PROVENIÊNCIA DAS ROCHAS ARENOSAS DO SUBGRUPO ITARARÉ EM TERMOS DE AMBIENTE TECTÔNICO NO SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO

FU-TAI WU*, MARIA R. CAETANO-CHANG* e PAULO M. B. LANDEVI*

ABSTRACT PROVENANCE OF ITARARÉ SUBGROUP SANDSTONES IN RELATION TO TECTONIC SETTING, SOUTH OF SAO PAULO STATE, BRAZIL. The present work deals with the provenance of Harare Subgroup sandstones in the southern part of Sao Paulo State. These rocks can be classified as subarkoses, quartzarenites and sublitharenites. Sandstone compositions of the Harare Subgroup were analyzed according to the method of Gazzi-Dickinson in order to discriminate its provenance in terms of tectonic setting. However, other geologic evidences such as the tectonic evolution of the Parana Basin, from the Precambrian to Permian, were necessary to complete this study. In conclusion, sandstones of Harare Subgroup are interpreted to have being derived from a composite provenance with contribution of recycled orogen and stable craton provenances.

Keywords: Provenance of sandstones, Harare Subgroup.

RESUMO Este trabalho estuda a proveniência de arenitos do Subgrupo Itararé no sul do Estado de São Paulo. Essas rochas, na área de estudo, podem ser classificadas como subarcóseas, quartzo-arenitos e sublarenitos. A composição dos arenitos do Subgrupo Itararé foi analisada segundo o método Gazzi-Dickinson, para discriminar suas proveniências no ambiente tectônico. Outras evidências geológicas, baseadas principalmente no estudo da evolução tectônica da Bacia do Paraná, do Pré-Cambriano ao Permiano, complementaram este estudo. Os resultados obtidos mostram que os arenitos do Subgrupo Itararé são derivados de proveniência composta, tanto de materiais derivados de reciclagem orogênica quanto de cráton estável.

Palavras-chaves: Proveniência de arenitos, subgrupo Itararé.

INTRODUÇÃO Diversos trabalhos sobre estratigrafia, tectônica e geomorfologia e sobre análise de fácies, de geologia econômica e de mapeamento geológico do Subgrupo Itararé, no Estado de São Paulo, foram realizados nas últimas décadas. Trabalhos sobre a proveniência, a partir do estudo mineralógico de rochas arenosas, contudo, têm sido bastante raros. Gravenor (1980), estudando os minerais pesados em depósitos glaciais, no sudeste do Estado de São Paulo, interpretou que eles teriam sido derivados do embasamento cristalino com transporte prolongado por geleiras, ou então que teriam tido origem policíclica. Wu (1982) desenvolveu um minucioso estudo sobre a proveniência, intensidade do tectonismo, mudança litológica progressiva, clima na área fonte, e das condições deposicionais do Subgrupo Itararé e Formação Aquidauana no centro-leste do Estado de São Paulo, a partir de estudos de minerais pesados e leves. O trabalho realizado recentemente por França (1987) mostrou que os arenitos do Subgrupo Itararé, em toda Bacia do Paraná, são oriundos de reciclagem orogênica e de bloco continental.

Neste trabalho foram estudados principalmente os minerais detríticos dos arenitos e diamictitos do Subgrupo Itararé aflorantes nas folhas topográficas de Guarizinho, Itapeva, Ribeirão Branco, Foz do Apiáí-Guaçu, Buri e Aracaçu (IBGE 1975), localizadas entre os paralelos 23°35'S e 24°05'S e os meridianos de 48°25'W e 49°00'W (Fig. 1). O estudo das composições mineralógicas dessas rochas arenosas permitiu estabelecer a classificação das mesmas e interpretar as suas proveniências, além de fornecer elementos indicadores do ambiente tectônico da área fonte.

EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DO EMBASAMENTO CRISTALINO DA BACIA DO PARANÁ NA TECTÔNICA COLISIONAL Para o estudo da proveniência do Subgrupo Itararé no ambiente tectônico, a evolução geológica do embasamento Pré-Cambriano da Bacia do Paraná, relacionada à tectônica de placas, deve ser conhecida. Considerando os

ciclos e eventos globais ocorridos durante o Pré-Cambriano, Soares (1988) idealizou um modelo, para a evolução proterozóica, para a margem continental do escudo leste-paranaense, com colisão arco-contidente no Proterozóico Médio e continente-arco-contidente no Proterozóico Superior. Segundo este autor, os blocos crustais são compostos por rochas arqueana e eoproterozóicas que se comportaram rigidamente nos eventos do Proterozóico Médio e Superior. O bloco continental Paraná (Fig. 2), com seu núcleo cratônico, foi envolvido em colisão com cinco ou seis blocos continentais (Bolívia, Amazonas, Parnaíba, São Francisco, Nilo e Neokasai) e três ou quatro blocos microcontinentais intermediários a leste (Kalahari, Pelotas, Luís Alves e Espírito Santo). O reajuste em torno dos blocos Pelotas, Luís Alves e Espírito Santo gerou um sistema transcorrente compressivo.

O registro sedimentar do Pré-Siluriano da Bacia do Paraná foi reconstituído em cinco sequências tectono-sedimentares, cada uma representando um tipo especial de bacia com vulcanismo associado. Cada uma destas sequências foi afetada por uma tectônica deformadora característica de seu habitat geotectônico e de seu estágio evolutivo de margem continental. A sequência 1 consiste de xistos, quartzitos, filitos e de formações ferríferas e manganíferas com intrusões graníticas (Grupo Setuva), correspondente a depósitos em margem continental e bacia oceânica. A sequência 2 é formada por quartzitos, xistos, filitos e metacalcários (Grupo Canastra); representa um ciclo de regressão-transgressão no final do Proterozóico Médio, com abundante suprimento de areia arcósea depositada em ambiente costeiro. A sequência 3 engloba metarenitos, filitos, metadiamictitos e metacarbonatos (Grupos Açungui e São Roque). Incluem-se, aí, rochas de origem marinha predominantemente terrígena, inclusive sedimentos proglaciais. A sequência 4 é composta por tilitos, carbonatos, pelitos e arenitos vermelhos (Formação Camarinha). Os sedimentitos são predominantemente de ambiente continental e subordinadamente marinho. A sequência 5 é

