

DIQUES CLÁSTICOS NA FORMAÇÃO CORUMBATAÍ (P) NO NORDESTE DA BACIA DO PARANÁ, SP: ANÁLISE SISTEMÁTICA E SIGNIFICAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS, SEDIMENTOLÓGICAS E TECTÔNICAS

José Alexandre de Jesus PERINOTTO ¹, Mario Lincoln De Carlos ETCHEBEHERE ²,
Luiz Sérgio Amarante SIMÕES ³, Antenor ZANARDO ³

(1) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP/Campus Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP.

Endereço eletrônico: perinoto@rc.unesp.br

(2) Universidade Guarulhos. Praça Tereza Cristina, 01 – Centro. CEP 07023-070. Guarulhos, SP.

Endereço eletrônico: metchebehere@ung.br

(3) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP/Campus Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP.

Endereços eletrônicos: lsimoes@rc.unesp.br ; azanardo@rc.unesp.br

Introdução

Área de Estudo

Contexto Geológico

Descrição das Localidades

Rodovia dos Bandeirantes (SP-348)

Trevo Para Santa Luzia - SP-308

Pedreira Rocha (NW da cidade de Araras – SP)

Análise Estrutural

Discussão dos Resultados e Considerações Finais

Caráter Geral em Relação aos Diques Propriamente Ditos

Caráter Estratigráfico Regional

Sobre a Paleossismicidade e Tectônica Regionais

Agradecimentos

Referências Bibliográficas

RESUMO – Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de um levantamento sistemático dos diques clásticos encontrados na Formação Corumbataí, na região nordeste do Estado de São Paulo. Busca-se, também, explorar aspectos relativos à gênese e às significações estratigráfico-sedimentológicas dessas estruturas, bem como de suas implicações estratigráficas, tectônicas e evolutivas para esta porção da Bacia Sedimentar do Paraná e de seu registro geológico. Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em 3 principais afloramentos (dois cortes de estrada e uma pedreira), que congregam as mais importantes ocorrências de diques na área de estudo. Os diques se mostram, regra geral, constituídos de material arenoso ou siltico-arenoso, que penetram rochas adjacentes, tanto na vertical, formando os chamados diques clásticos (predominantes), como, por vezes, na horizontal formando *sills* (subordinados). Os diques presentes nessa unidade estratigráfica apresentam-se sob diferentes formas e dimensões, e encontram-se restritos aos estratos superiores da Formação Corumbataí. As paredes dos diques mostram deformações que indicam efeitos de compactação, sugerindo que os diques se intrudiram nos sedimentos encaixantes em situação pré-diagenética, provavelmente nas proximidades da superfície pretérita. Defende-se, neste artigo, a hipótese de uma origem sísmica para as intrusões clásticas. Essas estruturas tendem a ocorrer a partir de sismos de magnitude superior a 5, o que implica em eventos expressivos, recorrentes durante a deposição do terço superior da Formação Corumbataí, avançando, inclusive, para a porção basal da Formação Pirambóia. A análise de mapas de isópacas das unidades permianas e mesozóicas abrangendo a porção nordeste da Bacia do Paraná sugere um recuo das condições marinhas epicontinentais para ambiente plataformal raso e, finalmente, desertos costeiros. Este soerguimento tectônico poderia se fazer acompanhado de sismicidade expressiva, registrada como as intrusões aqui tratadas – que poderiam ser designadas, assim, “sismitos”.

Palavras-chave: diques clásticos; Formação Corumbataí; paleossismologia; nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná; Permo-triássico.

ABSTRACT – *J.A. de J. Perinotto, M.L. De C. Etchebehere, L.S.A. Simões, A. Zanardo - Clastic dikes in the Corumbataí Formation, northeastern of the Paraná Basin, State of São Paulo, Brazil: systematic analysis and stratigraphic, sedimentological and tectonic meanings.* This paper aims to present the results of systematic survey on clastic dykes in the Corumbataí Formation (Permian), in the northeast region of the State of São Paulo. Besides this, the paper analyses genetic aspects of those features as well as their stratigraphic and sedimentologic implications in terms of geologic evolution of the northeastern Paraná Sedimentary Basin during Permian times. The field works had been developed in 3 main Corumbataí Formation outcrops (2 road cuts and a quarry) supposed to show the most important clastic dikes occurrences in the studied area. Basically, the sedimentary intrusions are formed by fine sand or silt size particles and had penetrated host rocks as near-vertical, centimeter thick, dykes (most common form) or as horizontal sheets, forming clastic sills (subsidiary form), both with variable geometric forms and dimensions. A lot of dyke walls show undulations suggesting pre-diagenetic clastic intrusions, probably near the ancient depositional surface. Almost all intrusions occur in the superior third portion of the Corumbataí Formation and some similar features seem to appear in the adjoining superposed Pirambóia Formation base. In this article,

the authors defend a seismic origin hypothesis for the clastic intrusions. It is important to mention that clastic intrusions tend to occur linked to expressive seismic events, with magnitude upper to 5. The analysis of isopach maps of the Permian and Mesozoic units of the Paraná Sedimentary Basin in the study area suggests a depositional system changing, from epicontinental sea conditions to shallow platform and, finally, to coastal deserts. Probably, this environmental change was driven by regional uplift accompanied by seismic events. It is possible that ancient seismicity triggered liquefaction processes and the resulting clastic intrusions. In this sense, those clastic features might be properly named “seismites”.

Keywords: clastic dikes; Corumbataí Formation; paleoseismology; Northeast portion of the Paraná Sedimentary Basin; Permian-Triassic.

INTRODUÇÃO

Diques clásticos na Formação Corumbataí têm sido reportados na literatura geológica no Estado de São Paulo há muito tempo (*vide* Mello e Souza, 1985). Trata-se de um tipo de estrutura muito freqüente, apresentando-se com diversas dimensões e atitudes, com predomínio de diques verticais. Por vezes, apresenta dobras, o que levou alguns pesquisadores (Simões, L.S.A., comunicação verbal) a utilizá-los para a medida do grau de compactação dos sedimentos finos adjacentes. São observados em diversos afloramentos, restritos a determinadas camadas ou conjuntos de estratos. A associação dessas estruturas com possíveis processos de liquefação já foi apontada por Riccomini et al. (1993), o que incorreria na injeção de material psamítico fluidificado, oriundo de camadas intercaladas

aos pelitos Corumbataí. Processos de liquefação podem estar ligados a fenômenos geológicos tais como artesianismos, escorregamentos e vibrações de origens sísmicas, incidindo sobre sedimentos com determinadas características geotécnicas. O presente trabalho almeja apresentar os resultados de levantamento sistemático de tais feições na área de afloramento da Formação Corumbataí no nordeste da Bacia do Paraná, Estado de São Paulo (regiões de Rio Claro – Limeira – Piracicaba), caracterizando-as do ponto de vista estratigráfico e sedimentológico e analisando sua possível gênese e as suas implicações geológicas. Os aspectos petrográficos e petrológicos dos diques clásticos e suas rochas encaixantes serão detalhados em outro artigo, em preparação.

ÁREA DE ESTUDO

Os trabalhos foram desenvolvidos na área de afloramentos da Formação Corumbataí no nordeste da Bacia do Paraná, Estado de São Paulo (Figuras 1 e 2), com destaque para cortes de rodovias, além de cavas (pedreiras) de extração de material argiloso na referida unidade (ver Tabela 1 para localização dos pontos). Nas exposições mais significativas, foi feito levantamento detalhado, com registro foto-

gráfico, das características estruturais, sedimentológicas, e estratigráficas dos diques clásticos, seguindo-se a análise comparativa entre os diversos sítios estudados e o possível zoneamento das mencionadas características e de suas possíveis origens e condicionantes.

Os principais pontos analisados encontram-se listados na Tabela 1 e no mapa da Figura 2.

TABELA 1. Pontos analisados no presente trabalho (*vide* mapa da Figura 2).

Ponto	Designação	Localização
1	Cava abandonada	Estrada vicinal Rio Claro-Ipeúna, após rio Corumbataí
2	Calcário Cruzeiro	NW da cidade (sítio urbano) de Limeira
3	Rodovia dos Bandeirantes	SP-348, km. 161/162 – entre Limeira e Cordeirópolis
4	Trevo para Santa Luzia	SP-308, km. 186 – entre Charqueada e Piracicaba
5	Casa de Pedra	SP-308, km. 183,5 – entre Charqueada e Piracicaba
6	Bongue	Cidade de Piracicaba - Estrada do Bongue, margem esquerda rio Piracicaba
7	Pedreira Partezani	SP-127, km. 10,5 entre Rio Claro e Piracicaba
8	Pedreira Tute	W do distrito de Ajapi, em Rio Claro
9	Pedreira Rocha	NW da cidade de Araras

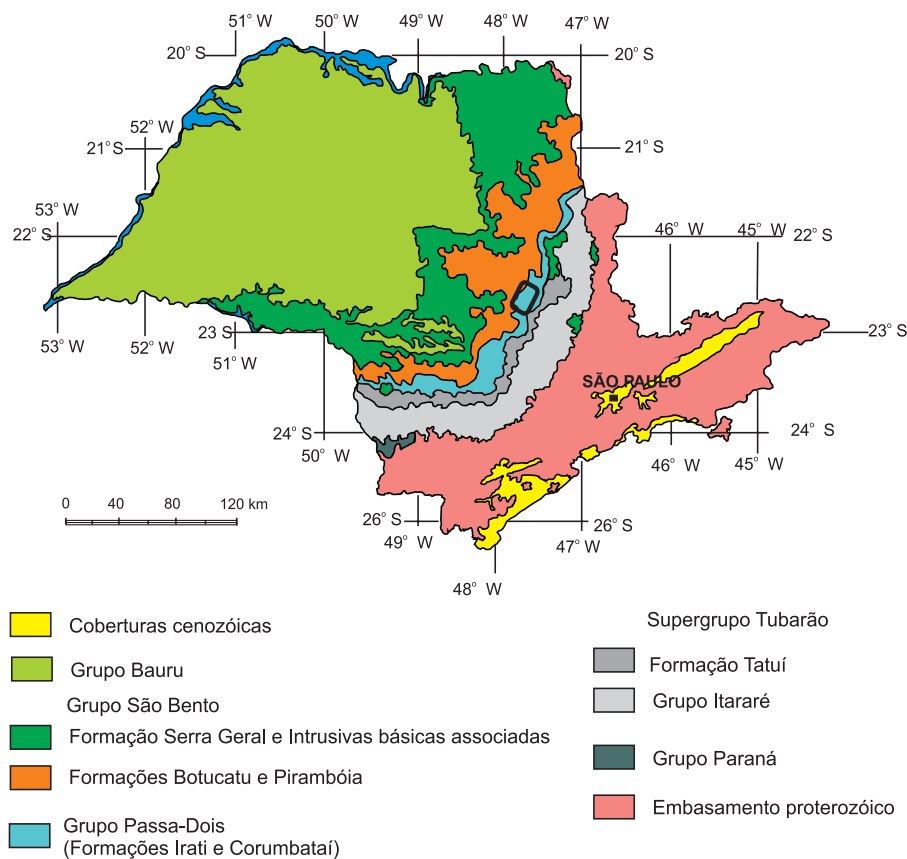


FIGURA 1. Distribuição das unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo (fonte: IPT, 1981). A Formação Corumbataí encima o Grupo Passa-Dois. O retângulo preto destaca (aproximadamente) a área de estudo (região de Rio Claro – Piracicaba – Limeira).

