

ANÁLISE DE BACIA APLICADA À PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA, SP

Mario Lincoln De Carlos ETCHEBEHERE ¹, Antonio Roberto SAAD ^{1,2}
Vicente José FULFARO ²

(1) Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão - CEPPE, Universidade de Guarulhos, UnG. Rua Nilo Peçanha, 81 (6° andar) – Centro. CEP 07011-040. Guarulhos, SP. Endereço eletrônico: metchebehere@ung.br.

(2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista/Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereços eletrônicos asaad@prof.ung.br.

Introdução

Síntese do Mesozóico da Bacia Sedimentar do Paraná, com Ênfase ao Estado de São Paulo

Trabalhos Realizados

Compilação de Dados

Análise Estrutural

Análise Estratigráfica

Dados Obtidos

Mapa de Isópacas da Formação Botucatu

Mapa de Contorno Estrutural da Formação Botucatu

Mapa de Isólitais da Formação Serra Geral

Mapa de Contorno Estrutural do Topo da Formação Serra Geral

Seções Estratigráficas dos Grupos Bauru e Caiuá

Análise de Bacia

Mosaico Geomórfico-Estrutural

A Influência da Neotectônica

Principais Prospectos na Área Pesquisada

Considerações Finais

Referências Bibliográficas

RESUMO – A Bacia Sedimentar do Paraná tem posição de destaque, em nível nacional, com relação a sua potencialidade para recursos hídricos, por abrigar várias unidades produtoras, com ênfase no Sistema Aquífero Guarani (SAG). O presente estudo representa uma aplicação do método de análise de bacias para caracterização dos sistemas aquíferos Botucatu, Serra Geral, Caiuá e Bauru, todos de idade mesozóica, no Planalto Ocidental Paulista. Com base na integração de informações provenientes de poços tubulares profundos, mapas estruturais, mapas e seções estratigráficas, foi possível apontar áreas favoráveis a execução de projetos para exploração de água subterrânea, de acordo com as características geológicas de cada área identificada nesta província geomorfológica do território paulista.

Palavras-chave: Bacia Sedimentar do Paraná; Sistema Aquífero Guarani; Planalto Ocidental Paulista; Exploração de Água Subterrânea.

ABSTRACT – *M.L. de C. Etchebehere, A.R. Saad, V.J. Fulfaro - Basin Analysis applied to the groundwater exploration in the western São Paulo State plateau, southern Brazil.* The Paraná Sedimentary Basin has important position, in national scenery, related to groundwater potentiality of its geological units, especially the Guarani Aquifer System (GAS). The present study shows a groundwater basin analysis applied to the Mesozoic units (Botucatu, Serra Geral, Caiuá and Bauru units), found in the western position of the São Paulo State. The study was based on the following surface and sub-surface data: deep wells, structural maps and stratigraphic sections and maps. It was possible to identify some water supply projects related with those Mesozoic stratigraphic units of the Paraná Basin.

Keywords: Paraná Sedimentary Basin; Guarani Aquifer; western position of the São Paulo State; Underground Water Prospection.

INTRODUÇÃO

No âmbito da Bacia Sedimentar do Paraná, a região do Planalto Ocidental Paulista (Figura 1), que abrange mais de 1/3 do território do Estado de São Paulo, corresponde, no que diz respeito ao período Cretáceo, a um setor individualizado dessa Bacia. Esta região, até o momento, apesar de contar com muitas publicações a respeito de seu contexto geológico, carece de uma Análise de Bacia (*Basin Analysis*) que permita um conhecimento adequado da sua origem e evolução, com vistas a uma melhor definição da sua potencialidade hidrogeológica.

A região abriga importantes núcleos urbanos tais como Presidente Prudente, Araçatuba, São José do Rio Preto, Ribeirão Preto, Franca, São Carlos e Araraquara, entre outros. Além de sediar estas cidades, é ainda ocupada por intensa atividade agrícola, destacando-se a indústria sucro-alcooleira com o conseqüente cultivo de cana de açúcar e extensos laranjais, estes últimos alvo de importante exportação mundial de suco de laranja. Todo este complexo urbano e de comércio agrícola (*agribusiness*) demanda grande quantidade de água ao mesmo tempo em que seus



FIGURA 1. Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo.

rejeitos e intenso uso de defensivos agrícolas poluem este bem mineral tão necessário aos núcleos urbanos e ao comércio existente.

A década de 90 trouxe importantes conhecimentos sobre o arcabouço tectônico da Bacia Sedimentar do Paraná não somente em relação ao seu embasamento como também a respeito das sucessivas reativações de seus principais traços estruturais. Para o Estado de São Paulo, foram definidas expressivas estruturas tais como antigas suturas crustais proterozóicas do seu embasamento (Hasui et al., 1989), com predominante direção NNE-SSW, e alinhamentos estruturais fanerozóicos de direções NW-SE e E-W. Esta estruturação tectônica, que tem início no Proterozóico e estende-se até o Cenozóico, não só comandou a deposição dos sedimentos da Bacia como ainda a fragmentou em sucessivos eventos de tectônicas modificadoras, resul-

tando em um mosaico de compartimentos estratigraficamente diferenciados na forma de alvéolos ou favos de colmeia (Fulfaro et al., 1999 a).

O ponto principal deste trabalho é a definição, em nível regional, dos grandes compartimentos estruturais e o mosaico dele resultante nesta área específica do Estado de São Paulo, pois acredita-se em suas influências decisivas à definição de uma melhor estratégia de prospecção e manutenção dos aquíferos mesozóicos em território paulista. A pesquisa realizada envolveu os sistemas aquíferos Botucatu (Guarani), Serra Geral, Caiuá e Bauru, todos de idade mesozóica. Os aquíferos Botucatu, Caiuá e Bauru são formados por rochas sedimentares, portanto pertencendo à categoria dos tipos granulares, enquanto que o Serra Geral, representado por basaltos, constitui um aquífero fraturado.

SÍNTESE DO MESOZÓICO DA BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ, COM ÊNFASE AO ESTADO DE SÃO PAULO

Em seu registro sedimentar-magmático, a Bacia do Paraná apresenta diversas discordâncias de âmbito regional, que permitem subdividi-la em seqüências de relevância plataformal, no sentido de Sloss (1963) e Soares et al. (1974). O número de seqüências e as respectivas discordâncias regionais limitantes têm sido

motivos de discussões na comunidade geológica, de tal forma que, cada revisão estratigráfica sobre a Bacia do Paraná (e.g., Sanford & Lange, 1960; Northfleet et al., 1969; Schneider et al., 1974; Fulfaro et al., 1980; Baumann, 1981; Milani et al., 1994; Milani, 1997, 2004; Milani & Zalán, 1999) apresenta uma carta ou coluna-

padrão que incluem limites, idades, seqüências e nomenclaturas diferentes.

Assim sendo, houve necessidade de se definir a opção dos autores do presente trabalho, o que é apresentada na Figura 2 e nos parágrafos subsequentes.

De acordo com essa proposta, capeando os sedimentos neopaleozóicos, ocorre uma seqüência eminentemente continental, que abrange as formações Pirambóia e Botucatu, havendo quem as separe por uma discordância (e.g., Soares, 1975; Milani, 1997; Assine et al., 2004). A Formação Pirambóia compreenderia fácies eólicas e fluviais, ao passo que o Botucatu seria formado por um grande sistema de dunas eólicas (*erg*), constituindo-se, na atualidade, no “Aquífero Guarani”. Tal conjunto é recoberto por lavas basálticas da Formação Serra Geral, que alcançam espessuras da ordem de 1.700 m na porção sudoeste da área aqui

tratada. Esta formação compreende, também, alguns derrames de composições intermediárias a ácidas, perfazendo cerca de 10% de toda a pilha de lavas (Nardy, 1996). Determinações radiométricas Ar^{40}/Ar^{39} realizadas por Renne et al. (1992) indicam que este vulcanismo teria ocorrido a 132,4 +/- 1,1 Ma, com um extravasamento estimado de 800.000 km³ de lavas no exíguo intervalo de um milhão de anos. Associadas ao vulcanismo, ocorreram numerosas intrusões de diabásio, sob a forma de *sills* e diques, com espessuras individuais que poderiam superar 250 m, como constatado no poço Tarabai (2-TI-1-SP), perfurado pelo Consórcio Paulipetro na década de 80.

O conjunto de rochas sedimentares que capeia o substrato basáltico da Bacia apresenta uma área aflorante da ordem de 370.000 km² (Figura 3), relativamente extensa para uma seqüência continental com

GEOCRONOLOGIA		LITOESTRATIGRAFIA		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
		UNIDADES		
		GR.	FM.	
CRETÁCEO	SUPERIOR	BAURU		Conglomerados, arenitos médios a conglomeráticos, por vezes calcíferos, maciços a estratificados, intercalados com camadas de argilito (sistema aluvial). Na base, ocorrem lamitos argilo-arenosos, estratificados (sistema lacustre).
	INFERIOR	CAIUÁ		Arenitos finos a médios, arroxeados, bem selecionados, com estratificações cruzadas de grande porte, tangenciais na base, podendo conter intercalações de argilitos e brechas basais.
			SERRA GERAL	
JURÁSSICO			BOTUCATU	Arenitos finos, avermelhados com estratificações cruzadas de médio a grande porte, planares e acanaladas, depositados por sistema eólico seco.
TRIÁSSICO			PIRAMBÓIA	Arenitos finos a médios, localmente conglomeráticos, avermelhados e esbranquiçados com estratificações cruzadas de médio porte, acanaladas e planares, acumulados por sistemas continentais fluvio-eólicos.

FIGURA 2. Coluna estratigráfica simplificada do Mesozóico da Bacia do Paraná no Planalto Ocidental Paulista.

