

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, GEOQUÍMICA E FÍSICO-MECÂNICA PRELIMINAR DE GRANITOS E MOVIMENTADOS VERMELHOS DA REGIÃO SUL/SUDOESTE DO ESTADO DO MATO GROSSO, COMO POTENCIAL PARA ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO**

*Antonio Misson Godoy<sup>1\*</sup>, Alvaro Pizzato Quadros<sup>2</sup>, Jayme Alfredo D. Leite<sup>3</sup>, Larissa Marques Barbosa de Araújo Ruiz<sup>4</sup>, Amarildo Salina Ruiz<sup>2</sup>, Maria Zélia Aguiar de Souza<sup>3</sup>, João Batista de Matos<sup>3</sup> e Júlio César de Pinheiro Arrais<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>DPM-IGCE/UNESP

<sup>2</sup>DGG/ICET/UFMT

<sup>3</sup>DRM/ICET/UFMT

<sup>4</sup>Pós Graduação/IGCE/UNESP

\*DPM-IGCE/UNESP – Av.24A, 1515, Bairro Bela Vista, CEP 13.506-900 – Rio Claro – São Paulo  
Fone: (19) 526-2824 / Fax: (19) 524-9644 – E-mail: agodoy@rc.unesp.br

## RESUMO

O presente estudo da potencialidade das rochas ornamentais e de revestimento do Estado de Mato Grosso constitui uma contribuição ao avanço do conhecimento geológico, de forma a acrescentar ao conhecimento científico elementos práticos e fundamentais que propiciem a transformação econômica imediata deste bem mineral e contribuam para o desenvolvimento sócio-econômico do Estado, a partir da implantação e desenvolvimento desta cadeia produtiva de transformação. As extensas áreas de exposição de rochas cristalinas matogrossenses, constituem um fator promissor à implantação e ao crescimento deste setor da mineração. Foram estudados os granitos e movimentados vermelhos da região sul/sudoeste do Mato Grosso, geologicamente já bem conhecidos o que facilitou a caracterização geológica-estrutural e petrográfica dos litotipos, fator importante na contribuição para os ensaios tecnológicos (físico-mecânicos). Os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos das variedades mostram que os parâmetros analisados situam-se dentro dos limites padrões estabelecidos pelas normas e obedecem satisfatoriamente os valores limites fixados pela norma C615 para granitos utilizados em revestimento, quer para ambientes internos, quer para externos.

## INTRODUÇÃO

O presente estudo da potencialidade das rochas ornamentais e de revestimento do Estado de Mato Grosso constitui uma contribuição ao avanço do conhecimento geológico de forma a acrescentar ao conhecimento científico elementos práticos e fundamentais que propiciem a transformação econômica imediata deste bem mineral e contribua para o desenvolvimento sócio-econômico do Estado, com a implantação e desenvolvimento desta cadeia produtiva de transformação.

A crescente utilização de rochas ornamentais em obras civis tem alertado os usuários para os problemas decorrentes de uma escolha inadequada desses materiais. A melhor medida preventiva para esses problemas é a correta especificação das rochas frente aos usos pretendidos respeitando-se, além do efeito estético desejado, as características tecnológicas dos materiais.

Visando atender estas concepções, inicia-se o desenvolvimento deste projeto com objetivos de ordem estética bastante amplos, quanto à diversidade de litotipos matogrossenses a serem estudados, possibilitando um levantamento das variedades de rochas quanto, composição, cor, textura e estrutura e, conseqüente, diversificação de tipos ornamentais para o mercado consumidor. Esta disponibilidade de litotipos rochosos resulta, conseqüentemente, em uma opção para implantação de um polo extrativo.

A partir da escolha estética, optou-se pela identificação favorável dos tipos litológicos, quanto à logística e exequibilidade de lavra, evoluindo atualmente para os patamares técnicos da caracterização geológica, química e físico-mecânica das rochas, necessárias para um mercado consumidor cada vez mais exigente, que requer e lhe é devido, uma padronização das características tecnológicas das rochas ornamentais das jazidas. Esta caracterização técnica possibilitará o aproveitamento de rochas já aceitas no mercado consumidor, bem como resultará em novas contribuições com solicitações para utilizações, apoiadas em critérios técnicos e viabilidade de soluções arquitetônicas, estéticas e funcionais muito mais confiáveis para a construção civil.

O Estado do Mato Grosso apresenta vastas áreas de exposição de rochas cristalinas, propícias à exploração para fins ornamentais e de revestimento. É, sem dúvida, um local extremamente promissor para a implantação e o crescimento deste produtivo setor mineral, embora ainda muito desconsiderado, o que resultaria em conseqüentes benefícios advindos com o desenvolvimento sócio-econômico do Estado, possibilitando a instalação de novas empresas com o aumento da oferta de empregos diretos nos setores de prospecção, lavra, beneficiamento e comercialização, e indiretos como transporte, maquinário e apoio técnico.

O interesse na exploração de rochas ornamentais no centro-oeste brasileiro é recente, apresentando como único trabalho o Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado de Mato Grosso (DNPM, 1999). Ressalta-se também o trabalho de uma única empresa produtora, a "De Jorge Mineração Ltda.", que nos anos de 1993 a 1995 beneficiou blocos oriundos do Granito São Vicente, o "Vermelho Pantanal", e atualmente, no extremo noroeste de Mato Grosso no município de Rondolândia,

situam-se as duas únicas jazidas de rochas ornamentais em atividade exploradas pela “Gramazon Ltda.” de Rondônia, constituída pelo Granito Marrom, denominado de “Café da Amazônia” e o Granito Cinza Marrom, denominado de “Prata da Amazônia”.

As áreas propostas para o estudo localizam-se na região sul/sudoeste do Mato Grosso, que detêm um dos maiores tratos geológicos relativamente conhecidos, o que facilita a caracterização geológica-estrutural e tecnológica (físico-mecânico) das rochas gnáissicas e graníticas, que demonstrem exequibilidade econômica de lavra. Serão inicialmente estudadas cinco (5) unidades litológicas de coloração dominante vermelha, mas com padrão textural e estrutural distinto e que, dependendo dos resultados das pesquisas técnicas efetuadas, poderão mostrar-se viáveis à exploração por este setor da economia.