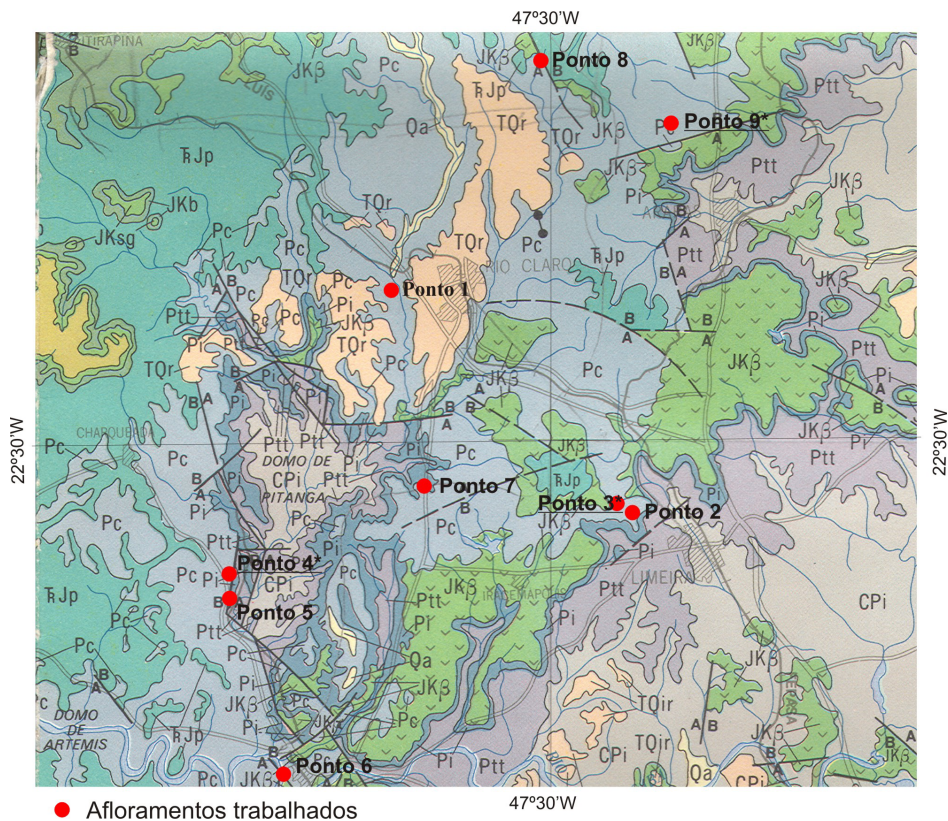


FIGURA 2. Mapa geológico do Estado de São Paulo (cf. IPT, 1981) e detalhe da área de estudo com a localização dos pontos analisados. Os pontos sublinhados e assinalados com * são aqui descritos e documentados.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está situada na Bacia Sedimentar do Paraná, desenvolvida entre o neo-Ordoviciano e o Neocretáceo (Milani, 1997), no interior da Plataforma Sul-Americana, centro-leste da América do Sul. Possui um preenchimento ígneo-sedimentar, composto por sedimentos continentais e marinhos intercalados com derrames basálticos de idade cretácea, depositado sobre migmatitos, granitos, gnaisses e supracrustais que constituem o embasamento da Plataforma Sul-Americana.

A Bacia do Paraná apresenta seis seqüências delimitadas por discordâncias no topo e na base (Milani et al., 1994). Tais seqüências são: Seqüência Ordovício-Siluriana, representada pelo Grupo Rio Ivaí; Seqüência Devoniana, correspondendo ao Grupo Paraná; Seqüência Carbonífera-Eotriássica, abrangendo os Grupos Itararé, Guatá e Passa Dois; Seqüência Neotriássica, constituída pelas formações basais do Grupo São Bento; Seqüência Jurássica-Eocretácea, englobando a maior parte do Grupo São Bento e Seqüência Neocretácea, representada pelos grupos Caiuá e Bauru.

O Grupo Passa Dois, da Seqüência Carbonífera-Eotriássica da Bacia do Paraná, compreende as formações Irati (unidade inferior) e Corumbataí (unidade superior) no Estado de São Paulo, sendo que no sul do país a Formação Corumbataí corresponde às formações Serra Alta, Teresina e parte da Formação Rio do Rasto. Em algumas seções estratigráficas da bacia, as formações Serra Alta e Teresina se estendem até próximo à área de estudo, interdigitando-se (por vezes com difícil

distinção) com a Formação Corumbataí.

A Formação Irati é constituída por siltitos, argilitos, folhelhos silticos, folhelhos pirobetuminosos, em alternância rítmica com calcários e restritos níveis conglomeráticos. Os répteis *Mesossaurus brasiliensis* e *Sterosternum tumidum* e os crustáceos *Paulocaris* e *Clarkecaris* são os fósseis mais característicos. Pode representar um ambiente marinho de águas rasas.

A Formação Corumbataí apresenta argilitos, folhelhos e siltitos geralmente arroxeados e avermelhados, intercalações de bancos carbonáticos, silexíticos e camadas de arenitos finos. Nos afloramentos visitados foram, marcadamente, observados acamamentos ondulado (*wavy*) e lenticular. Essas rochas podem ser oolíticas, ricas em conchas de bivalves; apresentar estromatólitos e acham-se freqüentemente silicificadas. Com relação aos fósseis, predominam bivalves, ostracodes, conchostráceos, peixes e restos vegetais. Os depósitos são possivelmente marinhos/costeiros, representando planícies de maré (Gama Jr., 1979; IPT, 1981).

Uma coluna estratigráfica simplificada correspondente à região onde se insere a área aqui estudada encontra-se ilustrada na Figura 3.

Os diques clásticos ocorrem de forma geral em um horizonte restrito, em meio a pelitos arroxeados com lâminas centimétricas de arenito e apresentam variadas dimensões e formas, como ondulados, enteromórficos, tabulares, entrelaçados, em “s”, em cunha, entre outras, com a maioria exibindo algum tipo de deformação (exemplos nas Fotos 1, 2 e 3).



FOTO 1. Dois diques clásticos divergindo (bifurcados). Afloramento da rodovia dos Bandeirantes (SP- 148), entre Cordeirópolis e Limeira (km 161 a 162) - Ponto 3 na Figura 2.



FOTO 2. Dique clástico associado a sill lateral (rodovia dos Bandeirantes, km 161 a 162) - Ponto 3 na Figura 2.

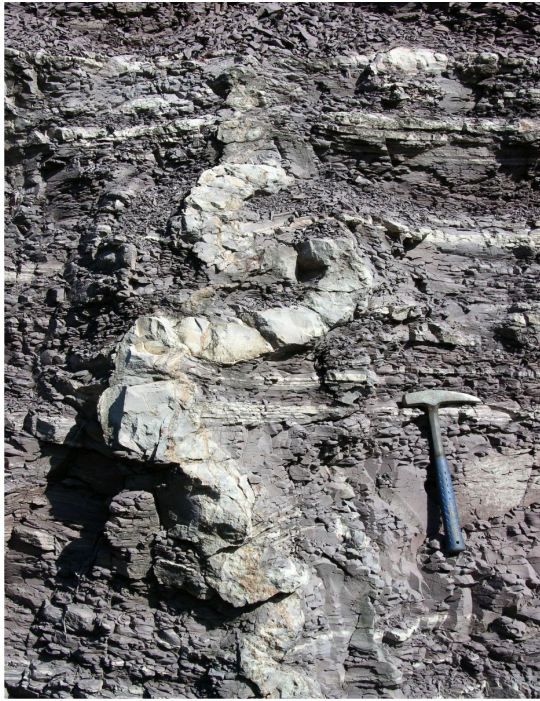


FOTO 3. Dique clástico deformado em forma de “S”/enteromórfico (rodovia dos Bandeirantes, km 161 a 162) - Ponto 3 na Figura 2.

ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espes. Aprox. (metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	arenitos pouco consolidados com lentes de argilas e níveis conglomeráticos na base <i>(Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)</i>	Continental: Planície aluvial e lacustre. Coluviões
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	arenitos conglomeráticos e arenitos silicificados / ferricretes	Continental: Leques aluviais, Fluvial e lacustre
MESOZÓICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	derrames de basaltos com lentes de arenito na base. Diques e soleiras de diabásio <i>(Basalto e diabásio = matéria-prima para brita)</i>	Magmatismo Fissural
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	arenitos bem selecionados com grãos bem arredondados e bem esféricos, pouca argila	Continental: Desértico
	TRIÁSSICO		PIRAMBÓIA		150	arenitos com grãos arredondados e esféricos. Diversos níveis de lamitos	Continental: Fluvial e Desértico
				CORUMBATAÍ		100	siltitos contendo lentes de arenitos finos argilitos, siltitos, arenitos finos, níveis de calcários dolomíticos e coquinas <i>(Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i>
PALEOZÓICA	PERMIANO	PASSA DOIS	IRATI		40	folhelhos, siltitos, folhelhos pirobetuminosos, calcários dolomíticos <i>(pedreiras de calcário na região de Assistência, Ipeúna e Piracicaba/Saltinho)</i>	Transicional: Laguna Marinho Raso: Plataforma
			TATUÍ		50	siltitos e siltitos arenosos	Transicional: Planície Costeira Marinho Raso: Plataforma
		ITARARÉ	Grupo ITARARÉ		900	arenitos, siltitos, varvitos e diamictitos (alguns verdadeiros tilitos) <i>(Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços profundos da região)</i>	Continental (Glacial): Aluvial - Leques e Fluvial; Lacustre Transicional: Deltas Marinho (glácio-marinho): Plataformal
			EMBASAMENTO			granitos, migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos	
	CARBONÍFERO						
	Pré-Cambriano						

FIGURA 3. Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro / Limeira / Piracicaba (SP). Perinotto & Zaine (2008), modificado de Soares & Landim (1975).

DESCRIÇÃO DAS LOCALIDADES

Aqui são descritas com maior detalhe três localidades (selecionadas por possuírem mais de 100 diques clásticos) entre as analisadas. Estas três localidades foram selecionadas pelo fato de serem as de maior importância para os objetivos do presente trabalho e por serem consideradas como bastante representativas da Formação Corumbataí na região, quer por suas litofácies e dimensões, quer por conterem as maiores concentrações dos diques clásticos.

RODOVIA DOS BANDEIRANTES (SP-348) – PONTO 3 NO MAPA DE LOCALIZAÇÃO (FIGURA 2)

Afloramento na margem da SP-348 (rodovia dos Bandeirantes), entre as cidades de Limeira e Cordeirópolis (km 161 a 162). Típico representante da Formação Corumbataí por seus aspectos litológicos, chama a atenção por sua exuberância, com continuidade de muitas camadas, bem como pela intercalação de lentes métricas areno-siltosas, de coloração creme esbranquiçadas em pelitos marrom avermelhados/arroxeados, e uma grande profusão de diques clásticos (medidos e analisados mais de 400 diques, restritos a horizontes específicos, como poderá ser visto adiante). A Foto 4 e as Figuras 4 e 5 ilustram parcialmente o referido afloramento.

A Figura 5 é uma seção colunar composta do afloramento, com destaque para o horizonte com maior abundância dos diques [que na Figura 4 é correspondente à bancada 1, com ênfase nos setores 2 (corte sul) e 3 (corte norte)].

Na seção colunar, nota-se que na base existe uma espessa camada mais arenosa, de cor creme clara (correspondente estratigráfica da camada de topo do ponto 2 – Calcário Cruzeiro –, que praticamente não apresenta diques clásticos em toda sua exposição), com intercalações de filmes e lâminas centimétricas de lamito marrom-arroxeados interlaminaados em acamamentos lenticular e ondulado (*linsen e wavy bedding*). Aparentemente, essa camada pode ter sido a provável alimentadora dos diques clásticos que ocorrem em maior quantidade logo acima.



FOTO 4. Semi-detalhe do horizonte com maior incidência dos diques. No esquema da Figura 3, encontra-se no corte sul, base do setor 2.

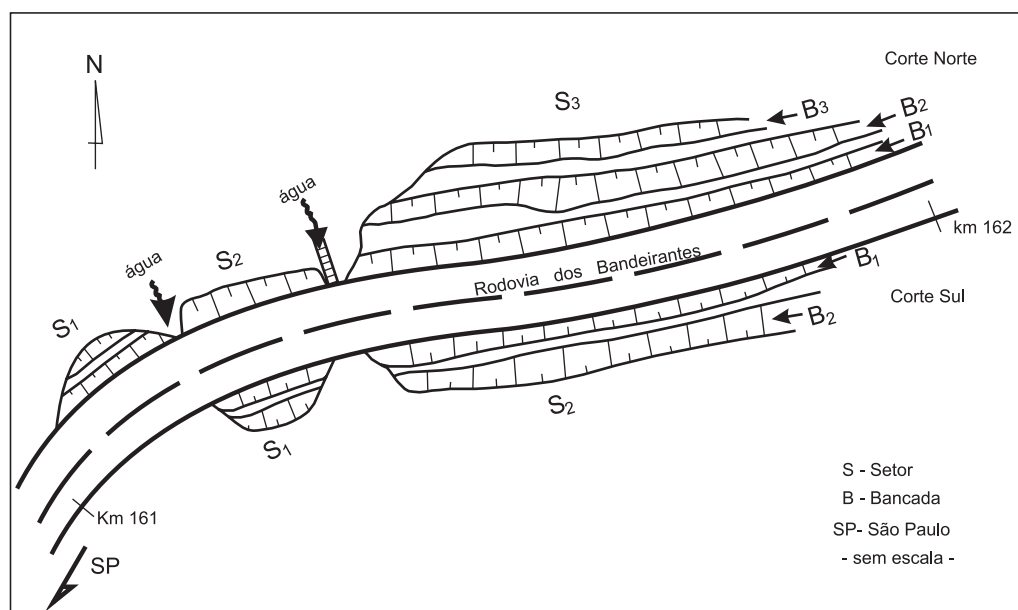


FIGURA 4. Esquema em planta do afloramento da rodovia dos Bandeirantes (SP-348), km 161 a 162, entre Limeira e Cordeirópolis, com divisão em cortes, setores e bancadas.

