

**INVESTIGAÇÃO TECNOLÓGICA DE ARENITOS SILICIFICADOS
DA FORMAÇÃO BOTUCATU (NE DO PARANÁ)
PARA USO COMO ROCHA DE REVESTIMENTO**

Tarcísio José MONTANHEIRO ¹, Antonio Carlos ARTUR ², Filipe MONTANHEIRO ³,
Francisco de Assis NEGRÌ ¹, Ana Lúcia GESICKI ⁴, Paulo César BOGGIANI ⁵

(1) Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Avenida Miguel Stéfano 3900 – Água Funda. CEP 04301-903. São Paulo, SP. Endereços eletrônicos: tjmonta@igeologico.sp.gov.br; negri@igeologico.sp.gov.br

(2) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. UNESP, Campus do Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. Caixa Postal 178. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: acartur@rc.unesp.br

(3) Graduação em Geologia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. UNESP, Campus do Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. Caixa Postal 178. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: flpmontanheiro@gmail.com

(4) Departamento Nacional da Produção Mineral, 2º Distrito, São Paulo. Rua Loefgreen, 2225 – Vila Clementino. CEP 04040-033 São Paulo, SP. Endereço eletrônico: ana.gesicki@dpmn.gov.br

(5) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562 – Cidade Universitária. CEP 05508-080. São Paulo, SP. Endereço eletrônico: boggiani@usp.br

Introdução
Formação Botucatu: Contexto Geológico e Tectônico
Origem da Silicificação das Arenitos
Material e Métodos
Resultados
Petrografia
Propriedades Físico-Mecânicas
- Índices Físicos
- Resistência a Compressão Uniaxial
- Resistência à Flexão pelo Método 3 Pontos
- Desgaste Abrasivo Amstel
- Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais
- Coeficiente de Dilatação Térmica Linear
Considerações Finais
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – Há muitos anos o arenito silicificado da Formação Botucatu tem sido alvo de interesse de pesquisadores e mineradores, seja para o entendimento da gênese da silicificação, seja para o seu aproveitamento como rocha de revestimento na construção civil. Se aos primeiros existem vários artigos disponíveis na literatura geológica para os outros apenas dados técnicos de comercialização. Na porção norte do Paraná e sudoeste do Estado de São Paulo estas rochas são extraídas e comercializadas como pedras para revestimento. Pouco se sabe sobre suas características intrínsecas e tecnológicas. Assim, para conhecer as características petrográficas e o comportamento físico-mecânico destes materiais, segundo as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para rochas ornamentais, duas amostras volumétricas representativas dos arenitos parcialmente silicificados de uma "minha" da região de Ribeirão Claro/PR foram selecionadas para esse estudo. Os resultados de todos os ensaios são apresentados e, numa análise geral, eles indicam que o desempenho tecnológico exibido pelos arenitos estudados não é apropriado para o uso dessas rochas como materiais de revestimento, principalmente horizontais, tais como pisos, soleiras e degraus de escadas.

Palavras-chave: Formação Botucatu, arenito silicificado, rocha para revestimento, caracterização tecnológica.

ABSTRACT – *T.J. Montanheiro, A.C. Artur, F. de A. Negri, A.L. Gesicki, P.C. Boggiani - Technological investigation of silicified sandstone of Botucatu Formation (Parana State's northeast portion) for use as covering stone.* For many years the silicified sandstone associated with the Botucatu Formation has been the target of interest to researchers and miners, either for understanding the genesis of silicification or for your use as dimension stone and covering on the building industry. If in the first there are several articles available in the geological literature the second there are only technical data marketing available. In the northeast portion of the Paraná State and southwest of the São Paulo State these rocks are mined and traded as covering stones. Not much is known about their intrinsic characteristics and technological properties. To improve the knowledge of the technological behavior of these materials, samples from a quarry from Ribeirão Claro region were petrographically and physically characterized according to the standards established by the Brazilian Association of Technical Standards to dimension stones. Therefore, two bulk samples of silicified sandstone of the Ribeirão Claro/PR region were studied and characterized following the norms established by Brazilian Association of Technical Standards for dimension stones. The results obtained in the petrographical and technological studies are presented and indicated that, in general, the

technological performance presented by sandstone studied induces limitations of use as covering materials, mainly horizontally as pavements, door stone and step ladder.

Keywords: Botucatu Formation, silicified sandstone, dimension stones, covering stones, technological analyses.

INTRODUÇÃO

A rocha ornamental, numa definição mais ampla, é uma pedra utilizada decorativamente ou como material para construção civil, principalmente como revestimento, pisos e artefatos. Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, uma rocha ornamental é um material rochoso natural que, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou aperfeiçoamento (apiculado, flamejado, polido e recortado), é utilizado para exercer uma função estética. Segundo essa mesma Associação atribui-se também o termo rocha de revestimento a uma rocha natural que submetida a processos diversos e graus variados de desdoblamento e beneficiamento é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil. Nesse sentido, as rochas para revestimento podem ser consideradas produtos do desmonte de materiais rochosos em blocos e de seu subsequente desdoblamento em chapas, posteriormente polidas e cortadas em placas (Frascà, 2002).

As rochas ornamentais e para revestimento estão agrupadas em duas categorias comerciais, ou seja, "granitos" e "mármore". Na primeira classificam-se as rochas silicáticas (igneas ácidas e intermediárias plutônicas e/ou vulcânicas, charnockitos, gnaisses e migmatitos). Na categoria de "mármore" englobam-se as rochas carbonáticas (calcários, dolomitos e mármore). Ainda, juntam-se à primeira categoria as rochas metamórficas e sedimentares representadas comercialmente por quartzitos, arenitos e conglomerados.

A classificação de rochas como materiais para revestimentos e fins ornamentais depende de suas qualidades, sejam elas em relação ao efeito estético, durabilidade, resistência mecânica ou mesmo em relação à flexibilidade de uso.

O aparecimento de manchas, perda de brilho, desagregações, eflorescências, alterações, quebras, mudanças de cor, desgastes excessivos e outros defeitos podem estar associados à falta de uma perfeita caracterização tecnológica e/ou uso inadequado das rochas.

FORMAÇÃO BOTUCATU: CONTEXTO GEOLÓGICO E TECTÔNICO

Na região nordeste do Estado do Paraná e sudoeste do Estado de São Paulo foram cartografadas rochas argilosas, siltosas e arenosas das formações Teresina, Rio do Rastro, Pirambóia, Botucatu e rochas ígneas vulcânicas na forma de diques, soleiras e

para sanar esses problemas é de grande importância o conhecimento das características intrínsecas de cada tipo de rocha, tais como composição mineralógica e ensaios tecnológicos específicos, seja para a indicação do melhor uso ou mesmo para valorizar sua beleza estética em função das próprias características funcionais, buscando harmonizar economia e eventuais desconfortos futuros.