Além das investigações técnicas mencionadas pretende-se, a partir da parceria IGCE-UNESP/UFMT, ampliar a capacitação do corpo técnico no estudo de técnicas aplicadas ao setor de rochas ornamentais, desenvolver cooperação técnica e laboratorial entre as Instituições, e possibilitar assim, a criação de um polo tecnológico na UFMT, apto a fornecer as bases técnicas ao empresariado e órgãos governamentais estaduais.

O Estado do Mato Grosso é atualmente um dos menores produtores de rochas ornamentais do país. Entretanto, diante do imenso potencial natural de que dispõe, da sua favorável posição geográfica no ocidente sul-americano e da possibilidade da UFMT estabelecer-se como centro de capacitação tecnológica neste setor seria possível, em médio prazo, e a partir de uma parceria de incentivo deste setor pela atuação política de órgãos institucionais e governamentais obter sua definição também como um polo produtor e exportador para os estados próximos, ou mesmo para os maiores pólos consumidores do sul-sudeste do Brasil. O acesso aos portos exportadores do Oceano Atlântico, via malha ferroviária parcialmente implantada ou hidrovias, associado à possibilidade de saída para o Oceano Pacífico e todo norte do país por via fluvial, tornam o Estado um promissor pólo econômico neste setor extrativista e, como consequência, trará um novo perfil de desenvolvimento ao Estado do Mato Grosso.

### Aspectos Geológicos e Petrográficos

Os granitos e movimentados vermelhos da região sul/sudoeste do Estado do Mato Grosso, objetos deste estudo, constituem os granitos São Vicente, Sararé, Rio Branco e os ortognaisses graníticos Fortuna e Indivaí. Os cinco (5) tipos litológicos abordados são relativamente conhecidos do ponto de vista geológico e localizam-se nas imediações dos principais pólos de desenvolvimento do Estado e demonstram clara exequibilidade econômica de lavra.

Com o propósito de avaliar o potencial destas rochas no emprego como rochas ornamentais e de revestimento foram realizados levantamentos geológicos para caracterizar as variações composicionais, texturais e estruturais, avaliação preliminar da viabilidade de implantação da lavra e,

também, a caracterização química e tecnológica a partir da caracterização por meio ensaios físico-mecânicos dessas rochas.

Quanto aos aspectos geológicos regionais, as áreas pesquisadas situam-se no Cráton Amazônico e na entidade geotectônica pré-cambriana denominada de Faixa de Dobramentos Paraguai. Na Figura 1 de (Trompette, 1994), estão indicadas a localização das áreas de exposição das unidades geológicas estudadas: o Granito São Vicente (A), localizado nos domínios internos da Faixa de Dobramentos Paraguai; o Granito Sararé (B), a Suíte Intrusiva Rio Branco (C), os ortognaisses Fortuna (D) e Indivaí (E) e que se encontram expostos no SW do Cráton Amazônico.

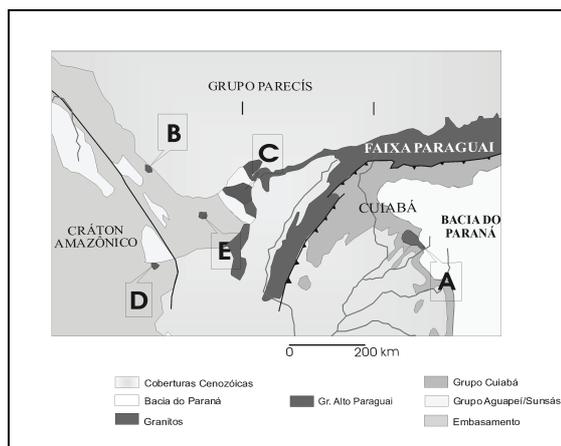


Figura 1. Mapa Geológico esquemático da porção meridional do Cráton Amazônico (mod. Trompette, 1994). Localização dos maciços: A - São Vicente. B - Sararé. C - Rio Branco. D - Fortuna. E - Indivaí.

O Granito São Vicente é um corpo batolítico de composição essencialmente granítica, alojado no estágio tardi-cinematismo do evento Brasileiro que afetou a Faixa Paraguai. Apresenta-se com uma área aflorante de 437 km<sup>2</sup> localizada a sudoeste de Cuiabá, intrusivo em rochas metassedimentares de baixo grau do Grupo Cuiabá e parcialmente recoberto pelos sedimentos da Bacia do Paraná, na sua porção leste. Observa-se em todo o maciço um grande número de diques e veios aplíticos e/ou pegmatóides das mais variadas espessuras e direções e de composição ácida.

Os litotipos predominantemente são representados por biotita-granitos e muscovita-biotita-granitos, sendo possível a individualização inicial de quatro fácies texturais: a fácies equigranular grossa a porfírica, tendo a sua maior expressão em faixa circunscrita às bordas de contato; a fácies porfírica de matriz média a equigranular média, ocupando a zona central do corpo; a fácies pegmatítica restrita à zona noroeste do maciço e a fácies equigranular fina a porfírica, distribuída na região sudeste do batólito.

São rochas isotrópicas, leucocráticas com coloração predominantemente rósea a vermelha. Localmente são observados aplitos tardios de

pequenas dimensões apresentando variações de cor para o cinza a branco. São constituídas por quartzo, ortoclásio, plagioclásio, biotita e muscovita, apresentando em menor porcentagem zircão, turmalina, apatita, fluorita, sulfetos, molibdenita, óxidos de ferro (hematita) e óxido de manganês e como minerais de alteração epidoto, clorita, calcita, sericita e muscovita.

De longa data a exploração do granito se restringe à atividade artesanal, ou seja: paralelepípedos, folhetas e pedra de mão, porém, recentemente, foi comercializado sob a denominação de “Vermelho Pantanal”.

O **Granito Sararé** situa-se na porção SW do Cráton Amazônico à cerca de 60 km de Pontes e Lacerda-MT. Sua exposição é da ordem de aproximadamente 80 km<sup>2</sup>, apresenta forma alongada segundo a direção NE-SW e seus contatos são de natureza intrusiva em rochas do Complexo Metamórfico Alto Guaporé, do Complexo Vulcano-Sedimentar Pontes e Lacerda e do Maciço Sapé e tectônico com o Maciço Anhangüera, além de estar no contato nordeste recoberto pelos sedimentos siliciclásticos do Grupo Parecis.

