

ALTOS E BAIXOS ESTRUTURAIS DO GRUPO SÃO BENTO NA REGIÃO ENTRE RIBEIRÃO PRETO E SERTÃOZINHO, NORDESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Marcos MASSOLI

RESUMO

A região compreendida entre Ribeirão Preto e Sertãozinho, na porção nordeste do estado de São Paulo, apresenta um arcabouço de altos e baixos estruturais, tendo como referência os contatos entre as formações Serra Geral/Botucatu e Botucatu/Piramboia. O primeiro contato (Serra Geral/Botucatu) foi estabelecido a partir de perfis geológicos de poços existentes, enquanto o segundo (Botucatu/Piramboia), nem sempre bem definido por esses perfis, foi também interpretado com base em perfilagens de raios gama de poços, disponíveis principalmente na região de Ribeirão Preto. Os altos e baixos estruturais identificados apresentam direção predominante NE-SW e estariam associados, principalmente, a corpos de diabásio intrudidos na Formação Piramboia.

Palavras-chave: Altos e baixos estruturais; Contato das formações Serra Geral/Botucatu; Contato das formações Botucatu/Piramboia; Perfilagens de raios gama; Mapas de contorno estrutural; Seções geológicas.

ABSTRACT

STRUCTURAL HIGHS AND LOWS OF THE SÃO BENTO GROUP IN THE REGION BETWEEN RIBEIRÃO PRETO AND SERTÃOZINHO, NORTHEAST OF SÃO PAULO STATE. The region between Ribeirão Preto and Sertãozinho, northeast of São Paulo State, presents a structural framework characterized by structural highs and lows, which were described based on the contacts between the Serra Geral/Botucatu and Botucatu/Piramboia formations. The first contact (Serra Geral/Botucatu) was determined from geological profiles of wells, and the second one (Botucatu/Piramboia), which is not always clearly observed in these geological profiles, was also interpreted from gamma-ray well logs, available mainly for the Ribeirão Preto region. The structural highs and lows, mainly NE-SW oriented, are associated with diabase intrusions into the Piramboia Formation.

Keywords: Structural highs and lows; Contact between Serra Geral/Botucatu formations; Contact between Botucatu/Piramboia formations; Gamma-ray logs; Structural contour maps; Geological sections.

1 INTRODUÇÃO

No estado de São Paulo, SANTORO & MASSOLI (1985) identificaram irregularidades do topo dos basaltos da Formação Serra Geral, com a caracterização dos baixos estruturais de Santa Fé do Sul, Jales, São José do Rio Preto e Sud Menucci, além dos altos estruturais de Três Fronteiras, Bálsamo, Irapuã, Andradina, Nova Granada e Piratininga. Este último foi formado por falhas de direções NW-SE e NE-SW, que trouxeram à

superfície as formações Piramboia e Corumbataí. Posteriormente, PAULA E SILVA (2003) detalhou tais irregularidades do topo da Formação Serra Geral, às quais deu nomes alusivos às cidades onde foram identificadas. SIMONATO *et al.* (2016), estudando a cidade de Bauru, interpretaram que a área sofreu tectonismo pós-vulcanismo basáltico, anterior à deposição do Grupo Bauru, originando o arcabouço da futura Bacia Bauru. Blocos elevados foram expostos à erosão, com remoção de

toda a Formação Serra Geral, razão pela qual o Grupo Bauru, na área, sobrepõe-se diretamente à Formação Botucatu. Na porção norte do estado de São Paulo, próximo à divisa com Minas Gerais, ZALAN *et al.* (1987) apontaram uma estrutura anticlinal, de direção NW-SE, a qual denominaram Alto de Cardoso. Este vai desde a cidade homônima até os arredores de Ribeirão Preto e evidenciaria uma elevação do contato entre o Grupo Bauru e a Formação Serra Geral.

A existência de um baixo estrutural na área urbana de Ribeirão Preto já é conhecida há muito tempo. SINELLI (1971), estudando a tectônica da área, verificou a ocorrência de variações abruptas das cotas do contato entre as formações Serra Geral e Botucatu, interpretando-as como sendo produzidas por falhas. DAVINO & SINELLI (1973) propõem a existência de uma estrutura do tipo *graben* nessa região.

Uma seção geológica apresentada por SOARES *et al.* (1973; figura 3, p. 222) evidencia um afundamento do contato entre as formações Serra Geral e Botucatu entre Ribeirão Preto e Sertãozinho (situada cerca de 15 km a oeste da primeira), caracterizando um baixo estrutural.

MASSOLI (2007) elaborou diversas seções geológicas a partir da descrição e perfilagens geofísicas de poços da área urbana de Ribeirão Preto pertencentes ao DAERP (Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto), as quais revelaram irregularidades nos contatos das unidades geológicas presentes.

Com o auxílio de perfilagens geofísicas, PAULA E SILVA *et al.* (2008) admitiram a existência de basculamentos no contato entre as formações Serra Geral e Botucatu em Ribeirão Preto, porém atribuíram-nos às irregularidades da paleotopografia das dunas que constituíam o topo da Formação Botucatu, a qual foi recoberta discordantemente pelas lavas basálticas, embora algumas falhas tenham sido constatadas, mas sem influenciar no arcabouço estrutural da área.

FERNANDES *et al.* (2010; figura 1, pag. 78) apresentaram seção geológica que passa pela área urbana de Ribeirão Preto, na qual está presente um baixo estrutural, que teria sido originado por falhas. Nesse caso, a tectônica teria sido pré-Serra Geral, uma vez que esta unidade geológica não teria sido afetada pelos falhamentos. Esses autores consideraram provável que as irregularidades do contato entre as formações Serra Geral/Botucatu foram causadas pela morfologia pretérita das dunas e não por eventos tectônicos.

Conforme FERNANDES *et al.* (2011), os basaltos em Ribeirão Preto exibem, além das juntas de resfriamento, fraturas tectônicas sem rejeitos verticais importantes. No estado do Rio Grande do Sul, SCHERER (2000) mostrou que a morfologia das dunas que originaram a Formação Botucatu foi preservada da erosão pelo rápido derramamento de lavas basálticas da Formação Serra Geral, de maneira a configurar uma superfície de contato entre essas duas unidades geológicas bastante ondulada.

Apesar da necessidade de levar a preservação do relevo de dunas em consideração, a literatura mostra que há muitos altos e baixos estruturais nas áreas de ocorrência da Formação Serra Geral. Desta forma, este trabalho tem o objetivo de demonstrar a existência de estruturas desse tipo na região entre as cidades de Ribeirão Preto e Sertãozinho (Figura 1), com base em dados de poços de água subterrânea e perfilagens geofísicas.

2 MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos foram elaborados dois mapas de contorno estrutural, gerados por interpolação manual, que apresentam os contatos das formações Serra Geral/Botucatu e Botucatu/Piramboia, e quatro seções geológicas (AB, CD, EF e GH, Figura 1). A seção AB corta praticamente toda a área, de Sertãozinho até Ribeirão Preto, na direção aproximada E-W; a seção CD, com direção NE-SW, atravessa praticamente toda a área urbana de Ribeirão Preto; a seção EF, também de direção NE-SW, cruza parte da área urbana de Ribeirão Preto; e a seção GH de direção NW-SE, é aproximadamente perpendicular à direção das camadas geológicas.

Na área urbana das cidades de Ribeirão Preto e Sertãozinho o número de poços tubulares existentes, respectivamente do DAERP (Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto) e do SAEMAS (Serviço Autônomo de Água, Esgoto e Meio Ambiente de Sertãozinho), é bastante significativo, permitindo um traçado mais detalhado das isolinhas dos mapas de contorno estrutural. Já na parte central da área, representativa da zona rural desses dois municípios, as informações de subsuperfície são limitadas; perfis de apenas três poços foram utilizados: um a norte (Cruz das Posses, poço 12 - DAEE), outro no centro (poço 134 - DAEE) e o outro a SW (Dumont). A interpolação das curvas nesta região

apresenta maiores incertezas. A tabela 1 mostra os poços utilizados no presente estudo.

