédrico e com formas quadráticas, quartzo amebóide e biotita intersticial. A textura poiquilítica é caracterizada pela presença de inclusões de plagioclásio e biotita em microclínio; zircão, apatita e alanita em biotita e, zircão, apatita, alanita e esfeno em quartzo. A composição

modal dos minerais constituintes das diversas variedades texturais deste granito pode ser observada na tabela 1.

O K-feldspato é o ortoclásio a microclínio micropertítico, com pertitas tipo filmes evoluindo para manchas e outras formas irregulares de albita, a qual está associada com a formação de quartzo secundário. O plagioclásio é o oligoclásio (An_{18-28}), como cristais idiomórficos de 4 a 8 mm, freqüentemente zonados. Por vezes, encontram-se transformados nas suas porções centrais para sericita e epidoto. A biotita ocorre como palhetas de tamanhos entre 2 e 7 mm. Mostra localmente formação de mica branca nos bordos dos grãos, acompanhada por clorita e opacos, principalmente junto aos planos de clivagens. O quartzo é amebóide e mostra-se por vezes, fraturado e com forte extinção ondulante. A atuação de processos hidrotermais está marcada neste granito pela formação pervasiva de clorita, epidoto, mica branca, albita e biotita verde. Estas feições são mais abundantes nas proximidades dos microgranitos.

Os microgranitos mostram cor rosada e textura porfirítica com fenocristais de 5 a 10 mm de K-feldspato, raramente acompanhado por quartzo, imersos em matriz equigranular fina (1mm) composta por K-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita. A composição varia de sieno a monzogranítica.

Os riolitos são rochas de cor castanha avermelhada escura, adquirindo tom castanho esverdeado quando alterados. Mostram estrutura maciça e possuem textura porfirítica definida por baixo percentual de fenocristais de K-feldspato com tamanhos entre 5 e 10 mm, acompanhados por plagioclásio, quartzo e biotita. A matriz é afanitica a equigranular muito fina e de composição quartzo-feldspática. Freqüentemente apresenta intercrescimento granofírico.

A mineralogia formadora do Granito Cerro do Sandi apresenta feições de deformação frágil, principalmente, microfraturamento em feldspatos e quartzo. Entretanto, como ressaltou Gomes *et al.* (1991), são encontradas microestruturas que demonstram um caráter mais dúctil, evidenciando pro-

Tabela 1 – Composição modal e classificação das amostras dos granitos: Cerro do Sandi (* Sienogranito, ** Monzogranito, + Microsienogranito e *** Riolito) e Bela Vista (* Pertita sienito, ** Quartzo pertita sienito e *** Pertita granito). Tr < 0,5%.

GRANITO SERRO DO SANDI

Amostra/Mineral	GA-1	GA-4	GA-5	GA-7	GA-9	GA-14	GA-17	GA-20	GA-21	GA-24	GA-26	GA-34
K-Feldspato	57	35	52	52	45	47	57	34	28	36	44	27
Plagioclásio	10	11	08	19	11	11	11	20	38	25	24	17
Quartzo	26	53	38	25	40	42	29	38	29	38	27	54
Biotita	07	01	01	0,5	1,5	0	1,5	0	05	01	0	0
Anfibólio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Esfeno	Tr	0	Tr	0	0	0	Tr	2,5	01	0	Tr	Tr
Zircão	Tr	0	0	Tr	0	0	0	Tr	Tr	0	0	0
Apatita	Tr	Tr	Tr	Tr	0	Tr	Tr	Tr	Tr	0	Tr	Tr
Granada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opacos	0,5	01	01	0,5	01	01	1,6	0,5	0	0	2,5	Tr
Epidoto	Tr	0	0	0	0	0	0	0	0	Tr	0	0
Mica Branca	Tr	Tr	0,5	2	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	2,5	0
Opacos Anéd.	Tr	0	Tr	Tr	Tr	0	0	Tr	0	0	0	Tr
Classificação	*	+	+	*	*	*	*	*	*	+	***	***

GRANITO BELA VISTA

Amostra/Mineral	R-02	MR-14	MR-30	ML-07	PD	MR-26	MR-21	R-04	ML-08	MR-28	MR-04	MR-42
Pertita	69	91	76	70	72	86	59	52	81	69	44	69
Quartzo	13	4	20	27	23	7	23	13	14	18	50	13
Alb-Olig.	0	2,8	1,5	Tr	1,8	1,5	0	0	0	0	Tr	0
Biotita	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	1,2
Arfvedsonita	7	Tr	2	Tr	1,2	3,2	17	6,7	4,5	13	6	Tr
Aegerina	9	Tr	0	0	0	0	0	9	0	0	0	150
Zircão	1,5	1	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	1,5	Tr	Tr	Tr	Tr
Apatita	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Mica branca	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0
Opacos	2,5	1,5	0	2	1	2,5	0,6	2,5	Tr	0	0,5	1
Classificação	**	***	*	*	*	**	*	**	**	*	*	*

cessos dominados por plasticidade intracristalina, como arqueamentos de maclas em plagioclásio, presença freqüente de extinção ondulante, bandas de deformação e formação de subgrãos em quartzo. Este último mineral apresenta ainda feições de recuperação metamórfica, com formação de agregados finos com textura granoblástica irregular dispostos entre os subgrãos. Estas microestruturas indicam processos de recristalização em presença de fluídos.