É constituído por três fácies: a *Fácies Biotita-Monzogranito* mais antiga, que ocorre na porção sul do maciço, composto por rochas de cor vermelha, leucocrática, isotrópica, inequigranular, granulação fina a média (0,4-3,6 mm) e com a presença de 15% de biotita.

A segunda, denominada *Fácies Muscovita-Monzogranito* predomina na porção centro-norte do corpo e é constituída por rochas de cor rósea, leucocráticas, isotrópicas, inequigranulares de granulação média a grossa a localmente porfiróide (4.0 mm-1.3 cm) apresentando muscovitas e biotita.

A terceira, *Fácies Monzogranito* é formada por intrusões localizadas e de pequeno porte onde a principal ocorrência aflora no extremo norte da área. É constituída por rochas róseas, leucocráticas, isotrópicas, inequigranulares, de granulação fina a média (0.2-5 mm) a localmente porfirítica. As fácies petrográficas são compostas basicamente por diferentes porcentagens de microclínio, quartzo, oligoclásio, biotita, muscovita, apatita, zircão, opacos e por minerais de alteração como muscovita, sericita e clorita (Ruiz *et al.*, 2001 e 2002, 2003). A amostra estudada quanto aos parâmetros físico-mecânicos corresponde a *Fácies Muscovita-Monzogranito*.

A **Suíte Intrusiva Rio Branco** ocorre em uma faixa de direção norte-sul, com aproximadamente 75 km de comprimento e 30 km de largura Barros *et al.* (1982) e Leite *et al.* (1985). Segundo Geraldés (2000) esta suíte é representada por duas associações principais, uma de composição gabróica (mais subordinada) e outra granítica. A primeira compreende rochas granulares, as vezes subvulcânicas, melanocráticas, isotrópicas, classificadas como gabros a monzogabros equigranulares a microporfiríticos. A segunda associação, mais abundante, é composta por rochas leucocráticas, de composição granítica, cor vermelha intensa, isotrópicas, com textura

subvulcânica.

As rochas da associação granítica apresentam textura porfirítica constituída por fenocristais de feldspato alcalino e plagioclásio, dispostos em uma matriz fina. O feldspato alcalino ocorre como fenocristais subédricos, pertíticos, com inclusões de quartzo e discreta corrosão em suas bordas. Os plagioclásios exibem grãos euédricos a subédricos, freqüentemente *com* alteração parcial e, por vezes, como coroa nos feldspatos alcalinos. O quartzo constitui cristais anédricos com bordas corroídas e arredondadas. A biotita representa o principal mineral máfico e altera-se para clorita. Os acessórios principais normalmente associados à biotita são apatita, zircão e epidoto.

O **Ortognaisse Fortuna** enquadra-se no conjunto litológico denominado informalmente por Matos & Ruiz (1991) como Embasamento Metamórfico da região do Destacamento Fortuna. Foram descritos dois tipos de rochas gnáissicas, um exibindo estrutura bandada, polideformado, representado por biotita-gnaisses ou hornblenda-biotita-gnaisses; o outro tipo litológico descrito refere-se a gnaisses com estrutura ocelar cujos porfiroclastos de feldspato potássicos são centimétricos, de cor rósea e matriz de granulação grossa e que apresentam feições de recristalização e deformação dúctil-rúptil.

Os gnaisses ocelares são rochas leucocráticas, de granulação muito grossa, inequigranulares, porfiríticos, de coloração rosa esverdeada, anisotrópica (miloníticas a protomiloníticas).

Ao microscópio destacam-se os porfiroclastos de feldspatos alcalinos, subidiomórficos, róseos, com até 5 cm de comprimento. A matriz exibe granulação média a grossa, invariavelmente orientada, constituída por plagioclásio subidiomórficos intensamente saussuritizados, conferindo à matriz da rocha uma incomum coloração verde clara. O quartzo é xenomórfico, intersticial e intensamente recristalizado e deformado. O máfico dominante é a biotita que, na maioria dos casos, mostra-se cloritizada e associada aos agregados microgranulares de minerais acessórios como epidoto, apatita e zircão. Observam-se ainda biotitas secundárias retrometamórficas da transformação de hornblendas e conseqüentemente a geração de epidoto. O microfissuramento é intenso em toda a rocha, todavia são os porfiroclastos de feldspatos alcalinos que se mostram mais fraturados intensificando os processos de alteração.

O **Ortognaisse Indiavaí**, corresponde a um corpo orientado segundo a direção norte-sul, exposto às margens do Rio Jauru, nas imediações da cidade homônima. Trata-se de um conjunto de rochas ortoderivadas, onde são reconhecidas três fácies petrográficas distintas, sendo que a dominante e enfocada neste estudo é composta por biotita hornblenda-gnaisses leucocráticos, de granulação grossa a porfirítica, intensamente foliado, com freqüente desenvolvimento de textura ocelar.

As demais fácies são constituídas por

granitos foliados róseos, mais restritos, mais jovens, granulação fina-média, expostos no contexto ígneo, sob a forma de diques e tipos subvulcânicos, de composição granítica, textura porfírica, com matriz fina e fenocristais zonados de plagioclásio.

O hornblenda-ortognaisse é uma rocha leucocrática, inequigranular, porfírica, de granulação média a grossa, cor rósea a vermelha, com marcada anisotropia planar definida pela estrutura milonítica a protomilonítica. Os feldspatos apresentam-se como porfiroclastos exibindo formas anédricas e subédricas e intensa saussuritização, definindo uma cor verde a rocha. A matriz é constituída por feldspato alcalino, quartzo intersticial, plagioclásio, hornblenda e biotita. Estes minerais máficos, apresentam granulação média ocorrendo isoladamente ou formando agregados irregulares e orientados, como efeito da recristalização. Os minerais acessórios são constituídos principalmente por zircão e apatita, além de epidoto como mineral de transformação de plagioclásios e anfibólios. O microfissuramento é pouco expressivo e, na maioria das vezes, restringe-se ao interior dos grãos dos fenocristais de feldspatos.