* DGS, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Av. 24-A, 1515, CEP 13506, Rio Claro, SP, Brasil

Figura 1 - Mapa geológico da área de estudo e localização das amostras
Figure 1 - Geologic map of the studied area and location of the samples

composta por conglomerados, arenitos, siltitos arroxeados e rochas vulcânicas continentais (Grupo Castro). Estes depósitos continentais são formados em bacias falladas tipo gráben. A colisão continental iniciou-se há 1.350 Ma, prosseguindo com outros eventos colisionais há 1.000 Ma, 750 - 800 Ma e 600 Ma, refletindo progressivo fechamento dos oceanos formados. Precedendo esses eventos e entre eles, ocorreram fases de subsidência litosférica provocadas por estiramento e separação continental (Sequência 1), colisão arco-contidente (Sequência 2), estiramento retro-arco (Sequência 3), sobrecarga litosférica (Sequência 4) e relaxamento extensional pós-colisional (Sequência 5). A subducção da margem leste do bloco Paraná, sob os microcontinentes Pelotas e Luís Alves/Espírito Santo, é indicada pela ativação destes blocos e pela acumulação sedimentar naquela margem. Entre 700 Ma a 500 Ma, desenvolveu-se intensa tectônica transcorrente e magmatismo granítico tardio a pós-orogênico no Sudeste do Brasil, produzindo um anastomosamento dos blocos estruturais.

ANÁLISE MINERALÓGICA O Subgrupo Itararé, na área estudada, é representado por conglomerados, diamictitos, arenitos, ritmitos, siltitos, lamitos e argilitos. Os arenitos são mais frequentes nas porções inferior e superior dessa unidade.

As rochas arenosas estudadas neste trabalho consistem de arenitos, arenitos lamíticos e arenitos lamíticos ligeiramente conglomeráticos (diamictitos) que, segundo a classificação textural de Folk (1968), podem ser designados genericamente por arenitos. Esses arenitos são, em geral, friáveis, mostrando granulometria variável e cores acinzentadas e avermelhadas. Seus componentes principais são quartzo, feldspato e fragmentos de rochas. A matriz é predominantemente caulínica e micácea (muscovita e biotita finas), com quantidade considerável de quartzo e feldspato na granulometria de silte. O cimento, embora em pequena quantidade, é principalmente ferruginoso e subordinadamente silicoso.

Descrição dos minerais A descrição dos componentes minerais dos arenitos estudados é apresentada a seguir e a localização das amostras na figura 1.

Quartzo É o componente mineralógico predominante dos arenitos, muitas vezes apresentando início de corrosão e superfícies côncavas ou serrilhadas. O crescimento secundário ao redor de um núcleo de quartzo detrítico é escasso, sendo comum a deposição de uma fina película de óxidos e/ou

Figura 2 - Paleodistribuição dos blocos continentais no Meso e Neoproterozóico em torno do Bloco Paraná (modificado de Soares 1988)

Figure 2 - Paleodistribution of the continental blocks in the Meso and Neoproterozoic around the Paraná block (modified from Soares 1988)

hidróxidos de ferro que fazem parte do material cimentante das rochas. Foram identificadas duas variedades: quartzo monocristalino e quartzo policristalino, incluindo metaquartzito e sílex (Fotos 1 e 2).

Feldspato Representado por feldspato potássico e plagioclásio, apresenta em geral tamanho médio similar ao dos grãos de quartzo. Consiste geralmente de ortoclásio, microclínio e plagioclásio alcalino, intemperizados parcialmente e alterados em illita e caulinita (Foto 3).

Fragmentos de rochas Incluem fragmentos de rochas metamórficas (como gnaisses, xistos, filitos e ardósias), rochas sedimentares (como arenitos muito finos, siltitos e lamitos) e rochas ígneas básicas (Fotos 4a 11).

Mica Os grandes fragmentos (> 20 µm) são principalmente de muscovita e biotita, concentrados nos arenitos finos a muito finos. Esses fragmentos são angulosos, com formas alongadas, às vezes curvadas.

Cimento Consiste predominantemente de limonita e/ou hematita, com pouca sílica, predominantemente amorfa, que preenche parcialmente os espaços vazios entre os grãos maio-

res. Estes materiais cimentantes são, em geral, o resultado de alterações intemperísticas de minerais máficos e da mobilização de sílica por águas percolantes.

Matriz É constituída por argilo-minerais, quartzo e feldspato. Os minerais de argila são principalmente micáceos e cauliniticos. Grãos detriticos e argilominerais microcristalinos de origem diagenética são igualmente encontrados (Foto 12).

Categorias de grãos do arcabouço A presença de argila detritica em arenitos é de importante significado na interpretação do processo deposicional. A cimentação dos arenitos está diretamente ligada aos processos diagenéticos. Somente os grãos do arcabouço de arenitos têm sido usados como guias para o estudo de proveniência. Segundo Dickinson & Suczek (1979) e Ingersoll & Suczek (1979), os grãos do arcabouço podem ser separados em diversas categorias:

Qm: quartzo monocristalino

Qp: quartzo policristalino, inclusive sílex

Q: quartzo (Q = Qm + Qp)

P: plagioclásio

K: feldspato potássico

F: feldspato monocristalino (F = P + K)

Lm: fragmentos metamórficos

Lv: fragmentos vulcânicos

Ls: fragmentos sedimentares

L: fragmentos líticos instáveis (L = Lm + Lv + Ls)

Lt: fragmentos líticos totais (Lt = L + Qp)

Os grãos calcários, minerais ferromagnesianos e minerais pesados não são usados nesta classificação.