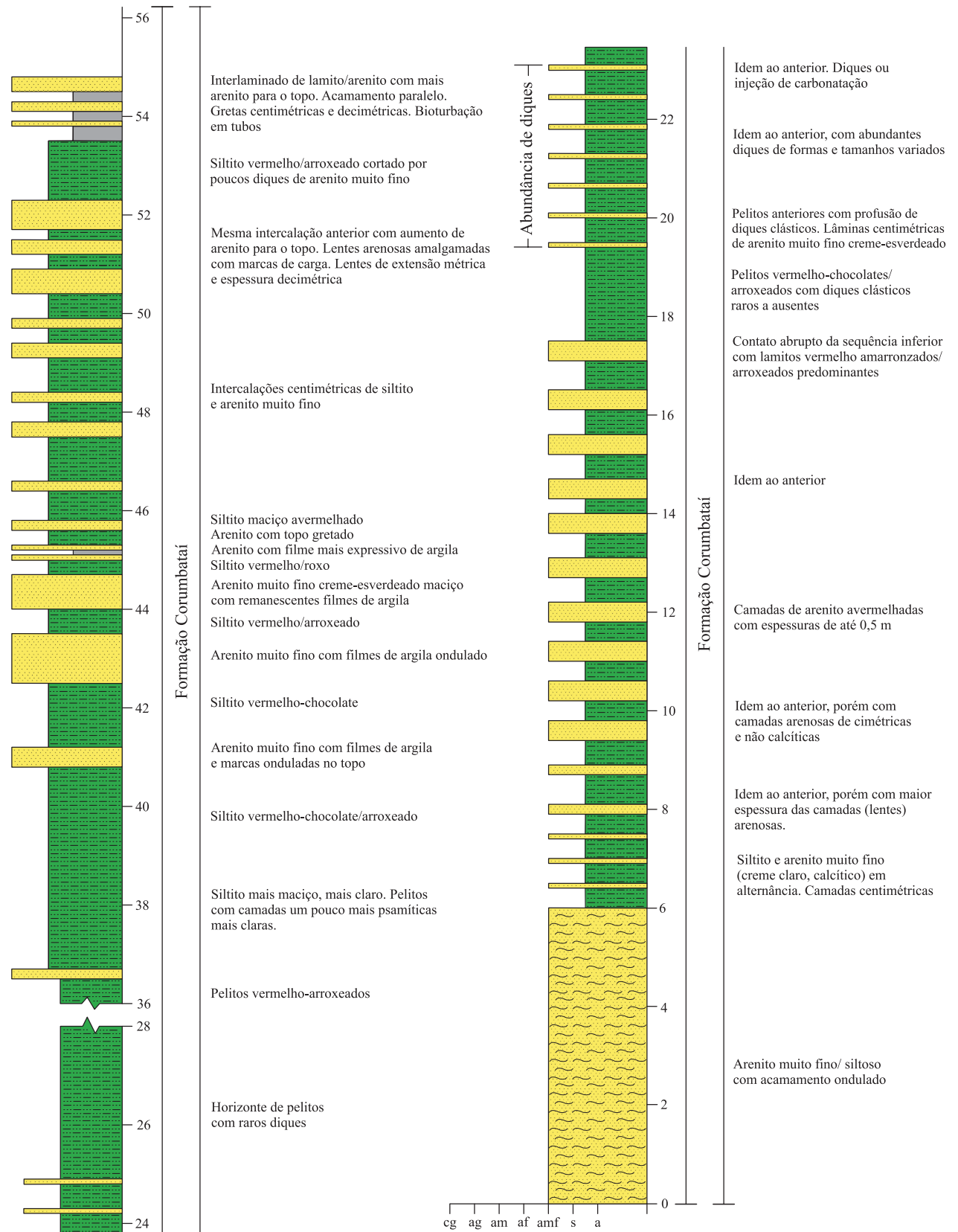


FIGURA 5. Seção colunar composta do afloramento SP-348, Rodovia dos Bandeirantes, km 161 a 162, entre Limeira e Cordeirópolis (ponto 3 na Figura 2).

Segue-se um horizonte de siltitos marrom avermelhados, intercalados com arenitos muito finos cuja espessura das camadas aumenta para o topo.

Acima desse conjunto, em meio aos pelitos marrom avermelhados, arroxeados, típicos da Formação Corumbataí, encontra-se o horizonte onde se concentra a maior quantidade de diques de todo o afloramento (ver foto 4 – bancada 1, setor 2, corte sul). Balizando a ocorrência principal dos diques, em contato abrupto sobre a camada anterior, ocorre camada métrica de lamitos (“camada constritora” – conforme Foto 4), com raros diques conseguindo penetrá-la.

Desse intervalo, para o topo da seção, ocorrem intercalações de lentes e camadas (de grande extensão lateral) de arenitos muito finos, de coloração clara, em meio aos pelitos marrom, avermelhados e arroxeados, ora com acamamento ondulado, ora com fina laminação plano-paralela horizontal nos pelitos.

Outros diques ocorrem ainda nas partes mais superiores, porém em quantidade bem mais reduzida quando em comparação com o horizonte inferior.

TREVO PARA SANTA LUZIA - SP-308, KM 186 – ENTRE CHARQUEADA E PIRACICABA – PONTO 4 NO MAPA DE LOCALIZAÇÃO (FIGURA 2)

Este afloramento, em corte de rodovia, é um dos pontos tradicionais na região de estudo para a observação dos diques clásticos. Atualmente, encontra-se quase que totalmente encoberto por vegetação, que dificulta sobremaneira a observação (Fotos 5 e 6).

A Formação Corumbataí, nesse ponto, apresenta as mesmas características observadas no afloramento anterior, com menor quantidade de diques. Um fato marcante nesse afloramento é a presença (principalmente na parte basal) de lâminas com alta concentração de fragmentos fósseis de peixes (escamas e dentes), gretas de contração e bioturbações verticais aproximadamente cilíndricas (na forma tubos arenosos), com diâmetros em torno de 0,5 cm, reforçando a interpretação de ambiente de águas rasas com exposição aérea periódica.

As formas e dimensões dos diques seguem o padrão do afloramento anteriormente descrito, com destaque para a forma enterolítica/dobrada.

A dificuldade de observação, devido à vegetação, prejudicou o levantamento de uma seção colunar, porém da base para o topo do afloramento observa-se um aumento na quantidade relativa da fração arenosa, com espessamento das camadas de arenitos muito finos/finos. Os pelitos são argilo/siltosos avermelhados com laminações onduladas e alternância de acamamento lenticular (*linsen*) e ondulado (*wavy bedding*). Os termos mais grossos, muitas vezes, apresentam-se com cimento carbonático.



FOTO 5. Intervalo com maior abundância de diques (terço superior do afloramento), com a visualização da distribuição vertical das camadas prejudicada pela densidade de vegetação. Trevo para Santa Luzia, rodovia SP-308, km. 186, entre Charqueada e Piracicaba. Ponto 4, na Figura 2).



FOTO 6. Típico dique clástico enterolítico/dobrado (forma mais conspícua nesse afloramento). Localização: trevo para Santa Luzia, rodovia SP-308, km. 186, entre Charqueada e Piracicaba. Ponto 4, na Figura 2.

**PEDREIRA ROCHA (NW DA CIDADE DE ARARAS – SP)
– PONTO 9 NO MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA FIGURA 2**

Trata-se de uma pedreira para extração de matéria prima para a indústria cerâmica, de propriedade da empresa Rocha, localizada no município de Araras (SP), com acesso pela rodovia Anhanguera, a NW do núcleo urbano. O local, que foi originalmente lavrado em três bancadas, encontra-se abandonado e em fase de degradação.

A seção colunar (Figura 6) levantada na bancada inferior mostra um nível mais silto/argiloso na base, onde se concentra a grande maioria dos diques cata-logados nesse local (Fotos 7 a 12). Acima do horizonte

basal segue um interlaminado (cerca de 2 m) de arenito muito fino/siltito com fino acamamento ondulado e sem diques. Esse horizonte é capeado por outra camada decimétrica mais argilo/siltosa, com fina laminação. A seção apresenta nítida granocrescência ascendente a partir desse ponto, culminando com camadas métricas amalgamadas de arenito muito fino/fino, com acamamento ondulado/lenticular (*wavy/lenticular bedding*) (Foto 11).

As várias frentes de exploração (conforme pode ser visto no esquema da Figura 7) permitiram uma análise mais acurada das relações estruturais dos diques com os vetores da tectônica regional.

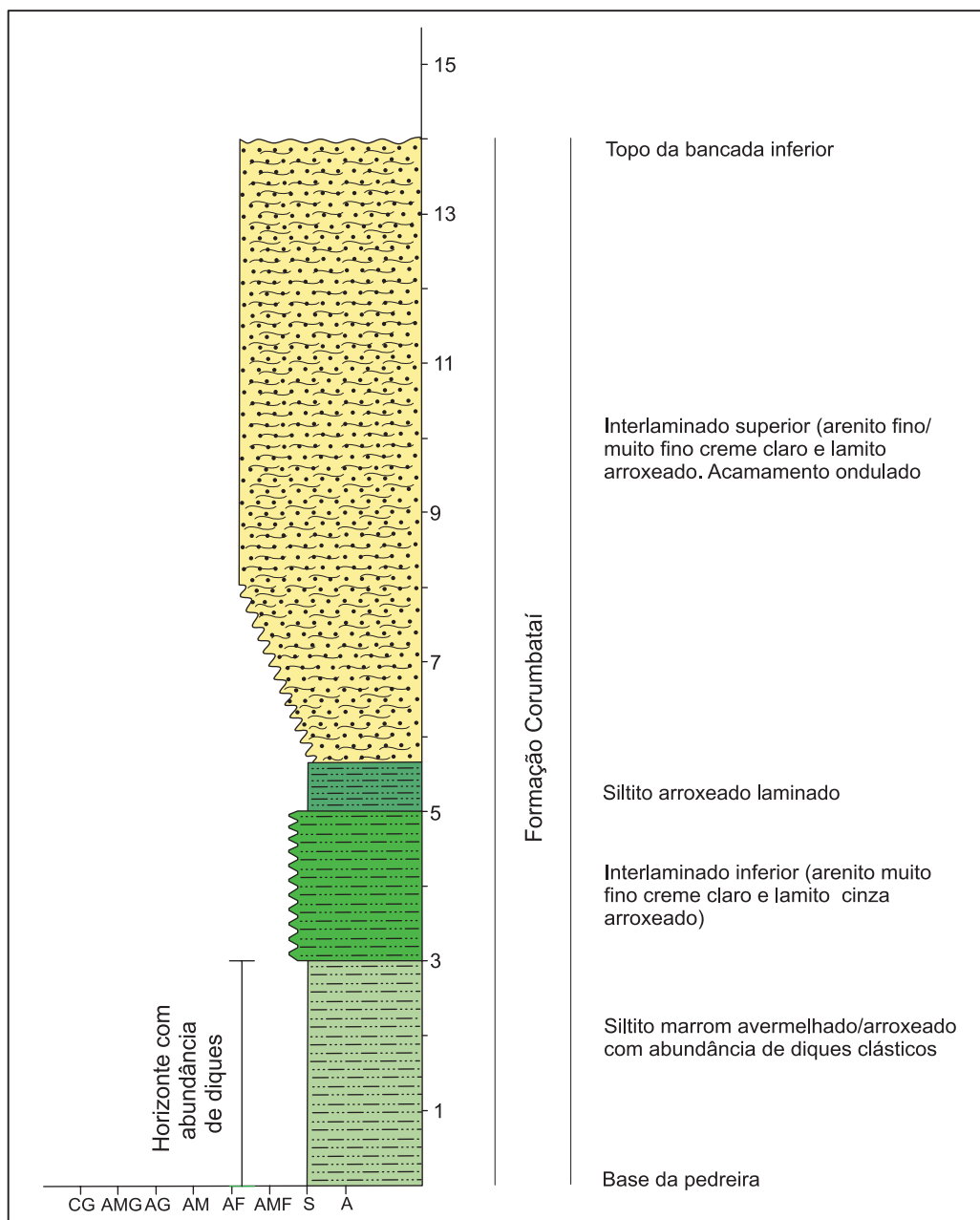


FIGURA 6. Seção colunar parcial da Pedreira Rocha (parte basal da pedreira). Ponto 9 na Figura 2.



FOTO 7. Dique tabular, levemente deformado no topo, mostrando halo de descoloração, em meio a pelitos marrom avermelhados típicos da Formação Corumbataí. Pedreira Rocha (Araras-SP).