### Aspectos Geoquímicos

As análises geoquímicas das variedades litológicas estão baseadas no padrão de distribuição dos elementos maiores e foram realizadas no Laboratório de Geoquímica do DPM/IGCE/UNESP. A caracterização geoquímica apresentou o objetivo de definir o comportamento e a distribuição dos elementos maiores das rochas analisadas, possibilitando assim, a correlação com a variação mineralógica e os parâmetros físico-mecânicos das rochas (Tabela 1).

**Tabela 1. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores.**

Rochas	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
São Vicente 1	76,52	0,11	12,66	1,03	0,02	0,08	0,56	3,4	5,21	0,02
São Vicente 2	76,72	0,1	12,48	0,95	0,02	0,07	0,64	3,74	4,64	1
São Vicente 3	75,1	0,19	12,79	1,48	0,05	0,24	1	3,26	5	0,05
Sararé	74,84	0,07	14,16	0,83	0,01	0,06	0,63	4,62	4,47	0,02
Rio Branco	71,77	0,42	12,91	3,69	0,07	0,4	0,82	3,56	5,3	0,06
Fortuna	70,64	0,45	14,06	2,72	0,03	0,6	1,64	3,04	5,79	0,17
Indiavaí	72,76	0,32	13,46	2,73	0,03	0,29	1,32	3,41	5,28	0,06

O comportamento dos valores de SiO<sub>2</sub> nos litotipos estudados mostram-se elevados, no intervalo de 70 a 77%. As variedades das rochas do Granito São Vicente apresentam os valores mais elevados, enquanto as rochas ortognáissicas Fortuna os menores valores (Figura 2A). Estes valores refletem na resistência ao desgaste dos tipos estudados

Os teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> também apresentam diferenças significativas entre as diversas variedades (Figura 2B), mostrando valores mais elevados para as rochas do Granito Sararé e para os ortognais Fortuna e Indiavaí, razão direta da sua composição mineralógica. O tipo Sararé, mesmo formado por rochas hololeucocráticas, apresenta valores elevados de alumínio em razão da presença de muscovita e relativamente pouca biotita. Os tipos Fortuna e Indiavaí mostram valores igualmente altos, mas caracterizados pela presença de elevadas quantidades de biotita. Estes altos valores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se refletem na resistência e alterabilidade dos tipos estudados.

As porcentagens de  $TiO_2$  (Figura 2C) são variáveis, mas apresentam-se elevadas, para os litotipos Rio Branco, Fortuna e Indiavaí, com reflexos mineralógicos através da presença de minerais como titanita e rutilo em maior quantidade, podendo refletir no processo de alterabilidade mais freqüente destes minerais e conseqüente manchamento avermelhado e pontual das placas de revestimento.

Os teores mais elevados de  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  e  $CaO$  (Figuras 2D, 2E, 2G) estão diretamente correlacionados com os valores de  $Al_2O_3$ , nos litotipos Rio Branco, Fortuna e Indiavaí em razão das altas quantidades de biotita e hornblenda.

As quantidades elevadas de  $Fe_2O_3$  (Figura 2D) dos tipos Rio Branco, Fortuna e Indiavaí refletem a maior presença de minerais máficos presentes e conseqüentemente menores valores de resistência ao desgaste, representando fator importante no controle de alterabilidade resultante da maior facilidade de manchamento ao ataque de líquidos agressivos ou mesmo ao ataque intempérico.

Os teores mais elevados de  $MgO$  (Figura 2E) dos tipos Rio Branco, Fortuna e Indiavaí refletem a maior presença de minerais máficos presente, e dentre estes o tipo Fortuna é o que apresenta o maior valor.

Os valores mais acentuados de  $CaO$  (Figura 2G) nos tipos Fortuna e Indiavaí denotam a presença de anfíbios, biotitas e/ou clorita e epidoto secundário.

Quanto as variações de  $MnO$  (Figura 2F) essas rochas apresentam valores baixos, evidenciando valores mais elevados nos litotipos Rio Branco.

Os teores de  $Na_2O$  (Figura 2H) e de  $K_2O$  (Figura 2I) são altos e típicos de rochas evoluídas, apresentando pequenas diferenças entre os vários litotipos estudados. Este quimismo não representa um forte controle no comportamento físico-mecânico das rochas, a não ser na relação de desgaste abrasivo, o qual teríamos para as rochas com valores mais elevados de  $Na_2O$  um desgaste um pouco mais acentuado, em razão da dureza menor dos plagioclásios em relação aos feldspato potássicos, isto, analisando-se a rocha sem considerarmos as quantidades de quartzo, que correspondem ao fator preponderante deste parâmetro

### CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Para a caracterização tecnológica das rochas foram realizados os principais ensaios para a determinação das propriedades físicas e mecânicas, obedecendo aos procedimentos normativos apresentados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e ASTM (American Society for Testing and Materials). As análises foram realizadas no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciência Exatas da UNESP e encontram-se relacionadas na (Tabela 2).

**Tabela 2. Resultados dos ensaios físicos e mecânicos.**

Propriedades	Resultados dos ensaios tecnológicos de granitos e movimentados vermelhos Mato-grossense						
	Unidades Estudadas ou Tipo de Rocha						
	São Vicente 1	São Vicente 2	São Vicente 3	Sararé	Rio Branco	Fortuna	Indiavaí
Massa específica seca ( $Kg/cm^3$ )	2570	2590	2600	2590	2620	2660	2640
Porosidade aparente (%)	1.84	1.09	0.67	1.25	0.69	0.84	0.68
Absorção d'água (%)	0.72	0.42	0.29	0.48	0.30	0.32	0.26
Velocidade propagação de ondas (m/s)	4312.14	4623.60	5892.06	5020.41	4495.18	4692.50	4232.57
Desgaste Amsler (mm)	0.77	0.78	0.60	0.71	0.68	0.64	0.89
Flexão (módulo de ruptura) (MPa)	14.56	12.18	15.29	12.57	8.07	6.71	9.97
Compressão uniaxial simples (MPa)	173.94	139.03	158.46	154.79	130.57	143.31	142.90

