

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
Campus de Rio Claro

**CARACTERIZAÇÃO LITOFACIOLÓGICA DAS FORMAÇÕES
PIRAMBÓIA E BOTUCATU, EM SUBSUPERFÍCIE, NO MUNICÍPIO DE
RIBEIRÃO PRETO (SP), E SUA APLICAÇÃO NA PROSPECÇÃO DE
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Marcos Massoli

Orientadora: Profa. Dra. Maria Rita Caetano-Chang

Tese de Doutorado elaborada junto ao Curso de Pós Graduação
em Geociências e Meio Ambiente para obtenção do Título de
Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)
2.007

551.49 Massoli, Marcos
M419c Caracterização litofaciológica das formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, no município de Ribeirão Preto (SP) e sua aplicação na prospecção de águas subterrâneas / Marcos Massoli. – Rio Claro : [s.n.], 2007
174 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Maria Rita Caetano Chang

1. Águas subterrâneas. 2. Aquífero Guarani. 3. Perfisagens geofísicas. 4. Formação Pirambóia. 5. Formação Botucatu. 6. Estratigrafia do Aquífero Guarani. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico
Este trabalho
A meu pai, Renzo,
Que partiu desta vida
Antes que esta pesquisa
Tivesse começado.

“O sucesso deve ser uma consequência, nunca um objetivo” (Gustave Flaubert).

AGRADECIMENTOS

O autor agradece:

- À Profa. Dra. Maria Rita Caetano-Chang, pela dedicada orientação, análise crítica e revisão do conteúdo desta tese.
- Ao Prof. Dr. Osmar Sinelli, pelas discussões e sugestões apresentadas durante a elaboração desta pesquisa.
- Ao Prof. Dr. Chang Hung Kiang, pelas sugestões propostas e cessão de material necessário à redação desta tese.
- Ao colega geólogo Maurício de Melo Figueiredo Jr., da Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, pela presteza no fornecimento de informações de vital importância para o desenvolvimento deste trabalho.
- Às colegas geólogas Márcia Maria Nogueira Pressinotti, Mara Akie Iritani e Luciana Martin Rodrigues Ferreira, do Instituto Geológico, pelas discussões e cessão de material pertinente a esta pesquisa.
- Ao DAERP (Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto), nas pessoas do Eng. Joaquim Ignácio da Costa Neto e geólogos João Paulo Fonseca Corrêa e Saulo de Tarso Ferreira, pelo acesso ao banco de dados dessa instituição.
- Ao DEPRN (Departamento Estadual de Proteção aos Recursos Naturais, da Secretaria Estadual do Meio Ambiente), por ter proporcionado as condições de trabalho que possibilitaram a realização desta pesquisa.

RESUMO

Apesar da cidade de Ribeirão Preto, com cerca de 550.000 habitantes, ser totalmente abastecida por águas subterrâneas provenientes do Aquífero Guarani, são pouco conhecidas as características litofaciológicas das formações Pirambóia e Botucatu na área, por causa da indisponibilidade de informações diretas, como afloramentos ou testemunhos de sondagens. Por isso, foram utilizadas, principalmente, informações indiretas para a realização deste estudo, a partir da interpretação de perfilagens geofísicas de poços perfurados na área urbana de Ribeirão Preto, com destaque para as curvas de raios gama e eletrorresistividade. As curvas geofísicas utilizadas foram calibradas a partir do padrão mostrado pelas diagrfias de perfilagens obtidas de poços testemunhados perfurados na Bacia do Paraná, com testemunhos, bem como pela descrição de perfis geológicos de poços perfurados na área de estudo. Com base nos padrões das curvas geofísicas utilizadas, associados aos perfis geológicos de poços disponíveis, foi possível o reconhecimento de 4 litofácies recorrentes no tempo, a saber: arenitos limpos, arenitos conglomeráticos, arenitos argilosos e lamitos, ocorrentes tanto na Formação Pirambóia quanto na Formação Botucatu, porém com importâncias distintas. Enquanto na Formação Pirambóia são frequentes as litofácies de arenitos conglomeráticos, arenitos limpos e arenitos argilosos, na Formação Botucatu predomina amplamente a litofácies de arenitos limpos, com ocorrência subordinada das demais litofácies. A porção sudeste da área é a mais propícia à prospecção de águas subterrâneas, pela ocorrência, essencialmente, de arenitos limpos e arenitos conglomeráticos e ausência de intrusões de diabásio.

ABSTRACT

Despite of the Guarani Aquifer constitute the major source of Ribeirão Preto municipal water supply, little is known about the lithological characteristics of the Botucatu and Piramboia formations greatly resulting from the lack of good outcrops and well bore cores. As a consequence, indirect information such as geophysical logs particularly gamma ray and resistivity induction logs collected from wells drilled in the urban area of Ribeirão Preto were utilized in the present study. The geophysical logs were calibrated to type curves defined in previous stratigraphical studies performed in the Parana Basin. Four lithofacies were recognized: clean sandstone, conglomeratic sandstone, muddy sandstone and mudstones in both Piramboia and Botucatu formations, however in distinct importance. While conglomeratic clean and muddy sandstones are important lithofacies in Piramboia formation, in Botucatu formation clean sandstone predominates. Favorable areas for groundwater prospecting are located in the southeastern portion of the city, where clean and conglomeratic sandstone predominate associated with absence of basaltic intrusive bodies.

ÍNDICE GERAL

| | |
|--|------|
| DEDICATÓRIA | i |
| AGRADECIMENTOS | ii |
| RESUMO | iii |
| ABSTRACT | iv |
| ÍNDICE GERAL | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE TABELAS | xi |
| ÍNDICE DE FOTOS | xi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Objetivos | 3 |
| 1.2. Localização da área | 4 |
| 2. METODOLOGIA | 7 |
| 2.1. Levantamento bibliográfico | 7 |
| 2.2. Levantamento de campo | 8 |
| 2.3. Métodos geofísicos | 9 |
| 2.3.1. Potencial espontâneo | 10 |
| 2.3.2. Resistividade | 11 |
| 2.3.3. Raios gama | 12 |
| 2.3.4. Exemplos de perfilagens geofísicas | 14 |
| 3. GEOLOGIA REGIONAL | 23 |
| 3.1. Grupo Tubarão | 24 |
| 3.1.1. Formação Aquidauana | 25 |
| 3.1.2. Formação Tatuí | 25 |
| 3.2. Grupo Passa Dois | 26 |
| 3.2.1. Formação Corumbataí | 26 |
| 3.3. Grupo São Bento | 27 |
| 3.3.1. Histórico sobre o conhecimento das formações Pirambóia e Botucatu | 30 |