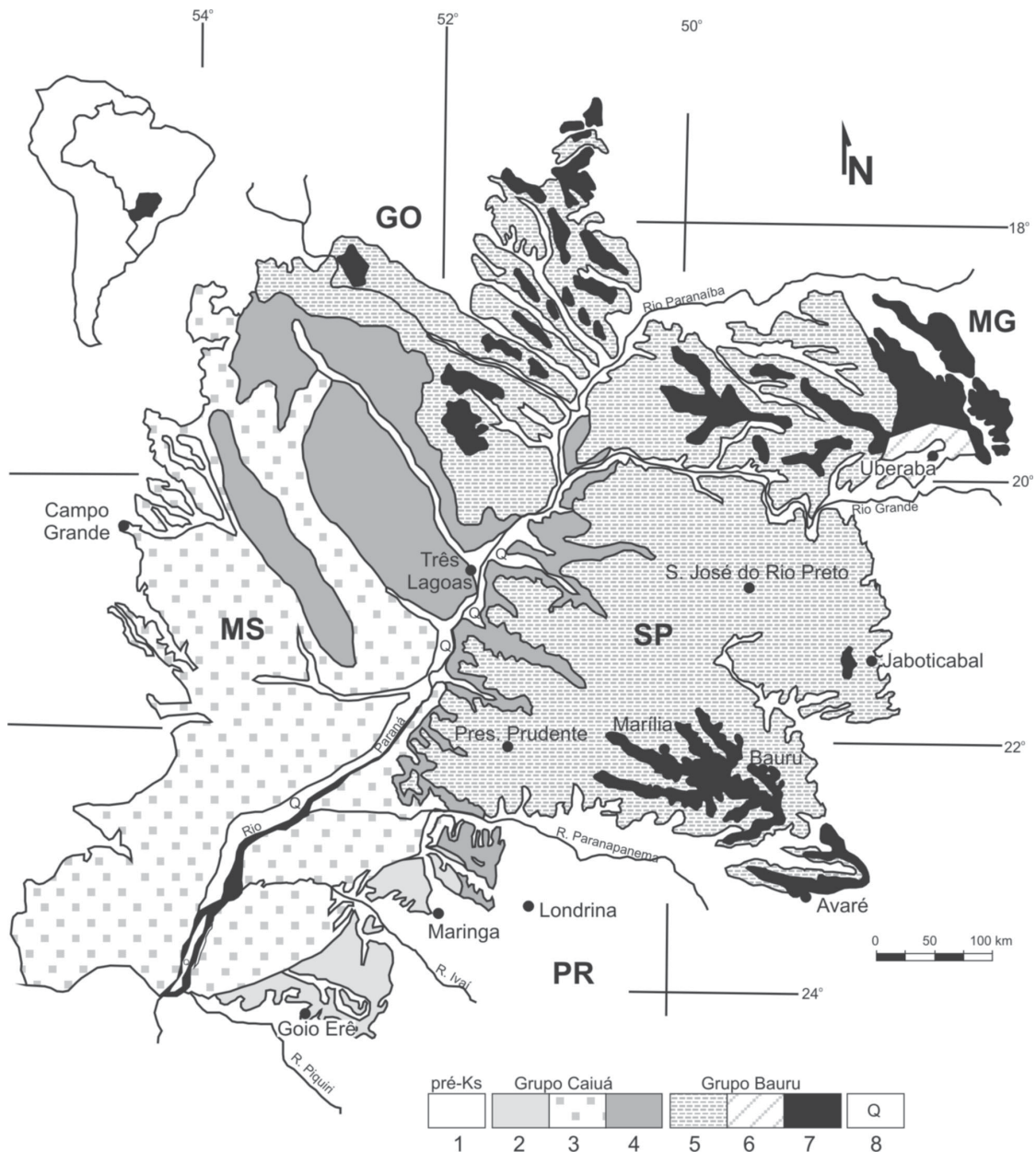


FIGURA 3. Cobertura pós-basaltos da Bacia do Paraná. Modificado de Fulfaro e Perinoto (1996).

Legenda: 1 - Unidades pré-vulcânicas; 2 - Formação Goioerê; 3 - Formação Rio Paraná; 4 - Geossolo Santo Anastácio; 5 - Formação Adamantina; 6 - Formação Uberaba; 7 - Formação Marília; 8 - Sedimentos quaternários.

A Formação Araçatuba não está representada nesta ilustração, sendo abrangida pela Formação Adamantina, com a qual se interdigita, tendendo a ocupar as porções inferiores da pilha estratigráfica.

espessura máxima conhecida de até 300 m (Fernandes, 1998). No Estado de São Paulo, esta cobertura é predominante em toda a extensão do Planalto Ocidental, sustentando atividades agropecuárias, construções civis e núcleos urbanos, além de servir como importante reservatório de água subterrânea. O estudo de variações faciológicas no âmbito da seqüência pós-basáltica chegou até a mesmo a ser utilizado para a detecção e a definição de altos estruturais para a exploração petrolífera (Silva & Couto, 1980; Zaine et al., 1982; Silva et al., 1990). Tais fatores revestem esta cobertura de uma importância ímpar do

ponto de vista geológico, tendo merecido a atenção de numerosos pesquisadores desde que Gonzaga de Campos (1905) designou “grez de Bauru” a arenitos que afloravam nas imediações daquela cidade do interior paulista.

A seqüência suprabasáltica da Bacia é representada pelos grupos Caiuá e Bauru, de idades eocretácica (Ernesto et al., 2006) e neocretácica respectivamente (Etchebehere et al., 2004 a), constituídos por sedimentos clásticos finos a grossos e separados, entre si, por discordância em âmbito regional (Fulfaro et al., 1999 b,c).

TRABALHOS REALIZADOS

As técnicas aplicadas no desenvolvimento dos trabalhos de campo e escritório foram as normalmente empregadas em análise de bacias sedimentares. Por ordem, estes estudos envolveram as atividades de compilações bibliográficas, análise de dados estruturais, obtenção e tratamento de dados de sondagens, estudos estratigráficos de sub-superfície e avaliação integrada dos dados obtidos.

COMPILAÇÃO DE DADOS

A etapa de compilação envolveu o resgate de:

- Dados geológicos estruturais mediante pesquisa bibliográfica em acervos de diversas instituições como, por exemplo, Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho” (UNESP), Universidade de São Paulo (USP), Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Instituto Geológico da Secretaria de Meio Ambiente (IG/SMA) etc., incluindo informações existentes em teses, dissertações, artigos técnicos e científicos, e relatórios de empresas, bem como de órgãos públicos e privados;
- Dados geomorfológicos que possibilitasse a modelagem do quadro de compartimentação do relevo (atual e pretérito), como subsídio à interpretação da evolução da paisagem. Como fator adicional, tem-se a localização da distribuição das coberturas sedimentares mais jovens (cenozóicas) e os possíveis reflexos das atividades neotectônicas na área;
- Dados estratigráficos oriundos de poços tubulares profundos, perfurados para pesquisas de hidrocarbonetos e água subterrânea nessa porção do Estado. Nesta etapa, privilegiaram-se as sondagens que dispunham de perfilagens geoeletricas.

ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise do arcabouço estrutural da área foi realizada com base nos traços extraídos de imagens falsa-cor do satélite LANDSAT-5 (combinação dos canais 5 [em vermelho], 4 [em verde] e 3 [em azul]), em escala 1:250.000. Dentre os elementos analisados, destacam-se os lineamentos e as feições morfológicas de maior porte, tais como planaltos e remanescentes discerníveis de superfícies planálticas, por vezes marcadas pela maior frequência de pequenas lagoas de conformação circular.

O conceito de lineamento aqui empregado refere-se a feições lineares topográficas ou tonais observáveis

nas imagens fotográficas, que podem representar descontinuidades estruturais. A maior parte dos lineamentos fotointerpretados corresponde a trechos retilíneos de drenagem, o que deve refletir o encaixe do curso d'água em zonas de fraqueza estrutural. Nos trechos correspondentes aos rios mais importantes do oeste paulista, casos do Tietê, Grande, Paraná e Parapanema, a extração de lineamentos é prejudicada em decorrência do grande número de reservatórios de barragens de usinas hidrelétricas. As regiões correspondentes a resquícios de superfícies planálticas também têm dificultada a extração dos lineamentos, devido à menor dissecação da drenagem, à baixa densidade de cursos d'água e à presença de espessos regolitos.

Secundariamente, foram extraídos lineamentos com base em trechos retilíneos de escarpas, cristas alongadas (feições positivas de relevo) e faixas alongadas com tonalidades mais escuras, com menor reflexão espectral, denotando zonas de maior umidade. Neste último caso, as faixas escuras são mais bem observadas em trechos de topografia suave, notadamente em remanescentes de superfícies planálticas.

Considerando o elevado número de lineamentos extraídos das imagens, bem como a ampla dispersão visual, optou-se por gerar mapas de lineamentos, nos quais foram discriminadas as principais modas estruturais (Figura 4). Esse procedimento teve como objetivo facilitar a análise da influência de cada direção na estruturação da área de estudo e sua influência na deposição/preservação de cada unidade estratigráfica de interesse.

Outro elemento extraído das imagens de satélite refere-se a zonas com alta frequência de lagoas de formatos circulares, que ocupam terrenos de topografia suave, baixa densidade de drenagem e espessos regolitos. Admite-se que tais zonas correspondam a resquícios de superfícies planálticas, palco de processos de carstificação laterítica ou colapso.

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

Os estudos de sub-superfície abrangeram as formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, e os grupos Caiuá e Bauru, tendo por base as informações obtidas de poços tubulares profundos, perfurados e perfilados, para pesquisas de hidrocarbonetos e água subterrânea no Planalto Ocidental Paulista. Por meio destas informações, foi possível confeccionar os seguintes mapas e seções estratigráficas:

- Mapa de isópacas da Formação Botucatu;
- Mapa de contorno estrutural do topo da Formação Botucatu;
- Mapa de isólitas da Formação Serra Geral;

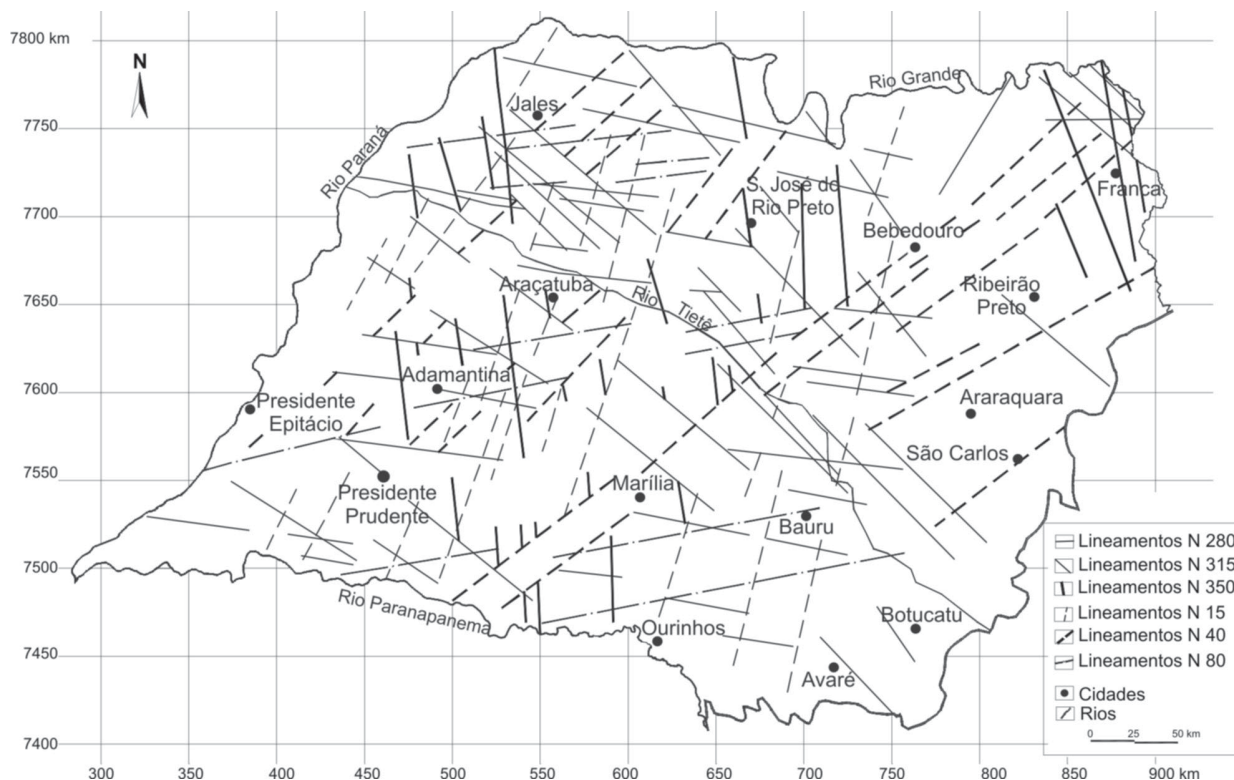


FIGURA 4. Principais direções estruturais da área de estudo. Os diferentes traços ilustram as diferentes modas de direção estrutural.

- Mapa de contorno estrutural do topo da Formação Serra Geral;
- Seções estratigráficas envolvendo os grupos Caiuá e Bauru.

DADOS OBTIDOS

Do ponto de vista estrutural, os lineamentos extraídos nas imagens de satélite apresentam comprimentos hectométricos a quilométricos, que devem corresponder a descontinuidades (falhas, fraturas ou feixes de fraturas) de alto ângulo de mergulho. O mapa fotointerpretado das principais direções estruturais de lineamentos permite vislumbrar 6 principais modas de traços, a saber: N280, N315, N350, N15, N40 e N80 (Figura 4).