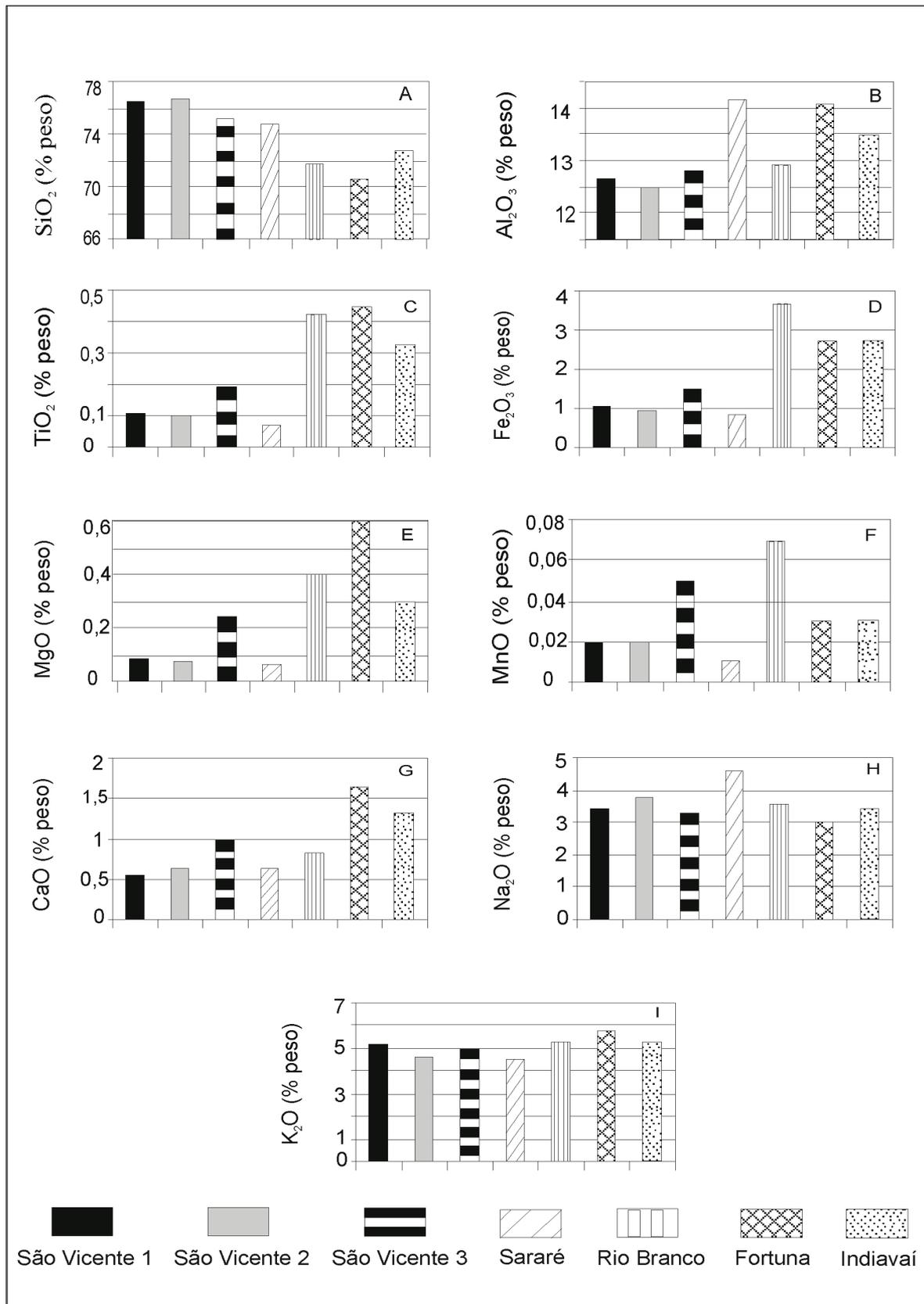


Figura 2. Geoquímica de elementos maiores.

Como referência para comparação dos dados obtidos em laboratório foram utilizados os valores limítrofes para rochas graníticas estabelecidos pela norma C-615 da ASTM (1992) e os sugeridos por Frazão e Farjallat (1995), além de parâmetros de ensaios tecnológicos de granitos ornamentais vermelhos já consolidados no mercado

brasileiro, como o Vermelho Bragança e o Vermelho Capão Bonito, rochas tradicionais do Estado de São Paulo (IPT, 2000). Estes parâmetros serão utilizados como balizadores em termos comparativos e de avaliação qualitativa dos litotipos ornamentais (Tabela 3).

**Tabela 3. Valores especificados pela norma ASTM (1995), por Frazão & Farjallat (1995) e valores dos ensaios do Granito Vermelho Bragança e Capão Bonito.**

Propriedades	Valores fixados pela ASTM (1995)	Valores sugeridos por Frazão & Farjallat (1995)	Dados do Catálogo de Rochas Ornamentais (IPT-SP)	
			Tipo de Rocha	
			Vermelho Bragança	Vermelho Capão Bonito
Massa específica seca (Kg/cm <sup>3</sup> )	≥2560	≥2550	2631	2638
Porosidade aparente (%)	n.e.	≤1,0	0.75	0.49
Absorção d'água (%)	≤0,4	≤0,4	0.28	0.19
Velocidade propagação de ondas (m/s)	n.e.	≥4000	5080	5590
Dilatação térmica linear (10 <sup>-3</sup> /mm °C)	n.e.	≤12,0	6.4	7.3
Desgaste Amsler (mm)	n.e.	≤1,0	0.51	0.60
Flexão (módulo de ruptura) (MPa)	≥10,34	≥10,0	19.39	12.51
Compressão uniaxial simples (MPa)	≥131	≥100	185.3	149.8

Os resultados dos ensaios tecnológicos nas variedades estudadas situam-se dentro dos limites padrões estabelecidos pelas normas vigentes e obedecem satisfatoriamente os valores limites fixados pela norma C615 para granitos utilizados em revestimento, quer para ambientes internos, quer para externos. Comparativamente aos padrões de "granitos vermelhos" utilizados para referência neste trabalho, observa-se também que os resultados dos ensaios tecnológicos são bastante próximos e similares.