FOTO 8. Dique enterolítico/dobrado, espessando para o topo, cortando pelitos marrom avermelhados. Pedreira Rocha (Araras-SP).

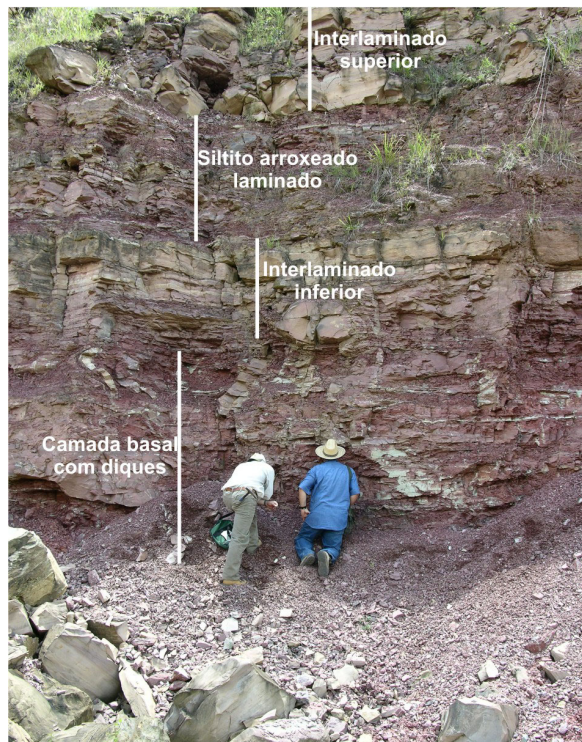


FOTO 9. Bancada inferior da Pedreira Rocha (Araras-SP), com os horizontes descritos na seção colunar da Figura 6.



FOTO 10. Dique tabular, levemente deformado, com típicas feições horizontais devido à pressão vertical. Pedreira Rochas (Araras-SP).

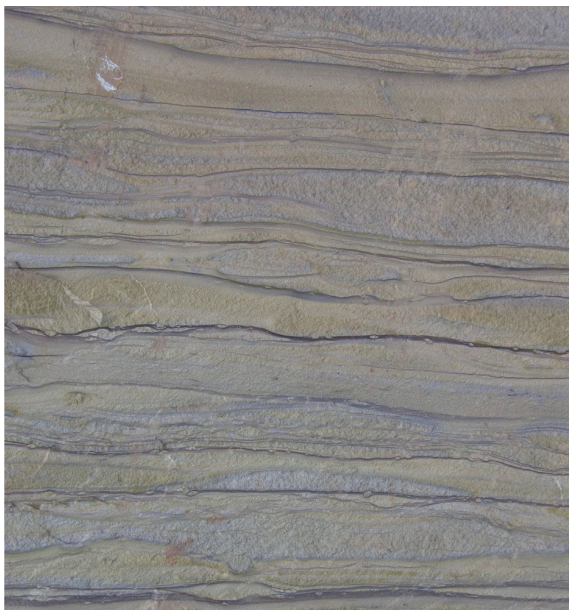


FOTO 11. Detalhe do interlaminado superior (arenito muito fino/fino e lamito arroxeadado) em acamamento ondulado. Ver seção colunar na Figura 6.

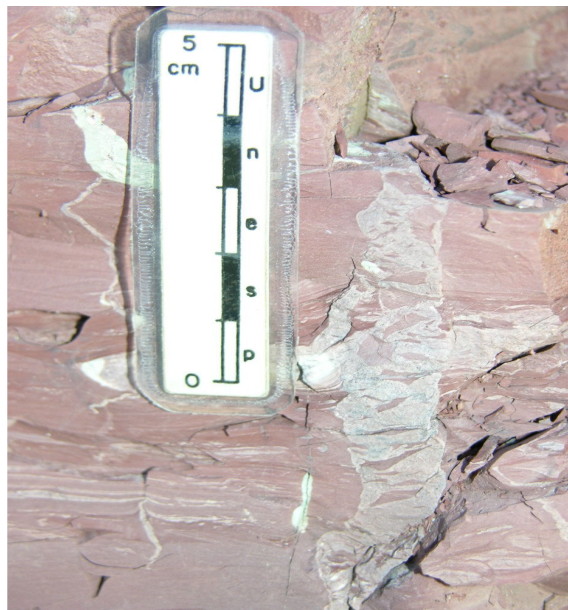


FOTO 12. Pequeno dique com emissão lateral e mostrando fragmentos de pelitos (marrom avermelhados) no seu interior, em posição horizontal. Pedreira Rocha (Araras-SP).

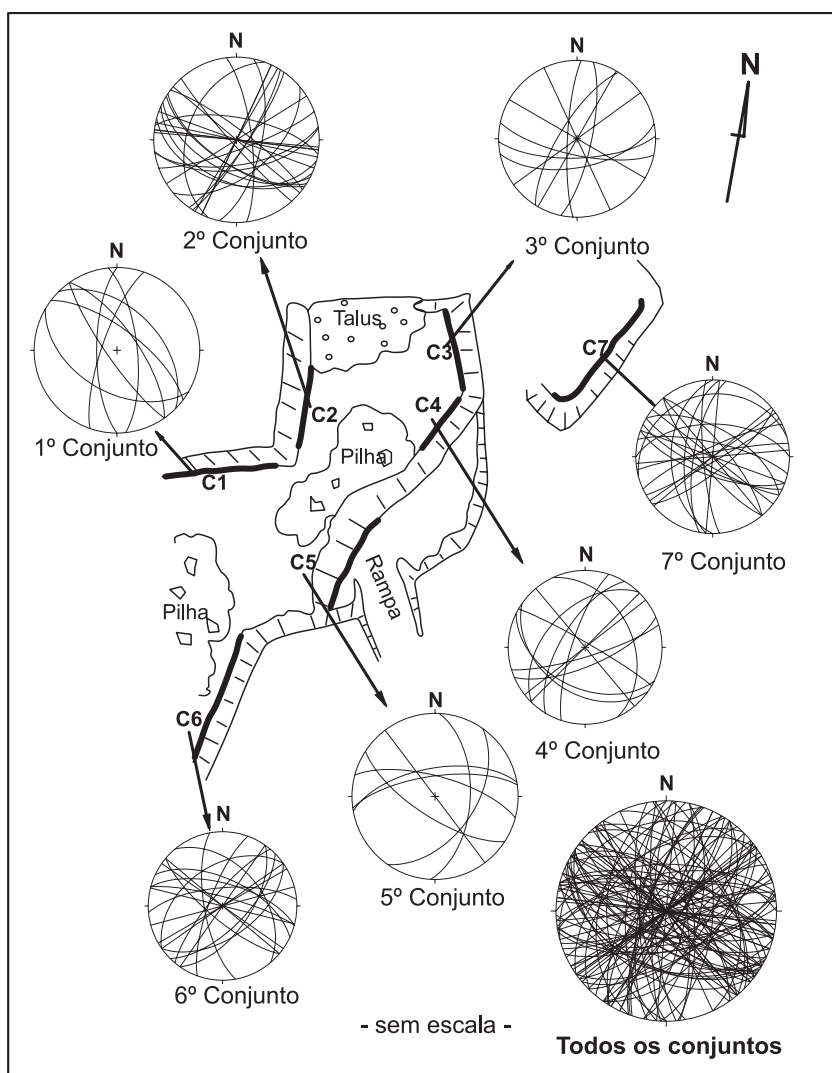


FIGURA 7. Esquema em planta dos conjuntos (C) de frentes de lava na bancada basal (C1 a C6) e bancada superior (C7) da Pedreira Rocha (Araras-SP), com os diagramas das medidas de atitudes dos diversos diques obtidas em cada conjunto e na somatória de todos os conjuntos, mostrando que não existe um padrão preferencial.

ANÁLISE ESTRUTURAL

Os dados utilizados para confeccionar os estereogramas (Figuras 8 a 18) são de três localidades: 1) afloramento na rodovia dos Bandeirantes (SP-348, km161 a 162 – ponto 3); 2) rodovia SP-308, km. 186 (entre Charqueada e Piracicaba, sob viaduto no trevo para o bairro de Santa Luzia – ponto 4) e 3) pedreira Rocha (desativada – NW de Araras – ponto 9) .

As medidas foram lançadas no *stereonet* assumindo-se a entrada de dados pela regra da mão direita, projeção equiárea.

Para a área da rodovia dos Bandeirantes, foram feitos estereogramas para diferentes setores (Figuras 8 a 17) e um estereograma integrando todos os setores (Figura 17). Os dados mostram algumas famílias principais de orientação preferencial. Considerando-se os dados de todos os setores em conjunto (Figura 17), destaca-se uma família mais importante, N12W/vertical, além de uma secundária, N16E/vertical. A família N12W/vertical é a de maior destaque e encontra-se representada em todos os setores.

Por outro lado, considerando-se todos os máximos encontrados nos setores, observa-se uma ampla dispersão com forte predomínio de orientações de direção NW.

A direção do corte é N70E (Figura 4), daí percebe-se que a orientação preferencial da família principal, é

aproximadamente perpendicular ao corte. O fato da orientação preferencial dos diques na SP-308 (N46E/vertical – Figura 18) ser totalmente diferente dos da SP-348, rodovia dos Bandeirantes, reforça esta interpretação.

Na SP-308 (trevo de Sta. Luzia), as famílias principais mostram uma diferença grande em relação às da rodovia dos Bandeirantes, exibindo máximos N46E/vertical, N78E/vertical e um máximo pouco expressivo de N73W/vertical (Figura 18). O corte dessa rodovia, no local, tem orientação NW.

O terceiro ponto estudado é o da pedreira Rocha (desativada, no município de Araras) com faces orientadas em diversos quadrantes (conforme pode ser visto na Figura 7), possibilitando a eliminação do “efeito corte”, tal como verificado nos outros dois pontos analisados. Dessa forma, não se percebe uma orientação preferencial que permita distinguir famílias de diques, e sim uma ampla dispersão.

Em suma, com relação à orientação, não é possível estabelecer uma relação clara entre a orientação dos diques com as orientações de estruturas tectônicas regionais amplamente conhecidas na literatura. Neste caso os diques simplesmente ocupariam as fraturas oriundas da pressão de fluidos local e atendendo principalmente ao stress confinante desta área.

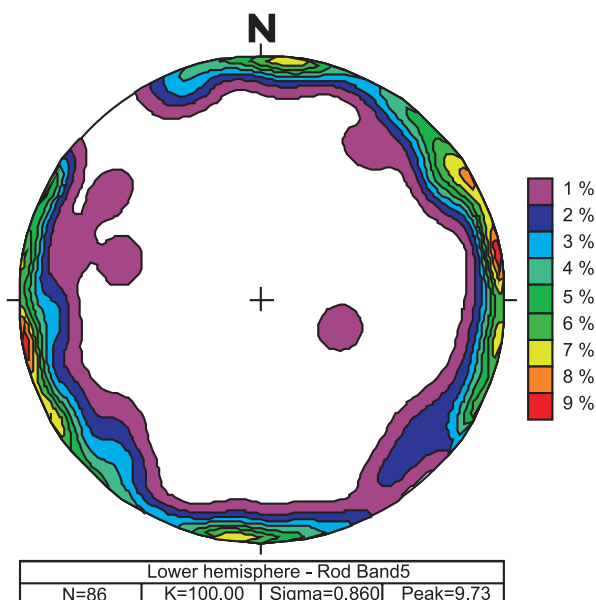


FIGURA 8. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na Figura 2 - Corte Norte, Setor 2, Bancada 1 (N=86)
- Máximos: 1) N11W/Vert; 2) N30W/Vert;
3) N20E/Vert; 4) N84W/Vert.

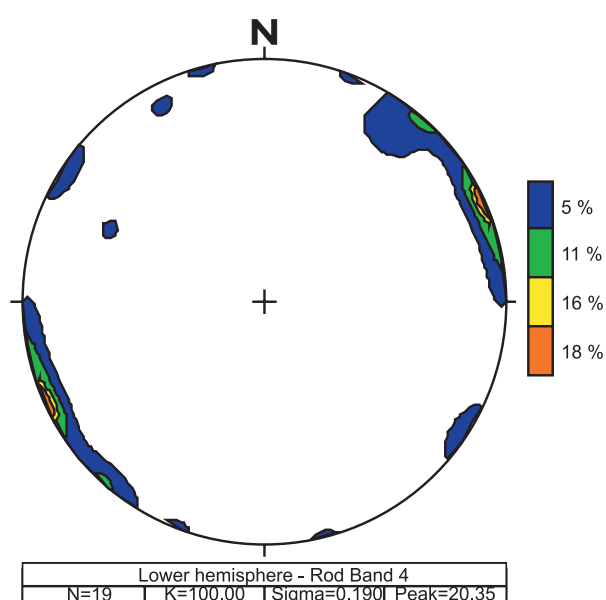


FIGURA 9. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na Figura 2 - Corte Norte, Setor 2, Bancada 2 (N=19)
- Máximos: 1) N25W/Vert; 2) N49W/Vert; 3) N33E/Vert.