Esses autores propuseram dois diagramas triangulares (Fig. 3), cada um dos quais abrangendo um diferente conjunto de grãos. No diagrama QFL, os pólos são: (Q) todos grãos quartzosos, inclusive sílex e quartzito, (F) grãos de feldspatos e (L) fragmentos líticos instáveis. No diagrama QmFLt, os pólos são: (Qm) grãos de quartzo monocristalino, (F) grãos de feldspatos e (Lt) todos fragmentos líticos, inclusive quartzo policristalino.

Os diagramas QFL e QmFLt utilizam-se dos mesmos grãos, porém distribuindo-os diferentemente. No diagrama QFL, todos os grãos de quartzo são colocados juntos. Neste caso, é dada maior ênfase à estabilidade dos grãos, ou seja, seu comportamento frente ao intemperismo, relevo e mecanismo de transporte, ou pode estar ligada diretamente à composição das rochas-matrizes. No diagrama QmFLt, todos os fragmentos líticos são tratados conjuntamente. Nesse caso, é dada maior ênfase à granulometria das rochas-matrizes, uma vez que rochas de textura relativamente fina fornecem mais fragmentos líticos em tamanho areia. Esses diagramas são utilizados para discriminar entre diferentes tipos de proveniência.

Análise da composição modal Os fatores que controlam a composição dos arenitos são numerosos e difíceis de serem avaliados. Além disso, estes resultados podem ser grandemente influenciados pela metodologia particular usada na análise da composição modal. Os grãos do arcabouço de arenitos podem ser fortemente influenciados pelo tamanho, ou seja, arenitos finos e grossos, de mesma proveniência, contêm diferentes quantidades de fragmentos de rochas texturalmente grossas, devido à fragmentação destes grãos durante intemperismo, erosão e transporte (Gazzi 1966, Blatt 1967, Dickinson 1970, Suttner 1974, Basu 1976, Zuffa 1980, Ingersoll et al 1984).

Dependendo do objetivo do estudo geológico, a contagem da composição modal dos arenitos pode incluir todos os fragmentos de rochas na categoria de líticos totais (método tradicional) ou distribuí-los na categoria de líticos e também nas categorias de feldspato e quartzo. Os resultados obtidos, utilizando-se o método tradicional, são afetados pelo tamanho

Prancha 1 - Foto 1 Quarzo-arcnito grosso; grãos de quartzo monocristalino e policristalino (Am. 10B. NX); **Foto 2.** Detalhe de mil grão de sílex (Am. 154. NX); **Foto 3.** Sublitharenito fino a médio; grãos de quartzo, microclínio alveolado e alterado e fragmentos de rochas alteradas (Am. 82A. NX); **Foto 4.** Sublitharenito médio; grãos de quartzo e de feldspato e fragmentos de rochas alteradas; os fragmentos de rochas são compostos por arenito muito fino, siltito, fôlito e ardósia (Am. 80E. NX); **Foto 5.** Fragmento de gnaiss alterado, constituído por quartzo e feldspato e biotita alterados (Am. 76A. NX); **Foto 6.** Fragmento de xisto composto por quartzo e micasita (Am. 172. NX)

Plate 1 - **Photo 1.** Coarse quartzarenite; monocrystalline and polycrystalline quartz grains (Sample 10B. NX); **Photo 2.** Detail of a chert grain (Sample 154. NX); **Photo 3.** Fine to medium sublitharenite; grains of quartz, honeycombed and altered microcline, and altered rock fragments (Sample 82A. NX); **Photo 4.** Medium sublitharenite; grains of quartz and of altered feldspar and rock fragments; rock fragments are very fine sandstone, siltstone, phyllite and slate (Sample 80E. NX); **Photo 5.** Altered gneiss fragment, constituted by quartz, and altered feldspar and biotite (Sample 76A. NX); **Photo 6.** Schist fragment composed of quartz and muscovite (Sample 172. NX)

Prancha 2 - Foto 7. Fragmento de filito composto por quartzo e muscovita (Am. 172. NX); Foto 8. Arenito fino contendo fragmento de ardósia caracterizado por minerais micáceos orientados (Am. 80B2. NX); Foto 9. Fragmento de litarenito composto por quartzo e vários fragmentos de rochas (Am. 172. N //); Foto 10. Fragmento de folhelho caracterizado por disposição caótica de minerais (Am. 172. N //); Foto 11. Fragmento de xisto alterado e compactado formando pseiidomatrix (Am. 232. NX); Foto 12. Diamictito; grãos de quartzo maiores, dispersos em matriz argilo-micácea e siltosa (Am. 58. N //)
 Plate 2 - **Photo 7.** Phyllite fragment composed of quartz and inuscovite (Saniple 172. NX); **Photo 8.** Fine sandstone with slate fragment characterized by oriented niicaceous minerals (San.ple 80B2. NX); **Photo 9.** Litharenite fragment composed of quartz and various rock fragments (Saniple 172. N //); **Photo 10.** Shale fragment characterized by chaotic disposition of minerais (Saniple 172. N //); **Photo 11.** Altered and cotnpacted schist fragment forming pseudomntrix (Saniple 232. NX); **Photo 12.** Diamictite; large qiartz grains dispersed in niicaceous clayey and silty matrix (Sample 58. N //)

Figura 3 - Diagramas QFL e QmFLt mostrando a composição mineralógica das suítes de arenitos derivados dos diferentes tipos de proveniência (modificado de Dickinson & Suczek 1979): CE. cráton estável; SE. embasamento soerguido; AA. arco magmático arrasado; AN. arco magmático não-arrasado