Granito Bela Vista

O Granito Bela Vista é composto por pertita granitos, com ocorrência restrita de pertita quartzo sienito e pertita sienito. Os principais minerais encontrados no granito são o feldspato alcalino do tipo micropertita e o quartzo, contendo ainda anfibólio e clinopiroxênio ricos em ferro e rara biotita como minerais máficos. O principal mineral acessório é o zircão, este em elevados teores, contendo ainda apatita e opacos. A análise modal de 10 amostras representativas das diversas fácies deste granito pode ser encontrada na tabela 1.

O feldspato alcalino é a micropertita, com formas subédricas a euédricas e tamanhos entre 0.5 e 1 cm.

A presença de um único tipo de feldspato caracteriza este granito como hipersolvus. A exsolução de lamelas de albita é acentuada, chegando a constituir, por vezes, pequenos filmes ao longo das bordas do feldspato ou até mesmo raros cristais individuais com 0.1 a 0.4 mm. O quartzo é intersticial e tem forma amebóide. Os minerais máficos ocorrem com proporções variadas, sendo intersticiais e com formas anédricas. Destaca-se a presença de cristais esqueletais de anfibólio, com teores variando entre 2-3 % até 18 %, este último nos microgranitos da margem resfriada. O principal mineral máfico é um anfibólio do tipo Fe-Winchita (Philipp *et al.* 2002). O microgranito da margem resfriada apresenta também clinopiroxênio do tipo Hedembergita. As relações entre os minerais máficos, como a substituição parcial do anfibólio pelo piroxênio, os elevados teores de clinopiroxênio associados a restos de anfibólio oxidados e raros cristais de biotita, sugere que a ordem de cristalização dos minerais máficos finaliza com a formação do clinopiroxênio. A biotita é do tipo Anita, encontrando-se no microgranito em teores de até 1 %. Mostra forma subédrica com forte pleocroísmo castanho avermelhado. Os minerais acessórios são zircão, apatita e opacos. Observa-se sobre a mineralogia ígnea feições de deformação frágil, como fraturamento do feldspato e quartzo, acompanhados de forte extinção ondulante.

ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Para analisar os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos, os granitos estudados foram comparados com as rochas graníticas e sieníticas da região de Encruzilhada (Philipp & Scopel, 2001) e com rochas graníticas do Estado de São Paulo (IPT, 1990). Os granitos selecionados para a comparação apresentam forte semelhança composicional e textural com os granitos estudados, já são comercializados e possuem ótima aceitação no mercado. Estes resultados também foram comparados com os limites de valores estabelecidos por Frazão & Farjallat (1995), com base na média das rochas brasileiras e com base nos parâmetros estabelecidos na norma norte-americana (ASTM).

Análises Petrográficas

As análises petrográficas dos granitos estudados mostram ampla preservação da mineralogia ígnea, com indícios incipientes de transformação hidrotermal e alteração intempérica. No Granito Cerro do Sandi ocorrem alterações incipientes representadas pela formação de mica branca fina em K-feldspato e da biotita para um agregado de mica branca e clorita, por vezes acompanhada por epidoto. No Granito Bela Vista, observa-se o desequilíbrio do anfibólio na sua fácies equigranular e sua transformação para um agregado de minerais opacos. Esta transformação está acompanhada pela formação de pertitas e de um novo anfibólio mais tardio, indicando que as mesmas ocorreram em condições de resfriamento e sob temperaturas elevadas. As amostras frescas apresentaram cor mais clara do que após o polimento, quando acentuam o tom de vermelho. É importante ressaltar que as amostras utilizadas para os ensaios provêm de matacões de diâmetro médio de 2 a 3 metros, não representando, portanto, as porções centrais e mais preservadas dos matacões de grande diâmetro e, principalmente, dos maciços rochosos do Granito Bela Vista. Neste sentido cabe relatar que as amostras foram obtidas por cortadores de pedras, que utilizam técnicas de abertura muito rudimentares e baseadas em batidas, alavancas e pequenas explosões com pólvora preta, fatores que somados podem ser responsáveis por uma parte das microdescontinuidades observadas nas amostras.

Índices Físicos

Os valores obtidos para os índices físicos dos Granitos Cerro do Sandi e Bela Vista são superiores aos estabelecidos pelas normas nacionais (NBR) e internacionais (ASTM) e dentro dos limites definidos para a maioria das rochas siliciclásticas brasileiras, segundo Frazão & Farjallat (1995). Os valores da massa específica aparente seca e saturada apresentados nas figuras 7a e b são superiores ao limite de 2550 Kg/m^3 sugeridos pela ASTM e por Frazão e Farjallat (1995). Da mesma maneira, os valores obtidos para a porosidade aparente e absorção de água são bem inferiores ao limites estabelecidos por Frazão e Farjallat (1995) (Fig.7c e 7d).