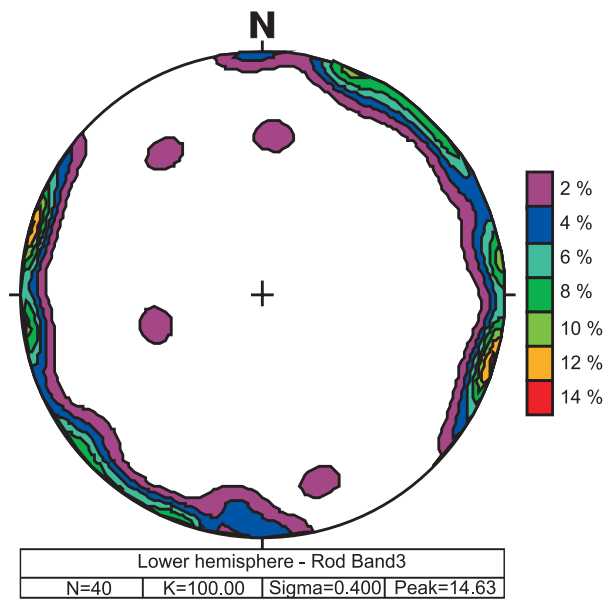


FIGURA 10. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na Figura 2 - Corte Norte, Setor3, Bancada 1 (N=40) - Máximos: 1) N15E/Vert; 2) N68W/Vert; 3) N45W/Vert; 4) N9W/Vert; 5) N88W/Vert.

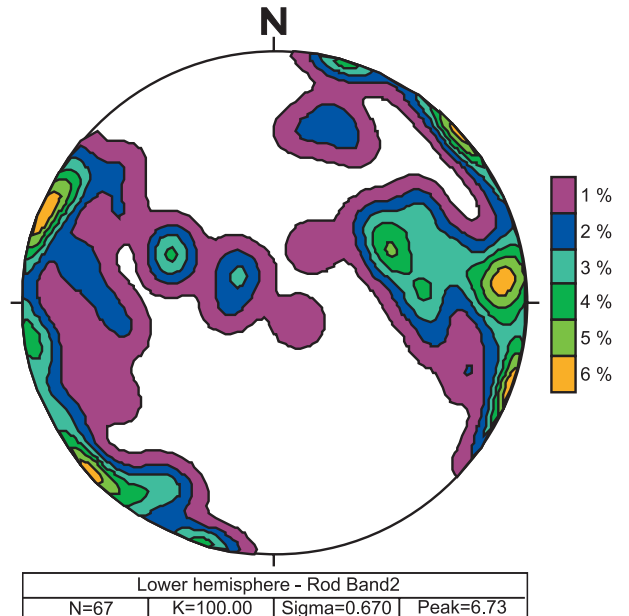


FIGURA 11. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na figura 2 - Corte Norte, Setor 3, Bancada 2 N= 67 - Máximos: 1) N21E/Vert; 2) N42W/Vert; 3) N6W/80SW; 4) N74W/Vert; 5) N25W/42SW; 6) N26E/38SE.

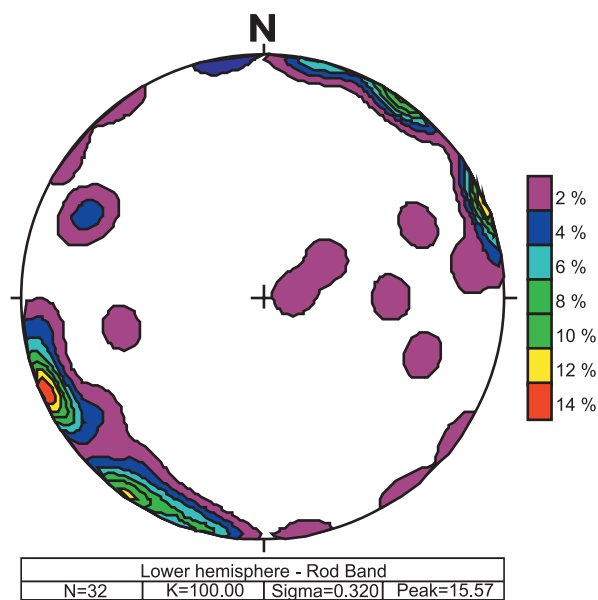


FIGURA 12. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na Figura 2 - Corte Norte, Setor 3, Bancada 3 (N=32) - Máximos: 1) N24W/Vert; 2) N55W/Vert; 3) N75W/Vert; 4) N45E/Vert.

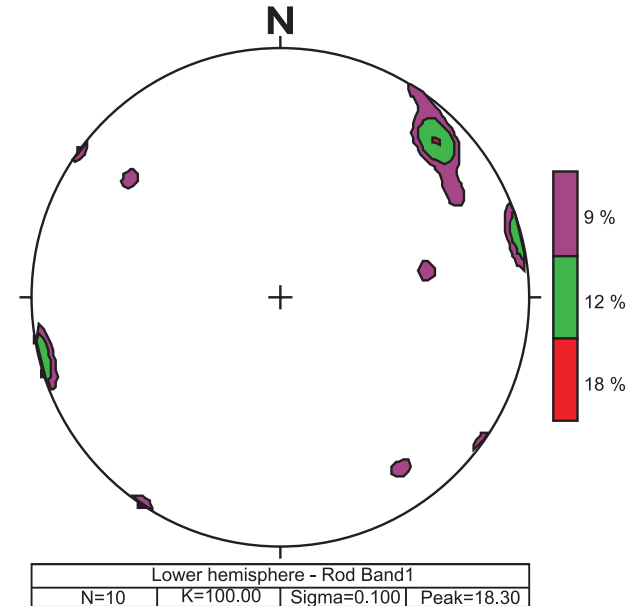


FIGURA 13. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na Figura 2 - Corte Norte, Setor 3, Bancada 4 (N=32) - Máximos: 1)N45W/78SW; 2) N15W/Vert; 3) N35E/Vert.

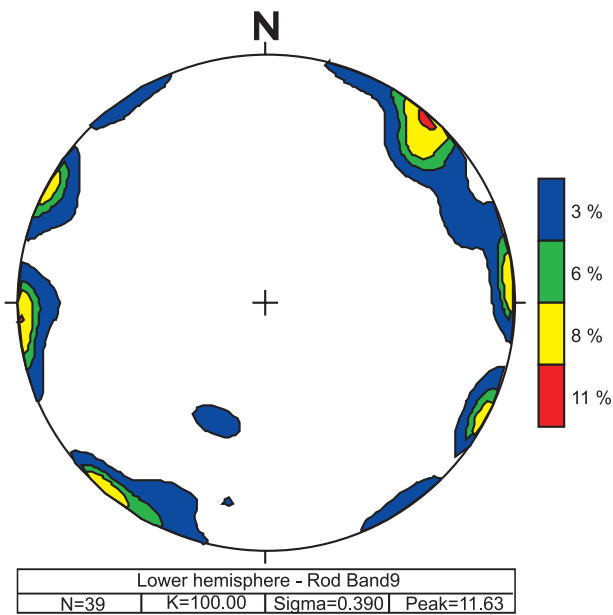


FIGURA 14. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na Figura 2 - Corte Sul, Setor 1; Bancada 1 (N=39)
- Máximos: 1) N50W/Vert; 2) N5W/Vert; 3) N27E/Vert; 4) N55E/Vert.

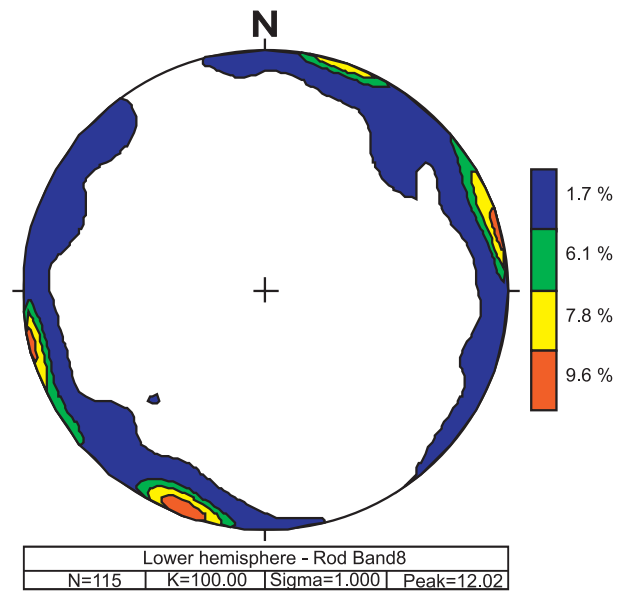


FIGURA 15. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na Figura 2 - Corte Sul, Setor 2, Bancada 1 (N=115)
- Máximos: 1) N70W/Vert; N13W/90; N12E/90.

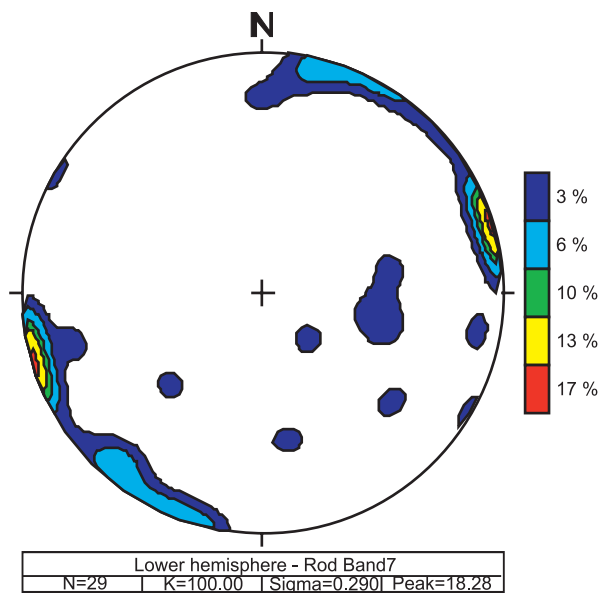


FIGURA 16. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na Figura 2 - Corte Sul; Setor 2; Bancada 2 (N=29)
- Máximos: 1) N17W/Vert; 2) N27W/Vert.

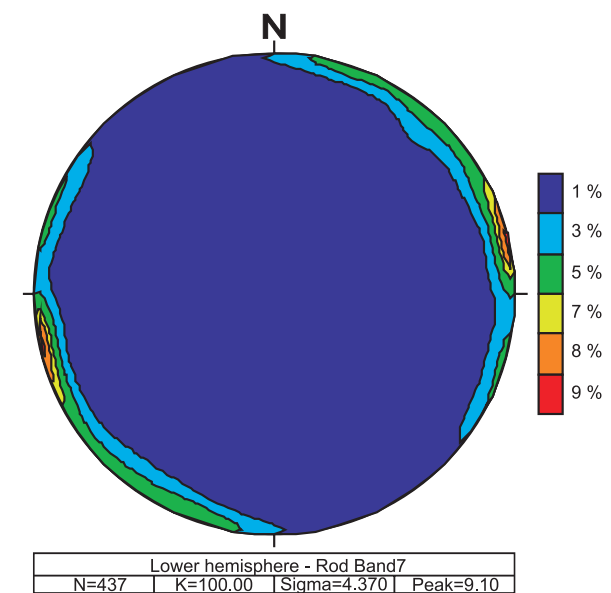


FIGURA 17. Rodovia dos Bandeirantes – ponto 3 na Figura 2 - Todas as medidas
- Máximos: 1) N12W/Vert; 2) N16E/Vert.