Os arenitos silicificados da Formação Botucatu têm sido estudados para o entendimento da gênese da silicificação e também lavrados como rocha de revestimento, ao longo de grande parte de exposição dessa unidade, desde o Estado do Rio Grande do Sul até São Paulo.

A extração do material é feita de forma rudimentar e sem planejamento, fato que resulta em inúmeras cavas com forte impacto negativo na paisagem. As técnicas de extração são procedimentos simples realizados com eventual uso de explosivo e ferramentas do tipo alavancas, marretas e pontaletes.

Na região de Ribeirão Claro, situado no nordeste do Estado do Paraná e na divisa com o Estado de São Paulo (Figura 1), ocorrem entre dez e vinte pequenas lavras de arenitos silicificados que são comercializados como paralelepípedos, meio-fio, lajotas, pilares para cerca e pedras de revestimento. Se, por um lado, essas rochas possuem mercado consumidor e fazem parte da economia da construção civil e vida social regional, por outro lado, inexistem informações sobre as propriedades intrínsecas e tecnológicas dessas rochas, seja no catálogo brasileiro de rochas ornamentais ou em literaturas correlatas.

Dante do fato acima exposto, os estudos executados neste trabalho foram direcionados para investigação das propriedades físico-mecânicas desses arenitos silicificados, mediante ensaios tecnológicos de amostras volumétricas, com o objetivo de aferir as qualidades desses arenitos como rocha ornamental e para revestimento.

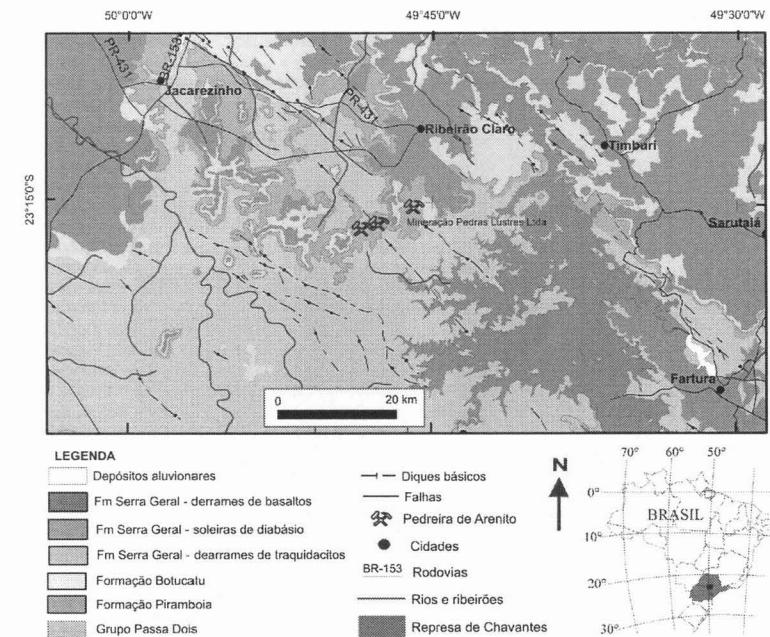


FIGURA 1. Mapa geológico simplificado da distribuição dos arenitos da Formação Botucatu e das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, na porção SW do Estado de São Paulo e norte do Paraná (Negri et al., 2006).

e marca, juntamente com os basaltos da Formação Serra Geral, os limites das *cuestas* de borda da Bacia Sedimentar do Paraná e também o relevo de elevados platôs e mesetas da região.

A Formação Botucatu é constituída essencialmente por arenitos com estratificação cruzada, planar e acanalada, de médio a grande porte, depositados em ambiente desértico, onde as estratificações cruzadas representam dunas cônicas barcanóides, além de raros depósitos de arenitos com estratificação plano-paralela, associados à interdunas (Assine et al., 2004). As camadas frontais dos estratos cruzados apresentam ângulos de mergulho altos, sendo frequentemente tangenciais na base, o que reflete diminuição do tamanho dos grãos do topo para a base dos *sets*. Ainda, segundo os mesmos autores, as camadas apresentam, comumente, alternância de lâminas de arenito fino e

de arenito médio, o que resulta em característica bimodalidade textural. Além desta característica, os arenitos da Formação Botucatu apresentam outras feições texturais típicas de depósitos eólicos, como bom arredondamento e seleção, ausência de matriz argilosa deposicional, estratos com graduação inversa e laminação *pin stripe*. Esta Formação está assentada sobre diversas unidades estratigráficas precedentes, inclusive sobre o embasamento, e, na região, é cortada por soleiras e diques de rocha básica-intermediária. O contato superior da Formação Botucatu com a Formação Serra Geral, dominante vulcânica e que marca expressivo episódio magmático Eocretáceo, é interdigitado, caracterizado pela presença de arenitos intertrapianos correlacionáveis à Formação Botucatu que constituem importante marco estratigráfico entre os derrames.

ORIGEM DA SILICIFICAÇÃO DOS ARENITOS

O processo de silicificação observado em grande parte dos arenitos da Formação Botucatu forneceu a essa rocha características que favorecem seu manuseio e permitem que sejam utilizadas em diferentes produtos como placas de rocha para revestimentos, pisos, calçamentos, muros, palanques, mesas, molduras de portas e janelas, batentes e muitos outros.

As interpretações genéticas de Washburne (1930) e Leinz (1938) sobre a silicificação do Arenito Botucatu têm em comum o fato de estar relacionada com o Vulcanismo Serra Geral. Se, por um lado, o primeiro ressalta mais a ação direta das lavas e intrusões, coube a Leinz desenvolver uma hipótese de silica juvenil agindo por metassomatismo, hipóteses essas também aceitas por Wernick (1966).

Björnberg et al. (1964) faz um estudo petrográfico de amostras retiradas de colunas hexagonais de 10 a 20 cm de largura e um a dois metros de comprimento de arenito silicificado da Formação Botucatu, e mostra que a silica encontrada no cimento é exclusivamente amorfa. Esses autores sugerem a possibilidade de, por ação de fenômenos diagenéticos, ter ocorrido a cristalização de silica amorfa, originalmente coloidal, com considerável perda de água e, em decorrência, diminuição do volume, o que teria originado as disjunções colunares nos arenitos estudados. No entanto, eles também não descartam a hipótese das colunas terem se originado por ação de soluções hidrotermais e por metamorfismo de contato.

Wernick (1966) reconhece as hipóteses anteriores para casos específicos, mas associa as características da silicificação do arenito Botucatu com as variações do nível freático no decorrer do tempo geológico. A sua argumentação contraria a hipótese de uma gênese paramagnética, fundamentando-se na ocorrência de um grande volume de arenitos silicificados; na sua homogeneidade e distribuição no sentido lateral e vertical; na ocorrência de arenitos lixiviados e posterior-

mente silicificados; bem como na continuidade do fenômeno e sua situação em relação à topografia atual. Paraguassu (1972) considera que a cimentação do arenito é efetivada por precipitação da silica em solução na água subterrânea e que ela ocorre, mais comumente, em camadas de arenitos com pouca espessura, intercalados entre corpos magmáticos na forma de derrames ou *sills* (Soares et al., 1973).