Perfilagens de raios gama e potencial espontâneo, obtidas junto ao DAERP, também foram interpretadas para comprovação do contato geológico entre as unidades analisadas, conforme procedimento apresentado em MASSOLI (2007) e

PAULA E SILVA *et al.* (2008). Em geral, o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu é facilmente constatado na descrição dos poços cadastrados. Assim mesmo, foram examinadas perfilagens de raios gama e potencial espontâneo de alguns poços para definição de tal contato, que coincide com uma brusca queda no valor da radioatividade

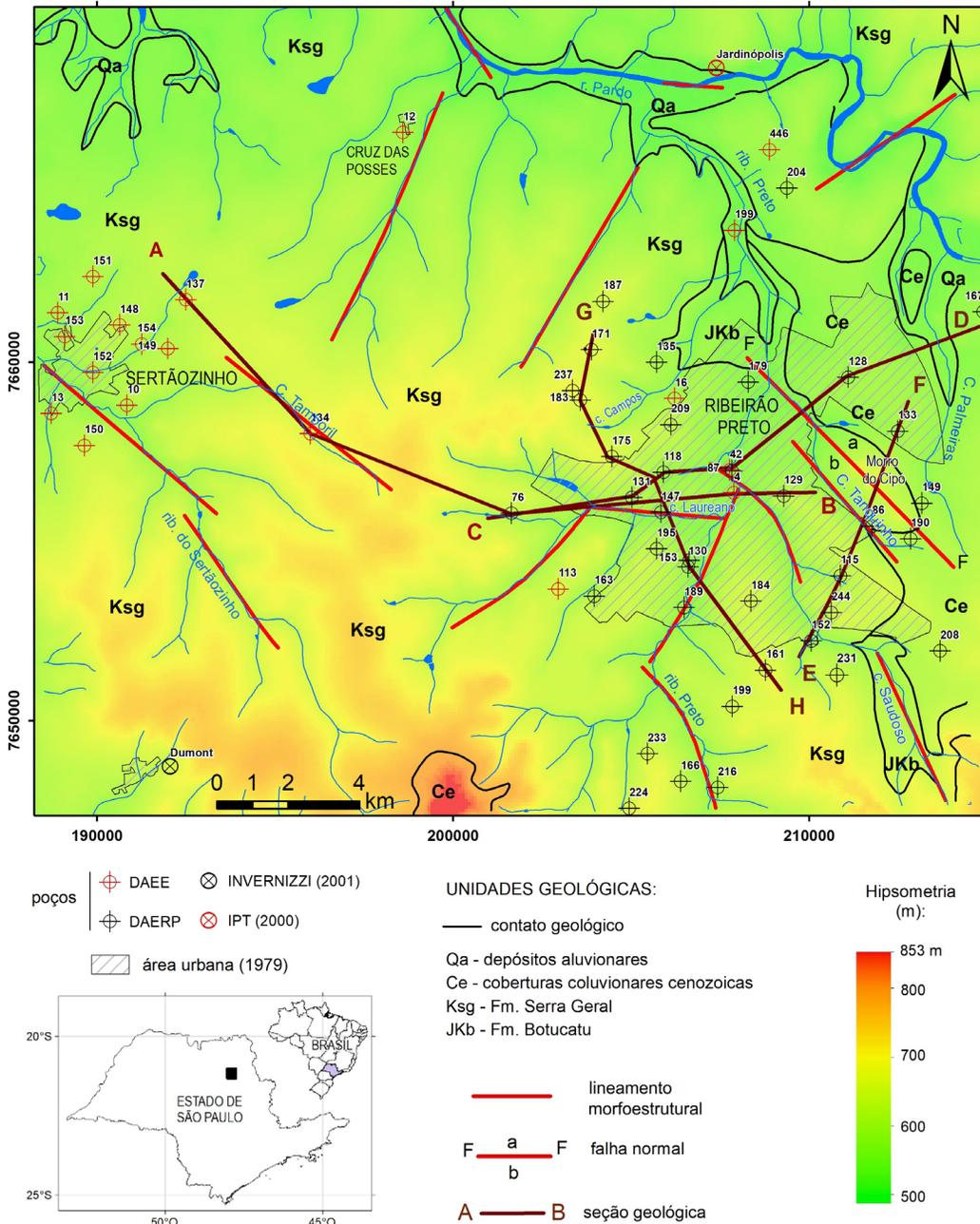


FIGURA 1 – Mapa geológico da área com a localização dos poços e das seções geológicas AB, CD, EF e GH. Fonte: Carta topográfica Ribeirão Preto, escala 1:50.000, IBGE (1979). Hipsometria e modelo digital de terreno gerados a partir do imageamento SRTM/NASA. Coordenadas UTM (WGS 84).

TABELA 1 – Poços utilizados no presente estudo.

Poço	Fonte	UTM E (km)	UTM N (km)	Cota do poço (m)	Perfil estratigráfico-profundidade (m) (Fm. Serra Geral=SG, Fm. Botucatu=Bot, Fm. Piramboia=Pir, diabásio=db, Fm. Corumbataí=Cor)	Perfilagem geofísica
4	DAEE	207,90	7656,35	516	0-56 SG; 56-158 Bot; 158-234 Pir; 234-239,50 db	não
10	DAEE	190,85	7658,79	560	0-192 SG; 192-402 Bot/Pir; 402-408 db	não
11	DAEE	188,90	7661,37	560	0-141 SG; 141-274 Bot; 204-301 Pir; 301-303 db	não
12	DAEE	198,60	7666,40	545	0-156 SG; 156-266 Bot; 266-345 Pir	não
13	DAEE	188,72	7658,56	540	0-102 SG; 102-198 Bot; 198-337,50 Pir	não
16	DAEE	206,23	7658,98	545	0-50 SG; 50-152 Bot; 152-259 Pir	não
42	DAEE	207,78	7656,98	520	0-40 SG; 40-147 Bot; 147-222 Pir; 222-224 db	não
113	DAEE	202,96	7653,67	617	0-166 SG; 166-256 Bot; 256-277 Pir	não
134	DAEE	196,00	7658,00	615	0-234 SG; 234-358 Bot/Pir	não
137	DAEE	192,50	7661,73	600	0-109 SG; 109-200 Bot; 200-311 Pir; 311-315 db	não
148	DAEE	190,65	7661,03	570	0-120 SG; 120-206-Bot; 206-323 Pir	não
149	DAEE	192,00	7660,37	562	0-136 SG; 136-222 Bot; 222-353 Pir	não
150	DAEE	189,66	7657,67	588	0-230 SG; 230-290 Bot; 290-330 Pir; 330-406 db	não
151	DAEE	189,89	7662,38	550	0-129 SG; 129-220 Bot; 220-288 Pir; 288-320 db	não
152	DAEE	189,89	7659,71	538	0-101 SG; 101-200 Bot	não
153	DAEE	189,10	7660,71	550	0-98 SG; 98-200 Bot; 200-254 Pir	não
154	DAEE	191,27	7660,50	555	0-100 SG; 100-194 Bot; 194-235 Pir; 235-237 db	não
199	DAEE	207,92	7663,67	500	0-3 Aluvião; 3-78 Bot; 78-156 Pir	não
446	DAEE	208,90	7665,92	545	0-150 SG; 150-230 Bot	não
76	DAERP	201,65	7655,78	580	0-54 SG; 54-58 Bot; 58-94 db; 94-112 Bot; 112-123 db; 123-142 Bot; 142-162 db; 162-289, 30 Pir	não
86	DAERP	211,78	7655,42	560	0-236 SG	não
87	DAERP	207,84	7656,96	521	0-40 SG; 40-222 Bot/Pir; 222-224 db	não
115	DAERP	210,89	7654,04	570	0-94 SG; 94-292 Bot/Pir	não
118	DAERP	205,92	7656,92	540	0-80 SG; 80-95 Bot; 95-112 db; 112-225 Bot/SG	não
128	DAERP	211,11	7659,57	548	0-191,15 Bot/Pir; 191,15-191,30 db	não
129	DAERP	209,30	7656,26	572	0-136,50 SG; 136,50-206 Bot; 206-290 Pir; 290-296 db; 296-372,5 Pir	não
130	DAERP	206,61	7654,28	546	0-62 SG; 62-183 Bot/Pir	não
131	DAERP	205,03	7656,22	555	0-108 SG; 108-302 Bot/Pir; 302-303,5 db	não
133	DAERP	212,50	7658,07	540	0-210 Bot/Pir	não
135	DAERP	205,73	7659,99	559	0-50 SG; 50-283 Bot/Pir	não
147	DAERP	205,85	7655,81	530	0-74 SG; 74-180 Bot; 180-282 Pir; 282-286 db	não
149	DAERP	213,18	7656,06	557	0-58 SG; 58-201 Bot/Pir	não
152	DAERP	210,07	7652,22	550	0-37 SG; 37-290 Bot/Pir	sim
153	DAERP	206,64	7654,47	546	0-105 SG; 105-320 Bot/Pir	sim
161	DAERP	208,79	7651,40	638	0-133 SG; 133-248 Bot; 248-392 Pir	sim
163	DAERP	203,97	7653,47	610	0-168 SG; 168-260 Bot; 260-316,70 Pir	não
165	DAERP	217,17	7660,65	544	0-249 Bot/Pir; 249-253 db	sim
166	DAERP	206,40	7648,30	605	0-124 SG; 124-160 Bot; 160-164 db	não
167	DAERP	214,90	7661,40	540	0-50 Bot; 50-90 db; 90-119 Bot; 119-131 db; 131-186 Pir; 186-261 db; 261-370 Pir; 370-400 Cor	sim
171	DAERP	203,90	7660,34	638	0-168 SG; 168-258 Bot; 258-362 Pir; 362-374 db	não
175	DAERP	204,47	7657,36	635	0-173 SG; 173-355 Bot/Pir; 355-360 db	sim
179	DAERP	208,30	7659,44	525	0-30 SG; 30-230 Bot/Pir	não
183	DAERP	203,58	7658,93	640	0-146 SG; 146-226 Bot; 226-249 db; 249-362 Pir; 362-367 db	não
184	DAERP	208,38	7653,33	618	0-169 SG; 169-376 Bot/Pir	não
187	DAERP	204,22	7661,69	622	0-100 SG; 100-166 Bot; 166-300 Pir	não
189	DAERP	206,50	7653,15	533	0-78,80 SG; 78,80-301 Bot/Pir	sim
190	DAERP	212,86	7655,07	565	0-130 Bot; 130-236 Pir	sim
195	DAERP	205,73	7654,79	565	0-126 SG; 126-330 Bot/Pir	sim
199	DAERP	207,85	7650,39	600	0-87 SG; 87-201 Bot; 201-313 Pir; 313-315 db	não
204	DAERP	209,39	7664,85	550	0-48 SG; 48-142 Bot; 142-241 Pir; 241-242 db	não
208	DAERP	213,69	7651,94	597	0-100 Bot; 100-289,20 Pir	não
209	DAERP	206,13	7658,25	600	0-110,50 SG; 110,50-303 Bot/Pir	sim
216	DAERP	207,44	7848,13	587	0-86 SG; 86-162 Bot; 162-283 Pir	não
224	DAERP	204,96	7647,55	627	0-158 SG; 158-260 Bot; 260-353,50 Pir	não
231	DAERP	210,78	7651,26	606	0-24 solo; 24-65 SG; 65-173 Bot; 173-319 Pir; 319-322 db	sim
233	DAERP	205,47	7649,07	620	0-132 SG; 132-186 Bot; 186-220 Pir	não
237	DAERP	203,36	7659,20	656	0-175 SG; 175-373 Bot/Pir; 373-375 db	não
244	DAERP	210,63	7653,01	596	0-10 solo; 10-90 SG; 90-324 Bot/Pir; 324-329 db	não
Dumont	INVERNIZZI (2001)	192,06	7648,72	601	0-196 SG; 196-204 Bot	não
Jardinópolis	IPT (2000)	207,40	7668,20	500	0-55 SG; 55-100 Bot	não