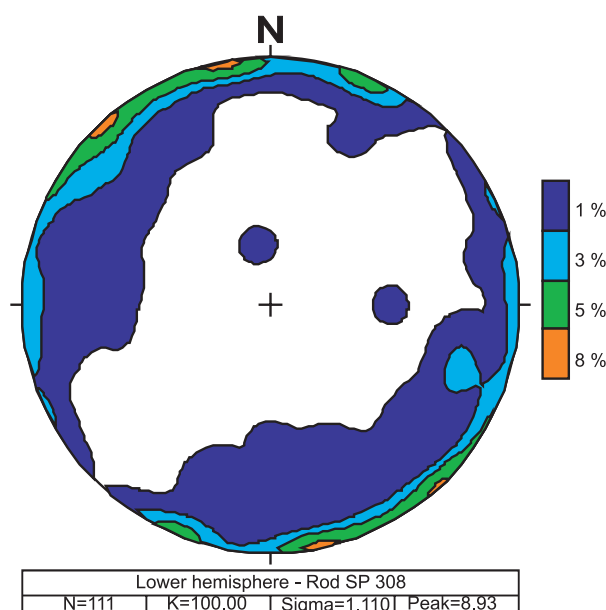


FIGURA 18. Rodovia SP308, km 186 – Sob viaduto do trevo para o bairro Santa Luzia – entre Charqueada e Piracicaba – ponto 4 na Figura 2. (N=111) - Máximos: 1) N46E/Vert; 2) N78E/Vert; 3) N73W/Vert.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar uma integração de todos os dados obtidos em campo com o tratamento e as análises efetuadas, pode-se tecer as seguintes considerações:

CARÁTER GERAL EM RELAÇÃO AOS DIQUES PROPRIAMENTE DITOS

Os estudos desenvolvidos possibilitaram constatar os seguintes fatos:

1. Os diques são feições relativamente comuns na Formação Corumbataí, ocorrendo, de modo mais freqüente, no topo (terço superior) dessa unidade, próximo ao contato com a sobrejacente Formação Pirambóia;
2. Regra geral, os diques ocupam rochas encaixantes sílticas, evidenciando dificuldades de romper fácies mais argilosas ou mais arenosas. O material liquefeito apresenta-se na faixa granulométrica predominante de silte/areia muito fina, por vezes incluindo fragmentos milimétricos a centimétricos, irregulares, arrancados das paredes das rochas encaixantes. Fácies deposicionais suscetíveis a processos de liquefação, i.e., rochas-fonte, são relativamente abundantes na parte superior da Formação Corumbataí, em especial sob a forma de barras arenosas de plataforma rasa, com laminação/acamamento lenticular e ondulado (*linsen* e *wavy bedding*) e laminações entrecruzadas (efeito oscilatório de ondas);

3. Nos afloramentos mais significativos em termos de ocorrência de diques (rodovia dos Bandeirantes, km 161-162; rodovia Charqueada-Piracicaba (SP-308), trevo de Santa Luzia, km 86; Pedreira Rocha/Araras), observou-se que essas estruturas ocorrem em alguns horizontes estratigráficos (sempre no terço superior da Formação Corumbataí), em uma mesma camada ou conjunto de camadas. Pôde-se constatar algumas ocorrências de diques cruzando diques, refletindo uma multiplicidade de gerações de tais feições;
4. Os estereogramas dos diques em cada um dos afloramentos que possibilitaram o levantamento estatístico mostram uma ampla dispersão de orientações, com forte influência do chamado “efeito de corte”, que tende a favorecer as direções perpendiculares ou oblíquas à direção da parede estudada, introduzindo um viés geométrico ao desfavorecer as medidas de diques com orientações próximas às do corte analisado. Na Pedreira Rocha, de Araras, onde foram tomadas medidas em taludes de várias direções na cava estudada, o “efeito de corte” foi suprimido, confirmando o quadro de elevada dispersão das atitudes dos diques. A hipótese mais plausível parece ser a de que os sedimentos fluidizados ocuparam fraturas pré-existentes ou geradas pela própria pressão do fluido (hidrofraturamento), atendendo ao *stress* confinante de cada local, sem caracterizar um

padrão tectônico regional, ou vinculado à reativação de zonas de cisalhamento como propuseram Riccomini et al. (2005) e Turra et al. (2006) para as ocorrências dessa região. Esta conclusão vem ao encontro daquelas emitidas por Obermeier (1994), que verificou uma conformação entre o padrão das intrusões com a declividade e a disposição geométrica das fácies sedimentares afetadas;

5. Os diques mostram estilos diversificados, variando de tabulares a enteromórficos, com espessuras milimétricas a decimétricas, e extensões que podem ser decimétricas a decamétricas, atitudes variadas, com predomínio das subverticais (em especial, nos diques tabulares; diques enteromórficos apresentam maior dispersão, em parte decorrente da própria dificuldade de se caracterizar o mergulho da estrutura). A presença freqüente de fragmentos de material da encaixante (com tênue orientação, quando placóides) e as deformações no acamamento das rochas hospedeiras dos diques indicam intrusões forçadas de material liquefeito, não-raro com movimentação horizontal. A incidência de formatos enteromórficos em diques (ou porções destes) em fácies pelíticas, constritos por capeamentos mais competentes, indica que as intrusões ocorreram em estágio pré-diagenético, com deformações rúpteis-dúcteis, sem miscibilidade do material liquefeito com os pelitos encaixantes. Tanto a orientação horizontal/subhorizontal dos fragmentos placóides das encaixantes no interior dos diques, quanto o encurtamento da dimensão vertical (com geração de feições horizontais nos diques) podem indicar o efeito de uma pressão de compactação (Figura 19 e Foto 13);
6. Os estudos petrográficos preliminares possibilitaram delinear importantes transformações diagenéticas na textura e na composição dos diques, que modificaram substancialmente o caráter detrítico do material fluidizado, sem, contudo, obscurecê-lo;
7. A ampla ocorrência de diques clásticos, restritos a intervalos estratigráficos bem delineados, não favorece, como hipótese de processo gerador, fenômenos como artesianismo, escorregamentos, *dewatering* de areias, cisalhamento propiciado por ondas ou marés, incidência de tempestades, ou instabilidades deposicionais locais (*q.v.* contribuição de Cojan & Thiry 1992) - que podem gerar liquefações conquanto em âmbito restrito e limitadas a camadas de pequenas espessuras. Outra possibilidade é a de que os diques poderiam ter sido gerados por processos diagenéticos, em parte facilitados pela natureza das fácies sedimentares

primárias, que poderiam incluir expressivo percentual de componentes químicos (como sais, por exemplo; facilitadores de deformações cinéticas), condição suspeitada pela presença de minerais autigênicos nas lâminas petrográficas de amostras dos diques. Contudo essa hipótese carece de aprofundamentos que se encontram em curso;

8. Após a eliminação das possibilidades acima levantadas, voltou-se a atenção para a hipótese de a geração dos diques clásticos, na forma em que estas feições ocorrem na área estudada, estar associada a sismos. Estudos elaborados por diversos autores (*e.g.*, Youd, 1984; Thorson et al., 1986; Ambraseys, 1988; Scott & Price, 1988; Obermeier, 1994, 1996; Demoulin, 1996; McNulty & Obermeier, 1997; Etchebehere & Saad, 2002), especialmente no âmbito de sedimentos cenozóicos (material inconsolidado e saturado), têm mostrado que a incidência de sismos com magnitude expressiva, em geral superior a 5 na escala Richter, favorece a geração de liquefações. A sismicidade poderia, assim, responder como mecanismo gerador das estruturas de liquefação encontradas na Formação Corumbataí, explicando, de modo conveniente, a ampla ocorrência dos diques na área estudada e o confinamento dessas estruturas a determinados intervalos estratigráficos, com superposição local de processos.
9. Em complemento, vale ressaltar que ocorrências discretas de diques centimétricos, associados a pequenas falhas e camadas convolutas, foram também verificadas na base da Formação Pirambóia (rodovia Ipeúna-Charqueada – SP-191, no cruzamento com estrada vicinal em terra para o bairro Paraisolândia), no âmbito da área estudada neste trabalho. Neste caso, as convoluções e os diques estão confinados em fácies interdunares (com estratificação plano-paralela), de espessuras decimétricas a métricas, que se intercalam a arenitos bem selecionados, com estratificações cruzadas de porte médio a grande, sem marcas de liquefação ou deformação acentuada (exceto esporádicas falhas com rejeitos milimétricos).

CARÁTER ESTRATIGRÁFICO REGIONAL

O registro ígneo-sedimentar da Bacia do Paraná tem sido objeto de subdivisões estratigráficas e acaloradas discussões há bastante tempo. Diversas revisões e propostas subdividem o preenchimento da bacia em seqüências de relevância plataformal (*sensu* Sloss, 1963; Soares et al., 1974), limitadas por discordâncias regionais, sem que haja consenso. Um dos limites mais discutidos tem sido a separação Permiano – Triássico,

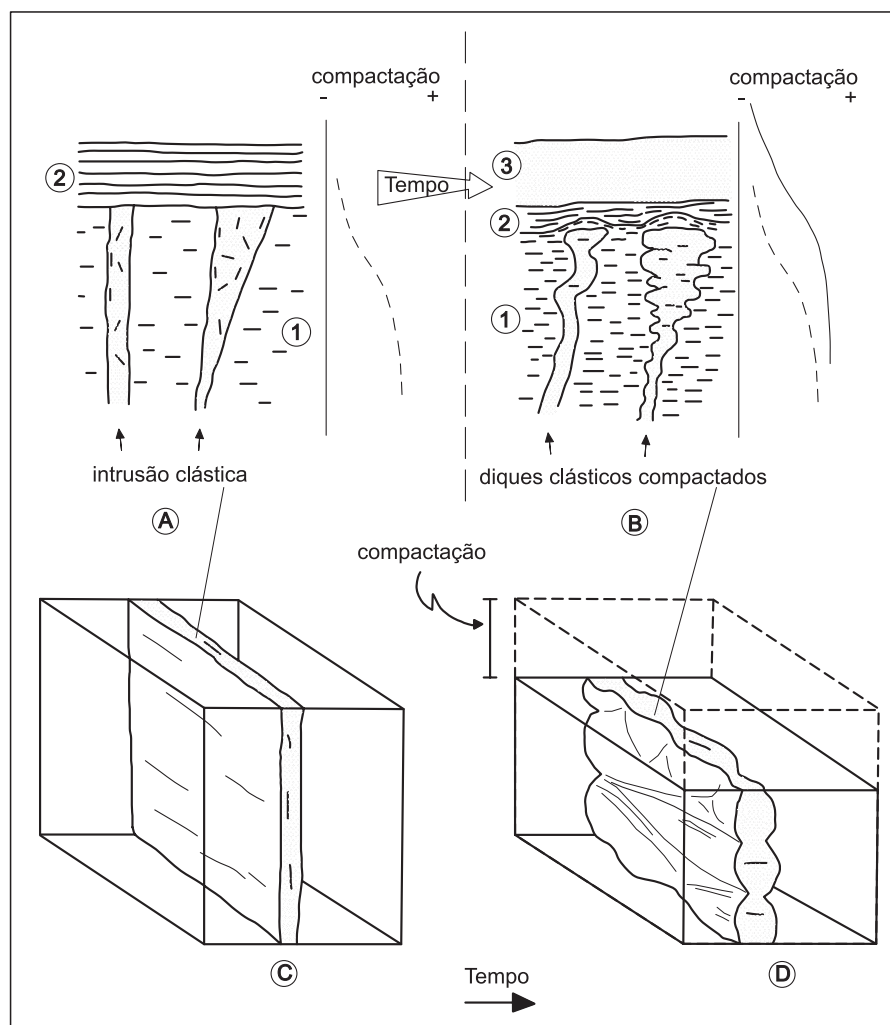


FIGURA 19. Esquema de injeção (geração) e compactação de diques clásticos: A e B – visão em corte; C e D – esquema 3 D. 1 – rocha pelítica hospedeira (siltito areno/argiloso); 2 – camada constritora (argilito/siltito argiloso), deformada na compactação e parcialmente penetrada em alguns casos; 3 – camada pouco compactada, muitas vezes de granulção mais grossa, que auxilia na constrição. Diques de arenito muito fino, siltoso a siltito arenoso superior.

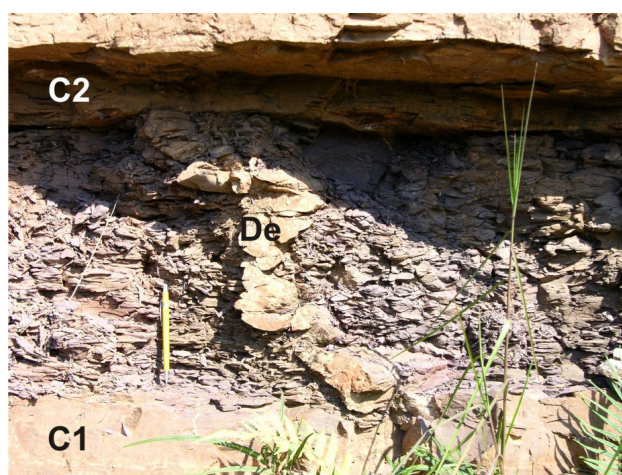


FOTO 13. Foto ilustrativa dos esquemas da Figura 18 – Dique enteromórfico (De), dobrado mostrando os efeitos da compactação. Aparentemente origina-se na camada (C1) areno-siltosa (base) e, no topo, limita-se abruptamente na base da camada superior (C2). Rodovia dos Bandeirantes (SP-348), km. 161 a 162, entre Cordeirópolis e Limeira (SP). Ponto 3 na Figura 2.

ora marcada, no caso do nordeste paulista, como uma discordância entre os grupos Passa Dois e São Bento (e.g., Milani et al., 1994; Strugale et al., 2004), ora como sendo de natureza transicional (e.g., Milani & Ramos, 1998).