Gesicki (2007) ao estudar os processos e produtos diagenéticos das formações Pirambóia e Botucatu, mostra que os principais componentes diagenéticos da Formação Botucatu são cutículas argilo-ferruginosas grão-envolventes, esmectita neoformada incipiente, cimentos de quartzo e feldspato e, localmente, cimento de opala, calcedônia e calcita. A silicificação dos arenitos da Formação Botucatu é aparentemente pós-compactacional tendo em vista as relações de contato intergranulares do arcabouço, com predomínio do tipo planar e presença rara do tipo côncavo-convexo. A localização marginal das ocorrências em relação à zona aflorante das unidades favorece a hipótese de cimentação telodíagenética superficial, como aventado por França et al. (2003).

Para toda a região-alvo desse trabalho – Estados de São Paulo e Paraná –, estudos realizados (MINEROPAR, 2003) sugerem três teorias para a origem deste processo de silicificação nos arenitos da Formação Botucatu: a) gênese paramagnética, sendo a fonte das soluções silicosas o vulcanismo básico mesozoico da Bacia do Paraná; b) origem fisico-química com a possibilidade de o preenchimento silicoso provir da dissolução de grãos de quartzo por soluções residuais dos derrames basálticos; c) influência estrutural do Alinhamento Fartura na região de Ribeirão Claro, o que teria propiciado a sustentação de formas de relevo, de grande valor paisagístico, que se destacam como testemunhos, causando a silicificação e o endurecimento dos arenitos.

MATERIAIS E MÉTODOS

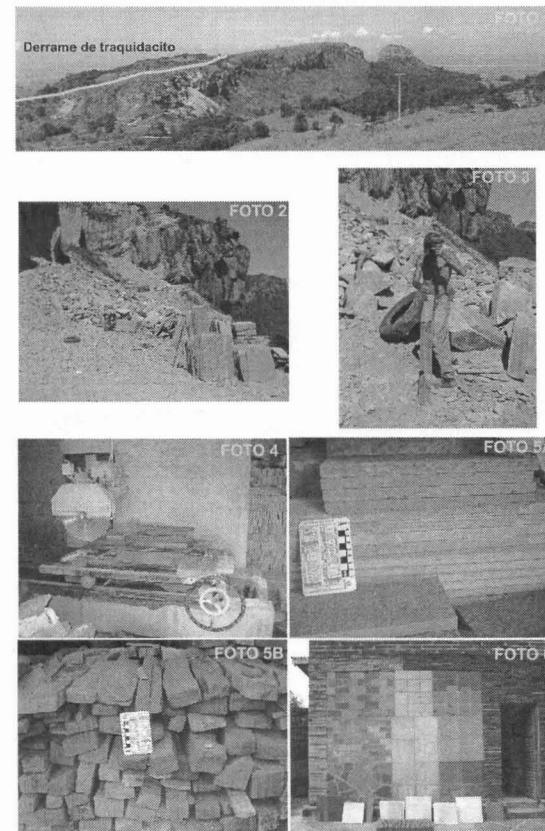
Em trabalhos desenvolvidos durante mapeamento geológico para subsidiar a prospecção e caracterização tecnológica de materiais pozolânicos associados as rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral (Montanheiro, 2003), ao longo do vale do Rio Paranapanema (trecho São Paulo e Paraná), foram identificadas dezenas de pequenas lavras de arenitos silicificados. Considerando que a maioria dessas extrações é rudimentar e esporádica, optou-se por coletar na “Mina” Rufina as amostras mais representativas do arenito silicificado da região, tendo em vista que

nela, em princípio, há um grande volume de rocha potencialmente de uso econômico e também uma sequência relativamente mais organizada das operações mineiras, ou seja, lavra, transporte, beneficiamento e comercialização.

O local de lavra é formado por arenito compacto, maciço e estratificado da Formação Botucatu o qual, localmente, está sobreposto por traquidacito (Janasi et al., 2007; Freitas, 2009) do Vulcanismo Serra Geral. Ela está distante 20 km da sede do município de Ribeirão Claro/PR no rumo à cidade de Carlópolis/PR

(Prancha 1, Foto 1) e ocupa uma área de aproximadamente 200 m x 100 m ao longo da cota 700 m de altitude, nas fraldas da Serra da Caatinga. A extração

no local de lavra é do tipo céu aberto e o desenvolvimento da lavra está sendo feito pela Mineração Pedras Lustres Ltda. por método manual (Prancha 1,



PRANCHA 1. FOTO 1. Vista geral da “mina” da Mineração Pedras Lustres-ME, região da Rufina Serra da Caatinga. A parte superior, ao fundo, é capenda por traquidacitos.

FOTO 2. Lavra a céu aberto desenvolvida pela Mineração Pedras Lustres-ME pelo método manual.

FOTO 3. Deslocamento dos blocos de arenito silicificado aproveitando-se da estratificação da rocha.

FOTO 4. Sala de preparação das placas na “marmoraria” da Mineração Pedras Lustres-ME

localizada na cidade de Ribeirão Claro, PR;

FOTOS 5A e 5B. Empilhamento das placas e blocos de arenito para comercialização (mourões, paralelepípedos, lajotas, placas, molduras para portas e janelas, rodapés, etc);

FOTO 6. Fachada de casa com acabamentos de arenito “silicificado”.

Fotos 2 e 3). As placas são transportadas até a cidade de Ribeirão Claro/PR para recortes, desbaste e comercialização (Prancha 1, Fotos 4, 5 e 6).

Duas amostras volumétricas com dimensões 40 x 30 x 20 cm cada, identificadas como arenito vermelho e arenito amarelo, foram coletadas nas frentes de lavra para os estudos de caracterização físico-mecânica e petrográfica. Esses testes foram desenvolvidos no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP de Rio Claro e seguiram os procedimentos prescritos pelas normas da NBR/

ABNT (Normas Brasileiras/Associação Brasileira de Normas Técnicas). Os resultados físico-mecânicos dos diferentes ensaios foram confrontados entre os dois tipos de arenitos e comparados com os valores limitrofes especificados na norma ASTM C 616 (ASTM, 2005) para as rochas quartzosas. Também, por similaridade, os índices obtidos foram comparados com aqueles do Catálogo Brasileiro de Rochas Ornamentais (Abirochas, 2009) para as rochas de mesma natureza, com o intuito de se oferecer uma avaliação da qualificação tecnológica dos dois arenitos, seja como rocha ornamental seja como revestimento em obras civis.