Figure 3 - QFL and QmFLt diagrams showing the mineralogical composition for sandstone suites derived from different types of provenances (modified from Dickinson & Suczek 1979): CE. cráton stable; SE. uplifted basement; AA. dissected magmatic arc; AN. undissected magmatic arc

dos grãos. Uma técnica especial de contagem, o método Gazzi-Dickinson (Gazzi 1966, Dickinson 1970), utilizado neste trabalho, reduz o efeito da variação granulométrica. O critério básico deste método para contagem de grãos de arcabouço consiste na separação dos fragmentos líticos grossos (cristal individual > 0,062 mm) dos fragmentos líticos finos (cristal individual < 0,062 mm, Zuffa 1980). Este método difere do tradicional no que se refere à contagem dos grãos monomineralícos e dos grãos polimineralícos (com cristais individuais > 0,062 mm), uma vez que estes últimos não são contados como fragmento lítico, sendo considerado apenas o cristal centrado no retículo. Assim, por exemplo, fragmentos de rochas plutônicas podem ser contados como grãos de quartzo, feldspato ou mica, conforme a posição do retículo sobre o fragmento. Quando, no caso de fragmentos de rochas contendo cristais de tamanho de areia dispersos em matriz fina, o retículo estiver centrado em um dos cristais, será considerado esse elemento na contagem, mas, se o retículo estiver centrado na matriz, será considerado o fragmento de rocha na contagem. Em outros casos, ainda, fragmentos de rochas vulcânicas com tamanho de areia, inclusos em um fragmento de rocha sedimentar maior, podem ser classificados como fragmentos de rochas vulcânicas, em vez de fragmentos de rochas sedimentares.

Utilizando-se o método tradicional, com o decréscimo no tamanho dos grãos, há uma diminuição da quantidade de fragmentos líticos. O método Gazzi-Dickinson é baseado somente na composição, de tal sorte que os resultados não são influenciados pelo tamanho dos grãos modificados pela fragmentação. Ingersoll *et al.* (1984) verificaram que este método possui vantagens sobre o método tradicional na determinação de composição modal, com o objetivo de diferenciar as rochas-matrizes. As vantagens são: 1. resultados mais uniformes são adquiridos em amostras com granulometrias variáveis, inclusive em amostras mal selecionadas; 2. não são necessárias contagens nas diferentes frações das amostras para a comparação; e 3. contagens são mais rápidas e com poucas ambiguidades, especialmente para arenitos mal selecionados e alterados.

A tabela 1 apresenta a composição mineralógica, segundo contagem pelo método Gazzi-Dickinson, dos arenitos estu-

dados. Estas rochas são classificadas, segundo o esquema proposto por Folk (1968), principalmente como subarcóseos, subordinadamente como quartzo-arenitos e raramente como sublarenitos.

TIPOS DE PROVENIÊNCIA Baseado no ambiente tectônico, Dickinson & Suczek (1979) classificaram as proveniências em três grandes grupos: bloco continental, arco magmático e reciclagem orogênica, cada um desses pode ser dividido em subgrupos (Fig. 3). A tabela 2 mostra os principais tipos de proveniência em ambiente tectônico e apresenta as composições das areias resultantes.

Bloco continental O bloco continental, como área fonte, pode apresentar-se como cráton estável (ou plataforma) e como embasamento falhado.

Cráton estável Os sedimentos derivados de cráton estável são depositados sobre o próprio cráton ou ao longo das margens continentais rifteadas. Os arenitos são caracterizados pela presença de grande quantidade de quartzo e de poucos fragmentos líticos. Estes arenitos são mais maduros e refletem sua derivação a partir de complexos cristalinos cratônicos e de rochas sedimentares existentes sobre a plataforma. São tipicamente policíclicos e podem conter mais de 95% de quartzo monocrystalino. Os fragmentos líticos podem ser derivados de arcos magmáticos antigos ou de complexos metamórficos, com suas raízes expostas em área de cráton. O feldspato potássico é bastante resistente ao intemperismo e sua presença reflete a derivação a partir de rochas graníticas, embora possa ter sofrido reciclagem. Uma diminuição na maturidade dos arenitos derivados do bloco continental é indicativa de que as coberturas sedimentares foram retiradas, expondo as rochas do embasamento.

Embasamento soerguido Os arenitos derivados de rochas do embasamento soerguido são predominantemente feldspáticos e se acumulam em bacias lineares adjacentes. Estes arcóseos constituem depósitos pouco extensos associados a falhamentos em blocos ou constituem depósitos residuais sobre embasamento granítico. Podem ocorrer também arenitos líticos

Tabela 1 - Composição mineralógica dos arenitos do Subgrupo Itararé
 Table 1 - Mineralogic composition of the Itararé Subgroup sandstones