| | |
|---|----|
| 3.3.1.1. Análise petrográfica. | 38 |
| 3.3.1.2. Análise sedimentológica | 40 |
| 3.3.2. Formação Pirambóia | 46 |
| 3.3.3. Formação Botucatu | 49 |
| 3.3.4. Formação Serra Geral | 51 |
| 3.4. Depósitos correlatos à Formação Itaqueri | 52 |
| 3.5. Depósitos coluvionares | 52 |
| 3.6. Depósitos aluvionares modernos | 53 |
| 3.7. Tectônica regional | 53 |
| 4. GEOLOGIA LOCAL | 56 |
| 4.1. Formação Pirambóia | 56 |
| 4.2. Formação Botucatu | 59 |
| 4.3. Formação Serra Geral | 62 |
| 4.4. Depósitos coluvionares terciários | 64 |
| 4.5. Depósitos aluvionares quaternários | 65 |
| 4.6. Estrutura e tectônica local | 65 |
| 5. DESCRIÇÃO DOS POÇOS NA ÁREA DE ESTUDO | 68 |
| 5.1. Poço do Hospital das Clínicas/USP (HC)..... | 69 |
| 5.2. Poço 91 (rua Peri) | 72 |
| 5.3. Poços 109 e 132 (Parque São Sebastião) | 74 |
| 5.4. Poço 136 (Jardim Piratininga) | 78 |
| 5.5. Poço 138 (Monte Alegre) | 80 |
| 5.6. Poço 150 (Manoel Pena) | 82 |
| 5.7. Poço 152 (Jardim Irajá) | 84 |
| 5.8. Poço 154 (Jardim Itaú) | 86 |
| 5.9. Poço 156 (Mabel 2) | 88 |
| 5.10. Poço 158 (Pômpolo) | 90 |
| 5.11. Poço 159 (Cândido Portinari) | 92 |
| 5.12. Poço 161 (João Fiúza) | 94 |
| 5.13. Poço 165 (Dutra) | 96 |

| | |
|--|-----|
| 5.14. Poço 167 (Jardim Florestan Fernandes) | 98 |
| 5.15. Poço 169 (Parque dos Lagos) | 100 |
| 5.16. Poço 170 (Educandário) | 102 |
| 5.17. Poço 176 (Parque dos Flamboyants)..... | 103 |
| 5.18. Poço 189 (Santa Teresa) | 104 |
| 5.19. Poço 190 (Jardim Zara) | 106 |
| 5.20. Poço COC (Centro) | 107 |
| 6. HIDROGEOLOGIA | 109 |
| 7. ANÁLISE LITOFACIOLÓGICA DAS FORMAÇÕES PIRAMBÓIA E BOTUCATU NA ÁREA DE ESTUDO | 122 |
| 7.1. Litofácies da Formação Pirambóia | 127 |
| 7.2. Litofácies da Formação Botucatu | 131 |
| 7.3. Faciologia | 132 |
| 8. ESTRATIGRAFIA | 139 |
| 9. INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL | 149 |
| 10. CONCLUSÕES | 158 |
| 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 165 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Mapa de localização da área. AB = seção geológico-estrutural..... | 5 |
| Figura 2 – Esquema mostrando a variação do comportamento dos perfis elétricos de acordo com as litologias atravessadas. | 13 |
| Figura 3 – Variação faciológica de parte da Formação Monte Alegre, Bacia do Alto Amazonas. | 15 |
| Figura 4 – Correlação de fácies da Formação Monte Alegre, Bacia do Alto Amazonas..... | 16 |
| Figura 5 – Variação de fácies da Formação Itaparica, Bacia do Recôncavo. | 17 |
| Figura 6 – Variação de fácies de parte da Formação Sergi, Bacia do Recôncavo. | 18 |
| Figura 7 – Correlação estratigráfica entre poços, Bacia do Recôncavo..... | 19 |
| Figura 8 – Seção composta de poços da PETROBRAS, Bacia do Paraná..... | 21 |
| Figura 9 – Variações de litologias observadas em perfilagens de poços perfurados pela PETROBRAS no Rio Grande do Sul. | 22 |
| Figura 10 – Mapa geológico simplificado da região de Ribeirão Preto. | 23 |
| Figura 11 – Seção geológica regional passando por Ribeirão Preto. | 24 |
| Figura 12 – Mapa de isópacas das formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo. | 29 |
| Figura 13 – Curvas de frequência acumulativa de arenitos da Formação Botucatu da região de Altinópolis | 41 |
| Figura 14 – Curvas de frequência acumulativa de arenitos da Formação Pirambóia da região de Altinópolis. | 42 |
| Figura 15 – Histogramas de distribuição granulométrica de arenitos da Formação Pirambóia da região de Altinópolis. | 45 |
| Figura 16 – Histogramas de distribuição granulométrica de arenitos da Formação Botucatu da região de Altinópolis. | 46 |
| Figura 17 – Principais feições estruturais da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. | 55 |
| Figura 18 – Poço do Jardim Florestan Fernandes. | 57 |

| | |
|--|-----|
| Figura 19 – Poço do Parque dos Flamboyants. | 58 |
| Figura 20 – Seção geológica do poço 129 (Bosque Municipal). | 61 |
| Figura 21 – Mapa de localização dos poços perfilados e com descrição dos perfis geológicos. | 68 |
| Figura 22 – Poço do HC/USP, com perfilagens de raios gama e resistividade. | 70 |
| Figura 23 – Perfil litoestratigráfico do poço HC/USP, interpretado a partir de perfilagens geofísicas. | 71 |
| Figura 24 – Poço 91 (rua Peri), com perfilagem. | 73 |
| Figura 25 – Poço 109 (Parque São Sebastião), com descrição e perfilagens. | 75 |
| Figura 26 – Poço 132 (Parque São Sebastião), com perfil geológico descrito. | 77 |
| Figura 27 – Poço 136 (Jardim Piratininga), com descrição e perfilagens. | 79 |
| Figura 28 – Poço 138 (Monte Alegre), com descrição e perfilagens. | 81 |
| Figura 29 – Poço 150 (Manoel Pena), com perfilagem. | 83 |
| Figura 30 – Poço 152 (Jardim Irajá). Intervalo mais representativo das perfilagens. | 85 |
| Figura 31 – Poço 154 (Jardim Itaú). Intervalo mais representativo das perfilagens. | 87 |
| Figura 32 – Poço 156 – (Mabel 2). Intervalo mais representativo das perfilagens. | 89 |
| Figura 33 – Poço 158 (Pômpolo). Intervalo mais representativo das perfilagens. | 91 |
| Figura 34 – Poço 159 (Cândido Portinari). Perfil litológico interpretado a partir de perfilagens geofísicas. | 93 |
| Figura 35 – Poço 161 (João Fiúza). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama. | 95 |
| Figura 36 – Poço 165 (Dutra). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama. | 97 |
| Figura 37 – Poço 167 (Jardim Florestan Fernandes). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama. | 99 |
| Figura 38 – Poço 169 (Parque dos Lagos). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama. | 101 |
| Figura 39 – Poço 170 (Educandário). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama. | 102 |
| Figura 40 – Poço 176 (Parque dos Flamboyants). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama. | 103 |
| Figura 41 – Poço 189 (Santa Teresa). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama. | 105 |