Uma discussão adicional refere-se à idade da Formação Pirambóia e à relação estratigráfica com a superposta Formação Botucatu (Assine et al. 2004). Para alguns autores (e.g., Vieira, 1973; Schneider et al., 1974; Soares, 1975), a Formação Pirambóia teria idade triássica; já para outros, como Lavina (1984), Milani & Ramos (1998), Matos (1995), Milani (2004) e Zalán (2004), esta unidade seria interdigitada com o Grupo Passa Dois, podendo apresentar idade neopermiana-eotriássica. As relações estratigráficas Pirambóia / Botucatu também são objeto de debate. Almeida (1953) incluía Pirambóia e Botucatu em um mesmo contexto desértico; Soares (1975) separou formalmente as unidades como duas formações distintas; Zalán et al. (1987) estabeleceram uma discordância regional entre ambas; Caetano-Chang & Wu (2006) caracterizaram combinações entre fácies fluviais e eólicas na parte superior da Formação Pirambóia, na região de Itirapina-SP. O registro de dois paleoambientes desérticos distintos poderia compatibilizar a diferença de idades entre a Formação Botucatu (cujas dunas se intercalam com os derrames basais da Formação Serra Geral, de 133 Ma), com a Formação Pirambóia (que seria cronocorrelata com unidades triássicas, tais como Santa Maria e Caturrita, segundo Andreis et al., 1980 e Soares & Assine, 1992). Assine et al. (2004) sintetizaram essas considerações paleoambientais, propondo a existência de dois paleodesertos distintos, separados por discordância regional, sendo a Formação Pirambóia, um sistema eólico úmido (*wet eolian system*), e a Formação Botucatu, superior, um sistema eólico seco (*dry eolian system*).

A presença, na área estudada, de diques e outros tipos de sismitos no topo da Formação Corumbataí e na base da Formação Pirambóia, poderia corroborar a proximidade cronológica dessas duas unidades, que teriam se sujeitado ao mesmo rol de processos geradores dessas feições de liquefação, pene- a tardi-contemporâneas às suas sedimentações.

SOBRE A PALEOSSISMICIDADE E TECTÔNICA REGIONAIS

O Neopermiano da Bacia Sedimentar do Paraná, na região objeto de estudo do presente trabalho, caracterizava-se pela presença de um mar epicontinental, com sedimentação pelítica, entremeada com sedimentação química e abundância de material orgânico (Irati), que gradou, rumo ao topo, para sedimentação plataformal (base da Formação Corumbataí), cada vez mais rasa, governada por marés, e

marcada pela presença de fácies arenosas com estruturas direcionais e oscilatórias (terço superior da Formação Corumbataí). A Figura 20 mostra as isópacas acumuladas do conjunto sedimentar que reflete o contexto de um mar epicontinental. Essa passagem (Irati-Corumbataí) delinea um adelgaçamento da lâmina d'água do mar epicontinental, sugerindo que esta porção da crosta começava o processo de soerguimento, que levou, em seu estágio final, ao recuo do mar e o predomínio de sedimentação siliciclástica em sistema deposicional com amplo predomínio de processos eólicos (paleodeserto Pirambóia, no sentido de Assine et al., 2004). Por sua vez, a Figura 21 mostra, por meio da conformação das isópacas acumuladas das unidades Rosário do Sul, Pirambóia e Botucatu, a notável modificação do contexto deposicional, já indicando a atuação de um alto estrutural na altura do atual paralelo 24° S, separando dois depocentros. A ação tectônica culmina com o extravasamento magmático que compõe a Formação Serra Geral (133 Ma), cujas isólitas (Figura 22) mostram uma substancial modificação direcional em relação às figuras precedentes. Acha-se, então, em pleno curso, o processo de ruptura do grande continente Gondwana, cujo início remonta ao final do Permiano.

Este processo de alçamento crustal, desde seu início, deve ter sido acompanhado, ao longo de seu desenvolvimento, de expressiva sismicidade, cujos reflexos se fizeram notar sob a forma das conspícuas estruturas de liquefação, incluindo os diques elásticos presentes na Formação Corumbataí. O arranjo de fácies deposicionais do terço superior dessa unidade, marcado pela alternância de areias litorâneas e pelitos, reuniria as condições sedimentológicas adequadas para a incidência de liquefações (areias finas/muito finas inconsolidadas, saturadas, pouco soterradas, constrictas por camadas e lâminas de pelitos mais consistentes). O porte, a frequência e a distribuição, em área e por intervalos estratigráficos, responderiam pela episodicidade dos fenômenos de liquefação e pela provável conexão com sismicidade, reputado como o mecanismo gerador mais provável para a formação das estruturas aqui estudadas.

Com o predomínio das fácies continentais, as condições sedimentológicas favoráveis aos processos de liquefação restringiram-se aos sedimentos interdunas, que ocorreram, especialmente, no contexto eólico úmido. O baixo contraste granulométrico pode explicar, em parte, a menor frequência de estruturas de liquefação nos sedimentos psamíticos. No caso do paleodeserto Botucatu, caracterizado, como visto, por um sistema eólico seco, predominam os grandes campos de dunas eólicas (*draas*), que desfavorecem a formação e preservação de estruturas de liquefação

como os diques. Reflexos da paleossismicidade podem ser, contudo, buscados na presença e distribuição de estruturas que registrem instabilidades nas

dunas, tal como reportado por diversos autores (e.g., Bigarella et al., 1969; Fryberger et al., 1988; Cojan & Thiry, 1992).

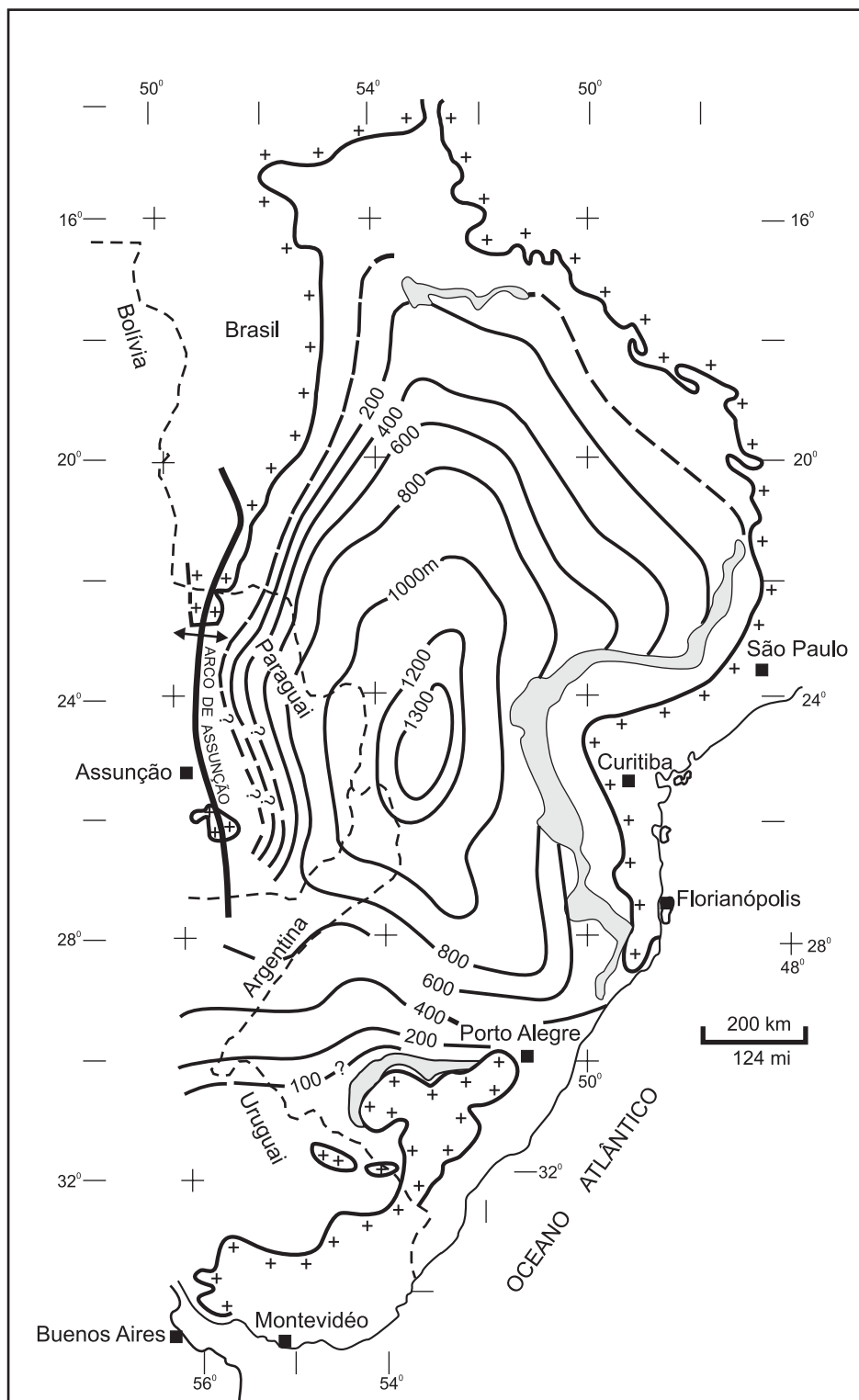


FIGURA 20. Mapa de isópacas acumuladas do Permiano Superior (Fms. Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto). Fonte Zalán et al. (1990).

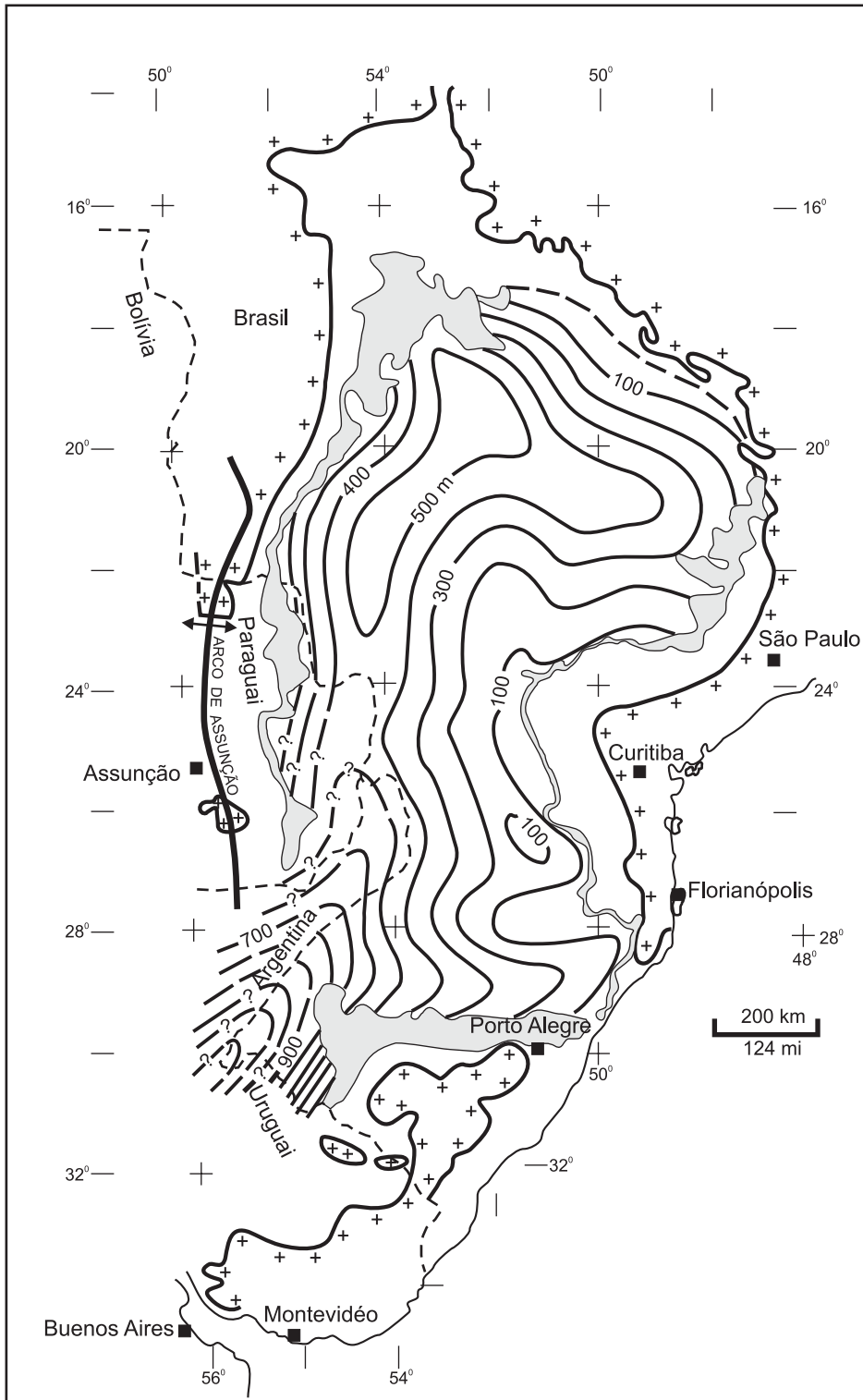


FIGURA 21. Mapa de isópacas acumuladas do Triássico (Gr. Rosário do Sul e Fm Pirambóia). Fonte Zalán et al. (1990).