Os valores obtidos para *massa específica aparente*, *porosidade* e *absorção d'água aparente* foram executados segundo a norma NBR 12766 (ABNT, 1992b) e são comentados estão apresentados a seguir. Os valores de *massa específica aparente seca* (Figura 3A) e *saturada* (Figura 3B) são próximos, possibilitando a definição de dois blocos distintos de amostras. As unidades mais silicosas e composicionalmente homogêneas, São Vicente e Sararé, apresentam valores menores do que as amostras das unidades que apresentam minerais mais máficos e densos Rio Branco, Indiauí e Fortuna.

A *absorção d'água* e a *porosidade aparente* dos tipos analisados apresentam valores bastante variáveis, refletindo a forma, contatos dos minerais e a granulação, além da feição estrutural de parte das amostras.

Quanto à absorção de água (Figura 3C) as amostras do São Vicente 1 e 2 e o Sararé, ultrapassam o valor desejado. Estes valores geralmente elevados refletem o fraco entrelaçamento mineral e a granulação grossa, além da presença de argilo-minerais presentes na amostra.

Quanto à porosidade aparente (Figura 3D) os tipos São Vicente 1 e 2 e Sararé são os que apresentaram valores mais elevados, ultrapassando os limites normatizados, refletidos pela granulação mais grossa destes litotipos.

Assim, estes altos índices de porosidade e principalmente de absorção d'água, aliados à composição mineralógica nas rochas São Vicente 1 e 2 e Sararé, importam em cuidados especiais, principalmente quanto ao ataque de líquidos agressivos que devido à alta absorção potencializa processos de alteração e manchamento, com redução estética da placa.

Os valores de resistência à *compressão uniaxial simples* (Figura 3E), obtidos segundo a norma NBR 12767 (ABNT, 1992c), não apresentam valores muitos elevados, mas se encontram dentro dos parâmetros desejados. Esta resposta reflete uma menor coesão exibida pelos minerais nos tipos São Vicente 1 e 2 e Sararé e valores de microfissuramentos mais elevados presentes nos materiais rochosos Rio Branco, Fortuna e Indiavaí .

Os valores de *resistência à flexão 3 pontos* (Figura 3F) foram efetuados segundo a norma NBR 12763 (ABNT, 1992d). Nestes ensaios os resultados não são muitos elevados, mas se encontram acima do valor desejado para as amostras do São Vicente e Sararé, sendo que os valores são levemente menores para as rochas de granulação mais grossa. Para os demais litotipos os valores estão abaixo dos limites estabelecidos, principalmente os tipos Rio Branco devido aos valores de microfissuramento elevados e os tipos Fortuna e Indiavaí, relacionados com a estrutura foliada.

Os valores dos ensaios de *desgaste abrasivo Amsler* (Figura 3G), realizados segundo a norma NBR 12042 (ABNT, 1992e) apresentam bons resultados do ponto de vista tecnológico, com valores de desgastes próximos ao máximo sugerido e apresentando para todas as amostras parâmetros semelhantes, em razão da composição rica em quartzo. A exceção aparece na amostra do tipo Indiavaí que acentua um pouco mais o desgaste em razão da presença de foliação e da presença mais acentuada de máficos como biotita e hornblenda. O tipo São Vicente 3 apresenta os menores valores de desgaste devido à sua granulação mais fina.

Os valores da velocidade de *propagação das ondas ultra-sônicas* (Figura 3H) obtidos com base na norma D2845 (ASTM, 1990) apresentam resultados bem acima do valor limítrofe mínimo normatizado. Os menores valores de propagação estão diretamente relacionados, ou com a granulação da rocha ou com o grau de anisotropia do material rochoso, o que é visto na redução dos valores para o tipo Sararé de granulação mais grossa e pela redução dos valores para os tipos Fortuna e Indiavaí, os mais anisotrópicos.

A Figura 4 refere-se as correlações entre os diversos ensaios tecnológicos, possibilitando interpretações comparativas e identificação de correspondências ou não entre os diversos ensaios. A Figura 4A evidencia a correlação existente entre porosidade aparente *versus* absorção d'água demonstrando a relação direta entre estas propriedades do material rochoso, portanto, quanto mais poroso for o material maior será a sua capacidade de absorção d'água, características que contribuem para os processos de alterabilidade.