| | |
|--|-----|
| Figura 42 – Poço 190 (Jardim Zara). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama. | 107 |
| Figura 43 – Poço COC (Centro), com perfilagem. | 108 |
| Figura 44 – Captação de água subterrânea em Ribeirão Preto, em nº de poços. | 109 |
| Figura 45 – Percentual de captação de água subterrânea em Ribeirão Preto. | 110 |
| Figura 46 – Captação de água subterrânea nas bacias dos rios Pardo e Mogi Guaçu, em milhões de m ³ /ano. | 111 |
| Figura 47 – Mapa de localização dos 20 poços mais produtivos de Ribeirão Preto, em ordem de- crescente de vazão. | 115 |
| Figura 48 – Mapa de espessura perfurada de arenitos do Aquífero Guarani, em sua porção confi- finada. | 117 |
| Figura 49 – Evolução do aumento da profundidade dos poços perfurados em Ribeirão Preto com o tempo. | 118 |
| Figura 50 – Correlação litoestratigráfica entre poços com perfis geológicos descritos e perfilagens geofísicas. | 122 |
| Figura 51 – Correlação litoestratigráfica entre poços com perfis geológicos descritos. | 123 |
| Figura 52 – Correlação litoestratigráfica entre poços com perfis geológicos descritos e perfilagens geofísicas. | 124 |
| Figura 53 – Diagrama de litocorrelação em cerca da área urbana de Ribeirão Preto. | 125 |
| Figura 54 – Mapa de isópacas da Formação Botucatu em Ribeirão Preto | 126 |
| Figura 55 – Mapa de isópacas da litofácies de arenitos conglomeráticos do topo da Formação Pirambóia em Ribeirão Preto | 128 |
| Figura 56 – Mapa geológico da área. | 139 |
| Figura 57 – Quadro cronolitoestratigráfico da área. | 141 |
| Figura 58 – Mapa de contorno estrutural do topo da Formação Botucatu. | 142 |
| Figura 59 – Seções geológico-estruturais na área urbana de Ribeirão Preto. | 143 |
| Figura 60 – Seções geológico-estruturais na área urbana de Ribeirão Preto. | 144 |
| Figura 61 – Seções geológico-estruturais na área urbana de Ribeirão Preto. | 145 |
| Figura 62 – Perfis de variação granulométrica das formações Pirambóia e Botucatu de alguns po- ços da área estudada. | 151 |

| | |
|---|-----|
| Figura 63 – Seção geológica esquemática da área. | 152 |
| Figura 64 – Evolução paleoambiental da Formação Pirambóia. | 153 |
| Figura 65 – Paleoambiente deposicional da Formação Botucatu. | 154 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Resistividade das rochas mais comuns e das águas. | 12 |
| Tabela 2 – Radioatividade natural de diferentes rochas. | 14 |
| Tabela 3 – Evolução da classificação, nomenclatura e gênese dos arenitos mesozóicos infrabasálticos da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. | 37 |
| Tabela 4 – Poços com ocorrência de intrusivas básicas na área urbana de Ribeirão Preto. .. | 114 |
| Tabela 5 – Relação entre a vazão de poços (com mais de 140 m ³ /h) e as respectivas capacidades específicas. | 116 |
| Tabela 6 – Representação gráfica da permeabilidade em função do tipo de sedimento, mostrando o intervalo de variação de valores para o Aquífero Guarani na região. | 120 |

ÍNDICE DE FOTOS

| | |
|---|-----|
| Foto 1 - Estratificações cruzadas tabulares planares de grande porte da Formação Botucatu. . | 134 |
| Foto 2 – Estratificações cruzadas acanaladas de grande porte da Formação Botucatu. Gruta de Itambé, Altinópolis. | 135 |
| Foto 3 - Detalhe da estratificação cruzada tabular planar. | 136 |
| Foto 4 – Morro do Seladinho. Testemunho de arenitos da Formação Botucatu. | 137 |

1. INTRODUÇÃO

A caracterização litológico-estrutural, nomenclatura e interpretação paleoambiental dos arenitos mesozóicos infrabasálticos sofreram variações no decorrer do tempo, em razão do avanço do seu conhecimento e, principalmente, por sua grande importância hidrogeológica. Essa seqüência arenosa constitui o internacionalmente conhecido Sistema Aquífero Guarani (SAG), que ocorre, além do Brasil, no Paraguai, Uruguai e Argentina, compreendendo uma área estimada em 1.200.000 km². No Brasil, abrange cerca de 839.800 km², 155.800 km² dos quais no Estado de São Paulo, com área de afloramento neste Estado de 23.370 km² (SMA, 2.004).

Desde a menção, pela primeira vez, do termo Botucatu, como será visto adiante, o pacote arenoso mesozóico infrabasáltico no Estado de São Paulo foi considerado ora indiviso, ora desmembrável do ponto de vista litoestratigráfico. A partir da década de 70 foi subdividido em duas unidades, de gêneses diferentes. Para essa interpretação foram consideradas, principalmente, as estruturas sedimentares presentes e as características texturais e morfométricas dos arenitos analisados, faltando, porém, a utilização da análise de fácies sedimentares para o entendimento dos processos responsáveis pela deposição dos sedimentos e, conseqüentemente, para uma interpretação adequada da evolução paleoambiental ocorrida na Bacia do Paraná nessa época. A aplicação do estudo faciológico nesses arenitos só viria a ocorrer no início da década de 90, quando a Formação Pirambóia, tida até então como sendo essencialmente de origem fluvial, passou a ser considerada como predominantemente eólica, a exemplo do que ocorre com a unidade imediatamente sobreposta, a Formação Botucatu.

A região de Ribeirão Preto, situada na Bacia Hidrográfica do Médio rio Pardo, apresenta grande demanda em recursos hídricos subterrâneos, uma vez que a maioria das cidades nela situadas, representando cerca de 800.000 habitantes, abastece-se unicamente de água do Aquífero Guarani, cuja exploração anual é estimada em aproximadamente 140.000.000 m³ (modificado de SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, 1.995). Assim, o trabalho aqui proposto visou não somente analisar o aspecto acadêmico da gênese dos sedimentos, como também fornecer subsídios a outros estudos de caráter prático para a região, principalmente o hidrogeológico, já que a importância de um sistema aquífero é determinada, entre outros parâmetros, pelas características

texturais (tamanho dos grãos, grau de seleção, arredondamento, etc.) das rochas armazenadoras, em função de sua facilogia, reflexo dos paleoambientes que as originaram.

Conforme informação verbal do Prof. Osmar Sinelli, até 1.965 havia 63 poços tubulares em Ribeirão Preto, sendo o mais antigo, de 1.920, perfurado praticamente em basalto, pois na época o nível piezométrico estava bem acima do contato Serra Geral/Botucatu, com muitos dos poços apresentando artesianismo jorrante. Por isso, os poços mais antigos apresentavam espessura relativamente pequena de Arenito Botucatu e, portanto, o conhecimento deste era um tanto superficial. Hoje essa condição não existe mais, principalmente na parte central da cidade, onde a exploração de água subterrânea é mais intensa, o que provocou um rebaixamento do nível piezométrico de 50 m a 60 m, tornando o Aquífero Guarani livre onde era confinado. Desse modo, os poços têm que ser cada vez mais profundos para manterem uma produção que atenda à demanda, já havendo casos de poços que atingiram o substrato do Aquífero Guarani, na área representado pela Formação Corumbataí, o que permite o conhecimento geológico, de um modo geral, de toda seqüência arenosa mesozóica pré-basáltica da região, pois os poços existentes geralmente não atravessam mais que dois terços do conjunto Botucatu/Pirambóia.

Apesar da quantidade de poços perfurados somente na área urbana de Ribeirão Preto, estimada em 193 poços públicos (atualmente 96 já desativados) e pelo menos duas centenas e meia de poços particulares, dos quais 172 cadastrados pelo DAERP – Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto (MONTEIRO, 2.003) é, ainda, pouco conhecida, na região, a litofaciologia das formações Pirambóia e Botucatu, que compõem o Aquífero Guarani na parte nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná.