Velocidade de Propagação das Ondas Longitudinais

Os valores de velocidade de propagação de ondas longitudinais obtidos para os granitos Cerro do Sandi, entre 5220 e 6110 m/s, e para o Granito Bela Vista, entre 5150 e 5660 m/s, são superiores ao intervalo médio de 4000 a 4500 m/s, encontrado na maioria das rochas brasileiras por Frazão e Farjallat (1995) e a norma da ASTM. Este parâmetro também confirma a ausência de alteração intempérica e/ou hidrotermal e de microdescontinuidades.

Compressão Uniaxial Simples

Os valores para a compressão uniaxial simples foram obtidos somente para o Granito Cerro do Sandi, cujo resultado de 80,5 Mpa é inferior ao limite fixado pela ASTM e sugerido por Frazão e Farjallat (1995), que é de 100 Mpa. Este valor, entretanto, foi obtido em amostras de pedras de alicerce, retiradas por métodos simples que envolveram a utilização de explosivos, alavancas e talhadeiras, conjunto de fatores que pode ser responsável pela formação de microdescontinuidades que diminuiriam a resistência do material amostrado. Os excelentes valores obtidos nos índices físicos podem justificar esta afirmação.

Desgaste Abrasivo (AMSLER)

Os valores obtidos no ensaio de desgaste AMSLER, para amostras do Granito Bela Vista foram bem inferiores ao limite fixado como parâmetro de qualidade por Frazão e Farjallat (1995), indicando que o granito é muito coeso e mostra uma dureza elevada (Fig.7e).

Dilatação Térmica Linear

O coeficiente de dilatação térmica determinado para o Granito Bela Vista apresenta um valor de 7.10^{-3} $mm/m.^oC^{-1}$, muito abaixo do limite máximo sugerido por Frazão e Farjallat (1995) que é inferior a 12.10^{-3} $mm/m.^oC^{-1}$ (Fig.7f).

Durabilidade

O ensaio de durabilidade executado no Granito Cerro do Sandi utiliza uma metodologia relativamente antiga, quando comparada com os trabalhos mais recentes de normalização nacional e internacional. Apesar deste fato, os resultados foram satisfatórios, com perda mínima de material e com a modificação incipiente de cor do plagioclásio após 28 ciclos sucessivos de ataque.

Gelividade

O ensaio de gelividade também foi realizado somente no Granito Cerro do Sandi, que não apresentou variações de peso significativas durante os diversos ciclos de gelo e degelo (valores inferiores a 0,13 %). A sugestão para a apreciação desta propriedade são variações inferiores a 2 % (IPT, 1990).

ASPECTOS ESTRUTURAIS E AVALIAÇÃO DOS JAZIMENTOS

Granito Cerro do Sândi

Os padrões de fraturamento do Granito Cerro do Sandi podem ser observados a partir do mapa de lineamentos e da correlação com os dados de campo (Fig. 8), que permitiram identificar três direções principais de padrões de lineamentos. O padrão principal é concordante com o alongamento do corpo granítico, apresenta direção N50-60°E, extensões entre 200 e 700 metros e elevada intensidade de fraturas. Estes lineamentos provavelmente estão associados com a movimentação das zonas de cisalhamento dúcteis e dúctil-rúpteis que estiveram relacionadas com o posicionamento do próprio maciço granítico. Os principais campos de matacões