As faixas de lineamentos identificadas devem representar bordas de blocos estruturais, que foram submetidos a movimentações mais intensas, não-raro recorrentes, conforme se depreende da análise do registro estratigráfico disponível para cada bloco. Além da comparação com os dados advindos da análise estratigráfica, dentre os quais destacam-se os mapas de isópacas e os de contorno estrutural de determinadas superfícies, confrontou-se também estas modas estruturais com as informações colhidas na literatura, com destaque para as contribuições de Hasui et al. (1989), Hasui (1990), Riccomini (1995) e Saad (1997).

Uma ilustração-síntese das informações pertinentes da literatura geológica sobre a área em apreço, contendo os principais elementos de cunhos estratigráficos e geofísicos, corresponde àquela apresentada na Figura 5, elaborada por Etchebere et al. (2004 b).

O modelo estrutural adotado é mostrado na Figura 6, sob a forma de um bloco diagrama, com destaque para um limite de bloco estrutural, marcado por um conjunto de descontinuidades (falhas e fraturas) que se estendem desde o embasamento cristalino até a cobertura mais jovem, refletindo-se em superfície, como um feixe de lineamentos. Estes feixes constituem zonas estreitas e alongadas, com orientação bem definida e persistente dos lineamentos, marcando, assim, os referidos limites de blocos estruturais. A cobertura sedimentar e ígnea se ajusta aos movimentos rúpteis do embasamento por flexão e por ruptura, que dependerão da rigidez dos estratos e da intensidade do deslocamento. Observa-se também uma tendência a ramificações dos traços rúpteis e um aumento da largura do feixe de descontinuidades.

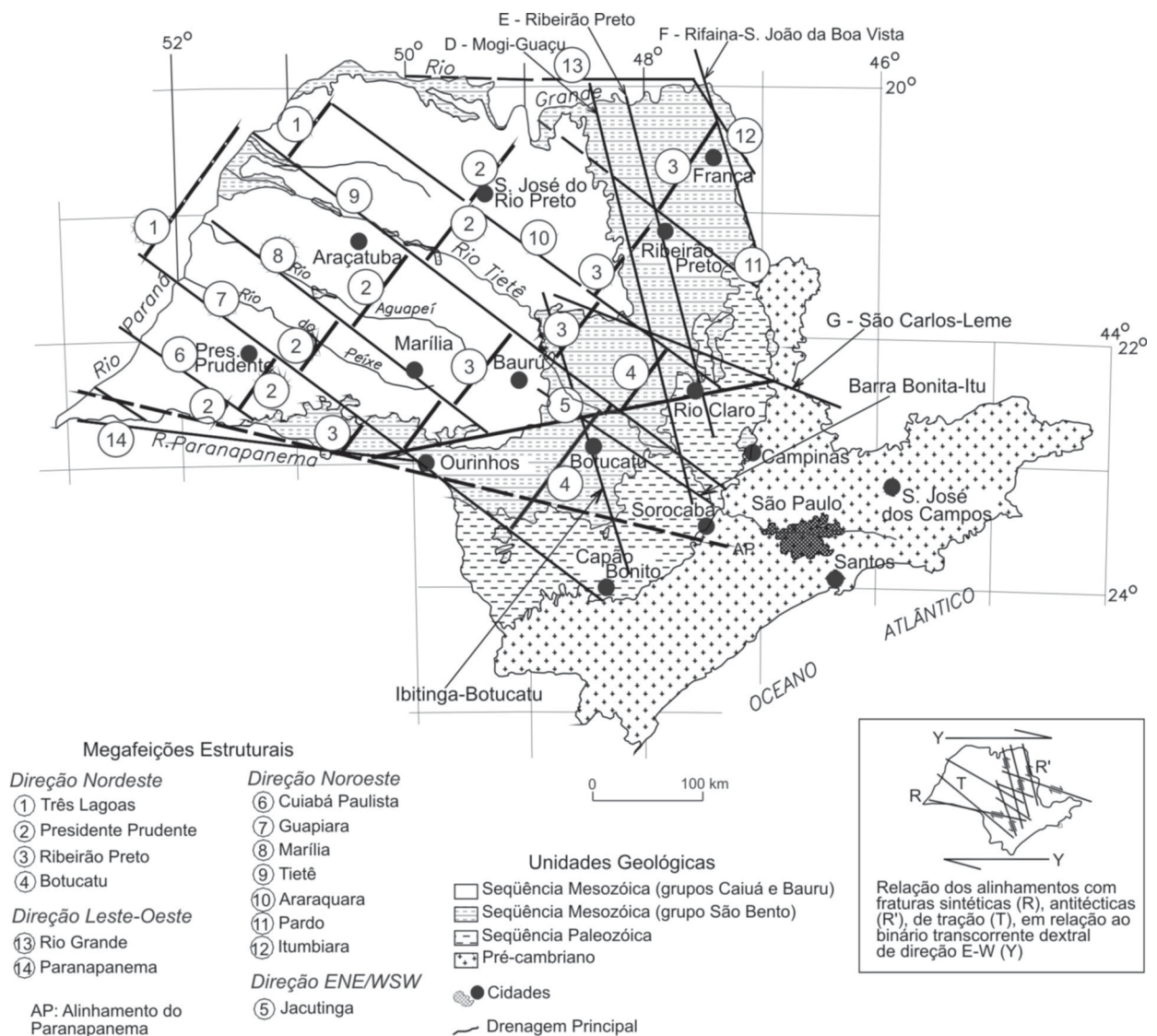


FIGURA 5. Principais elementos estruturais da região ocidental paulista. Modificado de Saad (1997) e Riccomini (1997).

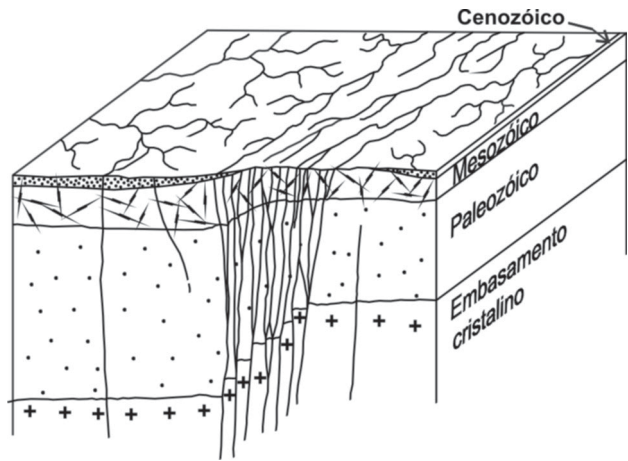


FIGURA 6. Modelo de limite de blocos estruturais. O feixe de lineamentos em superfície corresponde a descontinuidades que se estendem desde o embasamento cristalino. Ampliado de conceito proposto por Soares et al. (1981).

No modelo adotado, tem destaque a chamada tectônica ressurgente (*sensu* Hasui, 1990), na medida em que estas descontinuidades estruturais foram geradas em nível de embasamento e, posteriormente, sofreram processos de reativação, ao longo do tempo, imprimindo marcas nas seqüências que recobriram o embasamento. Acredita-se que tais descontinuidades constituam, na atualidade, planos preferenciais de movimentação em decorrência das tensões neotectônicas. Os blocos colaterais, separados por estes feixes de descontinuidades, podem registrar movimentos diferenciados ao longo do tempo geológico, possibilitando gerar um registro geológico com diferenças nas espessuras de pilha sedimentar preservada em cada bloco.

No que se refere aos dados estratigráficos de sub-superfície, podem ser destacadas as seguintes informações:

MAPA DE ISÓPACAS DA FORMAÇÃO BOTUCATU

O mapa de isoessura da Formação Botucatu (Figura 7) foi elaborado a partir de informações contidas em poços profundos perfurados pela Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobrás, Consórcio CESP-IPT – Paulipetro, e em Silva (1980).

Esta unidade apresenta espessuras que variam de 86 a 437 m, este último valor atingido no poço 2-AR-1-SP, na localidade de Araçatuba.

O mapa resultante exibe um aumento de espessura de leste para oeste, com um eixo de maior preservação na direção noroeste, ao longo do atual traçado do Rio Tietê, apresentando isolinhas abertas para o Estado de Mato Grosso do Sul.

MAPA DE CONTORNO ESTRUTURAL DO TOPO DA FORMAÇÃO BOTUCATU

O mapa de contorno estrutural do topo da Formação Botucatu (Figura 8) exibe valores positivos, a leste, e negativos, a oeste, sendo que o divisor encontra-se na parte central do Estado de São Paulo. No geral, as curvas de igual valor são paralelas entre si e possuem uma orientação preferencial na direção nordeste.

Na localidade de Araçatuba, essa tendência se modifica. Ao longo de um trecho do Rio Tietê, forma-se uma estrutura em “sela”, a partir da qual as curvas voltam-se para norte (Fernandópolis), atingindo valores de até -960 m em relação ao nível do mar, e para sul (Presidente Prudente), onde alcançam valores negativos de até -1.400 m. Para o Estado do Mato Grosso do Sul, os valores das isolinhas apresentam tendência de alta, atingindo a cota de -500 m.

MAPA DE ISÓLITAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Figura 9 exibe o mapa de isólitais da Formação Serra Geral. As espessuras menores, com valores de 50 a 100 m, situam-se na porção sudeste da área estudada, nas localidades de Avaré e Botucatu. Os valores maiores localizam-se a sudoeste, próximo a Presidente Prudente, onde alcançam até 1.700 m de espessura, e a noroeste, região de Fernandópolis, onde atingem até 1.200 m.

Em virtude desse comportamento das curvas, na região de Araçatuba, mais uma vez ao longo do atual curso do Rio Tietê, verifica-se uma estrutura em forma de “sela”. Nessa estrutura, a Formação Serra Geral tem espessura em torno de 800 m.

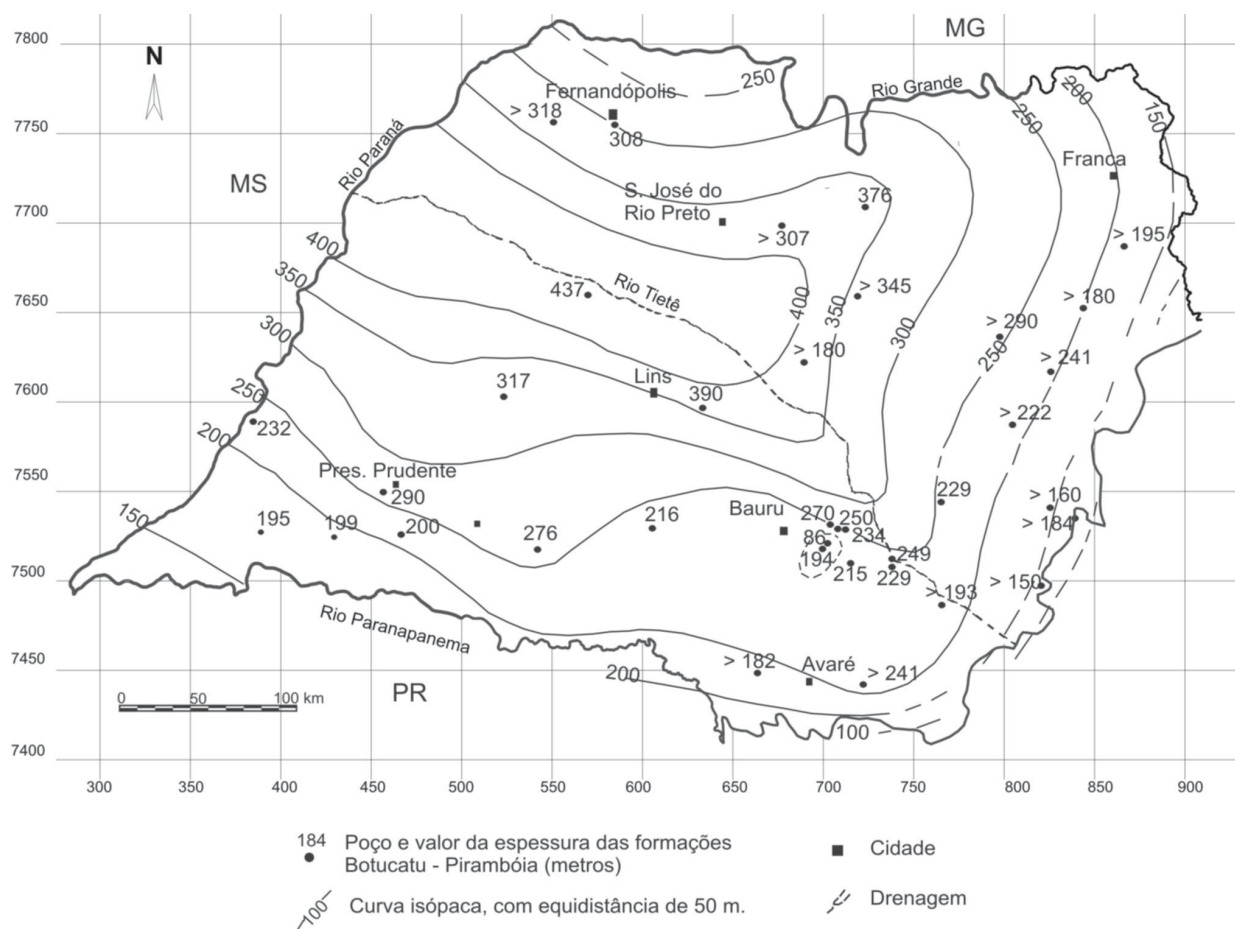


FIGURA 7. Isópacas da Formação Botucatu no Estado de São Paulo (Silva, 1982).