A razão do precário conhecimento litofaciológico e litoestratigráfico da seqüência predominantemente arenosa que compõe o Aquífero Guarani é a inexistência de testemunhos de sondagens que poderiam possibilitar o estudo sedimentológico e estratigráfico detalhado das seções colunares atravessadas pelos poços tubulares perfurados em Ribeirão Preto. Ainda assim, dentre os poços públicos do DAERP, conforme cadastro disponível, a maioria deles não teve profundidade suficiente para atravessar todo aquífero e atingir seu substrato, de maneira que falta o registro detalhado do terço inferior da seqüência arenosa mesozóica pré-basáltica. Enquanto a espessura estimada para as formações Pirambóia e Botucatu na área é de 260 m a 280 m, tem-se que a espessura máxima dessas unidades atravessadas pelos poços existentes não passa, em

geral, de 230 m, faltando, assim, o conhecimento dos 30 m a 50 m basais do Aquífero Guarani. Além disso, os perfis geológicos de poços disponíveis são bastante simples, limitando-se a informar as litologias atravessadas, tais como arenito (quanto muito sua cor e textura), basalto, diabásio, etc., não fazendo referência às variações litoestruturais das mesmas, as quais permitiriam a interpretação paleoambiental das seções colunares consideradas.

Por outro lado, a carência, na área estudada, de bons afloramentos, tendo em vista a extensa, ainda que não muito espessa cobertura neocenozóica, impediu que se fizesse um pormenorizado trabalho de estratigrafia de superfície. Agrava-se, ainda, o fato de a topografia ser bastante suave, representada, principalmente, por um relevo de colinas amplas, portanto com amplitudes inferiores a 100 m, de modo que se fosse viável a elaboração de seções estratigráficas de superfície, estas representariam apenas uma parcela das unidades geológicas de interesse.

Portanto, a falta de testemunhos de sondagens aliada à ausência de afloramentos motivaram a adoção de métodos geofísicos, por meio da interpretação de curvas geoeletricas e de raios gama, para o estudo litofaciológico das unidades geológicas componentes do Aquífero Guarani, tendo-se, como referência, estudos semelhantes feitos em bacias sedimentares.

1.1. Objetivos

Este trabalho visou a caracterização litofaciológica dos arenitos mesozóicos infrabasálticos na área estudada, de maneira a estabelecer-se a divisão litoestratigráfica e as características sedimentológicas próprias do aquífero, com base em dados de subsuperfície. Esses arenitos compreendem toda seqüência sedimentar situada entre a Formação Corumbataí, na base, e os derrames basálticos da Formação Serra Geral, no topo. Para tanto, procedeu-se à análise litoestratigráfica das unidades perfuradas pelos poços na área de Ribeirão Preto, com base em perfisagens geofísicas, descrições litológicas dos poços e correlações litoestratigráficas que permitiram o reconhecimento dos intervalos litofaciológicos correspondentes às formações Pirambóia e Botucatu na região estudada.

A partir da disponibilidade de curvas de perfis geofísicos, objetivou-se o estabelecimento da correlação litoestratigráfica entre poços perfurados não testemunhados, notadamente na malha

urbana de Ribeirão Preto, de maneira a caracterizar-se intervalos litofaciológicos distintos dentro do Aquífero Guarani.

Essas considerações têm importância prática na medida em que objetivam caracterizar, com detalhes, as rochas que constituem o Aquífero Guarani em parte da Bacia Hidrográfica do rio Pardo, que na região é de fundamental importância devido à exploração intensiva de água subterrânea desse sistema hídrico, principalmente em Ribeirão Preto, já que nessa bacia a água subterrânea perfaz cerca de 95% da água total consumida.

Além da apresentação do arcabouço geológico local mostrando a distribuição espacial das unidades estratigráficas componentes do Aquífero Guarani, obtida com a realização de diversas seções geológicas, tanto ao longo da direção das camadas sedimentares como no sentido do mergulho das mesmas, procurou-se, também, caracterizar a estrutura geológica local, uma vez que falhas verificadas em seções geológicas de poços, associadas a intrusões de corpos ígneos básicos, constituem, possivelmente, barreiras ao fluxo das águas subterrâneas. Em razão disso, pretendeu-se estabelecer um zoneamento da ocorrência desses corpos ígneos básicos constatados em sondagens, bem como a sua posição estratigráfica dentro do Aquífero Gurani, para verificação de sua interferência na produtividade dos poços.

1.2. Localização da área

A área investigada situa-se na região nordeste do Estado de São Paulo, compreendendo parte do Município de Ribeirão Preto, desde o limite norte, com Jardinópolis, estabelecido pelo rio Pardo, até a coordenada UTM 7.648 km N, perfazendo uma superfície em torno de 425 km² (Figura 1). Abrange parte das quadrículas de Ribeirão Preto e Serrana, na escala 1:50.000.

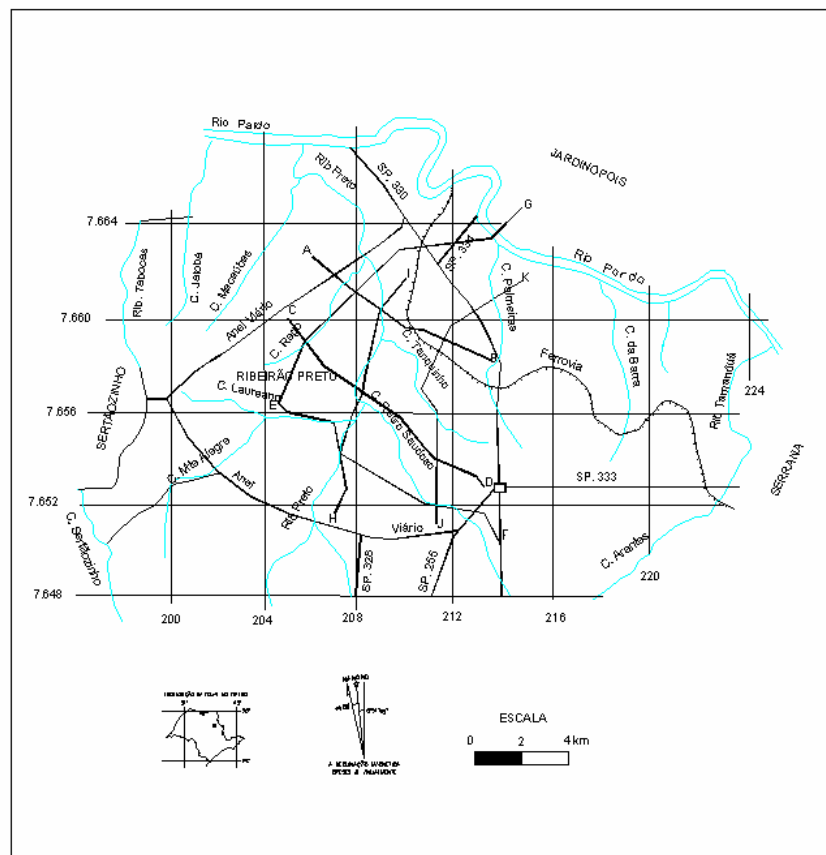


Figura 1 – Mapa de localização da área. AB = seção geológico-estrutural.