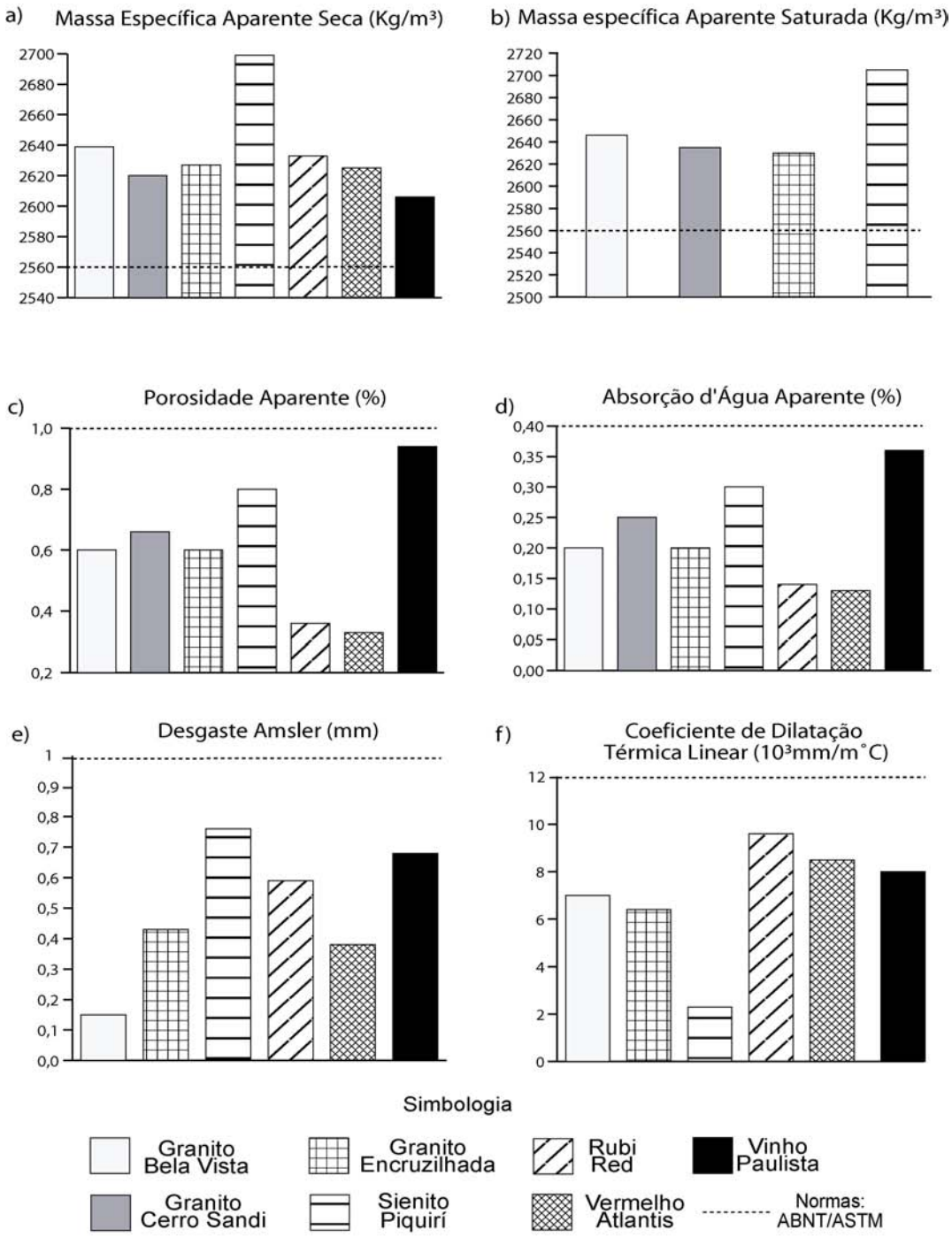

Figura 7 – Quadro comparativo dos ensaios tecnológicos dos Granitos Cerro do Sandi e Bela Vista. 7a) Massa Específica Aparente Seca; 7b) Massa Específica Aparente Saturada; 7c) Porosidade aparente; 7d) Absorção de Água aparente; 7e) Desgaste AMSLER; 7f) Coeficiente de Dilatação Térmica. (dados comparativos extraídos de IPT, 1990; Philipp & Scopel, 2001).

estão relacionados a áreas afetadas por este tipo de lineamentos. Um segundo padrão de lineamentos, de densidade menor, possui direção N05-20°E e está concentrado na porção norte do maciço, apresentando extensões da ordem de 200 a 1000 metros. Um terceiro padrão de lineamentos de direção N20-30°W está distribuído em todas as partes do corpo granítico, apresentando extensões entre 100 e 300 metros e baixa densidade de fraturas. Estes lineamentos estão provavelmente representando fraturas de extensão, visto que estas estruturas estão freqüentemente preenchidas por enxames de diques de riolitos. A intersecção entre estes padrões de fraturas resulta, em zonas de mais baixa deformação, e na geração de "blocos" com dimensões métricas. Posteriormente, a percolação de água meteórica, a ação do intemperismo ao longo destas fraturas e a erosão serão responsáveis pelo aparecimento dos campos de matacões.

O Granito Cerro do Sandi constitui um morro pouco alongado, destacando-se na morfologia local (Fig.9). Neste granito não ocorrem lajeados, predominando uma cobertura de campos e matas galerias, com ocorrência de campos de matacões. Na sua porção norte ocorrem áreas com campos de matacões de 1 a 2 metros e pequenos lajeados de algumas dezenas de m^2 (Fig.10). Ao sudeste da área anterior ocorre o principal campo de matacões do maciço, ocupando uma ampla área no topo de uma coxilha plana. Os matacões apresentam dimensões entre 3 a 8 metros, com 3 a 5 metros na sua maioria. Possuem formas arredondadas e uma pequena camada superficial de 5 a 15 cm de rocha pouco alterada. Na sua maioria estão totalmente aflorantes, ocorrendo também encobertos por um manto de alteração com espessura variável entre 0,5 a 3 metros. Esta área já foi explorada comercialmente com a retirada de blocos de granito com dimensões de cerca de 1,2-1,4m X 1,6-1,8m X 2,2-2,5m. Na sua porção sul, uma terceira área aflorante está caracterizada pela presença de pequenos campos de matacões de diâmetros da ordem de 30 cm a 1-1,5 m, dispostos nas encostas e topos de morros. O intenso grau de fraturamento encontrado nesta área está relacionado ao tipo litológico predominante, um microgranito de textura equigranular fina, que representa a porção de topo do granito Cerro do Sandi. Ao leste desta área ocorre outro campo de matacões com grande potencial de prospecção. Os matacões apresentam tamanhos entre 2 e 6 metros, com formas arredondadas e uma pequena camada superficial de 5 a 10 cm de rocha pouco alterada.