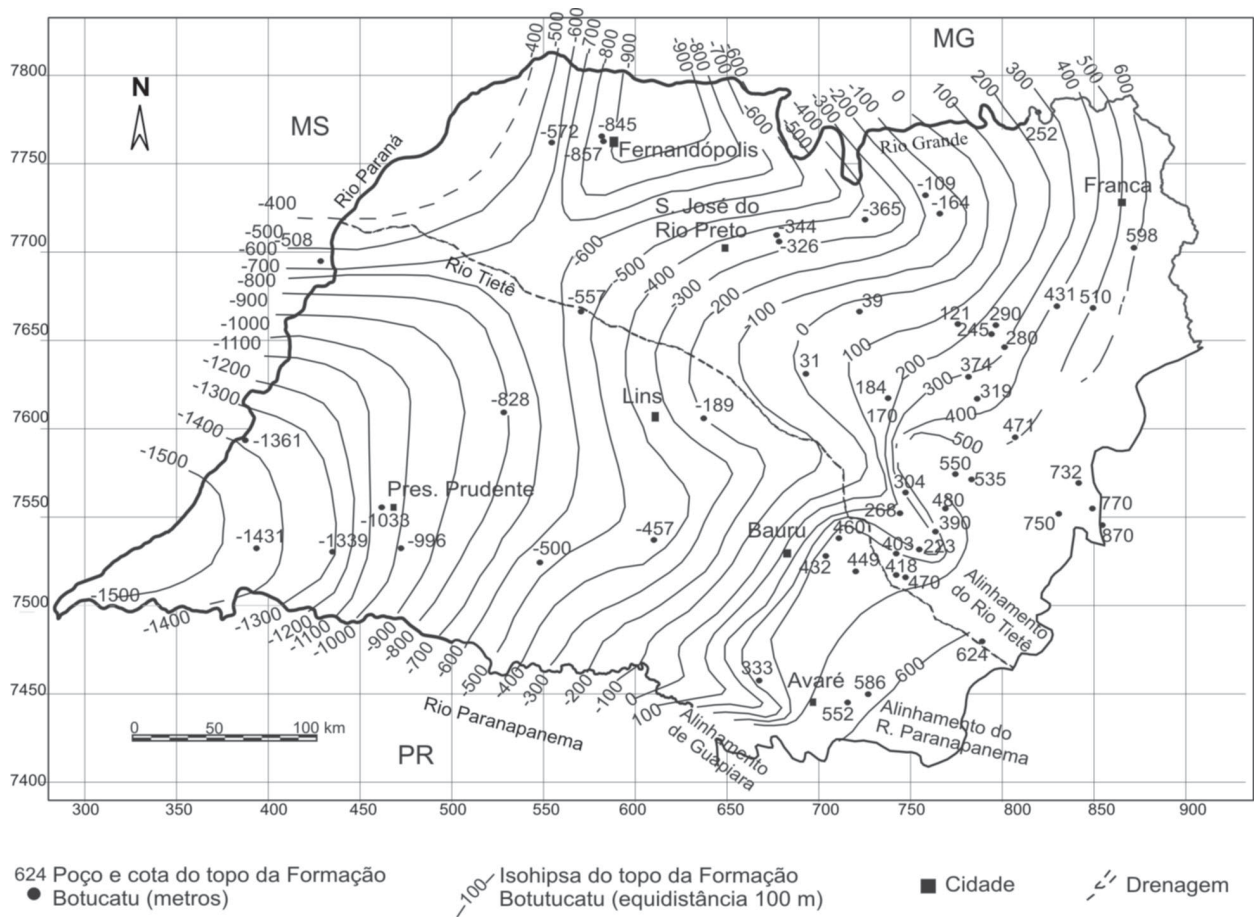


FIGURA 8. Mapa do contorno estrutural do topo da Formação Botucatu (Silva, 1982).

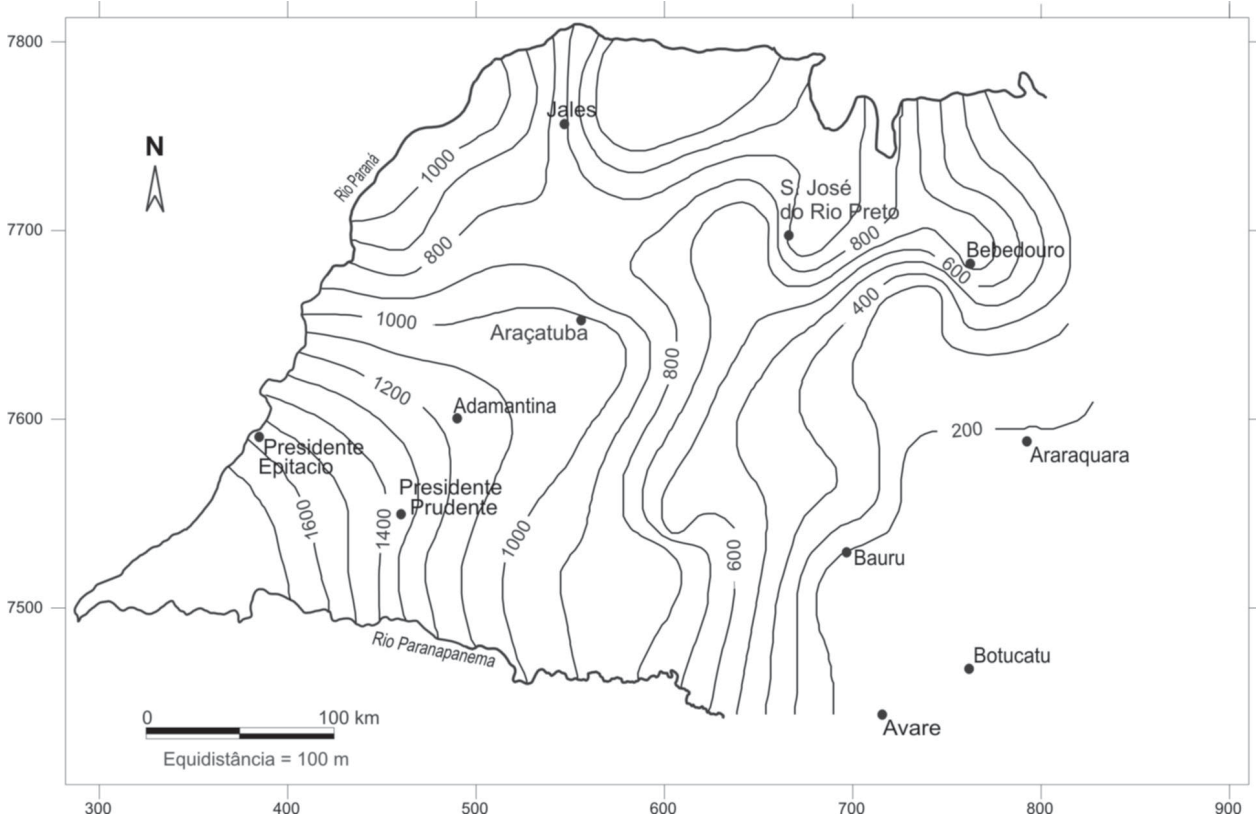


FIGURA 9. Mapa de isólitas da Formação Serra Geral.

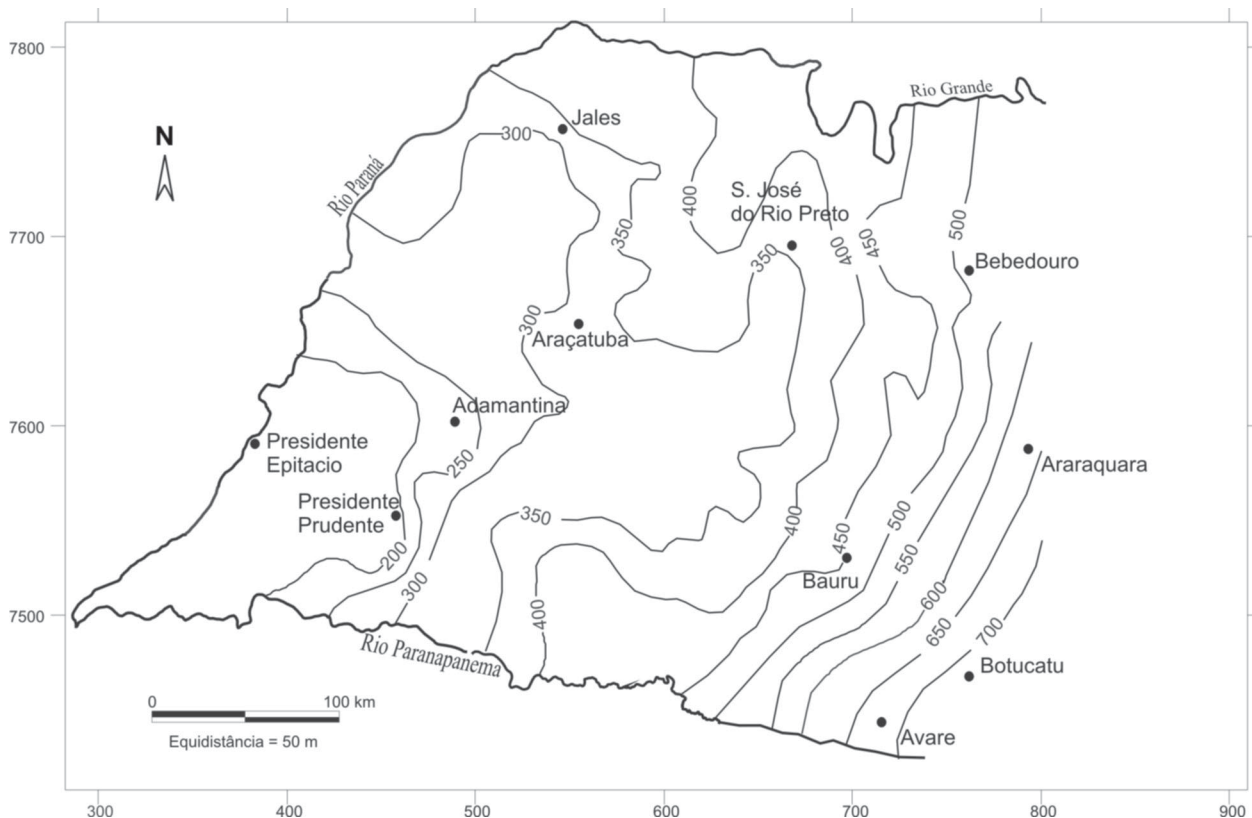


FIGURA 10. Mapa do contorno estrutural do topo da Formação Serra Geral.