AMOSTRAS	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA											NOME DAS ROCHAS
	QUARTZO %			FELDSPATO %		FRAGMENTOS DE ROCHAS %			MICA	MATRIZ %	CIMENTO	
	QM	QP	SX	FK	PL	LM	LS	LV				
7B	97	1	t	2	-	-	t	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
8B	90	1	-	8	1	t	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
10B	90	5	t	3	-	1	1	-	t	15, arg. st	fe	quartzo-arenito
12	95	2	t	3	-	-	t	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
13	92	6	-	2	-	-	-	-	t	arg. st	fe, Si	quartzo-arenito
15	92	t	-	8	t	-	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
16A	97	2	-	t	-	t	1	-	-	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
16B	92	t	-	3	t	-	-	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
22	98	t	-	1	-	1	-	-	-	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
26	95	t	-	5	-	-	-	-	-	arg.	fe, Si	subarcóseo
29B	92	5	-	3	-	-	t	-	t	50, arg. st	fe, Si	quartzo-arenito
30	91	1	-	7	1	-	-	-	-	15, arg. st	fe	subarcóseo
31	80	6	-	12	-	2	t	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
33B	82	8	t	8	-	1	1	t	t	30, arg. st	fe	subarcóseo
34	91	4	t	5	-	-	-	-	t	50, arg. st	fe	subarcóseo
35B	76	15	-	4	-	3	2	-	-	30, arg. st	fe	sublitarenito
35D4	90	1	-	7	1	-	1	t	t	50, arg. st	fe	subarcóseo
36	94	-	-	5	1	-	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
37	92	4	-	3	1	-	-	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
38	90	1	-	7	2	t	-	-	t	30, arg. st	fe	subarcóseo
39B	89	3	-	4	-	2	2	-	-	arg. st	fe, Si	subarcóseo
39C	90	2	-	6	1	1	t	-	t	arg. st	fe, Si	subarcóseo
40A	99	t	t	1	-	-	t	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
40B	85	3	1	7	-	2	2	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
40C	94	t	-	5	-	1	-	-	t	15, arg. st	fe	subarcóseo
41A	91	3	-	6	-	-	-	-	t	50, arg. st	fe	subarcóseo
41B	94	-	-	6	-	-	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
51B1	96	-	-	3	1	-	-	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
52	90	4	1	5	t	t	-	-	-	arg.	fe, Si	subarcóseo
53	92	3	t	4	1	-	-	-	t	30, arg. st	fe	subarcóseo
55	85	4	-	8	-	1	2	-	t	arg. st	fe	subarcóseo
56	83	6	-	10	t	-	1	-	t	arg. st	fe, Si	subarcóseo
58	94	5	-	1	t	t	-	-	t	50, arg. st	fe	quartzo-arenito
59	97	3	-	-	-	-	-	-	-	arg. st	fe	quartzo-arenito
60	98	2	t	t	-	-	-	-	t	15, arg. st	fe	quartzo-arenito
63A	73	5	1	5	-	10	6	-	-	arg. st	fe, Si	sublitarenito
63C	82	10	t	2	-	3	3	-	t	30, arg. st	fe	sublitarenito
64	97	3	-	-	-	-	-	-	-	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
65A	100	-	-	-	-	-	-	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
65B	93	4	-	2	-	1	-	-	t	15, arg. st	fe	quartzo-arenito
66A	89	3	t	8	-	-	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
66D1	76	12	-	7	-	3	2	-	t	15, arg. st	fe	subarcóseo
67B	80	6	t	9	-	3	2	-	-	35, arg. st	fe	subarcóseo
67C	98	2	-	-	-	-	-	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
68B	90	3	t	6	1	-	-	-	-	arg.	fe, Si	subarcóseo
68C	87	2	1	8	2	t	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
68D	87	6	-	4	1	2	-	-	t	15, arg. st	fe	subarcóseo
68E	83	2	-	9	2	-	4	-	-	50, arg. st	fe	subarcóseo
69A	92	5	1	1	-	1	-	-	t	50, arg. st	fe	quartzo-arenito
70	93	-	1	6	-	-	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo

Tabela 1 - Continuação
Table 1 - Continues

AMOSTRAS	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA											NOME DAS ROCHAS
	QUARTZO %			FELDSPATO %		FRAGMENTOS DE ROCHAS %			MICA	MATRIZ %	CIMENTO	
	QM	QP	SX	FK	PL	LM	LS	LV				
72	95	3	t	2	-	t	-	-	-	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
73A	89	2	-	7	1	1	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
74B	91	8	1	-	-	-	-	-	-	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
75A	93	5	t	2	-	t	-	-	-	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
75A1	91	6	t	3	-	t	t	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
75B	85	5	1	4	-	3	2	-	-	15, arg. st	fe	sublitarenito
76A	87	5	1	7	-	t	t	-	-	45, arg. st	fe	subarcóseo
78B	82	3	1	10	2	2	t	-	-	30, arg. st	fe	subarcóseo
78E	82	7	t	10	1	t	-	-	t	arg. st	fe, Si	subarcóseo
79B	83	11	t	2	-	3	1	-	-	arg. st	fe, Si	sublitarenito
80B2	71	8	1	14	2	4	-	-	-	arg.	fe, Si	subarcóseo
80D	86	4	1	7	1	1	t	-	-	30, arg. st	fe	subarcóseo
80E	71	11	1	5	-	9	3	-	t	15, arg. st	fe	sublitarenito
80E2	100	-	t	-	-	-	-	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
81E1	92	-	-	7	1	-	-	-	-	arg.	fe, Si	subarcóseo
82B	79	8	1	10	-	2	t	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
82A	79	3	1	8	-	5	4	-	t	arg.	fe, Si	subl itarenito
83A	85	3	1	9	t	2	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
85	97	3	-	t	-	-	-	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
103	78	4	-	10	2	2	4	-	t	arg. st	fe, Si	subarcóseo
114A	96	4	-	-	-	t	-	-	t	arg. st	fe, Si	quartzo-arenito
114B	81	6	3	8	1	1	-	-	t	15, arg. st	fe	subarcóseo
119	95	1	-	4	-	-	t	-	t	arg. st	fe, Si	quartzo-arenito
121	88	2	-	8	2	t	t	-	t	arg. st	fe, Si	subarcóseo
128	90	2	-	6	2	t	-	-	t	15, arg. st	fe	subarcóseo
132	89	2	-	8	1	-	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
138	89	2	-	9	-	-	-	-	t	30, arg. st	fe	subarcóseo
141	89	2	-	7	2	t	t	-	-	arg.	fe, Si	subarcóseo
149	86	3	-	2	-	7	2	-	t	15, arg. st	fe	sublitarenito
150	90	8	-	t	-	1	1	-	t	15, arg. st	fe	quartzo-arenito
154	85	9	-	3	-	2	1	-	t	15, arg. st	fe	subarcóseo
155	84	7	-	8	1	t	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
156	79	6	-	10	2	3	t	-	t	10, arg. st	fe	subarcóseo
158	82	6	-	7	t	2	3	-	t	15, arg. st	fe	subarcóseo
162	87	3	t	8	2	t	-	-	t	45, arg. st	fe	subarcóseo
172	69	13	-	5	1	7	5	-	t	30, arg. st	fe	sublitarenito
207	68	12	-	13	3	4	-	-	t	50, arg. st	fe	subarcóseo
211	88	4	-	7	t	1	-	-	-	arg.	fe, Si	subarcóseo
212	88	5	t	7	-	t	t	-	t	30, arg. st	fe	subarcóseo
215B	82	6	t	10	-	1	1	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
215D	88	10	-	2	-	t	t	-	t	arg.	fe, Si	quartzo-arenito
217	87	6	t	7	-	t	t	-	t	30, arg. st	fe	subarcóseo
218	92	6	-	t	-	1	t	-	t	15, arg. st	fe	quartzo-arenito
220	91	3	-	6	-	t	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo
230	95	4	t	1	-	-	-	-	t	arg. st	fe, Si	quartzo-arenito
232	79	6	t	14	-	1	-	-	t	arg.	fe, Si	subarcóseo