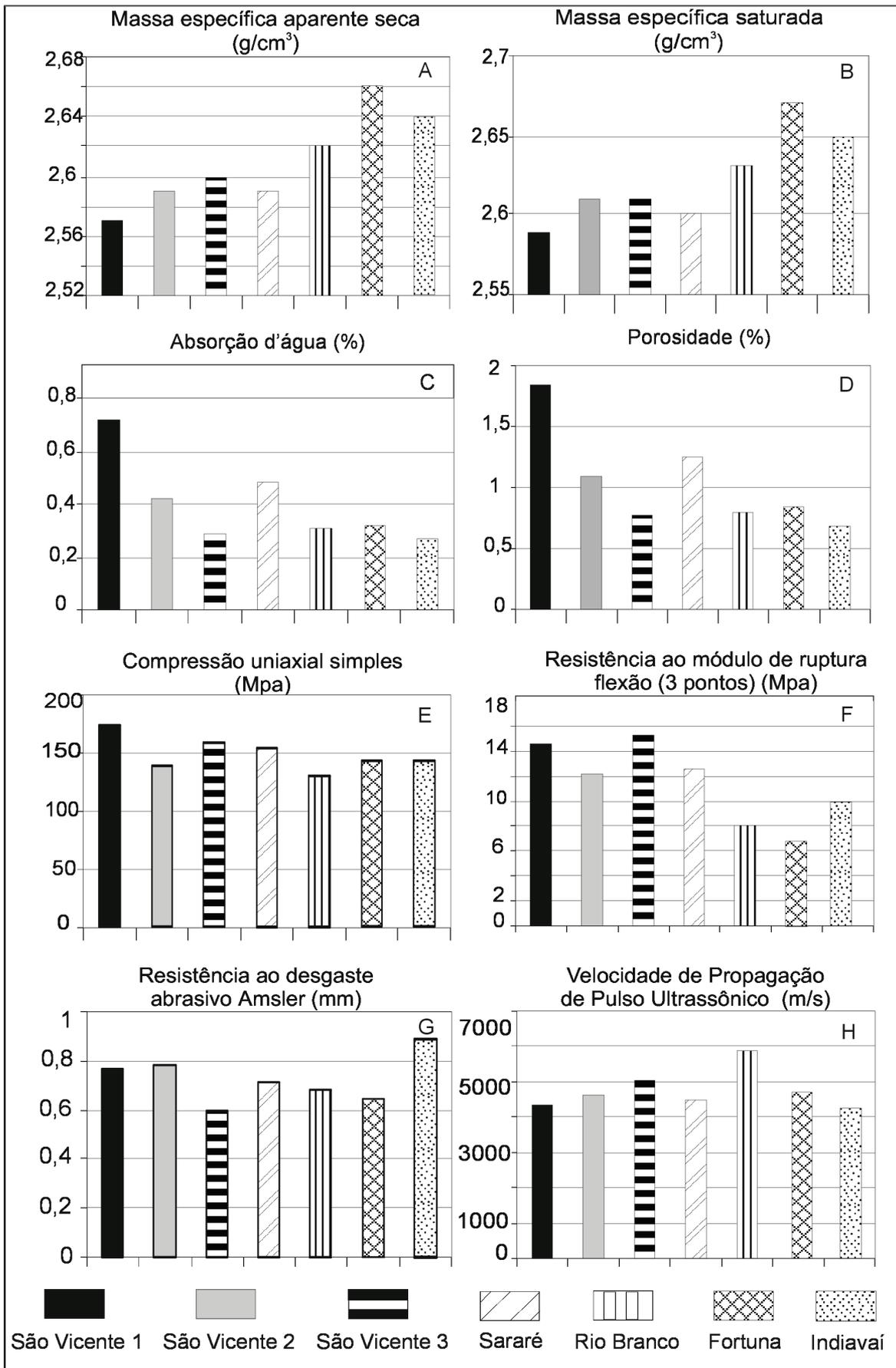


Figura 3. Ensaios físico-mecânicos.

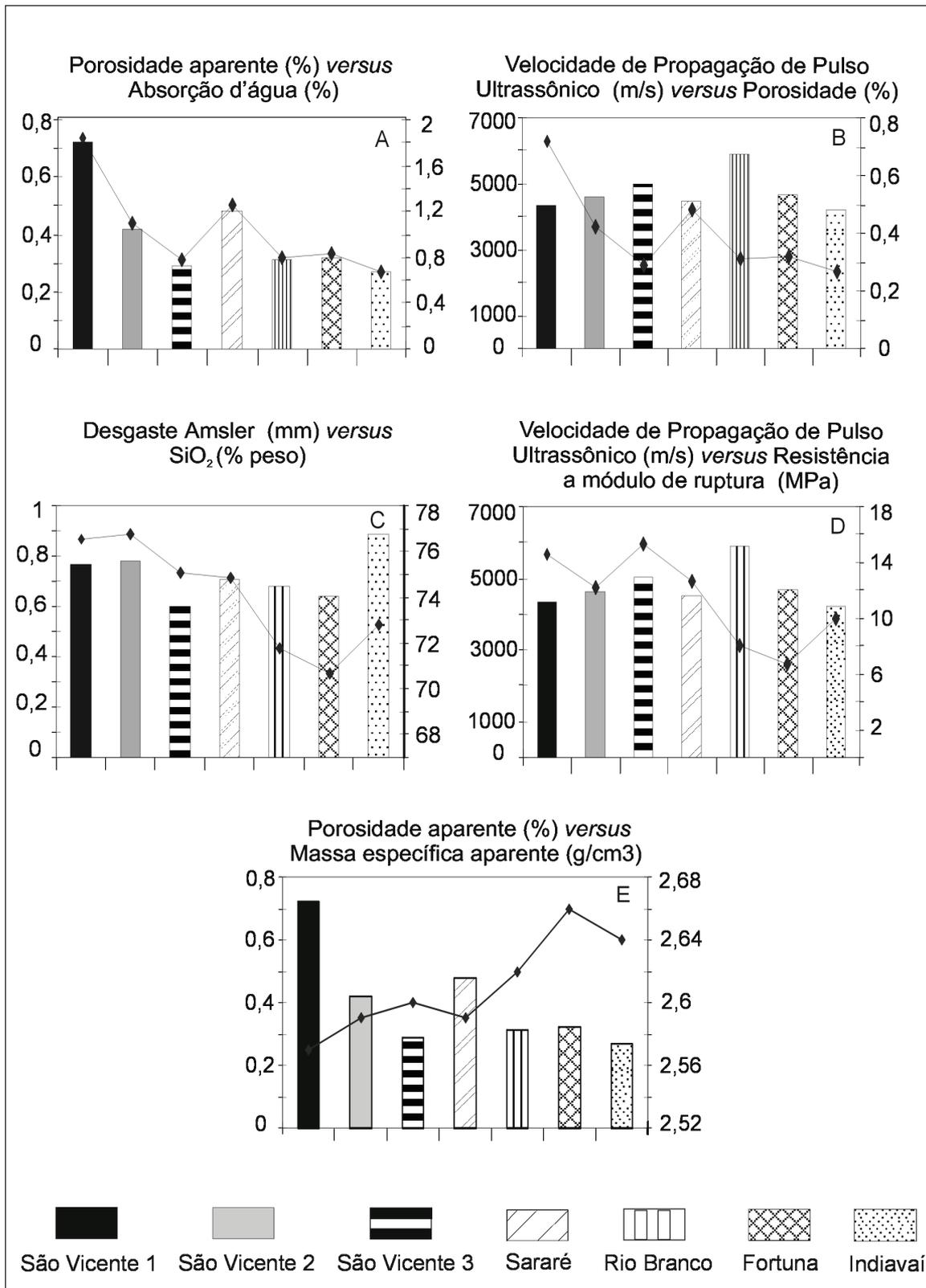


Figura 4. Correlação dos ensaios físico-mecânicos.

A análise da Figura 4B porosidade aparente *versus* pulso ultrassônico evidencia que quanto mais poroso for o material analisado menor será a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas através desse corpo.