MAPA DE CONTOURNO ESTRUTURAL DO TOPO DA FORMAÇÃO SERRA GERAL

O mapa de contorno estrutural do topo da Formação Serra Geral encontra-se ilustrado na Figura 10. Conforme pode ser observado pelo exame dessa figura, os valores encontrados para o topo dos basaltos dessa unidade são sempre positivos em relação ao nível do mar. Para leste, onde situam-se as localidades de Avaré, Botucatu, Araraquara, São Carlos, Ribeirão Preto e Franca, as cotas dos topos atingem altitudes entre 850 e 950 m. Para oeste, em direção à calha do Rio Paraná, os valores alcançados são da ordem de 200 a 150 m.

No geral, as isolinhas são paralelas entre si, de direção nordeste, apresentando variações locais.

SEÇÕES ESTRATIGRÁFICAS DOS GRUPOS BAURU E CAIUÁ

Após o exame detalhado de mais de uma centena de poços perfurados para água subterrânea na área pesquisada, Saad et al. (em preparação), identificaram três tipos principais de padrões de curva de Raios Gama (API), que encontram-se ilustrados na Figura 11. O inferior caracteriza os sedimentos do Grupo Caiuá,

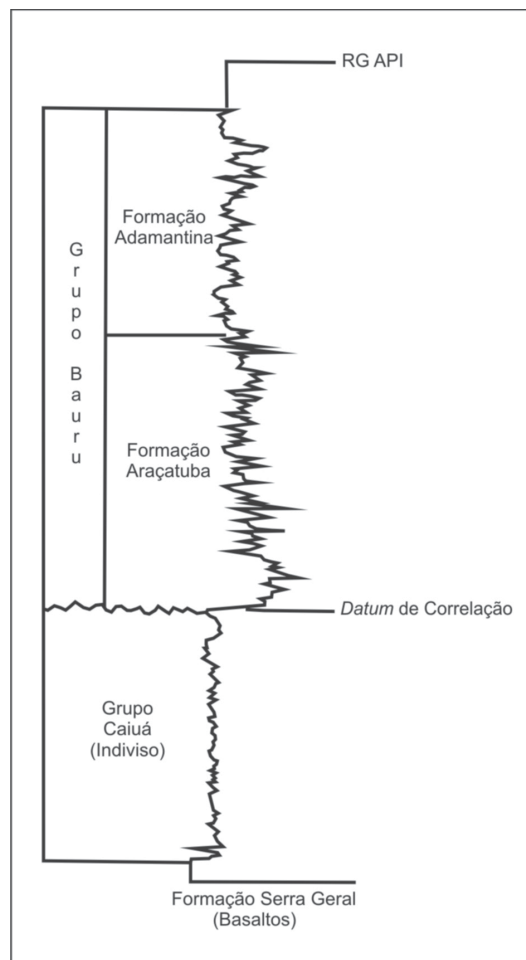


FIGURA 11. Identidade de Raios Gama API dos Grupos Caiuá e Bauru, e das Formações Araçatuba e Adamantina. Adaptado de Paula e Silva et al. (1999; 2002.).

enquanto que o padrão superior relaciona-se ao Grupo Bauru. Este, por sua vez, pode ser subdividido em dois outros padrões distintos: um inferior, caracterizado pela presença de siltitos e argilitos cinza-esverdeados, com

intercalações de arenitos finos, pertencente à Formação Araçatuba (Figura 12); outro, superior, caracteriza os arenitos finos a médios, com intercalações de argilitos e siltitos, da Formação Adamantina (Figura 13).

ANÁLISE DE BACIA

A Análise de Bacia teve por objetivo apresentar as principais conclusões a respeito do potencial hídrico das unidades mesozóicas que ocorrem no Planalto Ocidental Paulista.

Conforme já mencionado, na área pesquisada verificam-se dois tipos principais de aquíferos: granular e fraturado. O primeiro tipo está representado pela Formação Botucatu e pelos grupos Caiuá e Bauru, enquanto que o aquífero fraturado diz respeito aos basaltos da Formação Serra Geral.

No caso específico dos aquíferos granulares, cada uma das unidades litoestratigráficas analisadas possui um comportamento hidrogeológico distinto, em função das características texturais, sedimentológicas, estratigráficas e estruturais. Mesmo no âmbito de uma unidade litoestratigráfica, como, por exemplo, o caso do Grupo Bauru, as diferentes litofácies identificadas (Saad et al., em preparação) têm mostrado comportamentos díspares. Para a Formação Botucatu, a análise efetuada levou, também, em consideração a espessura de basalto sobrejacente, a ser perfurada, bem como a cota de seu topo em relação à superfície.

Para o aquífero fraturado, analisou-se as modas estruturais identificadas em relação à Neotectônica, para poder avaliar aquelas mais favoráveis à exploração de água subterrânea. Adicionalmente, foi elaborado um mapa do mosaico geomórfico-estrutural, que serve de base para a análise dos principais prospectos, bem como do entendimento dos processos mais recentes, geomorfológicos, deposicionais e tectônicos, que afetam o Planalto Ocidental Paulista.

MOSAICO GEOMÓRFICO-ESTRUTURAL

A definição do mosaico geomórfico-estrutural, um dos objetivos primordiais deste trabalho, resultou da combinação de três tipos básicos de informação, a saber:

- Principais feixes de lineamentos extraídos das imagens de satélite, categorizados em dois tipos: os de 1ª. ordem, referindo-se a direções estruturais confirmadas por dois ou mais métodos (*e.g.*, aeromagnetometria e gravimetria), e os de 2ª. ordem, geralmente feixes identificados apenas nos produtos de sensores remotos;
- Zonas de ocorrência freqüente de lagoas em remanescentes de superfícies planálticas, também delimitadas nas imagens de satélite; e

- Planaltos que se destacam no contexto geomorfológico da área de estudo, compreendendo três principais setores: Marília-Exaporã, Monte Alto e Catanduva.

A Figura 14 ilustra estes três tipos básicos de dados, podendo ser depreendidas as observações abaixo.

Percebe-se uma notável coincidência das zonas de lagoas com feixes de lineamentos, o que corrobora a atuação de processos tectônicos favorecendo a geração dessas feições, seja por colapso, seja por carstificação laterítica. Vale lembrar que Stein (1999), ao estudar a bacia do Rio Santo Anastácio, definiu um compartimento designado “Planalto das Lagoas”, associado ao Lineamento Guapiara, que apresentaria um mergulho estrutural para sudeste, sendo atribuído à ação neotectônica. Nesse sentido, vale ressaltar, também, o trabalho de Nakasu (1998), o qual definiu importante jogo de falhas neotectônicas na foz do Rio do Peixe, com *horsts* e *grabens*, e presença de grandes lagoas em bloco abatido (*e.g.*, Lagoa São Paulo). Idêntica constatação já havia sido feita por Bartorelli (1997) ao estudar os controles genéticos na formação de lagoas associadas às principais drenagens do Estado de São Paulo.

Conforme pode ser visto na Figura 14, os planaltos de Marília-Exaporã, Monte Alto e Catanduva situam-se próximos a intersecções de feixes de lineamentos NE-SW e NW-SE, todos de 1a. ordem, na faixa centro-oriental da área de estudo. É possível que estes planaltos sejam decorrência do alçamento mais acentuado da borda leste, configurado na disposição das isolinhas nos mapas de contorno estrutural das unidades cretácicas. Neste caso, os feixes de lineamentos desempenham papel importante na dissecação do terreno. Outro ponto a ser destacado, refere-se a que estes planaltos configuram setores com maiores espessuras preservadas de sedimentos do Grupo Bauru. Estes setores corresponderiam a blocos rebaixados, portanto passíveis de conter maior registro da sedimentação cretácica, hoje salientes na topografia devido à intensa carbonatação pedogenética que afetou o Grupo Bauru.

A INFLUÊNCIA DA NEOTECTÔNICA

Atividades neotectônicas no oeste paulista têm sido verificadas por diversos autores (*e.g.*, Magalhães

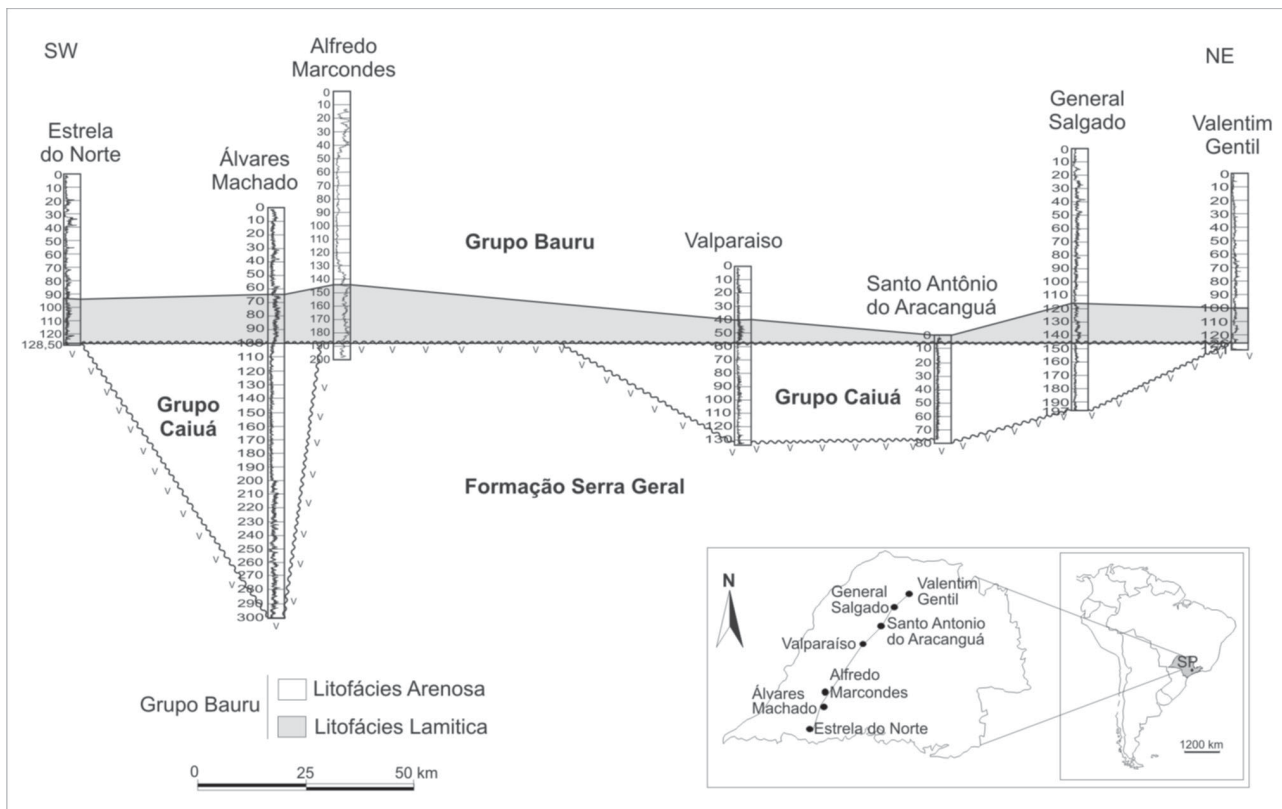


FIGURA 12. Seção Estratigráfica de subsuperfície Valentim Gentil (SP) - Estrela do Norte (SP).