Notas: QM = quartzo monocristalino; QP - quartzo policristalino; SX = sílex; FK = feldspato potássico; PL = plagioclásio; LM = fragmentos de rochas metamórficas; LS = fragmentos de rochas sedimentares; LV = fragmentos de rochas vulcânicas; t = traços; - = não encontrado; arg. = argila; st = quartzo e feldspato na granulometria de silte; fe = limonita e/ou hematita; Si - sílica

Tabela 2 - Tipos principais de proveniência e as composições de areias resultantes (modificado de Dickinson 1985)

Table 2 - Major provenance types and key compositional aspects of derivative sands (modified from Dickinson 1985)

TIPO DE PROVENIÊNCIA	AMBIENTE TECTÔNICO	COMPOSIÇÃO DE AREIA RESULTANTE
Cráton estável	Interior continental ou plataforma passiva	Areias quartzosas (Qt - rico), com altas razões Qm/Qp e K/P.
Embasamento soerguido	Cinturão de rifte ou ruptura de transformação	Areias quartzoso-feldspáticas (Qm - F), com conteúdo baixo em Lt e razões Qm/F e K/P semelhante às da rocha-matriz
Arco magmático	Arco de ilha ou arco continental	Areias feldspático-líticas (F - L) e vulcanoclasticas com altas razões P/K e Lv/Ls, passando a areias quartzoso-feldspáticas (Qm - F) derivadas de batólitos
Reciclagem orogênica	Complexo de subducção ou cinturão de dobramento-empurrão	Areias quartzoso-líticas (Qt - Lt), com conteúdo baixo em F e Lv e razões variáveis de Qm/Qp e Qp/Ls

derivados de cobertura sedimentar e de rochas metamórficas da área fonte.

Arco magmático Arcos orogênicos ativos ou margens continentais ativas constituem áreas fontes de arenitos tipicamente imaturos e ricos em fragmentos líticos.

Arco magmático não-arrasado Oarconão-arrasado(arco vulcânico) fornece abundantes fragmentos vulcânicos finos e plagioclásios e menor quantidade de quartzo de origem vulcânica. Os sítios de deposição incluem bacias em fossa, bacias de antearco, bacias de retroarco e bacias locais dentro de cinturão vulcânico.

Arco magmático arrasado O arco arrasado, no caso de arco continental, fornece detritos de rochas plutônicas e rochas vulcânicas remanescentes às bacias de retroarco e de antearco. Por isso, a composição mineralógica dos detritos é similar à dos arenitos derivados de regiões cratônicas soerguidas, embora com grande abundância de plagioclásios e fragmentos vulcânicos.

Reciclagem orogênica As sequências sedimentares deformadas e soerguidas nas zonas de subducção, ao longo de faixas de colisão ou dentro de cinturões de dobramento e empurrão, constituem as áreas fontes de sedimentos caracterizados pela abundância em quartzo e em fragmentos líticos sedimentares e metassedimentares.

Complexo de subducção O complexo de subducção consiste de abundantes rochas metassedimentares e ofiolitos; portanto, fornece muitos fragmentos de sílex e de rochas sedimentares e metassedimentares para as bacias de antearco e para as fossas adjacentes.

Faixa de colisão A faixa de colisão é constituída por nappes e lençóis de empurrão com rochas sedimentares e metassedimentares, bem como ofiolitos deformados. Esses materiais servem de rochas-matrizes aos sedimentos que preenchem as bacias oceânicas remanescentes, as bacias internas existentes ao longo da sutura e as bacias de antepaís. Os arenitos mostram quantidade moderada de quartzo, alta

razão quartzo/feldspato e riqueza em fragmentos de rochas sedimentares e metassedimentares.

Áreas pericratônicas soerguidas Regiões pericratônicas soerguidas são caracterizadas por cinturões de dobramentos e falhas de empurrão; servem de área fonte para sedimentos que são depositados nas bacias adjacentes de antepaís. Estas bacias recebem sedimentos de embasamento cristalino. Os arenitos são caracterizados pelo alto conteúdo de quartzo, sílex e fragmentos de rochas sedimentares e metassedimentares. Alguns arenitos quartzosos assemelham-se, em sua composição, aos arenitos derivados de bloco continental. Outros arenitos ricos em sílex assemelham-se àqueles derivados de faixas de colisão e de complexo de subducção.

PROVENIÊNCIA DOS ARENITOS DO SUBGRUPO

ITARARÉ Para determinar-se a proveniência dos arenitos do Subgrupo Itararé foram utilizadas as propostas de Dickinson & Suczek (1979) e Dickinson *et al* (1983), que enfatizam a importância do controle tectônico na composição mineralógica dos arenitos. Assim, os dados da tabela 1 foram colocados nos dois tipos de diagramas triangulares anteriormente tratados, QFL e QmFLt, nos quais cada ponto representa uma amostra definida pelas três variáveis consideradas, definindo deste modo, pela posição no diagrama, as proveniências dos arenitos estudados.

Os arenitos ocorrem predominantemente nas porções inferior e superior do Subgrupo Itararé e raramente na porção média, de tal modo que as proveniências dos arenitos das porções inferior e superior dessa unidade litoestratigráfica podem ser distintas.