(Figura 2). O contato entre as formações Botucatu e Piramboia já é mais incerto, pois a maioria dos poços consultados não faz referência a tal contato, considerando apenas o conjunto Botucatu + Piramboia indistinto. Diante disso, procurou-se determiná-lo pela análise de perfilagens de raios gama e potencial espontâneo (SP), onde alguns contrastes podem ser observados (Figura 3).

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

Na área estudada afloram as seguintes unidades, representadas na coluna cronoestratigráfica da figura 4: Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Coberturas Cenozoicas Indiferenciadas e Depósitos Aluvionares Holocênicos.

A unidade geológica mais antiga que ocorre na área é a Formação Botucatu, recoberta pelos basaltos da Formação Serra Geral na porção centro-oeste da área, e por coberturas coluvionares cenozoicas na parte centro-leste, ocorrendo, de modo restrito, nos vales, onde os sedimentos recentes foram erodidos. A unidade compreende predominantemente arenitos finos a médios, bem selecionados, rosados, avermelhados ou esbranquiçados, com espessuras variando entre 80 e 120 m. Eventualmente, pode apresentar intercalações de material argiloso, de espessuras até métricas (MASSOLI 2007, figura 33, pg. 91), indicando a presença de fácies de origem aquática (lacustre), que seria correlacionável à “fácies Santana” (MEZZALIRA *et al.* 1981). O contato basal desta unidade com a Fm. Piramboia, não aflorante na área, é discordante, sendo marcado por arenito grosso a conglomerático de uma fácies de leques aluviais (MASSOLI 2007, MASSOLI & CAETANO-CHANG 2007, PAULA E SILVA *et al.* 2008), imaturo, tendo em vista a presença de matriz feldspática, que lhe confere cor esbranquiçada. Em São Simão (SP) essa fácies conglomerática do topo da Formação Piramboia constitui a fonte das argilas brancas (*ball clays*) da várzea do ribeirão Tamanduá (PRESSINOTTI 1991), curso d’água que passa cerca de 10 km a leste da área em questão, no limite dos municípios de Ribeirão Preto e Serrana. A espessura da Formação Piramboia na área é estimada em torno de 190 m, de maneira que o conjunto das formações Botucatu + Piramboia tem espessura avaliada em pelo menos 280 m, como constatou-se no poço 208 - DAERP, onde a sondagem foi paralisada ainda na Formação Piramboia.

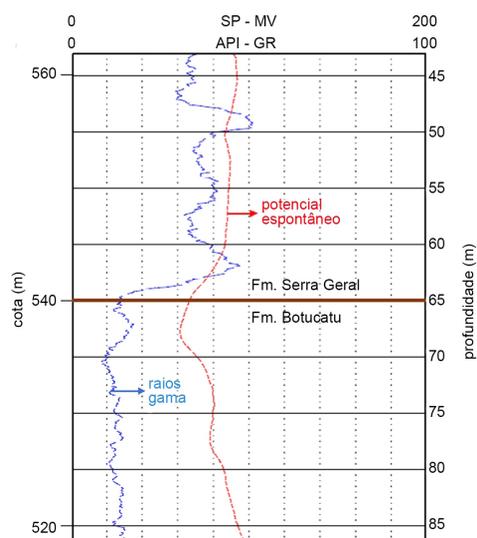


FIGURA 2 – Perfilagem de raios gama e potencial espontâneo: contato entre as formações Serra Geral e Botucatu. Poço 231 - DAERP (localização na figura 1).

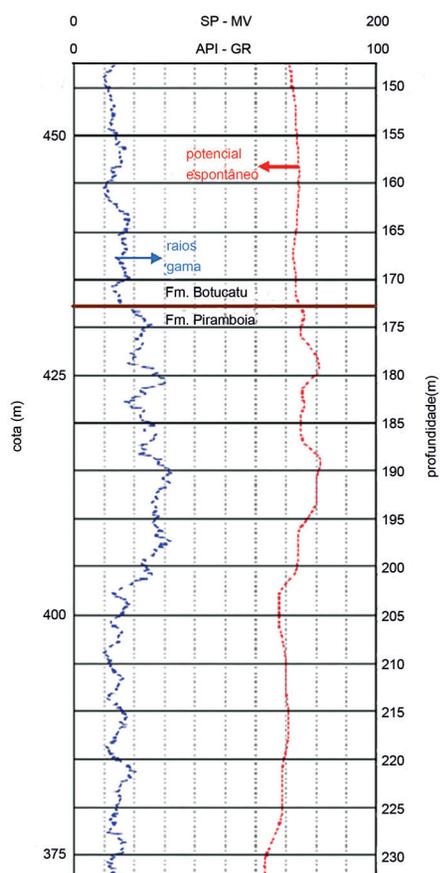


FIGURA 3 – Perfilagem de raios gama e potencial espontâneo: contato entre as formações Botucatu e Piramboia. Poço 231 - DAERP (localização na figura 1).