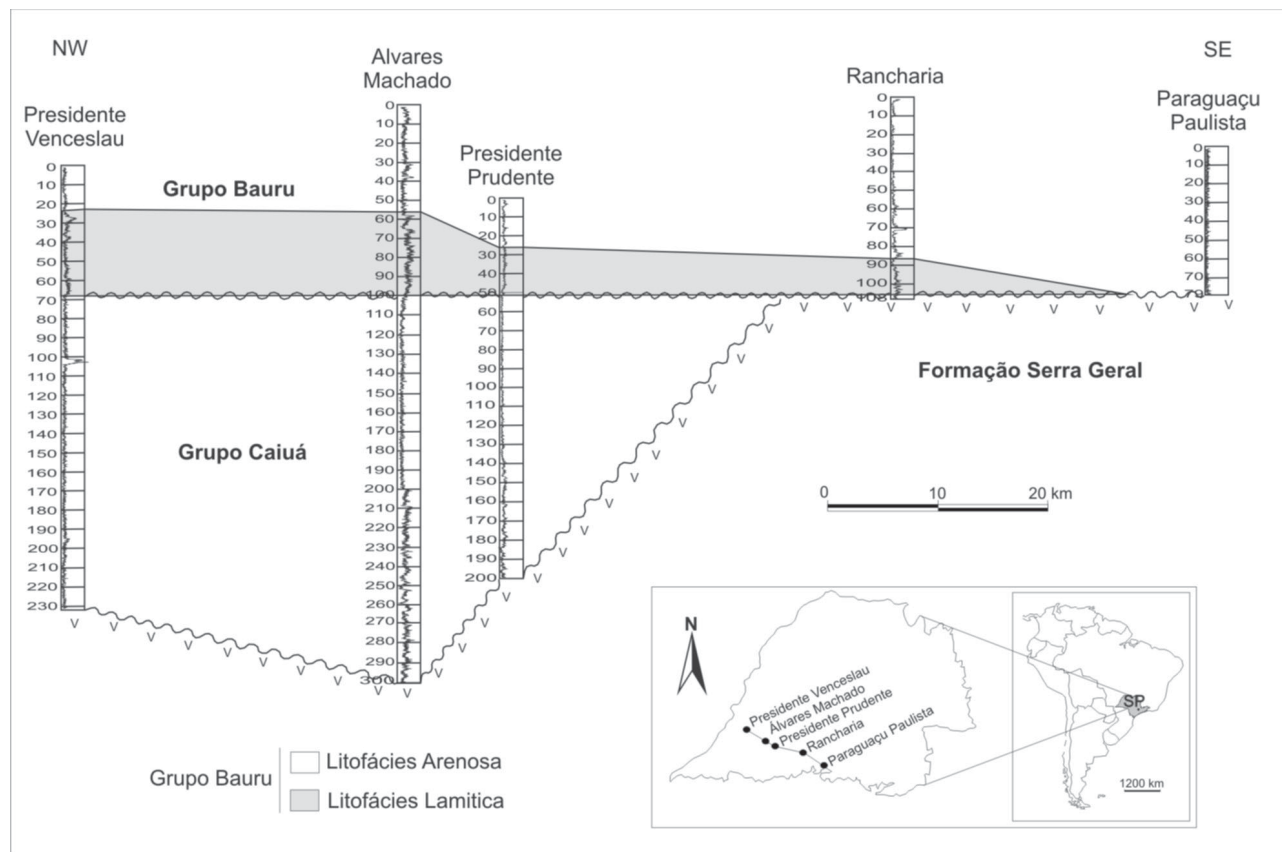


FIGURA 13. Seção Estratigráfica de subsuperfície Paraguaçu Paulista (SP) - Presidente Venceslau (SP).

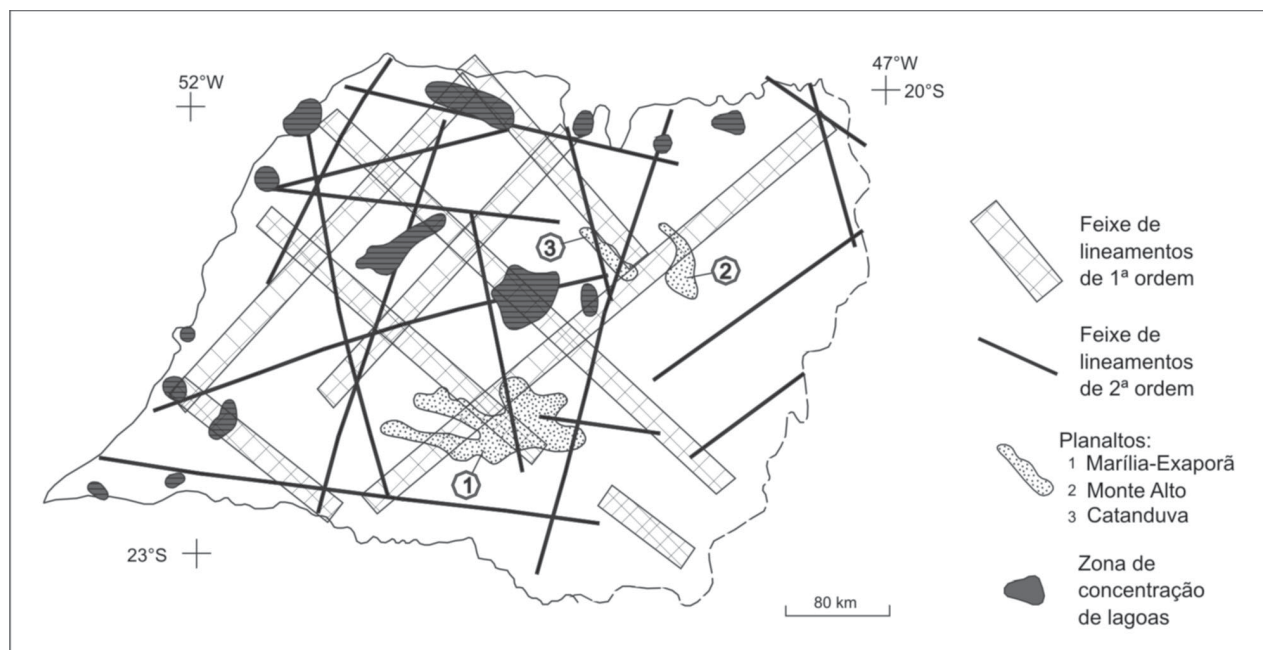


FIGURA 14. Mosaico geomórfico-estrutural da área estudada.

et al., 1992; Nakasu, 1998; Magalhães, 1999; Stein, 1999; Etchebehere et al., 1999; Etchebehere & Saad, 1999, 2002), incluindo estudos cinemáticos em áreas localizadas ou em âmbito regional e abordagens paleossísmicas.

Em termos de implicações para o presente trabalho, pode-se destacar dois fatores de maior relevância: o fraturamento, como via preferencial de percolação de água e geração de permo-porosidade, e o tensor hidráulico, este segundo fator advindo do quadro vigente de tensões, ambos intrinsecamente ligados.

O fraturamento pode ser aquilatado pela frequência e orientação dos lineamentos extraídos das imagens de satélite, especialmente dos feixes, que representam zonas de maior persistência de traços. As áreas de maior densidade de lineamentos devem corresponder a zonas mais fraturadas, conseqüentemente propensas a caracterizar aquíferos fraturados ou ainda zonas de recarga ou de exsudação. Conquanto ampliem as perspectivas de potencial hidrogeológico, por se constituírem em prospectos exploratórios, são, por outro lado, áreas mais sujeitas a serem afetadas por contaminações. Em qualquer situação, o mapa de lineamentos fotointerpretados (Figura 4) constitui uma ferramenta importante para avaliações preliminares desse tipo aquífero, especialmente no tocante à Formação Serra Geral.

Com respeito ao segundo fator, o mencionado tensor hidráulico, i.e., a direção mais suscetível à abertura das fraturas, por conter o principal eixo de tensões (σ_1), ainda se ressentir da falta de estudos cinemáticos consistentes, de abrangência regional, que

possibilitem definir o campo de esforços e a magnitude das tensões. Para fazer frente a esta falta de estudos cinemáticos, pode-se lançar mão das informações colhidas pela rede de satélites GPS (Global Positioning System), que possibilitam o monitoramento de estações em diversos pontos das várias placas tectônicas, com precisão milimétrica para as variações de latitude, longitude e altitude (Caltech, 2004). No caso do Planalto Ocidental Paulista, as estações de controle mais próximas são: Brasília (DF), Rio de La Plata e Fortaleza (CE), que mostram um persistente deslocamento da placa sul-americana no rumo NNW, da ordem de 2 cm/ano (Heflin et al., 2003, segundo Caltech, 2004.). Dessa forma, a moda de lineamentos N350 se afigura como o mais provável tensor hidráulico para o Planalto Ocidental Paulista. Por seu turno, os feixes de lineamento de 1ª ordem N315 e N40, bem como os de 2ª ordem agrupados na moda N15, podem favorecer movimentos transcorrentes dextrais para os do quadrante NW e sinistrais para as outras duas direções, com implicações hidrogeológicas atreladas a deformações transtensivas e transtrativas, dependentes da conformação local (ondulações) dos planos de fraturamento.

Evidentemente, este modelo geométrico/cinemático é preliminar, não possibilitando, em nível do reconhecimento atual, deslindar os caminhos das tensões. Esta determinação passa por estudos geológico-estruturais de detalhe, com inventário rigoroso de dados deformacionais no campo, tratamento analítico dessas informações e cuidadosas modelagens geométricas e cinemáticas.

PRINCIPAIS PROSPECTOS NA ÁREA PESQUISADA

Para a análise dos prospectos principais da área de interesse, levou-se em conta a compartimentação geomórfico-estrutural do Planalto Ocidental Paulista, exibida na Figura 15, onde se observam os 15 blocos delimitados com base nos feixes de lineamentos de 1ª ordem. A designação adotada foi alfabética, de norte para sul e de oeste para leste.

O Quadro 1 sintetiza os principais prospectos para água subterrânea, com base nas considerações de ordens estratigráficas, sedimentológicas e estruturais, organizada em colunas referentes às unidades litoestratigráficas maiores da área, e linhas referentes aos diversos blocos geomórfico-estruturais, identificados por letras, em conformidade com a Figura 15.

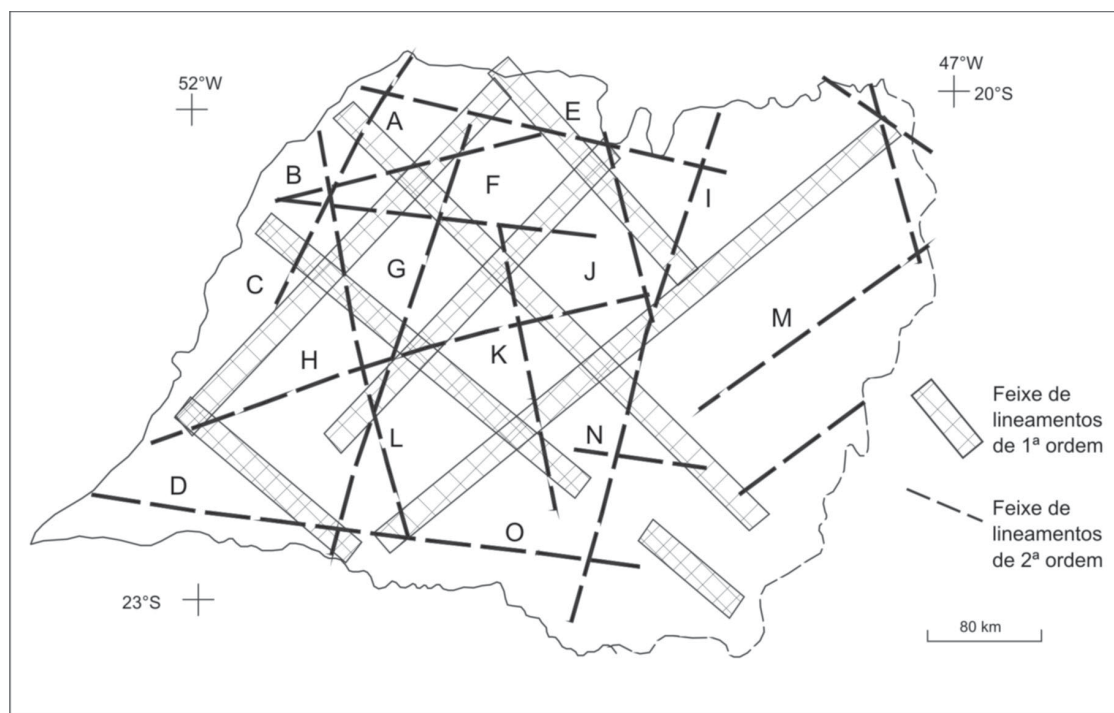


FIGURA 15. Principais blocos geomórfico-estruturais da área estudada.