RESULTADOS

PETROGRAFIA

As características petrográficas dos blocos estudados são muito semelhantes entre si e compõem a Tabela 1. As seções delgadas das duas amostras mostram que os blocos variam do vermelho ao amarelo, tendo em vista o maior ou menor teor de óxidos de ferro; são estratificados, com laminação plano-paralela realçada por leitos descontínuos (>2,0 mm), relativamente enriquecidos em feldspatos, biotita, óxidos/hidróxidos de ferro. Os arenitos analisados apresentam granulometria bimodal nas frações areia fina e areia média, amplitude estreita nas duas variações e seleção, em geral, boa por moda. Os grãos são dominantemente arredondados e, na fração fina, subarredondados a arredondados. As rochas são essencialmente quartzosas, ou seja, caracterizadas como quartzo-arenito, segundo a classificação de Dott (1964), as quais são comparáveis com os estudos das amostras de sub-superfície realizados por Gesicki (2007).

Apresentam arcabouço de grãos de granulação muito fina (entre 0,05 a 0,15 mm) até média, caracterizados por sutil orientação de grãos de quartzo (93% e 95%, respectivamente para os arenitos vermelho e amarelo) associados a feldspatos (5 ~ 7% e <5%, respectivamente) inequidimensionais, com predominância dos arredondados; micas, óxidos/hidróxidos de ferro, turmalina, zircão, brookita e opacos somam como acessórios, conforme ilustrado nas Fotos 7 e 8. A composição mineralógica, granulação e imbricamento dos grãos sugerem uma sedimentação madura, boa seleção granulométrica e baixo grau de compactação física e química. O microfissuramento e os planos intercomunicantes são raros.

Arenitos finos a muito finos, localmente médios, pobres em feldspato (<7%), são caracterizados por bimodalidade textural (areia fina e muito fina ou areia fina a média), segregação granular nítida por variação granulométrica e de empacotamento, seleção boa por

moda, grãos bem arredondados a arredondados, laminação *pin stripe*, orientação dos grãos alongados, feições de compactação química incipiente (contatos pontuais e planares), cutículas argilo-limoníticas, cimento intersticial de argilominerais e porosidade intergranular e intragranular (alveolar e móbida). Podem apresentar cimento silicoso (opala e calcedônia) poro-envolvente e intersticial.

A interpretação das feições petrográficas no que se refere ao arcabouço aberto, contatos intergranulares pontuais e planares são indicativos de compactação química incipiente, e, portanto, a silicificação (ou a fonte da silica) não seria decorrente da dissolução por pressão.

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS

Índices Físicos

Os índices físicos obtidos para as amostras dos dois arenitos compreendem a massa específica seca e saturada aparentes, porosidade aparente e absorção d'água, conforme dados listados nas Tabelas 2 e 3, determinados segundo as diretrizes da norma ABNT NBR 12.766:1992 (ABNT, 1992a).

Os valores dos índices físicos fornecidos pelos arenitos são bastante semelhantes entre si e indicam que as rochas apresentam alta porosidade efetiva (com médias de 17,36% para o arenito vermelho e 14,95% para o arenito amarelo) e, consequentemente, alto índice de absorção d'água (com médias de 8,82% e 7,85%, respectivamente) o que torna os componentes minerais mais suscetíveis ao ataque por águas e outros agentes químicos.

Os valores de absorção d'água e da massa específica seca dos arenitos analisados situam-se nos limites dos parâmetros especificados pela norma ASTM C 616 (ASTM, 2010) para arenitos detentores de >60% de silica livre, ou seja, >2,003 kg/m³ e <8,0% para a absorção d'água. A análise destes índices indica

TABELA 1. Síntese petrográfica das amostras selecionadas para os ensaios tecnológicos.

Estimativa Modal dos Componentes		
	ARENITO AMARELO	ARENITO VERMELHO
ARCABOUÇO	Arcabouço (80%) aberto, constituído por porções cimentadas (10%) e porções mais porosas (10%). Há predominio de grãos de quartzo (95%) que mostram formas regulares e, por vezes, alongadas; extinção homogênea e raras microfissuras intragrãos. Feldspatos (<5%) no formato de grãos irregulares, angulosos, alguns com geminação incipiente. Acessórios são a muscovita, turmalina, zircão, brookita e opacos. A granulometria é média (~140-150µm) – areia fina sub-arredondados. A 2 ^ª moda é de grãos arredondados entre 250-200µm e alguns com diâmetro de até 465µm. Os contatos são planares e pontuais. A seleção granulométrica é moderada.	Arcabouço (70%) constituído por grãos melhor selecionados e com maior arredondamento; e porções mais porosas (~25%). Há predominio de grãos de quartzo (93%), feldspatos (5 ~ 7%) e acessórios como biotita, zircão e opacos. O contato dos grãos é predominantemente pontual ou planar, além da presença de grãos flutuantes. No geral a granulometria é média (~200µm) e os grãos são bem arredondados a arredondados. A presença de grãos de 90 µm (moda 1) marca a bimodalidade dos arenitos. A seleção granulométrica é boa por moda.
CIMENTO	Cimento intersticial de silica criptocristalina (~10%) de baixa bifréngicidade. O cimento obstrui parcialmente a porosidade. Presença de cutícula argila-ferruginosa ao redor do quartzo; linhas de inclusões e alguns crescimentos sintaxiais de quartzo.	Cimento (5%) é composto por por silica microcristalina e obstrui parcialmente a microporosidade. O aspecto azulado é devido a cor da resina impregnante. Óxidos/hidróxidos de ferro na forma de películas avermelhadas podem ocorrer concentrados nas bordas dos grãos de quartzo.
POROS	10%.	25%. Porosidade mórbida (antigos feldspatos)
NATUREZA DA ROCHA : Sedimentar		
CLASSIFICAÇÃO PETROGRÁFICA: Quartzo-arenito		

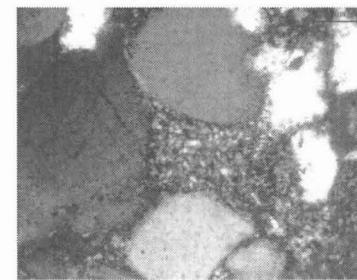


FOTO 7. Fotomicrografia de seção delgada do arenito amarelo com polarizadores cruzados mostrando detalhes do cimento de silica microcristalina.

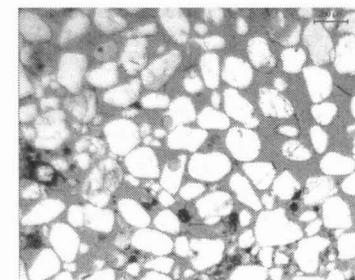


FOTO 8. Vista geral do arenito vermelho mostrando sua bimodalidade, contato entre os grãos e presença de cutícula de óxidos/hidróxidos de ferro.