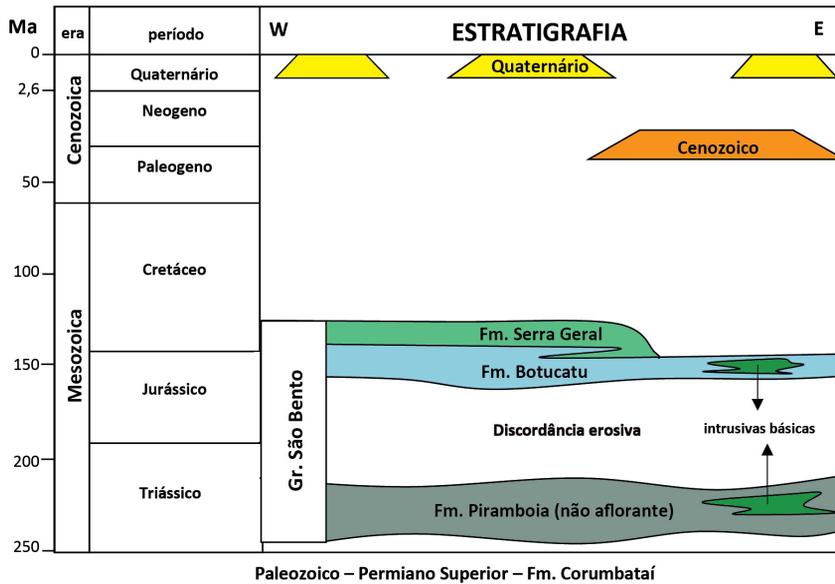


FIGURA 4 – Coluna cronoestratigráfica das unidades geológicas da área de estudo.

A Formação Serra Geral possui espessura que aumenta de leste para oeste, variando de 30 m, junto ao contato com a Formação Botucatu, até cerca de 160 m, a oeste de Ribeirão Preto, em direção à divisa com o município de Sertãozinho; tais espessuras são, no entanto, aparentes, uma vez que já foi parcialmente erodida. Intrusivas básicas, associadas à Formação Serra Geral, não afloram na área estudada; elas foram identificadas apenas em subsuperfície, com base nos perfis geológicos dos poços tubulares, principalmente em cotas inferiores a 300 m, altitude essa que diminui para oeste, em direção ao centro da cidade. Uma intrusão na Formação Piramboia, na porção nordeste da área de estudo, possui 70 m de espessura. O contato basal da Formação Serra Geral com a Formação Botucatu é nítido nas perfilagens de raios gama, cuja curva mostra uma inflexão abrupta, com os valores da radioatividade decrescendo de cerca de 50 API para até 10 API (Figura 2). O valor de 10 API indica a presença de arenitos limpos, sem matriz; a curva de SP também tem o mesmo comportamento, apresentando uma inflexão para a esquerda, em direção aos valores mais baixos do potencial espontâneo, caindo de 90 MV para 60 MV. Já o contato entre as formações Botucatu e Piramboia mostra aumento dos valores de radioatividade e SP (Figura 3), conforme apresentado por MASSOLI (2007), MASSOLI & CAETANO-CHANG (2007) e PAULA E SILVA *et al.* (2008). Entre as profundidades de 173 m e 203 m, verifica-se que a linha de raios gama passa de 10 API para 30 API. Esta

elevação sugere a presença de cimento caulínico, característica típica da Formação Piramboia. Abaixo dos 203 m a radioatividade cai novamente para cerca de 10 API. O mesmo acontece com a curva de potencial espontâneo, com os valores de SP subindo de 140 MV para 160 MV.

A porção centro-leste da área de estudo contém depósitos coluvionares, areno-argilosos ou, localmente, argilo-arenosos, com espessuras variando desde poucos metros, nos vales, até cerca de 25 m, nos espigões. Tais coberturas neocenozoicas, que recobrem principalmente a Formação Botucatu, são resultantes do retrabalhamento, por gravidade ou correntes superficiais, dos produtos de alteração de basaltos e arenitos. Ocorrem em áreas de topografia suave, relevo colinoso, raramente ultrapassando a cota de 620 m. No entanto, na porção sul da área (coordenadas UTM 7648 km N e UTM 200 km O), a leste de Dumont, ocorre sobre os basaltos um capeamento arenoso, castanho-claro, na cota de cerca de 780 m, posicionado no divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Pardo e Mogi Guaçu, que se diferencia do Latossolo Roxo encontrado nos arredores, proveniente do intemperismo dos basaltos. Tal ocorrência evidencia a presença de uma superfície de erosão mais antiga, quando comparada às coberturas recentes das cotas de cerca de 620 m, no vale do rio Pardo.

Depósitos aluvionares, de idade holocênica, ocorrem nas planícies de inundação do rio Pardo e de seus principais afluentes, como o ribeirão Preto

e córrego das Palmeiras. Os depósitos do rio Pardo chegam a atingir espessuras de até 8 m, constituídos por areias, argilas e cascalhos.

4 MAPAS DE CONTORNO ESTRUTURAL E SEÇÕES GEOLÓGICAS

O mapa de contorno estrutural do contato entre as formações Serra Geral e Botucatu evidencia a existência de altos e baixos estruturais (Figura 5).

Na parte central da cidade de Ribeirão Preto configura-se a presença de uma depressão alongada

na direção NE-SW, com decréscimo das cotas do contato entre as formações Serra Geral e Botucatu. Situação similar ocorre no setor nordeste da área, onde esse mesmo contato mostra cotas mais baixas, em torno de 395 m (poço 446 - DAEE, figura 1), com a rocha basáltica apresentando espessura de 150 m.

No setor oeste da área urbana de Ribeirão Preto configura-se um alto estrutural de direção NE-SW, onde o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu situa-se à cota de 525 m (Figura 5). Nesse caso, com a rocha basáltica apresentando menor espessura.

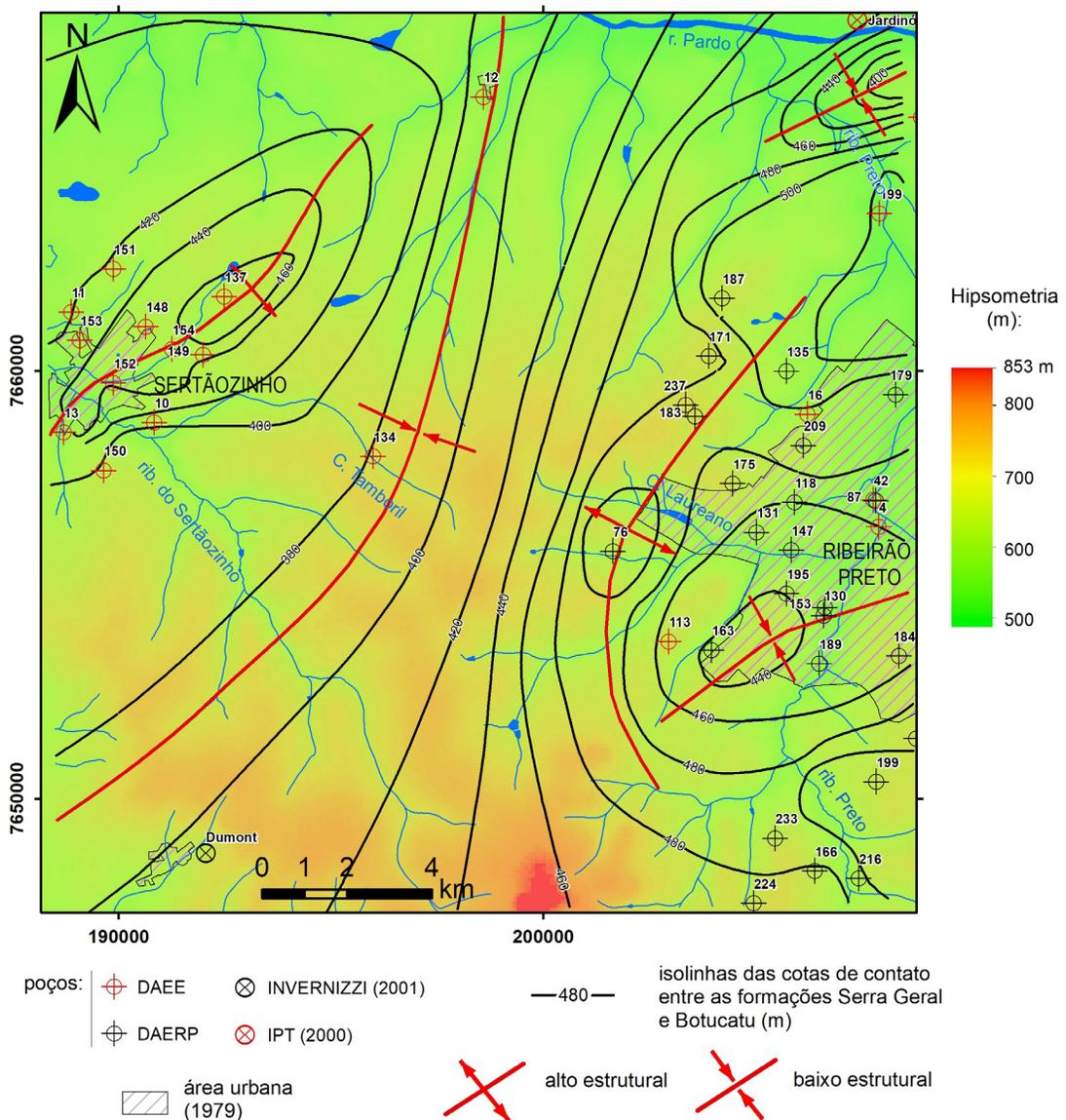


FIGURA 5 – Mapa de contorno estrutural do contato entre as formações Serra Geral e Botucatu. Nas regiões de baixa densidade de poços, o traçado das isolinhas envolve muita incerteza. Base topográfica do IBGE (1979). Hipsimetria e modelo digital de terreno gerados a partir do imageamento SRTM/NASA. Coordenadas UTM (WGS 84).