Os valores de desgaste abrasivo Amsler *versus* índice de quartzo (Figura 4C) mostram uma correlação direta, com valores maiores de desgaste para as rochas com teores mais baixos de quartzo.

Os valores referentes à resistência à flexão três pontos *versus* velocidade do pulso ultra-sônico decrescem em função da granulometria, da mais fina para a grossa e da anisotropia, das mais anisotrópicas para as menos (Figura 4D). A correlação entre essas duas propriedades determina que quanto mais resistente à flexão tanto maior serão os valores de velocidade de propagação de ondas. Isto é verificado nos tipos São Vicente e Sararé, além dos valores proporcionalmente decrescentes nas rochas mais anisotrópicas Fortuna e Indiavaí. A exceção desta correlação encontra-se realçada no tipo isotrópico Rio Branco, com uma correlação negativa, não em razão do fator somente da granulometria, mas sim, pela relação do maior volume de minerais félicos presentes.

A correlação inversa demonstrada quanto a porosidade aparente *versus* massa específica (Figura 4E) demonstra, que as rochas mais porosas apresentam automaticamente menor massa específica, se não considerarmos as diferenças mineralógicas com densidades distintas.

## CONCLUSÕES

As amostras estudadas nesta pesquisa incluem granitos e movimentados (gnaiesses) vermelhos oriundos de regiões distintas do sul/sudoeste do Estado do Mato Grosso as quais apresentam aspectos composicionais e texturais favoráveis a sua utilização como rochas ornamentais.

As características químicas dos tipos rochosos estudados estão dentro dos padrões normais atuando no controle das propriedades físico-mecânicas das rochas em razão da mineralogia presente.

Os valores dos parâmetros mineralógicos, petrográficos e físico-mecânicos encontram-se próximos e às vezes superiores aos valores médios dos melhores “Vermelhos Brasileiros” e obedecem satisfatoriamente os padrões limítrofes fixados pela norma C615 (ASTM, 1992) e àqueles sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) para granitos utilizados em revestimento, quer para ambientes internos quer para externos.

## Agradecimentos

Ao apoio da FAPEMAT (proc. 3.2.15.243/05) e ao CNPq (proc. 550.454/1-2).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992b. Rochas para Revestimento. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 2p. (norma NBR 12766).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992c. Rochas para revestimento. Determinação da resistência à compressão uniaxial. 2p. (norma NBR 12767).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992d. Rochas para Revestimento. Determinação da resistência à flexão. 3p. (norma NBR 12763).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992e. Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. 3p. (norma NBR 12042).
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1990. D 2845. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock. Philadelphia, USA.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1990. Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock. 361-365p. (standart ASTM D 2845).
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1992. Standard especification for granite dimension stone. 2p. (standart ASTM C 615).
- BARROS, A.M.; SILVA, R.H. da; CARDOSO, O.R.F.A.; FREIRE, F.A.; SOUZA Jr.; J.J. da; RIVETTI, M.; LUZ, D.S. da; PALMEIRA, R.C.; TASSINARI, C.C.G. 1982. Geologia. In: Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil, Folha SD.21. Cuiabá. Rio de Janeiro, 544 p. Levantamentos de Recursos Naturais, 26. p. 25.
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. 1998. Catálogo de rochas ornamentais do Estado do Mato Grosso. Coordenado por A. Rajab. Cuiabá: DNPM., 78p. (Publicação DNPM: CDD 553.098 1).
- FRAZÃO, E.B. & FARJALLAT, J.E.S. 1995. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: Atas 1º Congr. Internacional da Pedra Natura. Lisboa, Portugal. p. 47-58.
- GERALDES, M.C. 2000. Geocronologia e geoquímica do plutonismo mesoproterozóico do SW do Estado de Mato Grosso (SW do Cráton Amazônico). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 193 p.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 2000. Rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo. Coordenado por M.H.B. de O. Frascá. São Paulo: SCTDE. CD-ROOM. (Publicação IPT 2651). Janeiro, v. 5, p. 2193-2204.
- LEITE, J.A.D.; SAES, G.S.; WESKA, R.K. A Suíte Intrusiva Rio Branco e o Grupo Aguapeí na serra de Rio Branco, MT. In: Simpósio de Geologia do Centro Oeste, 2, 1985, Goiânia. *Anais...* Goiânia,

- 1985, p. 247-255.
- MATOS, J.B. & RUIZ, A.S. Contribuição à Geologia da Folha Santa Rita. Mato Grosso. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE, 3, 1991, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá, 1991. p. 122-130.
- RUIZ, A.S.; FERNANDES, C.J.; PINHO, F.E.C. Compartimentação da deformação na Faixa Móvel Aguapeí e as mineralizações auríferas associadas. In: Bettencourt, J.S., Teixeira, W., Pacca, I.I.G., Geraldés, M.C. & Sparrenberger, I. (eds.). Workshop Geology of the SW Amazonian Craton: State-of-the-art. São Paulo. *Extended Abstracts...* v.1, p.120-4, 2001.
- RUIZ, L.B.A.; RUIZ, A.A.; SOUZA, M.Z.A.; GODOY, A.M. Caracterização Petrográfica do Granito Sararé e de seu Embasamento na Porção SW do Cráton Amazônico - MT. In: WORKSHOP - GEOLOGY OF THE SW AMAZONIAN CRÁTON, 2001, São Paulo. *Atas...*Geology of the SW Amazonian Cráton: State of the Art, 2001. v.1, p.159-62.
- RUIZ, L.M.B.A. *Caracterização petrológica, geoquímica e geocronológica (U-Pb e Ar-Ar) do Maciço Sararé- Nova Lacerda-MT*. Exame de Qualificação. IGCE-UNESP, 2002.
- RUIZ, L.M.B.A.; GODOY, A.M.; SOUZA, M.Z.A.; RUIZ, A.S. Pluton Sararé: Uma Análise Preliminar das Fácies Petrográficas-SW do Cráton Amazônico - MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, 2002, João Pessoa - PB. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Geologia, 2002, v. 1, p.470.
- TROMPETTE, R. Geology of Western Gondwana. A.A. Balkema, 1994, Rotterdam, 340 p.