TABELA 2. - Índices físicos do arenito vermelho.

Corpos de Prova	Peso dos Corpos-de-Prova (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)
	Submerso (A)	Saturado (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	237,88	446,00	409,78	1,969	2,143	17,40	8,84
2	230,68	432,42	397,44	1,970	2,143	17,34	8,80
3	212,96	400,50	367,83	1,961	2,136	17,42	8,88
4	223,11	420,53	384,77	1,949	2,130	18,11	9,29
5	239,50	447,23	412,61	1,986	2,153	16,67	8,39
6	228,99	429,85	394,48	1,964	2,140	17,61	8,97
7	231,40	434,42	398,07	1,961	2,140	17,90	9,13
8	242,74	453,78	418,55	1,983	2,150	16,69	8,42
9	223,20	419,95	384,76	1,956	2,134	17,89	9,15
10	222,38	414,48	382,66	1,992	2,158	16,56	8,32
Valores Médios:				1,969	2,143	17,36	8,82
Desvio Padrão:				0,014	0,009	0,555	0,342

TABELA 3. - Índices físicos do arenito amarelo.

Corpos de Prova	Peso dos Corpos-de-Prova (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)
	Submerso (A)	Saturado (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	239,38	438,87	399,39	2,002	2,200	19,79	9,89
2	234,84	430,74	393,93	2,011	2,199	18,79	9,34
3	258,20	473,09	430,55	2,004	2,202	19,80	9,88
4	206,24	377,45	432,90	2,528	2,205	-32,39	-12,81
5	235,80	433,28	393,37	1,992	2,194	20,21	10,15
6	230,81	428,71	383,98	1,940	2,166	22,60	11,65
7	219,98	404,71	367,35	1,989	2,191	20,22	10,17
8	211,91	390,08	354,00	1,987	2,189	20,25	10,19
9	220,77	399,73	364,38	2,036	2,234	19,75	9,70
10	239,60	439,56	398,54	1,993	2,198	20,51	10,29
Valores Médios:				2,048	2,198	14,95	7,85
Desvio Padrão:				0,170	0,017	16,662	7,282

que o arenito amarelo apresenta características tecnológicas discretamente superiores às do vermelho, ou seja: a massa específica seca é de 2,048 kg/m³ e a absorção d'água de 7,85% *versus* 1,969 kg/m³ e 8,82% de absorção d'água do arenito vermelho. As determinações dos índices da massa específica seca aparente e, principalmente, da saturada estão diretamente influenciadas pela menor ou maior capacidade na absorção d'água da rocha e constituem aspectos importantes para compatibilizar a dimensão das placas e a resistência dos dispositivos de ancoragem, caso elas sejam utilizadas em fachadas.

Comparativamente a outros arenitos comercializados no mercado nacional, os arenitos estudados mostram qualificações bastante inferiores tanto em relação aos arenitos silicificados Pink Brasil (BA) (com 88% de quartzo), Rosa Bahia (BA) (com 85% de quartzo) e Verde Piranhas (GO) (com 95% de quartzo) com massas específicas secas entre 2,632 e 2,729 kg/m³ e absorções d'água inferiores a 1,0% (dados disponibilizados pela Abirochas, 2009), quanto em relação ao arenito silicificado (com 64% de quartzo) da Formação Botucatu - região de Araraquara (SP) - que apresenta massa específica média 2,366 kg/m³ e 0,5% de absorção d'água conforme dados presentes em Navarro (2006).

Resistência à Compressão Uniaxial

A resistência à compressão uniaxial dos arenitos estudados foi avaliada em conformidade com as diretrizes da norma ABNT NBR 12.767:1992 (ABNT, 1992b), e os resultados compõem as Tabelas 4 e 5. Esse ensaio permite quantificar a carga máxima suportada por uma rocha quando for submetida a esforços compressivos.

Os valores médios da resistência à compressão uniaxial de 30,5 MPa e 22,2 MPa fornecidos, respectivamente, pelos arenitos vermelho e amarelo

TABELA 4. Resultados de resistência à compressão uniaxial para o arenito vermelho.

Corpo-de-Prova	Dimensões Médias dos Corpos-de-Prova (mm)			Carga de Ruptura (kN)	Tensão de Ruptura (MPa)
	Altura (h)	Altura (b)	Altura (d)		
1	73,72	74,87	74,64	185,90	33,3
2	73,06	73,60	73,10	204,65	38,0
3	73,72	73,77	74,72	163,65	29,7
4	75,32	73,58	73,22	151,45	28,1
5	75,40	73,68	74,29	131,15	24,0
6	74,99	74,13	73,19	161,70	29,8
Média:				166,42	30,5
Desvio Padrão:				23,59	4,78

Nota: taxa carregamento = 202,5 kN/min; condições de ensaio: corpo-de-prova seco em estufa à 110º C.

TABELA 5. Resultados de resistência à compressão uniaxial para o arenito amarelo.

Corpo-de-Prova	Dimensões Médias dos Corpos-de-Prova (mm)			Carga de Ruptura (kN)	Tensão de Ruptura (MPa)
	Altura (h)	Altura (b)	Altura (d)		
1	75,29	74,02	74,17	144,75	26,4
2	75,13	73,78	74,20	75,25	13,7
3	74,55	73,69	74,34	124,85	22,8
4	74,58	74,01	74,74	149,00	26,9
5	74,71	73,55	73,10	95,05	17,7
6	74,43	74,52	73,46	140,20	25,6
Média:				121,52	22,2
Desvio Padrão:				27,38	5,36

Nota: taxa carregamento = 202,5 kN/min; condições de ensaio: corpo-de-prova seco em estufa à 110º C.

podem ser considerados como muito baixos em se tratando de materiais pétreos que venham a ser destinados a funções estruturais ou de sustentação. Entretanto, quando comparados com os parâmetros fornecidos pela ASTM C 616 (ASTM, 2010) para rochas desta natureza, observa-se que o arenito vermelho supera a resistência mínima de 27,6 MPa especificada pela referida norma, ao passo que o arenito amarelo oferece resistência inferior ao valor mínimo então estipulado.

A baixa resistência mecânica dos arenitos testados deve-se ao baixo grau de silicificação, e que se desagregam com bastante facilidade dependendo do sentido do esforço a que são submetidos. Isto se opõe a uma situação bastante diferente daquelas exibidas pelos arenitos Pink Brasil (BA) (com 102,0 MPa), Rosa Bahia (BA) (com 172,3 MPa) e Verde Piranhas (GO) (com 204,1 MPa), disponibilizados no Catálogo Brasileiro de Rochas Ornamentais (Abirochas, 2009), e pelo arenito da Formação Botucatu da região de Araraquara (SP) com cerca de 167 MPa (Navarro, 2006) que apresenta maior percentual de cimento silicoso que os arenitos ora estudados e, portanto, de mais elevada coesão mineral.