Algumas considerações devem ser feitas, ainda com relação ao Quadro 1:

- A quantidade de informações e o grau de confiabilidade dos dados numéricos (espessuras de unidades e cotas de contatos, principalmente) devem ser vistos com a devida cautela, baseados que são em estudos de caráter regional, amplo, ou poços tubulares isolados, podendo sofrer sensíveis mudanças à medida em que for evoluindo o conhecimento geológico em nível de detalhe em cada bloco;
- Em alguns blocos geomórfico-estruturais, o controle das informações de sub-superfície é precário, podendo o quadro sofrer grandes modificações com o apuro da conformação estrutural e estratigráfica da coluna geológica ali presente;
- Alguns “compartimentos” do Quadro 1 exibem dois tipos de informação geológica, *viz.* **aspectos positivos** e **aspectos negativos**, sempre tendo em conta o interesse em exploração hidrogeológica, *i.e.*, baseado em dados que têm implicações econô-

micas diretas para futuras campanhas de sondagens e/ou trabalhos geofísicos. Esta classificação dos aspectos pode ser alterada. Por exemplo, com base nas informações disponíveis atualmente, considerou-se como negativo o fato de um bloco geomórfico-estrutural ser compartimentado tectonicamente, *i.e.*, diminuindo o grau de certeza sobre a qualidade da informações geológica ali contida, uma vez que pode haver uma grande variação na coluna estratigráfica local, decorrente da presença de possíveis sub-bacias ou altos estruturais, ainda não delineados. Trata-se de uma postura conservadora, pois estes mesmos aspectos podem ser reclassificados como positivos, pois nessas sub-bacias, muito provavelmente a coluna estratigráfica será mais completa do que em blocos adjacentes, apresentando potencial para maior espessura de aquíferos. É importante ressaltar que estes aspectos são especialmente relevantes para o caso do Grupo Caiuá; para o Grupo Bauru, as

áreas que apresentam maior espessura eram baixos à época de deposição (onde se preservam as três formações do Grupo Bauru) e hoje apresentam como altos topográficos, conforme referido anteriormente, por erosão diferencial; e

- No caso do Aquífero Guarani, adotou-se arbitrariamente como positiva a linha de cota de até – 500 m em relação ao nível do mar; para espessuras dos basaltos adotou-se, como limite para o aspecto positivo, valores inferiores a 800 m, exclusive.

QUADRO 1. Principais prospectos para água subterrânea no Planalto Ocidental Paulista.

Bloco	Fm. Botucatu	Fm. Serra Geral	Grupo Caiuá	Grupo Bauru
A	<p>Aspectos positivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras variando de 300 a 400 m; - Cota em relação à superfície: – 500 m <p>Aspecto negativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessura de basalto: 1.000 m. 	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bloco com inúmeras intersecções de diferentes modas estruturais, notadamente N350, N315 e N40. 	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessura variando de 30 a 90 m, apresentando arenito fino a médio, pouco argiloso; <p>Aspecto negativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Os dados de subsuperfície são muito localizados. 	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessura da ordem de 85-90 m, sendo que 50 m pertencem a litofácies arenosa, fina, pouco argilosa, ocorrendo na porção superior (Fm. Adamantina). <p>Aspecto negativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - As espessuras do Grupo são muito variáveis.
B	<p>Aspectos positivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras superiores a 400 m; - Cota em relação à superfície: - 500 m. <p>Aspecto negativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessura de basalto: 800 a 1.000 m. 	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bloco com inúmeras intersecções de diferentes modas estruturais, notadamente N315 e N15. 	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Área preservada com espessura de até 70 m, apresentando arenito fino a médio, pouco argiloso. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Informações localizadas; - Área compartimentada do ponto de vista estrutural (tectônica pré-Bauru); - Presença de altos internos. 	<p>Está representado por sedimentos arenosos finos, com intercalações de argilito e siltito, perfazendo 70 m de espessura (Fm. Adamantina), e, na base, por 30 m de lamitos arenosos (Fm. Araçatuba).</p>
C	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apesar de apresentar espessuras em torno de 250-300 m, são suficientes para a exploração de água subterrânea. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessura de basalto: 1.000 a 1.400 m; - Cota do topo: – 600 a – 1.200 m. 	<p>Nesse bloco, prevalecem os lineamentos de 1ª ordem da moda N315. A depender da situação estrutural local, podem ocorrer zonas de boa permeabilidade e capacidade de armazenamento de água.</p>	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Área preservada com espessura de até 110 m, apresentando arenito fino a médio, pouco argiloso. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Base de informações muito localizada; - Presença de altos internos; - Área compartimentada do ponto de vista estrutural, formando sub-bacias de preservação. 	<p>Espessura total da unidade em torno de 90 m, sendo que os primeiros 60 m apresentam litofácies arenosas finas, com intercalações de argilitos/siltitos (Fm. Adamantina). Em direção à base, predomina a Fm. Araçatuba (predomínio de lamitos e arenitos lamíticos).</p>
D	<p>A espessura desta unidade varia de 150 a 200 m, valores esses suficientes para uma adequada produção. No entanto, a cota do topo da unidade situa-se entre – 1.400 m a – 1.500 m, sendo capeada por basaltos com até 1.700 m de espessura.</p>	<p>Prevalecem as direções de lineamentos N315 e N15, as quais podem, a depender da situação estrutural local, apresentar zonas de boa permeabilidade e capacidade de armazenamento de água.</p>	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Próximo ao limite com o Bloco H, verifica-se a presença de arenito fino, pouco argiloso, com espessura de até 100 m, no topo da unidade. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - As informações são pontuais; - Área muito compartimentada. 	<p>Abrange 100 m da Fm. Araçatuba, constituída predominantemente por lamitos.</p>
E	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessura da unidade de 250 a 300 m. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Topo da unidade em torno da cota – 900 m; - Espessura de basalto variável entre 800 e 900 m. 	<p>Bloco com intersecções das modas N350, N315 e N280, favorecendo a exploração do aquífero fraturado, especialmente se caracterizado com precisão o vetor hidráulico.</p>	<p>Sem informações estratigráficas.</p>	<p>Área de predomínio da Fm. Serra Geral; o Gr. Bauru, quando presente, mostra espessuras diminutas.</p>

Bloco	Fm. Botucatu	Fm. Serra Geral	Grupo Caiuá	Grupo Bauru
F	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras em torno de 350-400 m. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Topo da unidade entre - 600 a - 800 m; - Espessura de basalto em torno de 800 m. 	<p>Bloco com intersecções de várias modas estruturais, tanto na direção NE (N40, N15) como NW (N315).</p>	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras de até 50 m, de arenito fino, pouco argiloso. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presença de altos estruturais; - Bloco compartimentado tectonicamente, formando sub-bacias. 	<p>Espessuras do Gr. Bauru variam de 100 a 160 m, de arenitos finos, com intercalações argilosas (Fm. Adamantina), apresentando, na parte basal, 20 a 30 m de rochas lamíticas (Fm. Araçatuba).</p>
G	<p>Aspectos positivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras em torno de 350-400 m; - Espessura aproximada de basalto inferior a 800 m. <p>Aspecto negativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cota do topo variando entre - 600 a - 700 m. 	<p>Várias intersecções de modas estruturais. Das modas favoráveis, ocorrem as seguintes: N40, N15, N315 e N350.</p>	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 80 m de espessura de arenito fino, pouco argiloso. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Informações estratigráficas pontuais; - Presença de altos estruturais; - Bloco extremamente compartimentado. 	<p>No Gr. Bauru ocorre o predomínio de fácies pelíticas ou lamíticas com até 90 m de espessura.</p>
H	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras variando de 200 a 400 m. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cota do topo da unidade variando de - 700 a - 1.400 m; - Espessura dos basaltos em torno de 1.100 - 1.400 m. 	<p>Várias intersecções de modas estruturais. Das modas favoráveis, ocorrem as seguintes: N15 e N315.</p>	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessura total de até 300 m, sendo que os primeiros 100 m compõem-se de arenitos finos, pouco argilosos. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Os 200 m restantes da unidade são constituídos por sedimentos finos, lamíticos; - Presença de altos internos localizados; - Bloco compartimentado estruturalmente. 	<p>No Gr. Bauru ocorre o predomínio de fácies pelíticas ou lamíticas com até 90 m de espessura.</p>
I	<p>Aspectos positivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras variando de 200 a 350 m; - Cota do topo da unidade variando de - 350 a + 600 m; - Espessura dos basaltos variando de 200 a 800 m. 	<p>O bloco apresenta intersecções de várias modas estruturais, porém, das mais favoráveis, ocorre apenas a N15, o que condiciona o potencial dos basaltos para água subterrânea à presença de vetores hidráulicos diferenciados, por determinar.</p>	<p>Unidade ausente.</p>	<p>Área de predomínio da Fm. Serra Geral; o Gr. Bauru, quando presente, mostra espessuras diminutas.</p>
J	<p>Aspectos positivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras variando de 300 a 350 m; - Cota do topo da unidade variando de - 200 a 0 m; - Espessura dos basaltos variando de 300 a 500 m. 	<p>O bloco apresenta intersecções de várias modas estruturais, porém, das mais favoráveis, ocorrem apenas N15, N40 e N350.</p>	<p>Aspecto positivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras de até 80 m, contendo arenito fino, pouco argiloso nos primeiros 60 m da unidade. <p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presença de altos estruturais; - Região compartimentada internamente. 	<p>Espessuras de até 150 m de arenitos finos a médios, com intercalações argilosas centimétricas. Na base, apresentam-se litofácies lamíticas, com até 40 m de espessura.</p>
K	<p>Aspectos positivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessuras variando de 300 a 350 m; - Cota do topo da unidade variando de - 300 a 0 m; - Espessura dos basaltos variando ao redor de 400 m. 	<p>O bloco apresenta intersecções de várias modas estruturais, porém, das mais favoráveis, ocorrem apenas N15, N40, N350 e N208.</p>	<p>Aspectos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espessura máxima de 30 m; - Bloco localiza-se próximo ao limite da borda atual verificado. 	<p>Predomínio de litofácies finas, com até 70 m de espessura.</p>

continuação...