A área é cortada no sentido de sudeste para noroeste pela Rodovia Anhangüera (SP-330), desde o km 302 até o km 325, na ponte sobre o rio Pardo. No sentido aproximadamente de leste para oeste é atravessada pela Rodovia Abrão Assed (SP-333), desde a ponte sobre o ribeirão do Tamanduá, divisa com Serrana, até o limite com Sertãozinho (Figura 1).

Situada na Bacia Hidrográfica do Médio Pardo, a área tem como principais cursos d'água os afluentes da margem esquerda do rio Pardo, a saber: ribeirão do Tamanduá, ribeirão Preto, córrego das Palmeiras e córrego do Jatobá. A rede de drenagem pode ser considerada de baixa densidade,

principalmente nas porções nordeste e leste da área, na faixa de exposição da cobertura cenozóica essencialmente arenosa, sobreposta à Formação Botucatu.

Do ponto de vista geológico, situa-se na porção nordeste da Bacia do Paraná, a cerca de 70 km do contato desta com o Embasamento Cristalino. Compreende o Grupo São Bento, representado pelas formações Botucatu e Serra Geral, além de coberturas coluvionares possivelmente terciárias e depósitos aluvionares quaternários. A Formação Pirambóia ocorre apenas subsuperficialmente na área de estudo.

Geomorfologicamente localiza-se na zona de transição entre a Província das “Cuestas” Basálticas e o Planalto Ocidental, aquela não perfeitamente caracterizada na área. Por situar-se no vale do rio Pardo, a área em estudo apresenta relevo predominantemente colinoso, originado pela abertura feita por essa drenagem conseqüente ao atravessar a frente de “cuesta”, ficando as escarpas afastadas do curso d’água atual. O recuo das escarpas, por erosão diferencial, proporcionou o fornecimento do material fonte dos depósitos coluvionares neocenozóicos que recobrem a Formação Botucatu. O relevo típico de “cuestas” pode ser visto entre Brodowski e Altinópolis, através de escarpas arenítico-basálticas, onde as altitudes chegam a 1.000 m. Relevo tabuliforme, representado por mesa basáltica, ocorre no Município de Serra Azul, constituindo a serra homônima, isolada da frente de “cuesta” pelo entalhe do ribeirão do Tamanduá. Na entrada para Ribeirão Preto (Av. Presidente Castelo Branco), assim como entre o km 305 e o km 306 da Rodovia Anhanguera, a Formação Botucatu ocorre praticamente no mesmo nível topográfico que o da Formação Serra Geral, indicando a presença de falhas no contato entre essas duas unidades, enquanto que normalmente o mesmo situa-se ao longo de escarpas.

2. METODOLOGIA

A realização deste trabalho baseou-se, essencialmente, no levantamento bibliográfico; levantamento de campo, com descrição de afloramentos e verificação de pontos de controle; e interpretação de perfilagens geofísicas.

2.1. Levantamento bibliográfico

Inicialmente, procedeu-se à revisão bibliográfica da área em estudo, incluindo-se o mapeamento geológico da região nordeste do Estado de São Paulo, na escala 1:50.000 (SOARES *et al.*, 1.973), que subsidiou a elaboração do mapa geológico aqui apresentado.

Para auxiliar na elaboração do mapa geológico da área foram considerados os poços tubulares cadastrados pelo DAERP (Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto), cujos dados disponíveis contribuíram para o aprimoramento do traçado do mapa geológico, bem como forneceram informações para a confecção do mapa de contorno estrutural do topo da Formação Botucatu. Infelizmente, os dados geológicos dos poços disponíveis no cadastro do DAERP limitam-se, apenas, à apresentação simplificada de seu perfil estratigráfico, fazendo referência somente às unidades atravessadas pela sondagem, sem levar em conta os aspectos litológicos e estruturas sedimentares presentes nas rochas perfuradas. Porém, felizmente, foi conseguido nessa fase de compilação bibliográfica o resgate, junto à Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, de cerca de 20 relatórios de sondagens realizadas na área urbana contendo a descrição detalhada de seu perfil geológico, pelo menos quanto às suas características litológicas e texturais, alguns dos quais apresentando as respectivas perfilagens geofísicas e que foram de fundamental importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

Levantamento bibliográfico detalhado enfocando as formações mesozóicas infrabasálticas Pirambóia e Botucatu, da Bacia do Paraná, foi realizado para a obtenção de um histórico sobre o conhecimento das mesmas, desde sua definição original até o presente (ver capítulo 3, subitem 3.3.1), de maneira a identificarem-se as principais características dessas unidades, tais como

litologias componentes; estruturas sedimentares; aspectos sedimentológicos e petrográficos; análises paleoambientais; eventual conteúdo fossilífero; dentre outras.

Resultados de análises granulométricas e petrográficas, efetuadas por outros autores, para determinação das características texturais e composição mineralógica das rochas analisadas, foram utilizados neste trabalho, que associados às interpretações faciológicas puderam conduzir à determinação dos tipos de depósitos sedimentares presentes. Também foram aproveitados da bibliografia dados de ensaios de laboratório realizados em arenitos para determinação de sua porosidade e permeabilidade, características hidráulicas principais para a definição da potencialidade de um aquífero e que dependem, em grande parte, da associação faciológica das rochas componentes, além, claro, da intensidade da atuação de processos diagenéticos que transformam sedimentos em rochas sedimentares, tais como compactação, cimentação e recristalização, que reduzem a capacidade do aquífero em armazenar água.

2.2. Levantamento de campo

Apesar da existência de centenas de poços tubulares profundos, a maioria deles situados na área urbana de Ribeirão Preto, ficaram bastante limitadas as informações de subsuperfície, pois estas resumem-se apenas à nomenclatura das unidades geológicas atravessadas e suas respectivas espessuras, sendo rara a ocorrência de poços que tenham atingido o Paleozóico (Formação Corumbataí), de modo que a espessura total do conjunto Botucatu/Pirambóia é apenas inferida, além da interferência de intrusões de diabásio. Os dados de poços forneceram o contato Serra Geral/Botucatu para a elaboração de seções geológicas, limite esse que serviu, também, de camada-guia para auxiliar nas interpretações estruturais e tectônicas mostradas no mapa geológico apresentado, além de descrições litológicas com algum detalhe dos perfis dessas sondagens.

A escassez de afloramentos rochosos, exceto de rochas básicas, nos arredores de Ribeirão Preto, dada à extensa cobertura neoceno-zóica existente, inviabilizou a realização de seções litoestratigráficas de superfície na área de estudo, fato que obrigou a procura de exposições de sedimentos em locais afastados de Ribeirão Preto e localizados ao longo de escarpas arenítico-basálticas situadas a algumas dezenas de quilômetros dessa cidade.

Uma etapa preliminar de campo foi realizada na região de entorno à área de estudo, com o intuito de se fazer um reconhecimento dos locais mais favoráveis à descrição de afloramentos, para a elaboração de seções litoestratigráficas de superfície. Porém, a região compreendida entre as cidades de Serrana, Altinópolis, Santo Antônio da Alegria e Cajuru, segundo constatado nos mapas geológicos existentes, abrange a Formação Botucatu e apenas a porção superior da Formação Pirambóia, de maneira que seções estratigráficas aí levantadas não seriam representativas de toda a seqüência sedimentar arenosa mesozóica pré-basáltica, mas tão somente de seu terço superior. Mesmo assim, foram descritos afloramentos encontrados em cavernas existentes nas proximidades de Altinópolis, onde levantaram-se perfis geológicos com descrição de tipos de fácies encontradas.