Resistência à Flexão pelo Método 3 Pontos

Os resultados da resistência à flexão 3 pontos encontram-se relacionados nas Tabelas 6 e 7, e foram obtidos em conformidade com a norma ABNT NBR 12.763:1992 (ABNT, 1992c). Neste ensaio determina-se qual a tensão máxima de ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores (flexão e tração simultaneamente). Eles são importantes para qualificação e avaliação de materiais pétreos sujeitos a esforços flexivos e de tração destinados a ambientes como, por exemplo, fachadas, bancadas, pisos elevados, mesas para equipamentos de precisão, dentre outros.

Comparando-se os valores obtidos com os parâmetros especificados pela norma ASTM C 616 (ASTM, 2010) para arenitos com >60% de silício livre, verifica-se que o arenito vermelho apresenta resistência à flexão (5,3 MPa) superior a resistência de 2,4 MPa sugerida pela referida norma, ao passo que o arenito amarelo apresenta resistência menor, de apenas 1,8 MPa (Tabelas 6 e 7).

Comparações qualitativas neste quesito em relação a outros arenitos brasileiros são dificultadas em virtude da flagrante escassez de dados tecnológicos disponibilizados para este grupo de rochas pela literatura pertinente. Dentre eles destacam-se os dados divulgados pelo Catálogo Brasileiro de Rochas Ornamentais (Abirochas, 2009) para os arenitos Pink Brasil (BA) e Rosa Bahia (BA), respectivamente, com valores de resistência à flexão pelo método dos 3 Pontos de 13,0 MPa e 20,27 MPa, e, portanto, caracterizados por

resistências mecânicas significativamente superiores aos dos arenitos estudados.

Os valores de resistência à flexão apresentados pelos arenitos ora avaliados são considerados extremamente baixos para suportarem cargas maiores como, por exemplo, para exercerem funções como bancadas, pisos elevados e mesas, de modo semelhante ao verificado para a resistência à compressão uniaxial. Maior problema ocorrerá quando as placas forensemente feitas com as superfícies dispostas ortogonalmente à estratificação sedimentar dos arenitos, situação essa talvez impossibilitada pela quebra natural das placas nos planos de acamamento, o que demonstra a total inviabilidade de uso desses arenitos através de cortes ortogonais à estratificação.

Desgaste Abrasivo Amsler

Os índices de resistência ao desgaste abrasivo Amsler foram determinados seguindo-se as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 12.042:1992 (ABNT, 1992d) e os seus valores compõem as Tabelas 8 e 9. Trata-se de um ensaio de abrasão de um corpo pétreo, o qual consiste na determinação da redução da espessura dos corpos-de-prova quando submetidos a um aparelho (equipamento Amsler) que simula o atrito sofrido pelos materiais rochosos em situação de tráfego, tendo como agente abrasivo a Areia Normal Brasileira, Nº 50, de granulação 0,3 mm (ABNT NBR 7.214; ABNT, 1982). A importância do ensaio é associada àqueles materiais pétreos utilizados em revestimentos horizontais, pisos, soleiras e degraus de escadas.

Os resultados fornecidos pelos arenitos vermelho (24,09 mm) e amarelo (69,70 mm) são extremamente elevados e denotam claramente a baixa resistência à abrasão destas rochas, sobretudo em relação ao arenito amarelo, e que refletem o caráter bastante friável dos materiais analisados. A baixa resistência à abrasão oferecida por estes arenitos relaciona-se ao baixo grau de silicificação dos mesmos que, no conjunto, favorecem a desagregabilidade sob efeito do atrito.

Na literatura especializada inexistem dados de resistência à abrasão de arenitos similares aos estudados e que sejam utilizados como revestimento uma vez que eles não são indicados para aplicação como pisos. Situação muito diferente ocorre com os arenitos altamente silicificados, como o caso dos arenitos da Formação Botucatu explorados na região de Araraquara (SP) e adjacências (Navarro, 2006), os quais chegam a apresentar aspecto visual vitrificado e adquirem alta resistência à abrasão. Exemplos de arenitos com boas resistências abrasivas são representados pelos arenitos Rosa Bahia (BA) e Verde Piranhas (GO), respectivamente, com desgastes de 0,47 mm e 0,40 mm, cujos dados são disponibilizados pelo Catálogo Brasileiro de Rochas Ornamentais da Abirochas (2009).

TABELA 6. Resultados da resistência à flexão pelo método dos 3 Pontos para o arenito vermelho.

Corpo de Prova	DIMENSÕES DOS CORPOS-DE-PROVA (mm)			Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)
	Espessura Média	Largura Média	Distância Cutelos		
1	50,10	100,54	180,0	5492	5,9
2	50,78	100,74	180,0	5356	5,6
3	50,59	100,16	180,0	5620	5,9
4	50,63	100,39	180,0	5168	5,4
5	50,62	100,50	180,0	3714	3,9
6	50,20	101,18	180,0	4786	5,1
Média:				5022,7	5,3
Desvio Padrão:				703,98	0,75

Nota: taxa de carregamento = 4450 N/min; condições de ensaio: corpo-de-prova seco em estufa à 110°C.

TABELA 7. Resultados da resistência à flexão pelo método dos 3 Pontos para o arenito amarelo.

Corpo de Prova	DIMENSÕES DOS CORPOS-DE-PROVA (mm)			Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)
	Espessura Média	Largura Média	Distância Cutelos		
1	50,17	100,24	180,0	1838	2,0
2	49,87	100,23	180,0	2276	2,5
3	50,46	101,16	180,0	2140	2,2
4	51,14	100,43	180,0	1358	1,4
5	51,12	99,88	180,0	1150	1,2
6	50,90	100,41	180,0	1564	1,6
Média:				1721	1,8
Desvio Padrão:				442,66	0,50

Nota: taxa de carregamento = 4450 N/min; condições de ensaio: corpo-de-prova seco em estufa à 110°C.

TABELA 8. Resultados de resistência ao desgaste abrasivo Amsler para o arenito vermelho.

Corpos-de-prova	Dimensões da base (mm)	Desgaste em milímetros (mm) correspondente ao percurso de:			
		500 m		1000 m	
		Individual	Média	Individual	Média
1	74,98 x 74,04	11,37	12,11	23,95	24,09
2	74,74 x 73,08	12,86		24,23	

TABELA 9. Resultados de resistência ao desgaste abrasivo Amsler para o arenito amarelo.