Figura 8 – Mapa de lineamentos com as principais estruturas que condicionam os jazimentos estudados.

Granito Bela Vista

O Granito Bela Vista constitui um relevo com topografia destacada caracterizado por duas cristas alongadas separadas por um vale com cerca de 150 metros de altura (Fig.11). O corpo granítico apresenta grandes exposições de lajeados, com ocorrência significativa de campos de matacões e subordinadamente, uma cobertura vegetal caracterizada por campos, matas nativas e de galeria.

A análise dos lineamentos obtidos a partir da interpretação das fotografias aéreas 1:60.000, permite a identificação de três principais direções e padrões de lineamentos (Fig.8). O padrão de lineamentos mais destacado apresenta direção N50-70°E, sendo concordante com o alongamento do maciço granítico. Concentrando-se na porção sul do granito, possuem elevada intensidade de ocorrência, extensões entre 100 e 500 metros e um fraturamento com espaçamento médio entre 3 a 20 metros. Estes lineamentos devem estar relacionados com a movimen-

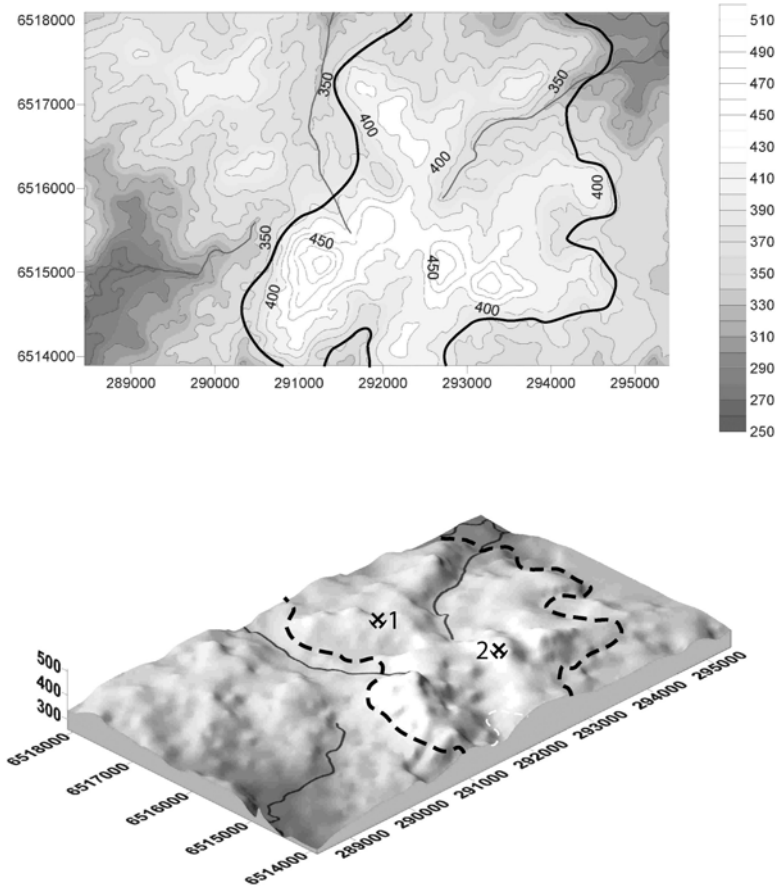

Figura 9 – Modelo numérico do terreno do Granito Cerro do Sandi com indicação do limite do corpo e da áreas exploradas comercialmente.