Na porção central da área, entre as cidades de Ribeirão Preto e Sertãozinho, apesar da deficiência de dados, existe um indicativo de um baixo estrutural, com eixo de direção NE-SW, na cota aproximada de 390 m, desde o norte da cidade de Dumont, a sudoeste, até o distrito de Cruz das Posses, a nordeste (Figura 5).

Na área urbana de Sertãozinho, o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu eleva-se de cerca de 400 até 475 m, caracterizando um alto estrutural com eixo na direção NE-SW (Figura 5).

O mapa de contorno estrutural do contato entre as formações Botucatu e Piramboia (Figura 6) também evidencia altos e baixos estruturais com distribuição similar ao do mapa de contato entre as formações Serra Geral e Botucatu (Figura 5). Os mesmos elementos estruturais são apresentados de forma sintética na figura 7. Tal configuração também é evidenciada na seção geológica AB (Figura 8), entre os poços 76 - DAERP e 134 - DAEE, onde o topo da Formação Botucatu apresenta um mergulho de 20 m/km para oeste, da cota 470 m

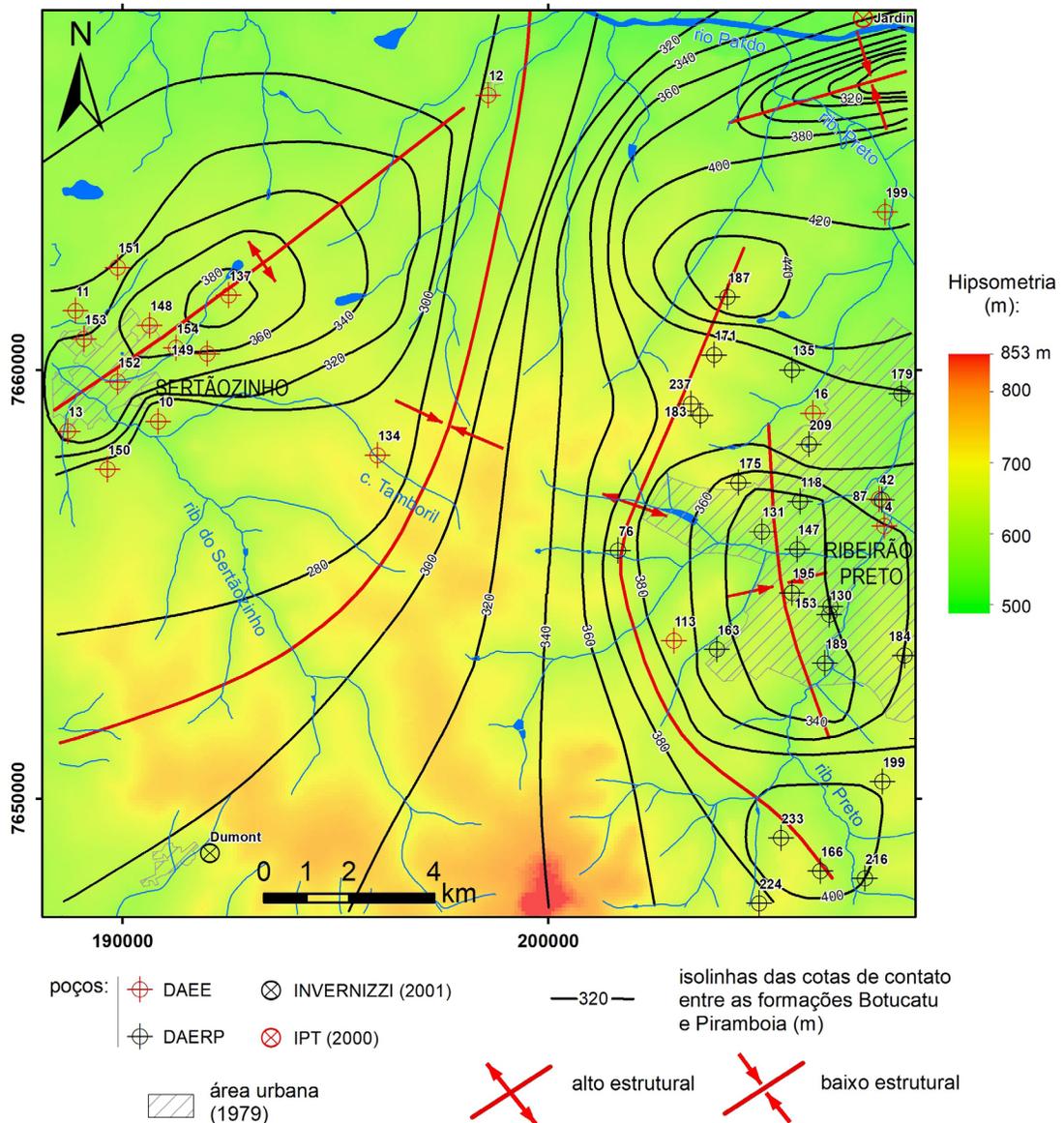


FIGURA 6 – Mapa de contorno estrutural do contato entre as formações Botucatu e Piramboia. Nas regiões de baixa densidade de poços, o traçado das isolinhas envolve muita incerteza. Base topográfica do IBGE (1979). Hipsometria e modelo digital de terreno gerados a partir do imageamento SRTM/NASA. Coordenadas UTM (WGS 84).