Corpos-de-prova	Dimensões da base (mm)	Desgaste em milímetros (mm) correspondentes ao percurso de:			
		500 m		1000 m	
		Individual	Média	Individual	Média
1	73,0 x 73,7	34,15	35,93	66,15	69,70
	75,8 x 73,9	37,71		73,25	

Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas foi efetuada seguindo o prescrito pela norma ASTM D 2845 (ASTM, 2008) e os resultados estão apresentados na Tabela 10. A velocidade de propagação das ondas elásticas em um corpo rochoso pode variar em função da composição mineralógica, textura, orientação, morfologia e tamanho dos grãos, da presença de vazios ou do conteúdo de fluidos presentes nos poros. Este fato permite avaliar indiretamente vários parâmetros físicos e mecânicos das rochas como densidade, porosidade, absorção d'água, grau de alteração e resistência mecânica. Deste modo altas velocidades de propagação da onda estão relacionadas com materiais isotrópicos, sugerem alto grau de integridade e, portanto, espera-se que esses materiais apresentem maiores valores de resistência mecânica.

As velocidades médias das ondas ultrassônicas longitudinais fornecidas pelos arenitos vermelho (2.910 m/s) e amarelo (2.671 m/s) são relativamente baixas, apesar de a literatura pertinente demonstrar que a velocidade das ondas elásticas nos diferentes

tipos de arenitos pode oscilar entre cerca de 1.400 e 4.000 m/s (Farmer, 1968). Entretanto, considera-se que os baixos valores fornecidos pelos dois arenitos estão coerentes com as propriedades petrográficas e com os respectivos parâmetros relativos aos índices físicos (massa específica aparente; porosidade e absorção d'água) inerentes aos materiais analisados. Neste contexto, os arenitos se caracterizam por apresentarem elevados índices de porosidade, baixo grau de silicificação, cimento argiloso (provavelmente caulinítico) e estratificação, propriedades estas que interferem na resistência mecânica das rochas e, no conjunto, retardam o caminhamento das ondas. É preciso destacar também que a menor velocidade das ondas ultrassônicas no arenito amarelo encontra respaldo nas suas menores resistências mecânicas e maior suscetibilidade à desagregação (desgaste abrasivo) se comparado àquelas oferecidas pelo arenito vermelho, onde as ondas ultrassônicas se propagam mais rapidamente.

Ainda, para efeito de comparação, um arenito silicificado da Formação Botucatu da região de Araraquara (SP) caracterizado tecnologicamente por Navarro (2006) apresenta velocidades de propagação de ondas

TABELA 10. Resultados da velocidade de ondas ultrassônicas longitudinais para os arenitos.

Corpo de Prova	ARENITO VERMELHO			ARENITO AMARELO		
	Tempo (μs)	Distância (mm)	Velocidade (m/s)	Tempo (μs)	Distância (mm)	Velocidade (m/s)
1	22,1	73,72	3336	28,6	75,29	2633
2	25,3	73,06	2888	28,9	75,13	2600
3	22,8	73,72	3233	29,9	74,55	2493
4	28,2	75,32	2671	26,7	74,58	2793
5	28,7	75,40	2627	27,8	74,71	2687
6	27,7	74,99	2707	26,4	74,43	2819
Média:			2910	2671		
Desvio Padrão:			304,82	122,77		

Nota: corpos-de-prova secos em estufa à 110°C.

ultrassônicas longitudinais entre 4.750 m/s e 5.240 m/s. Diferentemente dos arenitos aqui estudados aquele se caracteriza pela baixa porosidade (1,17%) e absorção d'água (0,49%), maior massa específica aparente (2,367 kg/m³) e alto grau de silicificação, e, consequentemente, com elevada resistência mecânica e abrasiva.

Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

O coeficiente de dilatação térmica linear foi obtido em conformidade com a ABNT NBR 12.765:1992 (ABNT, 1992e). Esse ensaio é fundamental para a determinação do espacamento da junta de dilatação e deve ser aplicado em rochas utilizadas como pisos e fachadas quer elas estejam em ambientes de interiores quer de exteriores.

Os valores médios obtidos para os arenitos foram 13,6 x 10⁻⁵ mm/m°C para a variedade de coloração vermelha e de 12,0 x 10⁻⁵ mm/m°C para o amarelo, os quais podem ser considerados relativamente elevados principalmente em função dos índices de porosidade destes materiais. Valores tidos como normais para arenitos silicificados estão ao redor de 10,0 x 10⁻⁵ mm/m°C,

ao passo que o Catálogo Brasileiro de Rochas Ornamentais (Abirochas, 2009) registra dilatação de 15,7 x 10⁻⁵ mm/m°C para o arenito Rosa Bahia, do estado da Bahia, e Navarro (2006) obtém dilatação média de 10,09 x 10⁻⁵ mm/m°C para o arenito silicificado da Formação Botucatu da região de Araraquara, Estado de São Paulo.

Para melhor compreensão dos resultados obtidos com os arenitos analisados haveria a necessidade de estudos mais detalhados. No entanto, entre as várias possibilidades a serem consideradas destaca-se, como primordial, o fato do quartzo apresentar elevada dilatação térmica linear e caracterizada por grande anisotropia na dilatação entre seus eixos cristalográficos, podendo variar de 13,7 x 10⁻⁵ mm/m°C no sentido dos eixos "a" (Rzhevsky & Novik, 1971). Outra possibilidade refere-se à presença de argilas expansivas como materiais cimentantes as quais, devido ao longo período do ensaio (cerca de 7 a 8 horas) em meio aquoso, poderiam conduzir a uma maior dilatação dos arenitos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição dos arenitos agrupados na Formação Botucatu ocupa uma área restrita e inferior a 40km de largura da porção NE do Estado do Paraná. Esta unidade geológica hospeda mais de uma dezena de pequenas lavras de arenito endurecido que são comercializados como rocha para revestimento, pisos, lajotas e afins. Esses arenitos endurecidos pela silicificação e objeto de lava estão sempre próximos de rochas do Vulcanismo Serra Geral que, normalmente, os interceptam ou sobrepõem.

A maior parte das lavras de arenito da região ocorre sobre matões/blocos e pequenos afloramentos. O método de extração é manual e a pequena dimensão dos corpos rochosos faz com que as operações de lava tenham vida útil curta e, consequentemente, obriguem a constantes mudanças das áreas de lava, com alto impacto ambiental negativo na paisagem além de intensificar a erosão das encostas.

A extração manual impõe a seletividade de lava, baixo custo operacional e a geração de muito material de rejeito. Ainda, do ponto de vista social e econômico a lava do arenito promove vantagens como a geração de emprego e renda, e, muito provavelmente, redução de custos de calçamento na pavimentação urbana e rural se comparado com outros tipos como concreto e asfalto.

O arenito da Formação Botucatu é caracterizado pelo predomínio de grãos de quartzo de granulometria fina a média, seleção moderada a boa e arcabouço

aberto. Os principais componentes diagenéticos identificados nas amostras coletadas neste trabalho são cutículas argilo-ferruginosas grãos-envolventes, pequeno conteúdo de cimento de argilominerais e, localmente, cimento de opala e calcedônia.