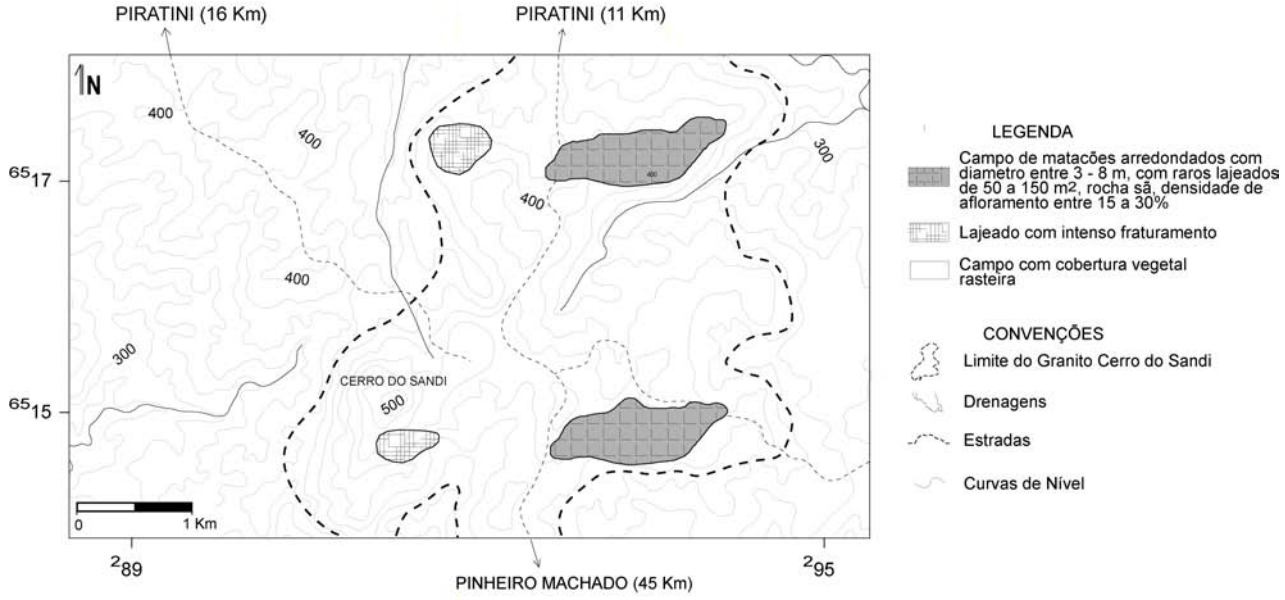

Figura 10 – Mapa de depósitos superficiais do Granito Cerro do Sandi.

tação das zonas de cisalhamento dúcteis e dúctil-rúpteis que foram responsáveis pelo posicionamento do próprio maciço granítico.

Um segundo padrão de lineamentos está caracte-rizado pela direção N20-30°W, pela elevada densi-dade de ocorrência e por sua distribuição em todas as partes do corpo granítico. Suas extensões são mais reduzidas, da ordem de 100 a 300 metros, com fraturas de espaçamento variável entre 2 e 10 me-tros. Estes lineamentos provavelmente representam fraturas de extensão, visto que estas estruturas estão freqüentemente preenchidas por enxames de diques de riolitos e veios de quartzo.

Um terceiro padrão de lineamentos possui direção N-S/N10^{o}E e uma densidade menor que o anterior, com extensões da ordem de 200 a 1000 metros. Estão distribuídos por todo o maciço gra-nítico.

A observação dos principais padrões de fraturas em campo permitiu a identificação de zonas menos deformadas, destacando três áreas rochosas muito favoráveis para a extração de blocos (Fig.12). Os afloramentos são quase contínuos e dominados por extensos lajeados, com ocorrência subordinada de campo de matacões. Dentro do corpo granítico ocorrem três principais áreas aflorantes, sendo duas delas quase contínuas. A outra área mencionada está representada por um lajeado contínuo de cerca de 4000 m^2. A alteração intempérica é superficial e atinge entre 1 e 3 metros de profundidade, entre-tanto, nos lajeados são freqüentes as áreas pouco fraturadas e favoráveis a explotação. No entorno destas áreas ainda podem ser delimitadas outras áreas menos favoráveis constituídas por campos de matacões de porte pequeno a médio (diâmetros entre 1 e 3 metros) pouco alterados. No extremo norte do granito ocorrem diversos campos de matacões alinhados segundo as direções NW e NE. Estes afloramentos mostram elevadas densidades de mata-cões que, entretanto, possuem diâmetros pequenos, inferiores a 2 metros, e alto grau de alteração intempérica.

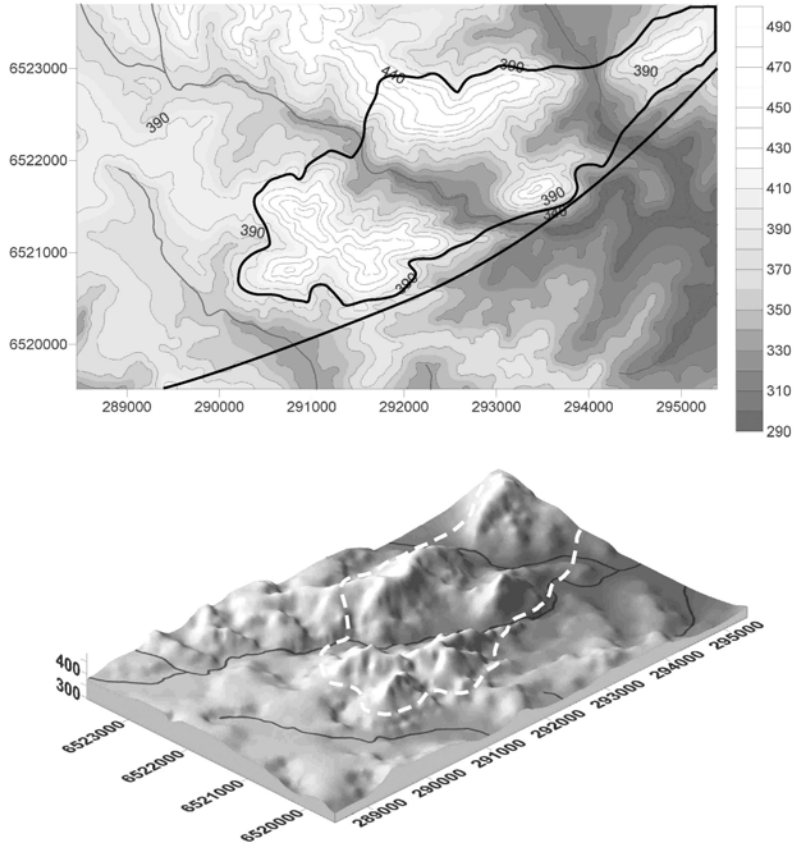

Figura 11 – Modelo numérico do terreno dos jazimentos estudados no Granito Bela Vista com indicação do limite do corpo e da zona de cisalhamento rúptil-dúctil que condiciona o posicionamento do corpo.