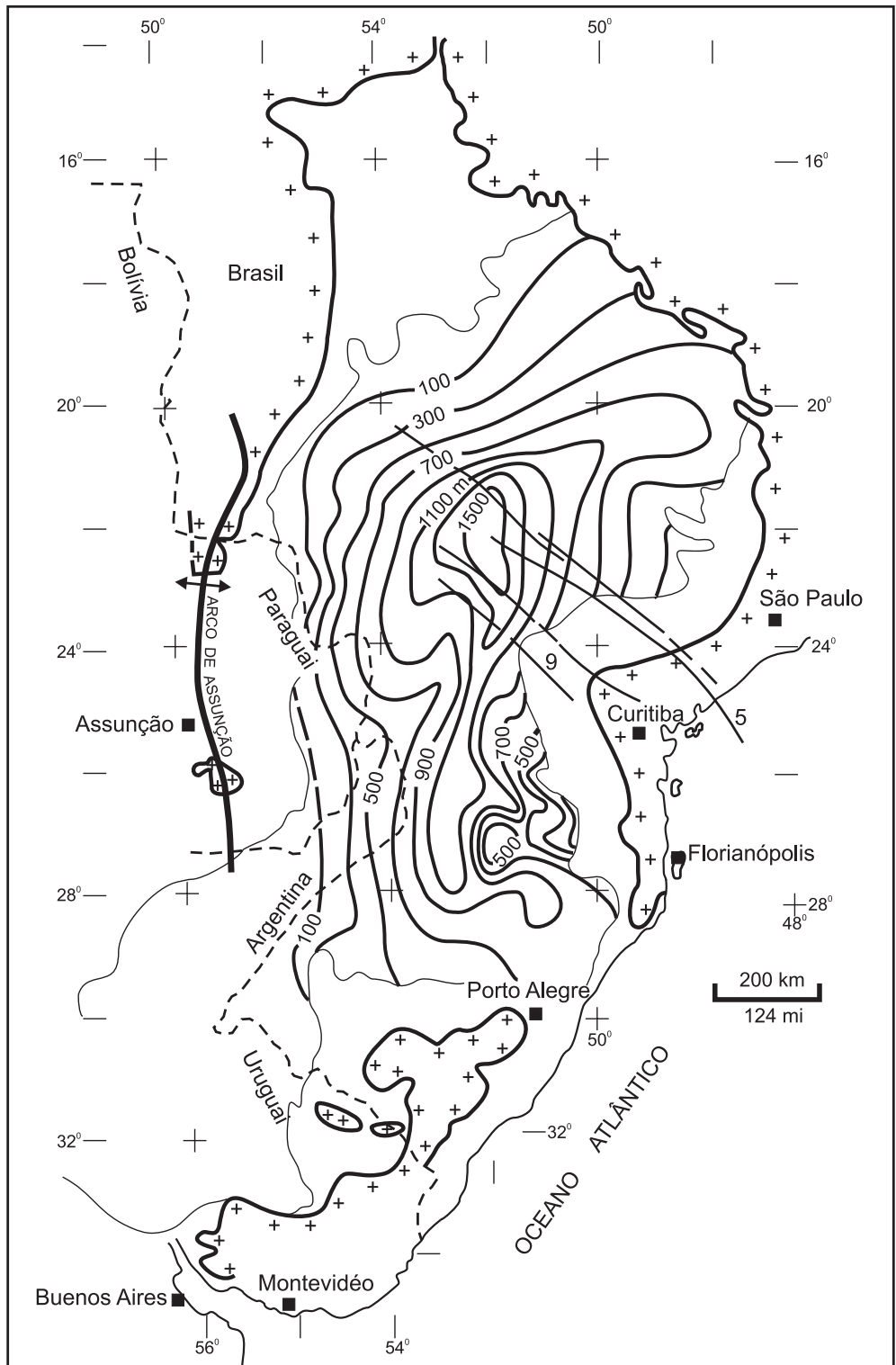


FIGURA 22. Mapa de isópacas das rochas extrusivas da Fm. Serra Geral. Linhas finas representam importantes zonas de falhas (5 – Guapiara; 9 – Curitiba-Maringá). Fonte Zalán et al. (1990).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim (DGA/IGCE/UNESP) por sua participação no projeto, ao ex-aluno, ex-bolsista FAPESP (Processo 04/12785-3), Geólogo Gustavo Reveilleau Teixeira, à doutoranda, Geóloga Carolina Del Roveri pela cessão parcial de dados e ao Prof. Dr. Antonio Roberto Saad (DGA/IGCE/UNESP e UnG) pelas críticas e sugestões com relação à evolução geológica na passagem Permiano – Mesozóico da Bacia do Paraná. Este trabalho foi financiado pela FAPESP – Processo 2004/01983-9. J.A.J. Perinotto e A. Zanardo agradecem a Bolsa de Produtividade CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F.F.M. Botucatu, a Triassic desert of South América. In: IUGS, INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 19, 1953, Argel (Argélia). **Comptes Rendus...** Argélia: IUGS, 1953, Section 19, fasc. 7, p. 9-24.
2. AMBRASEYS, N.N. Engineering seismology: Earthquake engineering and structural dynamics. **Journal of the International Association of Earth Engineering**, v. 17, p. 1-105, 1988.
3. ANDREIS, R.R.; BOSSI, G.E.; MONTARDO, D.K. Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul – Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Camboriú. **Anais...** Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980, v. 2, p. 659-669.
4. ASSINE, M.L.; PIRANHA, J.M.; CARNEIRO, C.D.R. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (Coords.), **Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo. Beca Produções Culturais Ltda. p. 77-92, 2004.
5. BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; DUARTE, G.M. Coastal dunes from Paraná (Brazil). **Marine Geology**, n. 7, p. 5-55, 1969.
6. CAETANO-CHANG, M.R. & WU, F.T. Arenitos flúvio-eólicos da porção superior da Formação Pirambóia no centro-leste paulista. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 9, p. 296-304, 2006.
7. COJAN, I. & THIRY, M. Seismically induced deformation structures in Oligocene shallow-marine and Aeolian coastal sands (Paris Basin). **Tectonophysics**, n. 206, p. 79-89, 1992.
8. DEMOULIN, A. Clastic dykes in east Belgium: evidence for upper Pleistocene strong earthquakes west of the Lower Rhine rift segment. **Journal of the Geological Society**, London, v. 153, p. 803-810, 1996.
9. ETCHEBEHERE, M.L. De C. & SAAD, A.R. Definição de eventos paleossísmicos no vale do Rio do Peixe, região ocidental do Estado de São Paulo, Brasil, mediante análise de feições de liquefação. In: JORNADAS URUGUAYAS DEL CENOZOICO, 2, 2002, Montevideo, Uruguay. **Boletim...** Montevideo, Universidad de La Republica, 2002, p. 6-12.
10. FRYBERGER, S.G.; SCHENK, C.J.; KRISTINIK, L.K. Stokes surfaces and the effects of near surface ground water table on Aeolian deposition. **Sedimentology**, v. 35, p. 21-41, 1988.
11. GAMA JUNIOR, E.G. A sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati); um modelo geomórfico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 9, n. 1, p. 1-16, 1979.
12. IPT – INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. **Monografias**, IPT, 1981.
13. LAVINA, E.L. Considerações sobre o paleoambiente da Formação Sanga do Cabral (Eo-Triássico – Grupo Rosário do Sul) na região norte da folha de Catuçaba – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984, v. 2, p. 792-804.
14. MATOS, S.L.F. **O contato entre o Grupo Passa Dois e a Formação Pirambóia na borda leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1995. 175 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
15. McNULTY, W.E. & OBERMEIER, S.F. **Liquefaction evidence for two Holocene paleo-earthquakes in central and south-western Illinois**. U.S. Geological Survey Open-File Report 97-435, 22 p., 1997.
16. MELLO E SOUZA, S.H. **Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1985. 142 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
17. MILANI, E.J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do gondwana sul-ocidental**. Porto Alegre, 1997. 255 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
18. MILANI, E.J. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (Coords.), **Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda., p. 265-279, 2004.
19. MILANI, E.J. & RAMOS, V.A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998.
20. MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B.; SCHENEIDER, R.L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82, 1994.
21. MOLYNEUX, S. Giant clastic dykes and sills of Santa Cruz, Coastal California. **Petroleum Exploration Society of Great Britain, January, Newsletter**, p. 118-125, 1999.
22. OBERMEIER, S.F. Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis. In: OBERMEIER, S.F. & RANDALL, W.J. (Eds.). **Using ground-failure features for paleoseismic analysis**. U.S. Geological Survey Open-File Report 94-663, p. 1A-94A, 1994.
23. OBERMEIER, S.F. Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis – An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes. **Engineering Geology**, v. 44, p. 1-76, 1996.
24. RICCOMINI, C.; ALMEIDA, R.P.; TURRA, B.B.; CHAMANI, M.A.C.; FAIRCHILD, T.R.; HACHIRO, J. Reativação de falha do embasamento causa sismicidade no Permotriássico da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10, 2005,

- Curitiba. **Boletim de Resumos Expandidos...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia/NPR, 2005, p. 18-20.
25. RICCOMINI, C.; CHAMANI, M.A.C.; AGENA, S.S.; FAMBRINI, G.L.; FAIRCHILD, T.R.; COIMBRA, A.M. Earthquake-induced liquefaction features in the Corumbataí Formation (Permian, Paraná Basin) and the dynamics of the Gondwana. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 64, p. 210, 1993.
 26. SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 41-65.
 27. SCOTT, B. & PRICE, S. Earthquake-induced structures in young sediments. **Tectonophysics**, v. 147, p. 165-170, 1988.
 28. SLOSS, L.L. Sequences in the cratonic interior of North America. **Geological Society American Bulletin**, v. 74, p. 93-113, 1963.
 29. SOARES, P.C. Divisão estratigráfica do mesozóico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 4, p. 229-251, 1975.
 30. SOARES, P.C. & ASSINE, M.L. A seqüência triássico-jurássica da Bacia do Paraná. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 36, p. 137-139, 1992.
 31. SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J. Tectonic cycles and sedimentary sequences in the Brazilian intracratonic basins. **Geological Society American Bulletin**, v. 78, p. 181-191, 1974.
 32. STRUGALE, M.; ROSTIROLLA, S.P.; MANCINI, F.; PORTELA FILHO, C.V. Compartimentação estrutural das formações Pirambóia e Botucatu na região de São Jerônimo da Serra, Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 3, p. 303-316, 2004.
 33. THORSON, R.; CLAYTON, W.S.; SEEBER, L. Geologic evidence for a large prehistoric earthquake in eastern Connecticut. **Geology**, v. 14, p. 463-467, 1986.
 34. TURRA, B.B.; RICCOMINI, C.; ALMEIDA, R.P. Significado tectônico dos sismos permotriássicos da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 2006, Aracaju. **Resumos...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006, p. 111.
 35. VIEIRA, A.J. Geologia do Centro e Nordeste do Paraná e Centro-Sul de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973, v. 3, p. 259-277.
 36. YOUNG, T.L. **Geologic effects – Liquefaction and associated ground failure**. U.S. Geological Survey Open-File Report 84-760, 33 p., 1984.
 37. ZALÁN, P.V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (Coords.), **Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda., p. 595-612, 2004.
 38. ZALÁN, P.V.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, L.S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; APPI, V.T.; NETO, E.V.S.; CERQUEIRA, J.R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. In: M.W. LEIGHTON; D.R. KOLATA; D.F. OLTZ; J.J. EIDEL (Eds.), **Interior Cratonic Basins**. Tulsa: AAPG Memoir v. 51, p. 681-708, 1990.
 39. ZALÁN, P.V.; WOLF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; VIEIRA, L.S.; ASTOLFI, M.A.M.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987, Curitiba. **Atas...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987, v. 1, p. 441-477.

*Manuscrito Recebido em: 8 de janeiro de 2009
Revisado e Aceito em: 8 de abril de 2009*