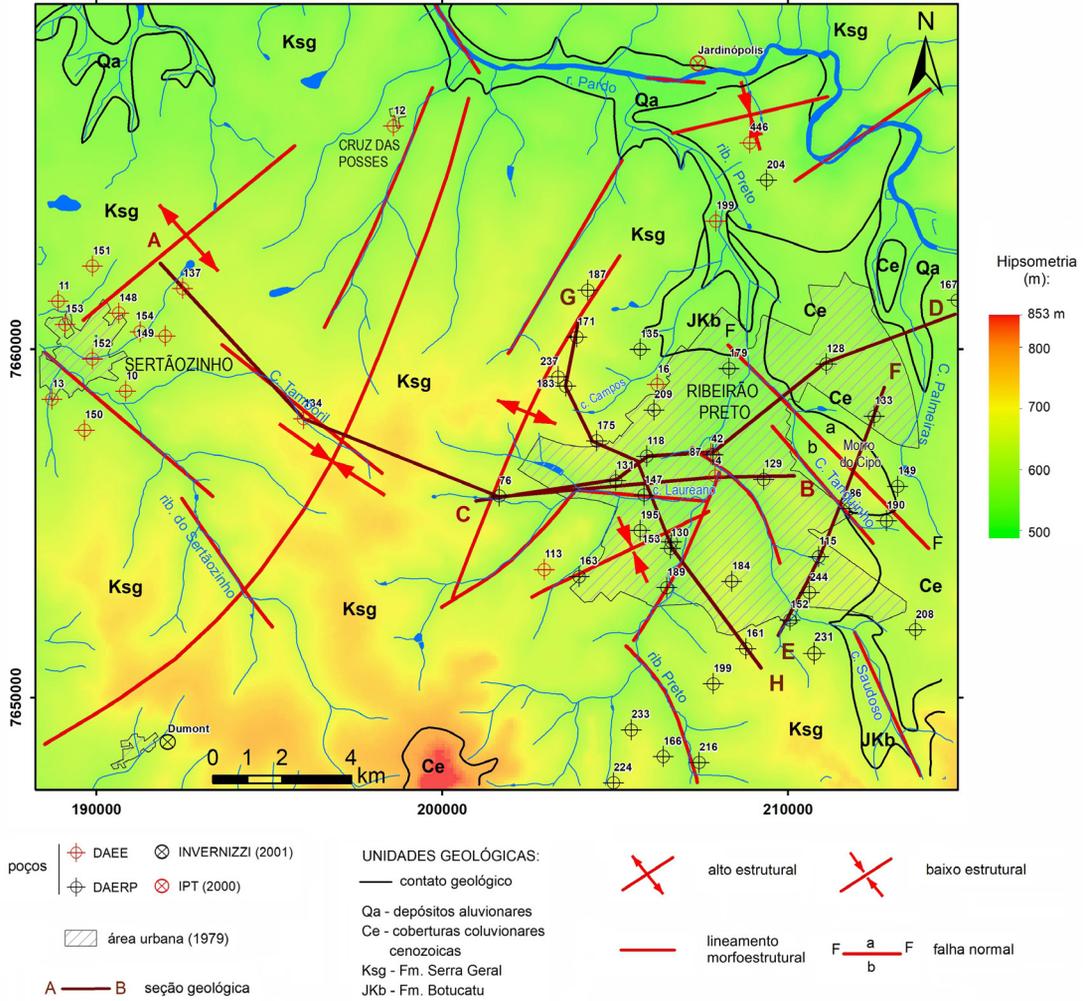


FIGURA 7 – Mapa síntese dos elementos estruturais sobre o mapa geológico. Mapa topográfico do IBGE (1979). Hipsometria e modelo digital de terreno gerados a partir do imageamento SRTM/NASA. Coordenadas UTM (WGS 84).

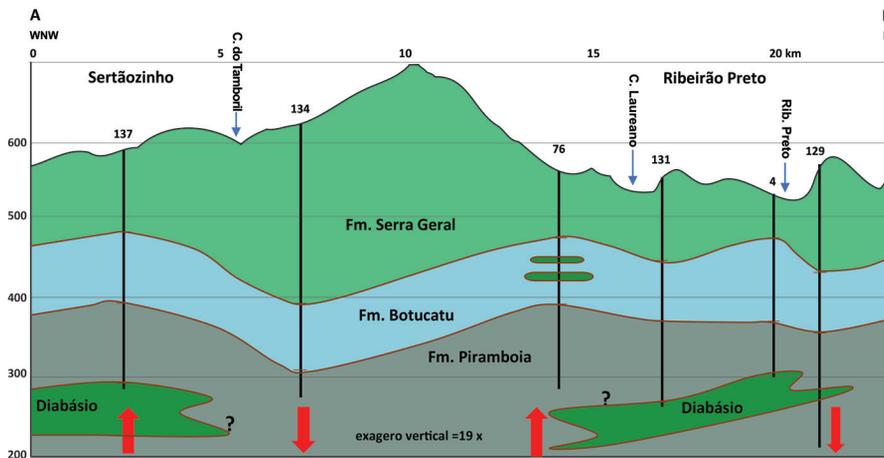


FIGURA 8 – Seção geológica AB entre Sertãozinho e Ribeirão Preto (Localização da seção na figura 7). Setas vermelhas indicam altos (↑) e baixos (↓) estruturais.

para 380 m, para, em seguida, atingir 490 m, em Sertãozinho; o mesmo ocorre com o topo da Formação Piramboia.

Uma possível hipótese para explicar esse comportamento estrutural dos contatos entre as formações Serra Geral/Botucatu e Botucatu/Piramboia seria a presença de intrusões de diabásio na Formação Piramboia, de espessuras significativas e a grandes profundidades, que teriam arqueado as camadas, originando altos estruturais (Figura 7). Na área urbana de Sertãozinho o poço 150 - DAEE atingiu um corpo de diabásio na cota de 260 m (a 330 m de profundidade), com pelo menos 76 m de espessura, intrusivo na Formação Piramboia (Figuras 5, 6 e 9a). Considera-se que essa intrusão foi atingida pelo poço 137 - DAEE, na cota de 290 m (Figura 8); corresponderia a um corpo de forma lacolítica, arqueando as rochas encaixantes e formando um alto estrutural (Figuras 5, 6, 7). Essa concepção da existência de corpos intrusivos de forma lacolítica na área já foi anteriormente apresentada por SINELLI *et al.* (1984).

Por outro lado, na área urbana de Ribeirão Preto diversos poços atingiram corpos de diabásio em cotas inferiores a 300 m, porém sem atravessá-los totalmente, perfurando-os não mais que 5 m, de maneira que não é possível estabelecer as espessuras reais de tais intrusões, ou mesmo, averiguar se seria apenas uma única intrusão.

No entanto, sondagem realizada na zona nordeste de Ribeirão Preto (poço 167 - DAERP),

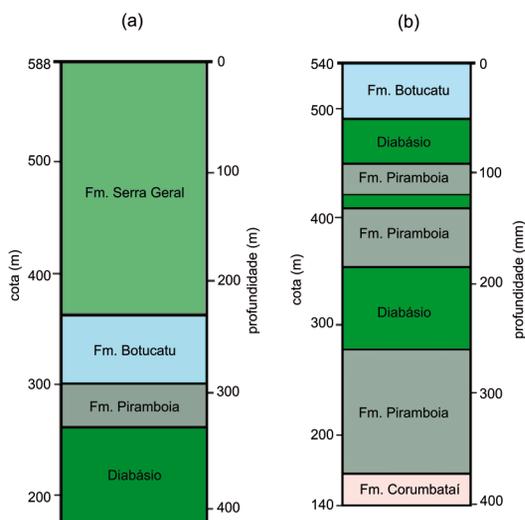


FIGURA 9 – (a) Perfil geológico do poço 150 - DAEE em Sertãozinho; (b) Perfil geológico do Poço 167 - DAERP de Ribeirão Preto.

atingiu o contato inferior da Formação Piramboia com a Formação Corumbataí (Figuras 9b e 10). Esse furo atravessou uma soleira de diabásio, com espessura de 75 m, a partir da cota de 354 m, intrusivo na parte média da Formação Piramboia. Detectou-se no mesmo poço duas outras soleiras de diabásio, a mais rasa com espessura de 40 m, alojada no contato entre as formações Botucatu e Piramboia, e a outra, com 10 m, encaixada no topo da Formação Piramboia (Figuras 9b e 10). Esses corpos intrusivos de diabásio, no entanto, não apresentam continuidade lateral para oeste-sudoeste, em direção à região central de Ribeirão Preto. Por outro lado, a intrusão superior, situada no contato entre as formações Botucatu e Piramboia (Figura 10), apresenta continuidade para leste, conforme já observado por SOARES *et al.* (1973), adentrando o município de Serrana, constituindo o que se denominou aqui, informalmente, Soleira de Serrana. Esta se prolonga para Santa Cruz da Esperança e Cajuru, marcando o contato entre as formações Botucatu e Piramboia. A seção CD (Figura 10) mostra que as unidades geológicas mergulham uniformemente para oeste, em direção ao baixo estrutural existente identificado no poço 131 - DAERP; porém, nesse caso, a intrusão é tabular e concordante, formando uma soleira.

A descontinuidade lateral de intrusões básicas na Formação Botucatu também é evidenciada pelo poço 76 - DAERP (Figura 10), situado na parte central da área, onde duas intrusões, a mais rasa com espessura de 11 m e a mais profunda com 20 m, não foram detectadas pelo poço 131 - DAERP, localizado a leste. Situação semelhante ocorre com o corpo básico cortado pelo poço 118 - DAERP, com 17 m de espessura, que não ocorre nos poços adjacentes (131 e 87, Figura 10).