A porosidade média, a partir de imagens de seções delgadas de corpos mais porosos do Arenito Botucatu de 19,5% (Gesicki 2007), é compatível com os resultados de porosidade (14,95 a 17,36%) obtidos nos ensaios tecnológicos realizados neste estudo.

Sob o ponto de vista tecnológico, os resultados obtidos demonstram que, no geral, os arenitos estudados oferecem qualificações tecnológicas inferiores aos estipulados pela norma ASTM C 616 (ASTM, 2010) para arenitos com teores > 60% de silica livre e que venham a ser utilizados como rochas para revestimento de edificações, sobretudo, quanto aos itens relacionados à massa específica, absorção d'água, desgaste abrasivo, compressão uniaxial e flexão 3 Pontos. As análises petrográficas também revelam que se trata de arenitos com cimentos enriquecidos em argilominerais, mais ou menos ferruginosos e bastante fráveis, os quais tornam a rocha relativamente pouco resistente e mais frátil.

Nesse contexto, o desempenho tecnológico exibido pelos arenitos estudados induz a severas limitações na utilização como materiais de revestimento, principalmente em ambientes sujeitos a elevadas umidades (de

exteriores, entornos de piscinas, etc.); como pisos em locais de alto tráfego de pessoas; em revestimentos verticais através de dispositivos de ancoragem, devido a efeitos de desagregação e deslocamentos, e elevada dilatação térmica linear. Por outro lado, trata-se de material de amplo uso local e que gera renda às

comunidades que vivem na região, o que requer estudos no sentido de otimizar o seu uso e mesmo o de pesquisar áreas onde o material possa ter melhor qualidade, uma vez que são observados arenitos da Formação Botucatu com maior porcentagem de silicificação em outras regiões da Bacia do Paraná, como Araraquara (SP).

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo 03-06259-4), ao Adilson José Rossini (Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia - IGCE/Rio Claro/SP) pela orientação na execução dos ensaios tecnológicos, ao José Maria de Azevedo Sobrinho na revisão micropetrográfica e aos relatores pelas correções e sugestões que melhoraram o artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. *Catálogo de rochas ornamentais do Brasil*. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/catalogo1.php>. Acessado em: 18nov2009.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Área normal para ensaio de cimento*. Norma ABNT - NBR 7214. Rio de Janeiro, 3 p., 1982.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Rochas para revestimento: Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água*. Norma ABNT - NBR 12.766. Rio de Janeiro, 2 p., 1992. (a)
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Rochas para Revestimento: Determinação da resistência à compressão uniaxial*. Norma ABNT - NBR 12.767. Rio de Janeiro, 2 p., 1992. (b)
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Rochas para Revestimento - Determinação da resistência à flexão*. Norma ABNT - NBR 12.763. Rio de Janeiro, 3 p., 1992. (c)
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão*. Norma ABNT - NBR 12.042. Rio de Janeiro, 3 p., 1992. (d)
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Rochas para Revestimento. Determinação do coeficiente de dilatação térmica*. Norma ABNT - NBR 12.765. Rio de Janeiro, 3 p., 1992. (e)
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard specification for quartz-based dimension stone*. ASTM C 616: West Conshohocken, p. 54-55, 2005.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock*. ASTM D 2845: West Conshohocken, 2008.
- ASSINE, M.L.; PIRANHA, J.M.; CARNEIRO, C.D.R. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: MANTESO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (Coord.), *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beira, capítulo V, p. 77-92, 2005.
- BJORNBERG, A.J.S.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A.B. Ocorrência de prismas hexagonais de arenito em São Carlos, SP (Formação Botucatu). *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v. 13, n. 1-2, p. 61-66, 1964.
- DOTT JR., R.H. Wacke, graywacke and matrix – what approach to immature sandstone classification? *Journal of Sedimentology and Petrology*, v. 34, n. 3, p. 625-632, 1964.
- FARMER, I.W. *Engineering properties of rocks*. London: E.F.N. SPON, 180 p., 1968.
- FRANCA, A.B.; ARAÚJO, L.M.; MAYNARD, J.B.; POTTER, P.E. Secondary porosity formed by deep meteoric leaching: Botucatu dolomite southern South America. *AAPG Bulletin*, v. 87, p. 1073-1082, 2003.
- FRASCÀ, M.H.B.O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises das patologias associadas ao uso. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife. *Anais...* Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral/ CETEM, p. 1-5, 2002.
- FREITAS, V.A. A geração de magmas ácidos na Província Magnética do Paraná, região de Piraju-Ourinhos (SP): uma contribuição da geoquímica isotópica e de elementos trato em rochas e minerais. São Paulo, 2009. 193 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- GESICKI, A.L.D. *Evolução diagenética das formações Pirambóia e Botucatu (Sistema Aqüífero Guarani) no Estado de São Paulo*. São Paulo, 2007. 175 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- JANASI, V.A.; MONTANHEIRO, T.J.; FREITAS, V.A.; REIS, P.M.; NEGRIL, F.A.; DANTAS, F.A. Geology, petrography and geochemistry of the acid volcanism of the Paraná Magmatic Province in the Piraju-Ourinhos region. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 4, p. 745-759, 2007.
- LEINZ, V. A silicificação nos sedimentos Gondwanicos no sul do Brasil e sua origem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 1, p. 273-295, 1938.
- MINEROPAR – MINERAIS DO PARANÁ S.A. *Avaliação do Potencial Mineral e Consultoria Técnica no Município de Ribeirão Claro*. Relatório Final (Parcial). Projeto Serviços Geológicos e Riquezas Minerais I, 71 p., 2003.
- MONTANHEIRO, T.J. *Geologia e caracterização tecnológica de basaltos pozolânicos da Formação Serra Geral no vale do Rio Paranapanema, SP-PR*. Projeto FAPESP nº 06259-4/2003.
- NAVARRO, F.C. *Influência da Petrografia Sobre a Anisotropia à Tensão de Compressão e Dilatação Térmica de Rochas Ornamentais*. Rio Claro, 2006. 179 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- NEGRIL, F.A.; MONTANHEIRO, T.J.; JANASI, V.A.; REIS, P.M. Mapa de distribuição das rochas vulcânicas nas Folhas Piraju/SP e Jacarezinho/SP-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracaju. *Anais...* São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 247, 2006.
- PARAGUASSU, A.B. Experimental silicification of sandstone. *Geological Society of America Bulletin*, v. 83, n. 9, p. 2853-2858, 1972.
- RZHEVSKY, Y.; NOVIK, G. *The physics of rocks*. Moscow: A.A. Beknazarov, p. 137-287, 1971.
- SOARES, P.C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A.; CASTRO, P.R.M. Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 209-228, 1973.

Manuscrito Recebido em: 20 de setembro de 2010
Revisado e Aceito em: 11 de fevereiro de 2011