2.3. Métodos geofísicos

Dada a carência, na área estudada, de afloramentos dos arenitos que compõem o Aquífero Guarani, face à existência de extensa cobertura de depósitos coluvionares neocenozóicos, optou-se pela utilização de informações de subsuperfície obtidas com a aplicação de métodos geofísicos em sondagens. Assim, pode-se caracterizar as formações Botucatu e Pirambóia no seu aspecto litofaciológico e litoestratigráfico, com base na interpretação de perfis de resistividade, potencial espontâneo e raios gama. Na falta de testemunhos de sondagens, cuja descrição litológica pudesse ser comparada às curvas de perfilagens geofísicas, foi necessária a utilização de diagrfias obtidas de poços testemunhados localizados em outras áreas sedimentares, inclusive da Bacia do Paraná, enfocando o ambiente deposicional desértico, semelhante ao que ocorre na área em estudo. O padrão mostrado por essas curvas de perfilagens, caracterizando determinada fácies sedimentar no contexto geológico estudado, serviu de modelo para efetuar-se a interpretação faciológica das seções colunares das sondagens perfiladas, viabilizando a correlação lateral entre poços perfilados, mas não testemunhados. A partir dessa correlação estratigráfica foi possível verificar-se, em seções topográfico-geológicas e diagrama em painel, a distribuição tridimensional dos intervalos litofaciológicos identificados, facilitando a interpretação geológica da seqüência vertical estudada.

A operação para obtenção, por métodos geofísicos de subsuperfície, das características físicas e geométricas das unidades atravessadas pela perfuração denomina-se perfilagem, cujos registros,

em forma de curvas, são as diagrfias. Por meio destas, pode-se inferir certas propriedades físicas das rochas cortadas pela sondagem, auxiliando na correlação com outros poços igualmente perfilados na região em estudo. No caso em questão, foram utilizados os métodos geofísicos elétricos, de maneira que as diagrfias das perfilagens realizadas nos poços registram a resistividade elétrica, o potencial espontâneo, bem como utilizou-se, também, a radioatividade natural das rochas atravessadas – raios gama.

As principais vantagens oferecidas pelas diagrfias são: aspecto contínuo da informação; caráter objetivo, preciso, fiel, inalterável e quantificável das informações recebidas; e considerável potencial de informação geológica (ZARAUZA *et al.*, 1.977).

2.3.1. Potencial espontâneo

O potencial espontâneo (*SP*) baseia-se na existência de correntes elétricas de origem natural nos materiais. Consiste em medir a diferença de potencial entre um eletrodo fixo, situado na superfície, e outro que desce pelo poço. Os pelitos produzem uma forma constante e retilínea nas diagrfias, denominada linha base ou de zero relativo nos registros de potencial espontâneo, de maneira que o *SP* é positivo à direita da linha base, quando se tratam de litologias mais permeáveis (areias e cascalhos, principalmente com água doce), e negativo à esquerda, quando as litologias são equivalentes a areias, cascalhos ou calcários com água salobra (Figura 2). A presença de intercalações de lentes de argilas em camadas arenosas implica na diminuição do potencial espontâneo.

A presença de argilas em areias, tanto se estão distribuídas homoganeamente como se estão intercaladas em camadas delgadas, implica numa diminuição do *SP*. Quando uma formação permeável encontra-se entre camadas eletricamente muito resistentes, como calcários, arenitos muito compactos, entre outros, a distribuição da anomalia de *SP* de um ou outro lado da linha base é muito diferente. Existindo uma sucessão de camadas permeáveis delgadas próximas, a interpretação da curva de *SP* torna-se muito difícil (ASTIER, 1.975).

2.3.2. Resistividade

O perfil de resistividade mede a resistência à passagem da corrente elétrica através das rochas, sendo que a resistividade é proporcional à diferença de potencial. Por sua vez, ela está diretamente relacionada à porosidade e ao fluido que preenche os vazios, de maneira que areias e cascalhos secos têm resistividades cerca de 20 vezes maiores que areias e cascalhos com água doce, e estas litologias saturadas, por sua vez, apresentam resistividades aproximadamente 100 vezes maiores que as mesmas litologias contendo água salgada; por outro lado, sedimentos arenosos bem selecionados, portanto porosos, têm menor resistividade que sedimentos arenosos mal selecionados (menos porosos, provavelmente devido à cimentação). Argilas têm baixas resistividades, assim como rochas grafitosas, enquanto lavas e rochas quartzo-feldspáticas inalteradas são altamente resistentes, de modo que os valores da resistividade variam desde $2 \cdot 10^{-1}$ ohm.m (água do mar) até 10^4 ohm.m (sedimentos extremamente secos ou rochas ígneas e metamórficas inalteradas maciças), conforme mostrado na Tabela 1. As curvas de resistividade são particularmente úteis na distinção entre rochas arenosas e argilosas (Figura 2).

A Tabela 1 mostra os valores de resistividade de algumas rochas e águas, em ohm.m, em ordem decrescente:

Tabela 1 – Resistividade das rochas mais comuns e das águas. Segundo ASTIER (1.975).

| rocha | resistividade (ohm.m) |
|-------------------------------------|------------------------------|
| areias, cascalhos secos | 1.000 – 10.000 |
| granitos, gnaisses sãos | 1.000 – 10.000 |
| calcários | 300 – 10.000 |
| ortoarenitos | 300 – 10.000 |
| lavas | 300 – 10.000 |
| xistos sãos | 300 – 3.000 |
| granitos, gnaisses alterados | 100 – 1.000 |
| areias, cascalhos com água doce | 50 – 500 |
| xistos argilosos ou alterados | 100 – 300 |
| águas de fontes | 50 – 100 |
| calcários argilosos (margas) | 20 – 100 |
| tufos vulcânicos | 20 – 100 |
| água de aquíferos aluviais | 10 – 30 |
| argilas | 2 – 20 |
| xistos grafitosos | 0,5 – 5 |
| areias e cascalhos com água salgada | 0,5 – 5 |
| água do mar | 0,2 |

2.3.3. Raios gama

O perfil de raios gama mede a radioatividade natural das rochas, já que todas as formações geológicas contêm uma pequena porcentagem de materiais radioativos, sendo, portanto, muito útil na detecção de minerais radioativos de potássio e urânio. Nas rochas sedimentares, a curva de raios gama fornece o conteúdo relativo de pelitos, pois são neles que os materiais radioativos tendem a se concentrar. Nas rochas pelíticas, os valores de radioatividade são bem superiores aos

encontrados nas rochas clásticas porosas, tais como arenitos e conglomerados, sendo que estas, quando saturadas com água, apresentam valores ainda menores (Figura 2). No caso de duas seqüências rochosas apresentarem a mesma quantidade de material radioativo por unidade de volume, terá maiores valores no perfil de raios gama a que for menos densa.