Arenitos da porção inferior A figura 4A (QFL) sugere que os arenitos da porção inferior do Subgrupo Itararé são derivados de rochas de cráton estável e de reciclagem orogênica. Neste diagrama, o campo correspondente à proveniência a partir de cráton estável contém 38 amostras, compostas por quartzo-arenitos e subarcóseos. O campo correspondente a arenitos provenientes de rochas de reciclagem orogênica inclui 13 amostras, compostas predominantemente por sublitarenitos e subordinadamente por subarcóseos. A figura 4B (QmFLt) mostra, também, que estes arenitos são fornecidos a partir do cráton estável e de reciclagem orogênica. Devido à menor ou à maior porcentagem de quartzo policristalino em alguns arenitos, duas amostras que no diagrama- da figura 4A estavam no campo de reciclagem orogênica foram deslocadas para o campo de cráton estável na figura 4B, enquanto duas outras amostras que estavam no campo de cráton estável foram deslocadas para a zona de coalescência entre esses dois campos. Isto significa que estas quatro amostras são derivadas de rochas ao mesmo tempo de cráton estável e de reciclagem orogênica.

Quartzo-arenitos e subarcóseos derivados de cráton estável Os grãos do arcabouço desses arenitos são caracterizados por alta porcentagem de quartzo (> 86%), moderada porcentagem de feldspato (< 12%) e poucos fragmentos de rochas (< 4%). O quartzo monocristalino ocorre em quantidades maiores que 79% em todas as amostras, o quartzo policristalino em quantidades menores que 8% e o sílex ocorre como traço ou está ausente. Os feldspatos são representados predominantemente por feldspatos potássicos e raramente por plagioclásios. Os fragmentos de rochas são representados por arenito muito fino lamítico, silito, lamito, xisto fino, filito, ardósia e metabasito. Baseado na alta porcentagem de quartzo e na moderada porcentagem de feldspato potássico e nos tipos de fragmentos de rochas desses arenitos, estes devem ter sido derivados predominantemente de complexos cristalinos de cráton estável e parcialmente de rochas metamórficas de baixo grau,

Figura 4 - Diagramas QFL (A) e QmFLt (B) mostrando a composição mineralógica dos arenitos da porção inferior do Subgrupo Itararé

Figure 4 - QFL (A) and QmFLt (B) diagrams showing the mineralogic composition of the sandstones from the lower part of the Itararé Subgroup

oriundas de reciclagem orogênica e de coberturas sedimentares pré-existentis.

Sublitarenitos e subarcóseos derivados de faixas de reciclagem orogênica Os grãos do arcabouço desses arenitos são caracterizados por alta porcentagem de quartzo (> 79%) e quantidades variáveis de fragmentos de rochas (4 a 16%) e de feldspato (2 a 16%). A quantidade de quartzo policristalino, em geral, é mais alta nesses arenitos, atingindo até 15% e o sílex é raro. Os feldspatos potássicos são mais frequentes que os plagioclásios. Os fragmentos de rochas são representados por rochas afaníticas de origem metamórfica, sedimentar e vulcânica, em ordem decrescente de abundância. Considerando-se a alta porcentagem de quartzo, as moderadas a baixas porcentagens de fragmentos de rochas e feldspatos e os raros grãos de sílex e metabasitos, os arenitos devem ter sido derivados predominantemente de rochas metamórficas de baixo grau e de rochas sedimentares existentes em áreas pericratônicas soergidas e, em parte, em complexos cristalinos de cráton estável.

Arenitos da porção superior Como no caso anterior, a figura 5A (QFL) mostra que os arenitos da porção superior são originados a partir de cráton estável (39 amostras) e de faixas de reciclagem orogênica (6 amostras). Essas rochas são classificadas como quartzo-arenitos, subarcóseos e sublitarenitos (Tab. 1). A figura 5B (QmFLt) mostra que estes arenitos são também fornecidos a partir do cráton estável e de reciclagem orogênica, mas apresenta cinco amostras compostas por uma mistura dos dois ambientes.

Quartzo-arenitos e subarcóseos derivados de cráton estável A composição mineralógica desses arenitos é semelhante a dos arenitos oriundos de cráton estável da porção inferior do Subgrupo Itararé, são caracterizados por alta porcentagem de quartzo (>85%), moderada porcentagem de feldspatos (< 14% e baixa porcentagem de fragmentos de rochas (< 3%). Fragmentos vulcânicos não são encontrados nessas amostras. Esses dados indicam que a proveniência desses arenitos é semelhante a dos arenitos de cráton estável da parte inferior, porém sem a contribuição de rochas vulcânicas.

Subarcóseos e sublitarenitos derivados de faixas de reciclagem orogênica Como pode ser verificado na figura 5A, esses arenitos se situam próximo ao campo de cráton estável

ou na zona de transição entre o campo do cráton estável e o de reciclagem orogênica. Esses arenitos são caracterizados por alta porcentagem de quartzo (> 85%), moderada porcentagem de feldspatos (< 11%) e poucos fragmentos de rochas (< 5%). Os fragmentos vulcânicos também não ocorrem nestes arenitos. Estes dados indicam que essas rochas podem ter se originado a partir de uma mistura de material de reciclagem orogênica e de cráton estável, ou de material de reciclagem orogênica que, sob ação de retrabalhamento prolongado, diminua consideravelmente a frequência dos fragmentos de rochas.

Proveniência composta Como discutido anteriormente, os arenitos do Subgrupo Itararé, na área estudada, parecem ter sido predominantemente derivados de rochas do embasamento cristalino Pré-Siluriano e poucas rochas sedimentares pré-existentis. O embasamento cristalino da Bacia do Paraná é constituído por vários núcleos cratônicos (terrenos granulíticos, anfibolíticos e de greenstones), cinturões móveis orogênicos (rochas metassedimentares falhadas e dobradas, granitos e faixas de cratons isotopicamente remobilizados) e dispersamente coberto por remanescentes de bacias de antepaís, de natureza molássica, todos formados durante o Ciclo Brasileiro (Zalan *et al* 1987). As rochas sedimentares preexistentes são representadas por sedimentitos do Grupo Paraná.

Estes vários tipos de rochas do embasamento cristalino se intercalam e se justapõem sem uma distribuição regular das faixas cratônicas e de reciclagem orogênica.