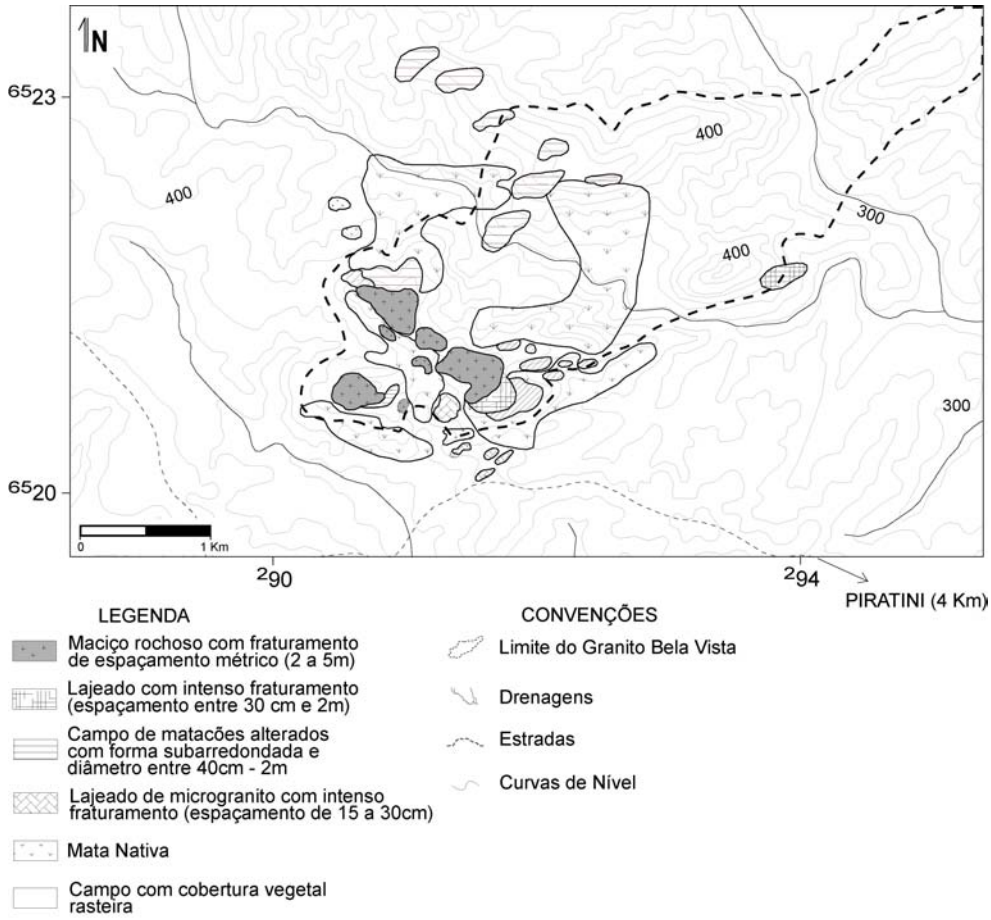

Figura 12 – Mapa de depósitos superficiais do Granito Bela Vista.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados geológicos, estruturais e os ensaios tecnológicos obtidos neste estudo indicam que os granitos Cerro do Sandi e Bela Vista apresentam características favoráveis para sua exploração como rochas ornamentais. As análises petrográficas e tecnológicas disponíveis mostraram que os granitos estudados preenchem plenamente as exigências normativas definidas para o mercado de rochas ornamentais. A observação dos mapas de depósitos superficiais é indicativa da presença de áreas favoráveis a explotação de blocos, ocorrendo excelentes exposições em ambos granitos estudados. Os mapas apontam a existência de duas áreas de matacões explotáveis no Granito Cerro do Sandi, enquanto para o Granito Bela Vista foram selecionadas três áreas representadas por maciços rochosos.

O Granito Bela Vista apresenta índices físicos e velocidade de propagação de ondas ultrasônicas que indicam a sua inalterabilidade. A alta resistência mecânica e o baixo desgaste abrasivo são qualidades que recomendam a sua utilização com piso e revestimento externo e interno.

O Granito Cerro do Sandi mostrou índices físicos e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas característicos de rocha sã. No ensaio de durabilidade o granito apresentou perda mínima de material, com incipiente modificação da cor do plagioclásio, o que não favorece sua utilização como piso externo e/ou interno.

A utilização integrada de estudos geológicos, geomorfológicos, estruturais e de caracterização tecnológica mostra-se apropriada para a avaliação de áreas para rocha ornamental.