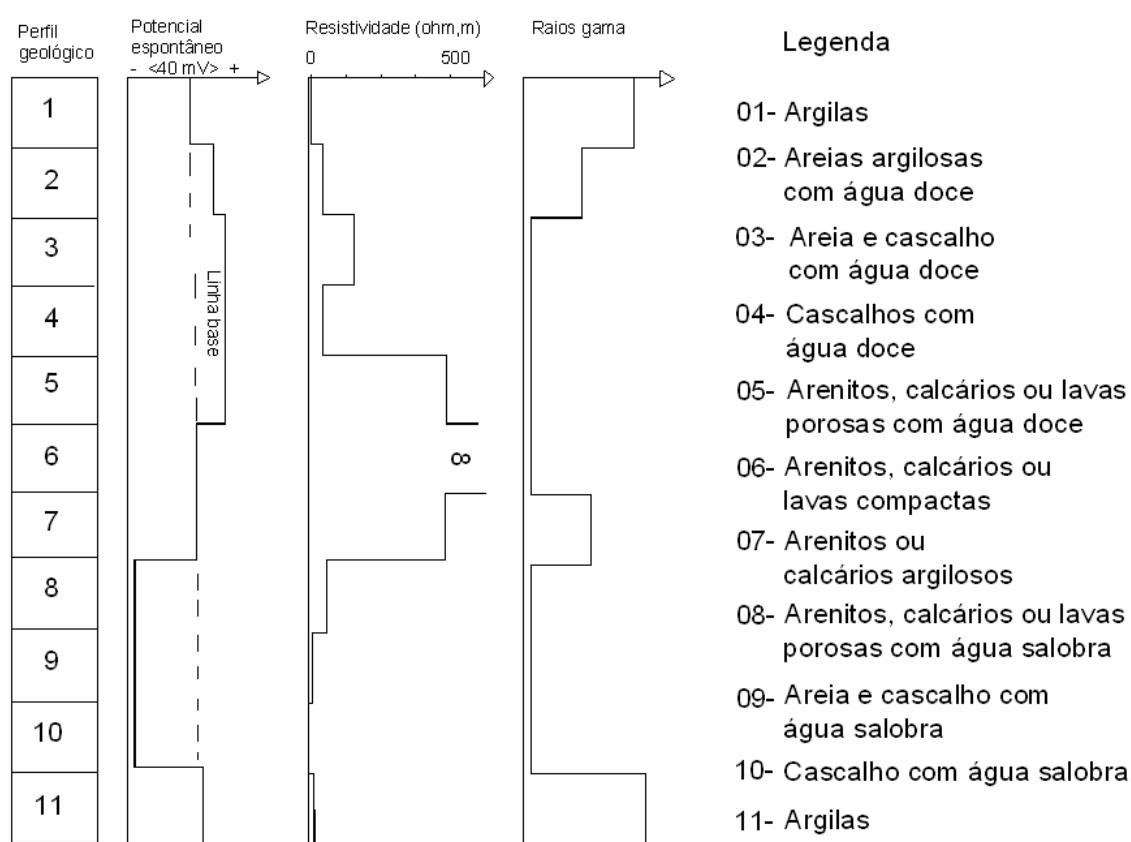


Figura 2 – Esquema mostrando a variação do comportamento dos perfis elétricos de acordo com as litologias atravessadas. Segundo ASTIER (1.975).

ASTIER (1.975) apresenta valores de radioatividade natural de diferentes rochas, em unidades A. P. I. , conforme mostrado na Tabela 2:

Tabela 2 – Radioatividade natural de diferentes rochas. Segundo ASTIER (1.975).

| rocha | radioatividade (unidades A. P. I.) |
|--|---|
| lavas | 10 – 100 |
| areias a arenitos não argilosos | 30 – 80 |
| calcários e dolomitos de cores claras | 30 – 70 |
| calcários e dolomitos de cores escuras | 70 – 100 |
| argilas de cores claras | 150 – 300 |
| argilas de cores escuras | 300 – 500 |

Complementando a Tabela 2 apresentada tem-se que carvão, halita, gipsita e anidrita apresentam valores de A. P. I. próximos a zero. Enquanto os arenitos limpos compreendem 10 A. P. I. a 30 A. P. I., nos arenitos argilosos os valores variam entre 30 A. P. I. e 45 A. P. I. (SCHLUMBERGER, 1.972, in PAULA E SILVA, 2.003).

CASTAGNY (1.975) classifica as rochas, de acordo com a radioatividade natural, em dois grupos: 1) fraca radioatividade: calcários, dolomitos, areias, arenitos, sal-gema, entre outros; 2) forte radioatividade: argilas, margas, xistos carbonosos ou betuminosos, bentonita. Segundo esse autor, os valores da radioatividade são crescentes na seguinte ordem: carvão, sal-gema, dolomito, calcário, areia, calcário argiloso, areia argilosa, argila e argila orgânica. A radioatividade de uma rocha é função do seu conteúdo em materiais argilosos.

2.3.4 – Exemplos de perfilagens geofísicas

A aplicação da perfilagem geofísica é de grande importância na caracterização litofaciológica de uma seqüência sedimentar de subsuperfície, principalmente quando não se dispõe de testemunhos de sondagens, como é o caso. Por isso, utilizaram-se informações existentes na literatura geológica referentes ao emprego de métodos geofísicos na interpretação litofaciológica de seqüências deposicionais, aferidas ou não por testemunhos de sondagens, podendo-se citar os

trabalhos de LANZARINI *et al.* (1.986), MILANI *et al.* (1.994), PETRI *et al.* (1.996), MENDES & VERMA (2.002) e PAULA E SILVA (2.003), entre outros.

De acordo com LANZARINI *et al.* (1.986), que aplicaram a perfilagem geofísica na análise faciológica de seqüências deposicionais localizadas nas bacias do Recôncavo e Alto Amazonas (Figuras 3 a 7), depósitos eólicos são caracterizados por arenitos limpos, com pouca argila, motivo pelo qual são baixos os valores de radioatividade observados nos perfis de raios gama. Já valores altos de raios gama correspondem a fácies argilosas associadas, depósitos de lagos efêmeros ou