Na área do morro do Cipó, situado cerca de 2.500 m a sul do Aeroporto de Ribeirão Preto, ocorre uma intrusão de diabásio de forma ovalada, na forma de um lacólito, associada a uma falha preenchida por diabásio, razão pela qual as espessuras da rocha básica são muito elevadas nessa área (Figura 11). O poço 86 - DAERP perfurou 144 m de rocha básica; em direção aos poços 115, 244 e 152 as cotas do contato entre as formações Serra Geral e Botucatu tornam-se gradativamente mais altas. A falha acima referida já havia sido constatada por PAULA E SILVA *et al.* (2008), em função do deslocamento do contato entre as formações Botucatu e Piramboia. Nota-se, o basculamento do contato, com rejeito da ordem de 70 m,

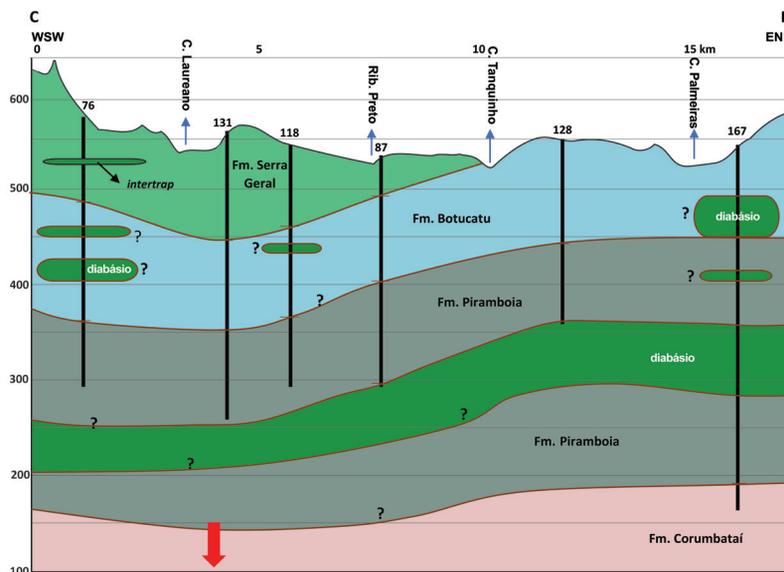


FIGURA 10 – Seção geológica CD (Localização da seção na figura 7). Seta vermelha indica baixo (↓) estrutural.

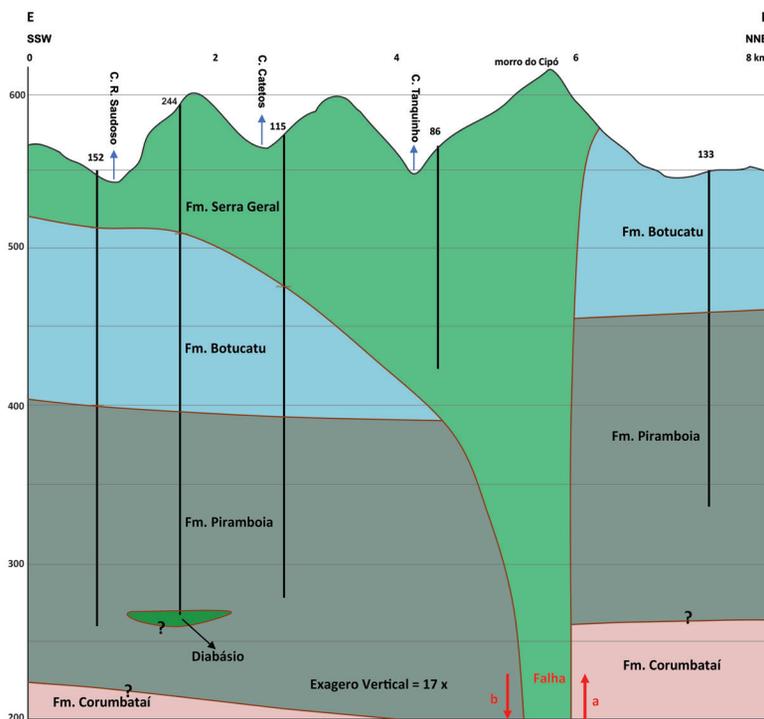


FIGURA 11 – Seção geológica EF, representando o corpo intrusivo associado à zona de falha. Localização da seção geológica na figura 7.

entre as formações Botucatu e Piramboia, evidenciado pela diferença de cotas entre o poço 133 (470 m) e os poços 152, 244 e 115 (400 m), localizados do outro lado da intrusão.

Esta feição foi identificada em estudos anteriores de sondagem elétrica vertical (USP – Ribeirão Preto, informação verbal), que resultaram

em um mapa de isópacas da rocha básica, cuja forma alongada apresentava espessuras decrescentes do centro para as bordas, desde mais de 300 m até 100 m. Essa feição, também assinalada no trabalho realizado por PAULA E SILVA *et al.* (2008), indica, portanto, um núcleo de injeção magmática. De fato, um poço perfurado no alto da encosta do

morro do Cipó, na cota de 600 m, atingiu a profundidade de 240 m sem sair da rocha básica, ao passo que outro, o Jardim Palmares II (DAERP 149, Figura 7), situado cerca de 600 m a nordeste, na cota de 560 m, cortou 58 m de diabásio e atingiu a Formação Botucatu.

Ressalta-se que o contato entre as formações Piramboia e Corumbataí não é conhecido nessa área, porém admite-se uma espessura de 190 m para a Formação Piramboia, obtida no poço 167 - DAERP (Figura 9b). Este foi o único na região que atingiu a Formação Corumbataí, sendo possível demarcar o topo e a base da Formação Piramboia. Na seção EF (Figura 11), o contato entre as formações Piramboia e Corumbataí foi inferido com base na informação desse poço.

A seção geológica GH (Figura 12), com direção aproximada NW-SE (Figura 7), foi construída com base em perfis geológicos de poços do DAERP, nos quais foram realizadas perfilagens de raios gama disponíveis em PAULA E SILVA *et al.* (2008). A seção mostra um baixo estrutural na altura do córrego Laureano, região central da cidade de Ribeirão Preto, e um alto estrutural para NW, possivelmente causado por uma intrusão básica descontínua, já que os poços 171, 183

e 175 atingiram diabásio na porção intermediária da Formação Piramboia, o que não ocorre nos poços 118, 153 e 161. O contato entre as formações Piramboia e Corumbataí não é conhecido, mas foi inferido novamente com base no poço 167 - DAERP.

Tomando-se o contato entre as formações Botucatu e Piramboia, determinado a partir de três poços do DAERP (238, 109 e 169) com perfilagens de raios gama (MASSOLI 2008), verificou-se que as camadas mergulham em geral para oeste-noroeste (direção N4E, mergulho de 1°30' para NW), seguindo o padrão geral desde a borda da bacia. Na área de estudo, em função da existência de altos e baixos estruturais, os mergulhos têm sentidos variáveis, até opostos.

Falhas ocorreriam apenas localmente, como constatado em PAULA E SILVA *et al.* (2008). Considera-se que, de um modo geral, os desnivelamentos dos contatos entre as formações Serra Geral/Botucatu e Botucatu/Piramboia estariam relacionados a intrusões de formas lacolíticas de rocha básica e apófises relacionadas. Tais intrusões ocorrem principalmente na parte inferior da Formação Piramboia, atingindo espessuras de pelo menos 75 m; intrusões em cotas mais elevadas,

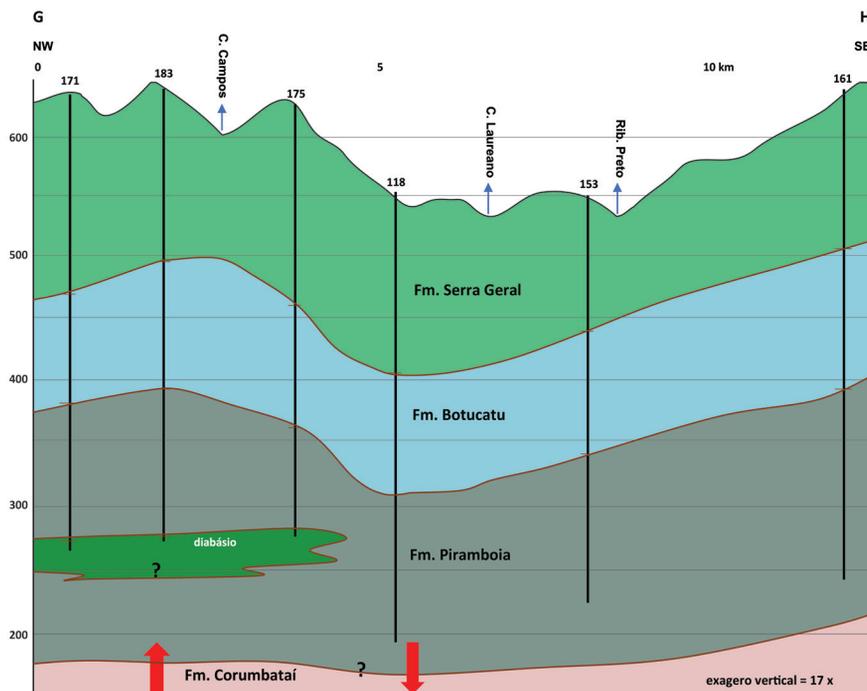


FIGURA 12 – Seção geológica seguindo o mergulho das camadas (ver localização na figura 7). Setas vermelhas indicam altos (↑) e baixos (↓) estruturais. Poços perfilados por PAULA E SILVA (2003): 1089 (DAERP 171), 1246 (DAERP 183), 1248 (DAERP 175), 1028 (DAERP 118), 1009 (DAERP 153) e 1253 (DAERP 161).

dentro da Formação Botucatu, revelaram-se descontínuas e pouco espessas.