Agradecimentos- Os autores agradecem a FAPESP (processo N° 1999/10207-2), pelo suporte financeiro que permitiu a realização dos trabalhos de campo e laboratório, e ao CNPq (processo N° 309232/2003-1, de Ruy Paulo Philipp) pela concessão de bolsa de produtividade. Aos revisores anônimos pelas críticas e sugestões.

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**, v.XII, **28**: 105-142.

Almeida, D.P.M.; Robaina, L.E.S.; Philipp, R.P.; Remus, M.V.D. 1990a. Granitos da região leste de Canguçu, RS: critérios para seu uso como pedra ornamental, **Acta Geologica Leopoldensia**, v.XIII, **31**: 41-58.

Almeida, D.P.M.; Gomes, M.E.B.; Philipp, R.P.; Robaina, L.E.S.; Pintaúde, D.A. 1990b. Contribuição ao conhecimento dos granitóides alcalinos da Suíte Dom Feliciano do Batólito Pelotas, região de Torrinhas, RS, **Acta Geologica Leopoldensia**, v.XIII, **31**: 59-72.

American Society for Testing And Materials. 1992. **ASTM – C 615.** Standard specification for granite dimension stone.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992a. **NBR 12042.** Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992b. **NBR 12763**. Rochas para revestimento. Determinação da resistência a flexão. 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992c. **NBR 12764**. Rochas para revestimento. Determinação da resistência ao impacto do corpo duro, 2p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992d. **NBR 12765**. Rochas para revestimento. Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear, 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992e. **NBR 12766**. Rochas para revestimento. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 2p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992f. **NBR 12767.** Rochas para revestimento. Determinação da resistência à compressão uniaxial. 2p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992g. **NBR 12767.** Rochas para revestimento.Análise petrográfica. 2p.

Figueiredo, M.C.H.; Fragoso Cesar, A.R.S. & B.L. Kronberg. 1990. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, **Anais...**, SBG, Natal, 4: 1623 - 1738.

Fragoso Cesar, A.R.S.; Figueiredo, M.C.H.; Soliani Jr., E. & U.F. Faccini. 1986. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, **Anais...**, SBG, Goiânia, 3: 1322-1343.

Frantz, J.C. & M.V.D. Remus. 1986. Geologia da região de Canguçu - Torrinhas, RS: caracterização petrográfica, estrutural e estratigráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, **Anais...**, SBG, Goiânia, 2: 931-947.

Frazão, E.B. 2002. **Tecnologia de rochas na construção civil.** Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE, São Paulo, 212p.

Frazão, E.B. & J.E.S. Farjallat. 1995. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURAL,1, **Comunicações...,** São Paulo, p.49-58.

Gomes, M.E.B.; Almeida, D.P.M.; Philipp, R.P.; Pintaúde, D. 1991. Caracterização mineralógica e geoquímica do Granito Cerro do Sandi, Piratini, RS. **Acta Geologica Leopoldensia**, v.XIV, **34**: 123-144.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1990. **Catálogo de rochas ornamentais do Estado de São Paulo**. Publicação IPT nº 1820, 122p., ilustrado.

Peiter, C.C.; Chiodi, F.C. 2001. **Rochas ornamentais no século XXI: bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras.** Cetem/Abirochas, Rio de Janeiro, 160p.

Philipp, R.P. 1998. **Evolução Geológica e Tectônica do Batolito Pelotas no Rio Grande do Sul,** 379p, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Philipp, R.P.; Almeida, D.P.M.; Gomes, M.E.B. &. D.A. Pintaúde. 1991. Geoquímica do Granito Bela Vista, Piratini, RS: uma contribuição ao conhecimento do magmatismo alcalino no setor Oriental do Escudo. **Acta Geologica Leopoldensia**, XIV, **34**: 95-122.

Philipp, R.P.; Mesquita, M.J.; Gomes, M.E.B. & D.P.M. Almeida. 1993. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos Granitóides Brasilianos da região de Pelotas, RS. **Pesquisas**, **20** (**1**):3-13.

Philipp, R.P.; Nardi, L.V.S.; Bitencourt, M.F. 2000. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: M. HOLZ & L.F. DE ROS(Eds), **Geologia do Rio Grande do Sul,** Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, p.133-160.

Philipp, R.P. & Machado, R. 2001. Estratigrafia e Significado Tectônico das Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no RS. **Revista Brasileira de Geociências, 31(3):** 257-266.

Philipp, R.P & Scopel, R. 2002a. Caracterização tecnológica e aproveitamento industrial dos granitóides da região de Encruzilhada do Sul, RS. **Pesquisas, 28(1):** 107-120.

Philipp, R.P.; Machado, R.; Nardi, L.V.S.; Lafon, J.M. 2002b. 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. 2005. The Neoproterozoic to Cambrian Granitic Magmatism of Pelotas Batholith, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Science** (no prelo).

Ribeiro, M., 1977. Mapa geológico da quadrícula de Piratini, RS. **Fundação Zoobotânica do RS**, Publicação Especial nº2, escala 1:50.000, Porto Alegre.

Soliani Jr., E. 1986. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica.** 425p Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo.

Streckeisen, A.L. 1976. To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Review, 12**:1-33.