Bloco	Fm. Botucatu	Fm. Serra Geral	Grupo Caiuá	Grupo Bauru
L	Aspectos positivos: - Espessura da unidade em torno de 250 m; - Cota do topo da unidade variando de - 200 a 0 m; - Espessura dos basaltos variando entre 200 e 400 m.	O bloco apresenta intersecções de várias modas estruturais, porém, das mais favoráveis, ocorrem apenas N15 e N40.	Unidade ausente.	O Gr. Bauru apresenta, neste bloco, espessuras de até 200 m, dos quais 2/3 exibem litofácies arenosas, com cimentação calcífera; o terço final caracteriza-se por clásticos finos (argilitos, siltitos, lamitos, arenitos muito finos).
M	Aspectos positivos: - Espessura da unidade variando de 150 a 250 m; - Cota do topo da unidade variando de + 400 a + 750 m; - Espessura dos basaltos variando entre 0 e 300 m.	O bloco apresenta intersecções de várias modas estruturais, porém, das mais favoráveis, ocorrem apenas N350, N315 e N40.	Unidade ausente.	Predomínio de litofácies arenó-argilosa, com espessuras de até 100 m. Na base, predominam clásticos finos (em torno de 30-40 m); os arenitos acham-se cimentados por cimento calcífero.
N	Aspectos positivos: - Espessura da unidade variando de 150 a 250 m; - Cota do topo da unidade variando de + 400 a + 750 m; - Espessura dos basaltos variando entre 0 e 300 m.	O bloco apresenta intersecções de várias modas estruturais, porém, das mais favoráveis, ocorrem apenas N315 e N40.	Unidade ausente.	Predomínio de litofácies arenó-argilosa, com espessuras de até 100 m. Na base, predominam clásticos finos (em torno de 10-20 m); os arenitos acham-se cimentados por cimento calcífero.
O	Aspectos positivos: - Espessura da unidade variando de 150 a 250 m; - Cota do topo da unidade variando de + 400 a + 750 m; - Espessura dos basaltos variando entre 0 e 300 m.	O bloco apresenta intersecções de várias modas estruturais, porém, das mais favoráveis, ocorrem apenas N315 e N15.	Unidade ausente.	Predomínio de litofácies arenó-argilosa, com espessuras de até 120 m. Na base, predominam clásticos finos (em torno de 20 m); os arenitos acham-se cimentados por cimento calcífero.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme referido inicialmente, a região pesquisada abriga importantes núcleos urbanos, alguns deles apresentando alta renda *per capita*. A par desses índices econômicos satisfatórios, verifica-se que em vários desses municípios podem ser encontrados aquíferos contaminados ou em situações críticas em virtude da precariedade dos planejamentos e fiscalização dos órgãos competentes, mas também decorrentes do escasso conhecimento hidroestratigráfico

detalhado dessas unidades.

Dessa forma, espera-se que o presente trabalho represente um guia orientativo aos planejadores e prospectores, estaduais, municipais e empresas privadas, na busca de água subterrânea, propiciando o melhor aproveitamento dos sistemas aquíferos mesozóicos, bem como a possibilidade de se efetuar um planejamento de longo prazo, respeitando-se a sustentabilidade desses recursos hídricos.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Fábio Braz Machado a ajuda na editoração das ilustrações deste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSINE, M.L.; PIRANHA, J.M.; CARNEIRO, C.D.R. Os Paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: MANTESSONETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B. **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flavio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, p. 77-93, 2004.

2. BARTORELLI, A. **As principais cachoeiras da Bacia do Paraná e sua relação com alinhamentos tectônicos**. Rio Claro, 1997. 190 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.
3. BAUMANN, P. **Petroleum evaluation of the Paraná Basin**. São Paulo, Consórcio IPT-CESP/BEICIP (Paulipetro: Relatório RT - 033/81), 1981.
4. CALTECH-CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **GPS Time Series: Jet Propulsion Laboratory**, 2004. Disponível em: <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html>. Acessado em 13.mar.2004.
5. ERNESTO, M.; BATEZZELLI, A.; SAAD, A.R.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; FULFARO, V.J. Início da Sedimentação Suprabasáltica na Bacia do Paraná: Paleomagnetismo do Grupo Cauá (Oeste do Estado de São Paulo e Noroeste do Paraná). In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7 e SIMPÓSIO DO TERCIÁRIO DO BRASIL, 1. **Boletim...** Rio Claro, 2006, p. 48.
6. ETCHEBEHERE, M.L.C. & SAAD, A.R. Relação Declividade / Extensão de Curso (RDE) aplicada à detecção de deformações neotectônicas regionais na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, SP. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6, 1999, São Pedro. **Boletim de Resumos...** Rio Claro: SBG-SP/RJ-ES/UNESP, 1999, p. 93.
7. ETCHEBEHERE, M.L.C. & SAAD, A.R. Feições de liquefação em sedimentos quaternários no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista - implicações paleossísmicas. **Geociências**, v. 21, n. 1-2, p. 43-56, 2002.
8. ETCHEBEHERE, M.L.C.; FULFARO, V.J.; SAAD, A.R.; PERINOTTO, J.A.J. O Significado estratigráfico da calcritização por água subterrânea no Triângulo Mineiro, Sudeste do Estado de Minas Gerais, Brasil. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 5 e SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCICO DE AMÉRICA DEL SUR, 1, 1999, Serra Negra. **Boletim...** Rio Claro: UNESP, 1999, v. 1, p. 427-432.
9. ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; PERINOTTO, J.A.J.; FULFARO, V.J. Aplicação do Índice “Relação Declividade-Extensão - RDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. **Revista do Instituto de Geociências da USP - Série Científica**, v. 4, n. 2, p. 43-56, 2004.
10. ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; FULFARO, V.J.; LANDIM, P.M.B. Revisão Estratigráfica da Cobertura Sedimentar Pós-Basaltos do Planalto Ocidental Paulista – A Contribuição do Século XX. **Revista Universidade Guarulhos**, v. 9, p. 69-88, 2004. (a).
11. FERNANDES, L.A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. São Paulo, 1998. 232 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, USP.
12. FERNANDES, L.A. & COIMBRA, A.M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 2, p. 195-205, 1996.
13. FULFARO, V.J. & PERINOTTO, J.A.J. A Bacia Bauru: estado da arte. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4, 1996, Águas de São Pedro, SP. **Boletim...** Rio Claro: UNESP, 1996, p. 297-303.
14. FULFARO, V.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; PERINOTTO, J.A.J.; SAAD, A.R. Santo Anastácio: um geossolo cretácico na Bacia Caiuá. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 5 e SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCICO DE AMÉRICA DEL SUR, 1, 1999, Serra Negra. **Boletim...** Rio Claro: UNESP, 1999, v. 1, p. 125-130. (a).
15. FULFARO, V.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; PERINOTTO, J.A.J.; SAAD, A.R. Bacia Caiuá: uma nova bacia cretácica na Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 5 e SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCICO DE AMÉRICA DEL SUR, 1, 1999, Serra Negra. **Boletim...** Rio Claro: UNESP, 1999, v. 1, p. 439-442. (b).
16. FULFARO, V.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; PERINOTTO, J.A.J.; SAAD, A.R. Bacia Caiuá: uma nova bacia cretácica na Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 5 e SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCICO DE AMÉRICA DEL SUR, 1, 1999, Serra Negra. **Boletim...** Rio Claro: UNESP, 1999, v. 1, p. 48. (c).
17. FULFARO, V.J.; GAMA JUNIOR, E.G.; SOARES, P.C. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. São Paulo, Consórcio IPT-CESP (Paulipetro, Relatório BP - 008/80), 193 p., 1980.
18. GONZAGA DE CAMPOS, L.F. **Reconhecimento da zona compreendida entre Bauru e Itirapina**. São Paulo: Typ. Ideal, 40 p., 1905.
19. HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1, 1990, Belo Horizonte. **Boletim...** Belo Horizonte: SBG/MG, 1990, v. 1, p. 1-31.
20. HASUI, Y.; SENA COSTA, J.B.; BORGES, M.S.; JIMENEZ-RUEDA, J.R.; MORALES, N. Compartimentação neotectônica do lineamento Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS-SNET, 7, 1999, Lençóis. **Atas...** Lençóis: SBG/BA, 1999, Sessão 4, p. 37-39.
21. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT, Relatório 27.394, 2 v., 1989.
22. MAGALHÃES, F.S. **Tensões regionais e locais: casos no território brasileiro e padrão geral**. São Carlos, 1999. 225 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
23. MAGALHÃES, F.S.; MARQUES, J.D.; SERRA JUNIOR, E. Análise estrutural do maciço rochoso de fundação da barragem de Porto Primavera, Rio Paraná (SP/MS). In: HASUI, Y. & MIOTO, J.A. (Coords.), **Geologia Estrutural Aplicada**. São Paulo: ABGE-VOTORANTIM, p. 297-311, 1992.
24. MILANI, E.J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. Porto Alegre, 1997. 2 v. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
25. 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 Flavio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, p. 265-291, 2004.
26. MILANI, E.J. & ZALÁN, P.V. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America. **Episodes**, Beijing (China), v. 22, n. 3, p. 199-205, 1999.
27. MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B.; SCHNEIDER, R.L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, n. 1, p. 69-82, 1994.
28. NAKASU, L. **Recursos minerais do rio Paraná a montante de Guaíra**. Rio Claro, 1998. 212 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.
29. NARDI, A.J.R. **Geologia e Petrologia das Rochas Vulcânicas Mesozóicas da Região Central da Bacia do Paraná**. Rio Claro, 1996. 316 f. Tese (Doutorado em Geologia) –

- Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.
30. NORTHFLEET, A.A.; MEDEIROS, R.A.; MUHLMANN, H. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. **Boletim Técnico da Petrobrás**, v. 12, n. 3, p. 291-346, 1969.
 31. RENNE, P.R.; ERNESTO, M.; PACCA, I.G.; COE, R.S.; GLEN, J.M.; PRÉVOT, M.; PERRIN, M. The age of the Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. **Science**, v. 258, p. 975-979, 1992.
 32. RICCOMINI, C. **Tectonismo gerador e deformador de depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas**. São Paulo, 1995. 100 f. Concurso (Livre-Docente) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, USP.
 33. SAAD, A.R. **Análise da produção técnico-científica**. Rio Claro, 1997. 150 f. Concurso (Livre-Docente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.
 34. SAAD, A.R.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; FULFARO, V.J. Novo Modelo Estratigráfico do Grupo Caiuá no Estado de São Paulo. **Em preparação**.
 35. SANFORD, R.M.; LANGE, F.W. Basin-study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, South Brazil. **American Association Petroleum Geologists Bulletin**, v. 44, p. 1.316-1.370, 1960.
 36. SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, 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: SBG, 1974, v. 1, p. 41-65.
 37. SILVA, R.B. **Caracterização do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1980. 125 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, USP.
 38. SILVA, R.B. & COUTO, E.A. **Geologia do Bloco 45, balizado pelas cidades de Bauru, Marília, Ourinhos e Águas de Santa Bárbara**. São Paulo: Consórcio IPT-CESP, 2 v. (Paulipetro, Relatório BP - 011/80), 1980.
 39. SILVA, R.B.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; ZAINE, J.E.; RAMOS, R.G.N. O alto estrutural de Vera Cruz-Garça, Estado de São Paulo. **Geociências**, N. Especial, p. 279-298, 1990.
 40. SLOSS, L.L. Sequences in the cratonic interior of North America. **Geological Society America Bulletin**, v. 74, p. 93-113, 1963.
 41. SOARES, P.C. Divisão estratigráfica do mesozóico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 4, p. 229-251, 1975.
 42. SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J. Tectonic cycles and sedimentary sequences in the Brazilian intracratonic basins. **Geological Society America Bulletin**, v. 78, p. 181-191, 1974.
 43. STEIN, D.P. **Avaliação da degradação do meio físico - Bacia do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista**. Rio Claro, 1999. 197 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.
 44. ZAINE, J.E.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; SILVA, R.B. Possibilidade de um paleoalto na região de Jafa - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. **Resumos e Breves Comunicações...** Salvador: SBG, 1982, n. 2, p. 46.

*Manuscrito Recebido em: 12 de novembro de 2007
Revisado e Aceito em: 25 de janeiro de 2008*