O desnivelamento do contato entre as formações Serra Geral/Botucatu poderia ser explicado em função das irregularidades do relevo pretérito da Formação Botucatu, porém o mesmo comportamento é observado no contato entre as formações Botucatu/Piramboia, mostrando um paralelismo entre as unidades do Grupo São Bento. Levando-se em conta a discordância existente entre as formações Botucatu e Piramboia, provavelmente do Triássico Médio ao início do Jurássico Superior, a superfície do Piramboia não seria irregular, mas teria sido aplainada pelos efeitos da erosão no longo período em que ficou exposta, antes do início da deposição da Formação Botucatu (MASSOLI & CAETANO-CHANG 2007).

A presença de intrusões de rocha básica, notadamente na Formação Piramboia, constituiu-se numa barreira ao fluxo das águas subterrâneas, além de interferir no cálculo das reservas do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Por exemplo, o poço 167, hoje desativado, com 400 m de profundidade e tendo atravessado três intrusões de diabásio, totalizando 127 m (40+12+75 m) forneceu baixa produtividade, em torno de 91 m³/h, enquanto, em geral, um poço que explora o Aquífero Guarani na área, sem a interferência das rochas intrusivas, produz até 300 m³/h, principalmente na porção confinada (DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

5 CONCLUSÕES

Na área compreendida entre Ribeirão Preto e Sertãozinho foram identificados altos e baixos estruturais com direção predominante NE-SW. Os mapas de contorno dos contatos entre as formações Botucatu/Piramboia e Serra Geral/Botucatu mostram uma mesma configuração estrutural.

Considera-se que os desnivelamentos dos contatos entre as unidades do Grupo São Bento na porção centro-oeste da área podem estar associados a intrusões de corpos básicos de espessuras irregulares, com formas lacólicas, alojados na porção intermediária da Formação Piramboia. Tais corpos teriam provocado o arqueamento das camadas sedimentares, sem, contudo, deslocá-las. Por outro lado, na porção leste da área, onde os contatos entre as unidades geológicas encontram-se aproximadamente paralelos, a intrusão profunda de diabásio na parte intermediária da Formação Piramboia é de forma tabular, representando uma soleira. Além disso, na área urbana de Ribeirão

Preto, constatou-se uma intrusão de diabásio na forma de um lacólito, associada a uma falha normal de direção NW-SE com rejeito vertical em torno de 70 m, que constitui o topo de uma elevação topográfica alongada, denominada localmente de morro do Cipó.

Já as intrusões de diabásio alojadas na Formação Botucatu revelaram-se descontínuas e pouco espessas.

O desnivelamento do contato entre as formações Serra Geral e Botucatu poderia ser explicado por irregularidades da superfície de dunas, contemporânea aos derrames da Formação Serra Geral. No entanto, o mesmo não se pode dizer com relação ao topo da Formação Piramboia, já que a superfície desta unidade foi aplainada pela erosão, pelo menos entre o Triássico Médio e o Jurássico Superior, originando a discordância existente entre as formações Piramboia e Botucatu.

As intrusões de rocha básica tem relevância hidrogeológica, pois constituem barreiras ao fluxo das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e podem reduzir a produtividade dos poços.

6 AGRADECIMENTOS

Aos relatores e editores da Revista do Instituto Geológico pelas sugestões apresentadas que enriqueceram o trabalho e pelo auxílio na confecção das ilustrações. Ao DAERP e DAEE, por permitirem a consulta aos seus cadastros de poços tubulares.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAEE/IG/IPT/CPRM – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA / INSTITUTO GEOLÓGICO / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO / SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2005. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000. São Paulo, coordenação geral: Gerônimo Rocha, Nota explicativa, 119 p. e 2 anexos (mapa e CD-ROM).
- DAVINO, A.; SINELLI, O. 1973. Métodos geofísicos aplicáveis às províncias hidrogeológicas do Estado de São Paulo. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Aracaju, *Anais*, 1: 347-351.

- FERNANDES, A.J.; MAIDANER, C.H.; AZEVEDO SOBRINHO, J.M.; PRESSINOTTI, M.M.N.; WAHNFRIED, I. 2010. Estratigrafia dos derrames de basaltos da Formação Serra Geral (Ribeirão Preto – SP) baseada na geologia física, petrografia e geoquímica. *Geologia USP, Série Científica*, 10(2): 73-99.
- FERNANDES, A.J.; MALDANER, C.H.; ROULEAU, A. 2011. Análise de fraturas nos basaltos de Ribeirão Preto, SP: Aplicação à elaboração de modelo hidrogeológico conceitual. *Geologia USP. Série Científica*, 11(3): 43-64.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1979. *Carta Topográfica de Ribeirão Preto, SF-23-V-C-I-1, escala 1:50.000, 2ª. ed.* IBGE, Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia.
- INVERNIZZI, A.L. 2001. *Caracterização hidrogeoquímica do Aquífero Botucatu, no setor médio da bacia hidrográfica Mogi-Pardo.* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 103 p.
- IPT/SP – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2000. *Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.* Relatório nº 40670 (Relatório Zero) apresentado ao CBH-Pardo, 3 vol., 720 p.
- MASSOLI, M. 2007. *Caracterização litofaciológica das formações Piramboia e Botucatu, em subsuperfície, no município de Ribeirão Preto (SP), e sua aplicação na prospecção de águas subterrâneas.* Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, Tese de Doutorado, 174 p.
- MASSOLI, M.; CAETANO-CHANG, M.R. 2007. O contato entre as formações Botucatu e Piramboia na área de Ribeirão Preto (SP). *Geociências*, 26(3): 263-270.
- MEZZALIRA, S.; AZEVEDO, A.A.B.; TOMINAGA, L.K.; PRESSINOTTI, M.M.N.; MASSOLI, M. 1981. *Léxico estratigráfico do Estado de São Paulo.* São Paulo: Instituto Geológico, 161 p. (Boletim, 5).
- PAULA E SILVA, F. 2003. *Geologia de subsuperfície e hidrostratigrafia do Grupo Bauru no estado de São Paulo.* Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Rio Claro, Tese de Doutorado, 167 p.
- PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K.; CAETANO-CHANG, M.R.; SINELLI, O. 2008. Arcabouço geológico e hidrofácies do Sistema Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto (SP). *Revista Brasileira de Geociências*, 38(1): 56-67.
- PRESSINOTTI, M.M.N. 1991. *Caracterização geológica e aspectos genéticos dos depósitos de argilas do tipo “ball clay” de São Simão, São Paulo.* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 141 p.
- SANTORO, J.; MASSOLI, M. 1985. Mapa de contorno estrutural do topo do basalto subjacente ao Grupo Bauru no estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 6(1/2): 39-44.
- SCHERER, C.M.S. 2000. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. *Sedimentary Geology*, 137: 63-84.
- SIMONATO, M.D.; CAMPOS, J.E.; LEITÃO, A.C.F.; BRANDÃO, D.; PAULA E SILVA, F.; PAULA, V.F. 2016. Há conexão hidráulica entre os sistemas aquíferos Guarani e Bauru na “janela” de basalto, em Bauru-SP? In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 19, Campinas, *Anais*, p. 1-20.
- SINELLI, O. 1971. Considerações gerais sobre a tectônica no município de Ribeirão Preto. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, *Anais*, p. 145-151.
- SINELLI, O.; SOUZA, A.; DAVINO, A.; SANCHES, J.L. 1984. As intrusivas básicas e suas implicações na prospecção de água subterrânea. In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 3, Fortaleza, *Anais*, p. 442-448.

- SOARES, P.C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A.; CASTRO, P.R.M. 1973. Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. *In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 27, Aracaju, *Anais*, 1: 209-228.
- ZALAN, P.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. 1987. Tectônica e sedimentação da bacia do Paraná. *In: SBG, SIMPÓSIO SUL-AMERICANO DE GEOLOGIA*, 3, Curitiba, *Atas*, 1: 441-447.

Endereço do autor:

Marcos Massoli – Rua Jordão Fávero, 420, ap. 308, Bairro Lagoinha, CEP 14095-060, Ribeirão Preto, SP, Brasil. *E-mail*: marcosmas1a@hotmail.com

Artigo submetido em 3 de dezembro de 2018, aceito em 20 de julho de 2019.