As figuras 4 e 5 mostram que os arenitos do Subgrupo Itararé são dominantemente quartzosos e feldspáticos e parcialmente líticos, concentrando-se nas porções superiores dos campos de bloco continental e de reciclagem orogênica e na área de superposição de ambos. Além disso, as distribuições verticais e horizontais destes arenitos são caóticas e não mostram províncias mineralógicas definidas. Estas evidências indicam que esses arenitos devem ser o resultado de proveniência composta, no presente caso a partir de rochas-matrizes ligadas a reciclagem orogênica e cráton estável.

CONCLUSÕES Os arenitos do Subgrupo Itararé podem ser classificados principalmente como subarcóseos, subordinadamente como quartzo-arenitos e raramente como sublitarenitos.

As composições dos arenitos do Subgrupo Itararé, colocadas nos diagramas QFL e QmFLt (Figs. 4 e 5), foram analisadas

Figura 5 - Diagramas Q_i^*L (A) e Q_mFLt (B) mostrando a composição mineralógica dos arenitos da porção superior do Subgrupo Itararé

Figure 5 - QFL (A) and Q_mFLt (B) diagram showing the mineralogical composition of the sandstones from the upper part of the Itararé Subgroup

segundo o método Gazzi-Dickinson para discriminar suas proveniências no ambiente tectônico. Entretanto, outras evidências geológicas foram necessárias para complementar o estudo.

Baseado na heterogeneidade das distribuições vertical e horizontal desses arenitos e nas posições ocupadas pelos mesmos nos campos dos diagramas QFL e Q_mFLt , é possível concluir que os materiais destes arenitos tenham tido proveniência composta, consistindo juntamente de materiais de reciclagem orogênica e de cráton estável. Esta proveniência está intimamente relacionada com a evolução geológica do embasamento cristalino e com a evolução tectônica da bacia. O embasamento cristalino resultou de eventos tectônicos colisionais em torno do bloco Paraná, e de magmatismo tardio pós-orogênico no sudeste do Brasil (Soares 1988). Pelo menos

até o Cambro-Ordoviciano esse embasamento cristalino estava em estado de formação ou cratonização. Em virtude da juventude do embasamento, uma reativação tectônica ao final da sedimentação devoniana provocou falhamento e consequente erosão do Grupo Paraná e de modo idêntico do embasamento cristalino.

Os sublitanos e subarcóseos da porção superior do Subgrupo Itararé, com menor frequência de fragmentos de rochas que os da porção inferior, indicam que os materiais desses arenitos podem ter sido derivados das mesmas rochas-matrizes, porém modificadas por reativação e denudação progressiva durante a sedimentação dessa unidade, expondo predominantemente rochas graníticas e metamórficas de alto grau, e menor quantidade de rochas metamórficas de baixo grau ao final dessa sedimentação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASU, A. 1976. Petrology of Holocene fluvial sand derived from plutonic source rocks: implications to paleoclimate interpretation. *J. Sed. Petrol.*, 46:694-709.
- BLATT, H. 1967. Provenance determination and recycling of sediments. *J. Sed. Petrol.*, 30:1031-1044.
- DICKINSON, W.R. 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *J. Sed. Petrol.*, 40:695-707.
- DICKINSON, W.R. 1985. Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones. In: ZUFFA, G.G. ed. *Provenance of arenites*. Boston, D. Reidel Publishing Company. p. 333-361.
- DICKINSON, W.R.; BEARD, L.S.; BRAKENRIDGE, G.R.; EVAJAVEC, J.L.; FERGUSON, R.C.; INMAN, K.F.; KNEPP, R.A.; LINDBERG, F.A.; RYBERG, P.T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 94:222-235.
- DICKINSON, W.R. & SUCZEK, C.A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 63:2164-2182.
- FOLK, R.L. 1968. Petrology of sedimentary rocks. Austin, HeinphillFs, 170p.
- FRANÇA, A.B. 1987. Stratigraphy, depositional environment, and reservoir analysis of the Itararé Group (Permian-Carboniferous), Paraná Basin - Brazil. Cincinnati. 188 p. (PhD Thesis, University of Cincinnati).
- GAZZI, P. 1966. Le arenarie dei flysch sopracretaceo dell' Appennino modenese; correlazioni con il flysch di Monghidoro. *Mineralog. et Petrog. Acta*, 16:69-97.
- GRAVENOR, C.P. 1980. Chattermarked garnets and heavy minerals from the Late Paleozoic glacial deposits of southeastern Brazil. *Can. J. Earth. Sci.*, 17:156-159.
- INGERSOLL, R.V.; BULLARD, T.F.; FORD, R.L.; GRIMM, J.P.; PICKLE, J.D.; SARES, S.W. 1984. The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *J. Sed. Petrol.*, 54:103-116.
- INGERSOLL, R.V. & SUCZEK, C.A. 1979. Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218. *J. Sed. Petrol.*, 49:1217-1228.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) 1975. Folhas de Guarizinho, Itapeva, Ribeirão Branco, Foz do Apiaí-Guaçu, Buri e Aracaçu, escala 1:50.000.
- SOARES, P.C. 1988. Tectônica colisional em torno de bloco Paraná, Brasil. In: CONGR. LATINOAMER. GEOL., 7. Anais... Belém, SBG. v. 1, p. 63-79.
- SUTTNER, L.J. 1974. Sedimentary petrographic provinces. In: CHARLES, A. ROSS. ed. *Paleogeographic provinces and provinciality*. SEP. p. 75-84. (Special Publ. 21).
- WU, F.T. 1982. Minerais nas rochas arenosas do Subgrupo Itararé e Formação Aquidauana no Centro-leste do Estado de São Paulo. *Geociências*, 1:7-27.
- ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.K.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. 1987. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMP. SUL-BRASILEIRO, 3. Curitiba, 1987. Atas... Curitiba, SBG. v. 1, p. 441 - 477.
- ZUFFA, G.G. 1980. Hybrid arenites: their composition and classification. *J. Sed. Petrol.*, 50:21-29.

MANUSCRITO A644

Recebido em 16 de fevereiro de 1990

Revisão do autor em 10 de setembro de 1990

Revisão aceita em 10 de setembro de 1990