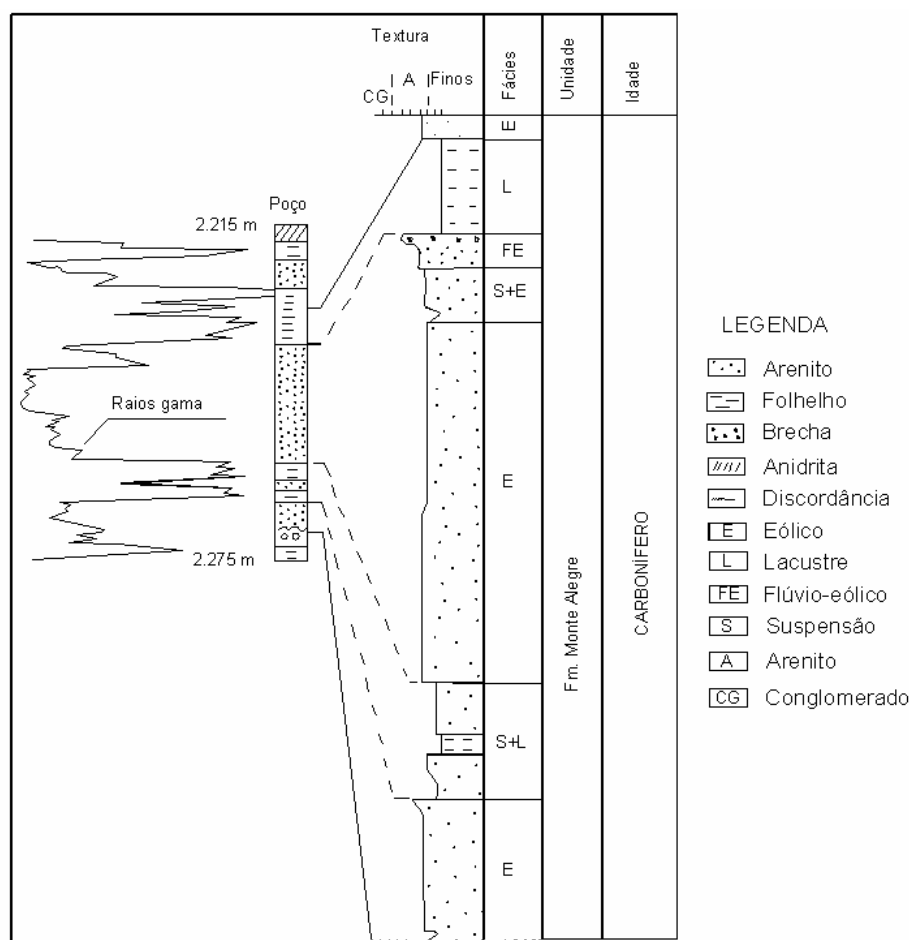


Figura 3 – Variação faciológica de parte da Formação Monte Alegre, Bacia do Alto Amazonas (LANZARINI *et al.*, 1.986).

playa-lakes, formados nas partes mais baixas dos desertos, pela contribuição de águas de chuvas periódicas, de rios temporários ou provenientes da exposição do lençol freático. Valores intermediários de radiação representam fácies fluviais, menos representativas no contexto desértico, compreendendo arenitos médios a grossos, raramente conglomeráticos, depositados por rios temporários formados em épocas de maior pluviosidade; suas curvas de raios gama mostram aumento da radioatividade da base para o topo, por causa da granodrecrescência ascendente do ciclo fluvial.

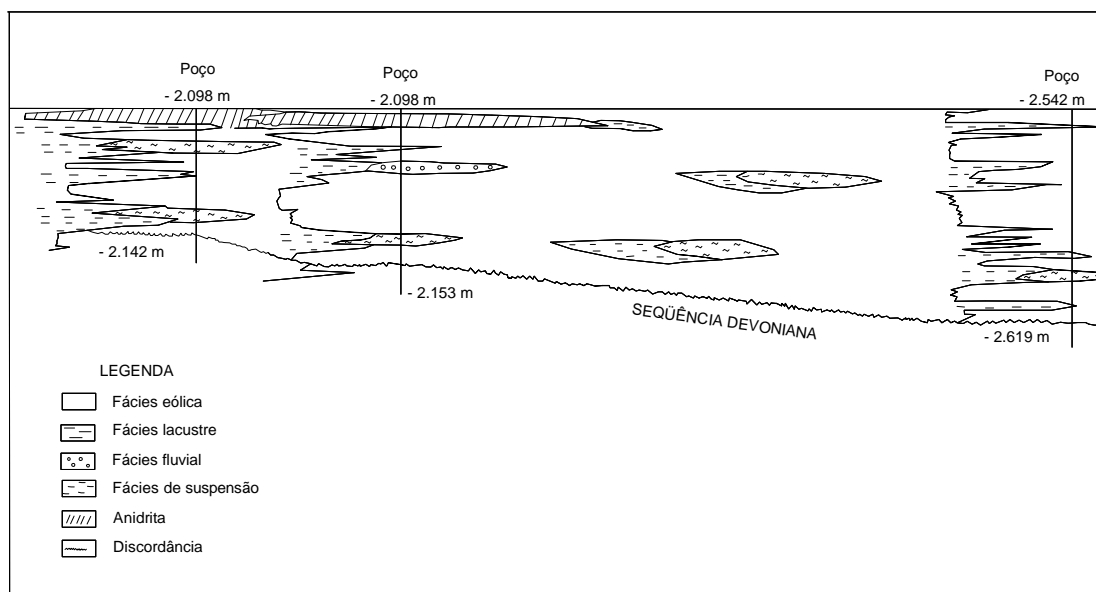


Figura 4 – Correlação de fácies da Formação Monte Alegre, Bacia do Alto Amazonas (LANZARINI *et al.*, 1.986).

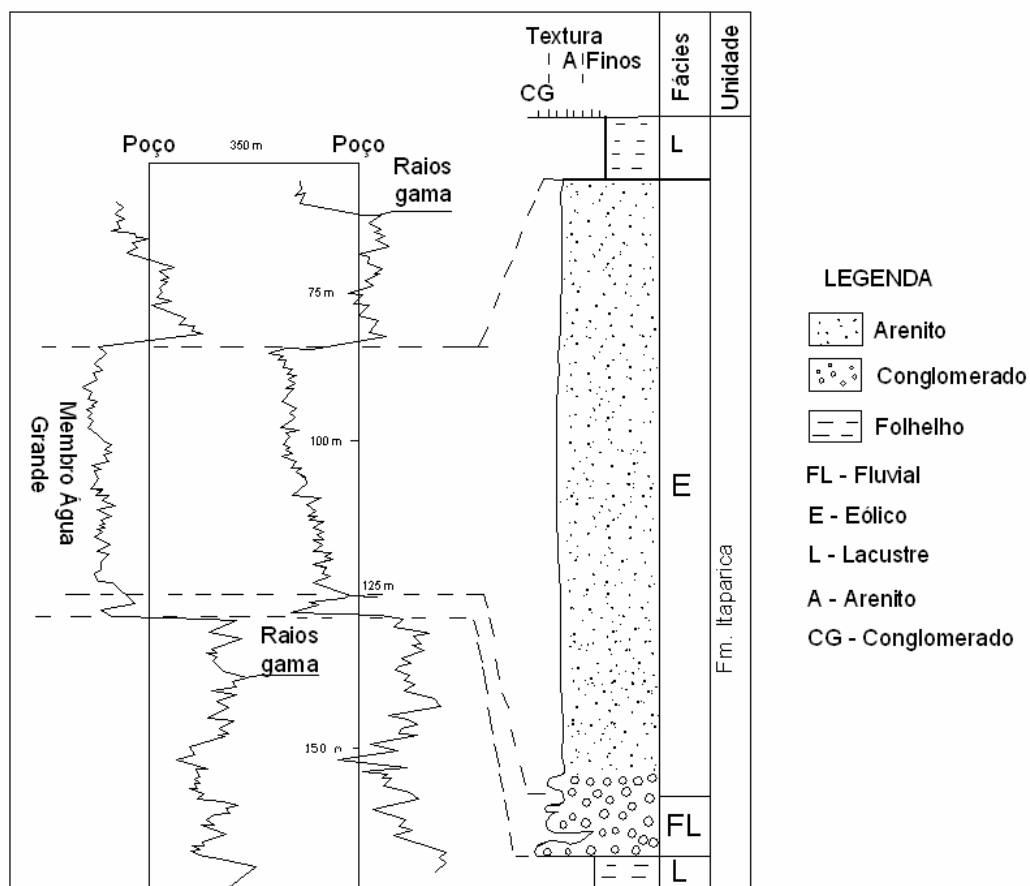


Figura 5 – Variação de fácies da Formação Itaparica, Bacia do Recôncavo (LANZARINI *et al.*, 1.986).

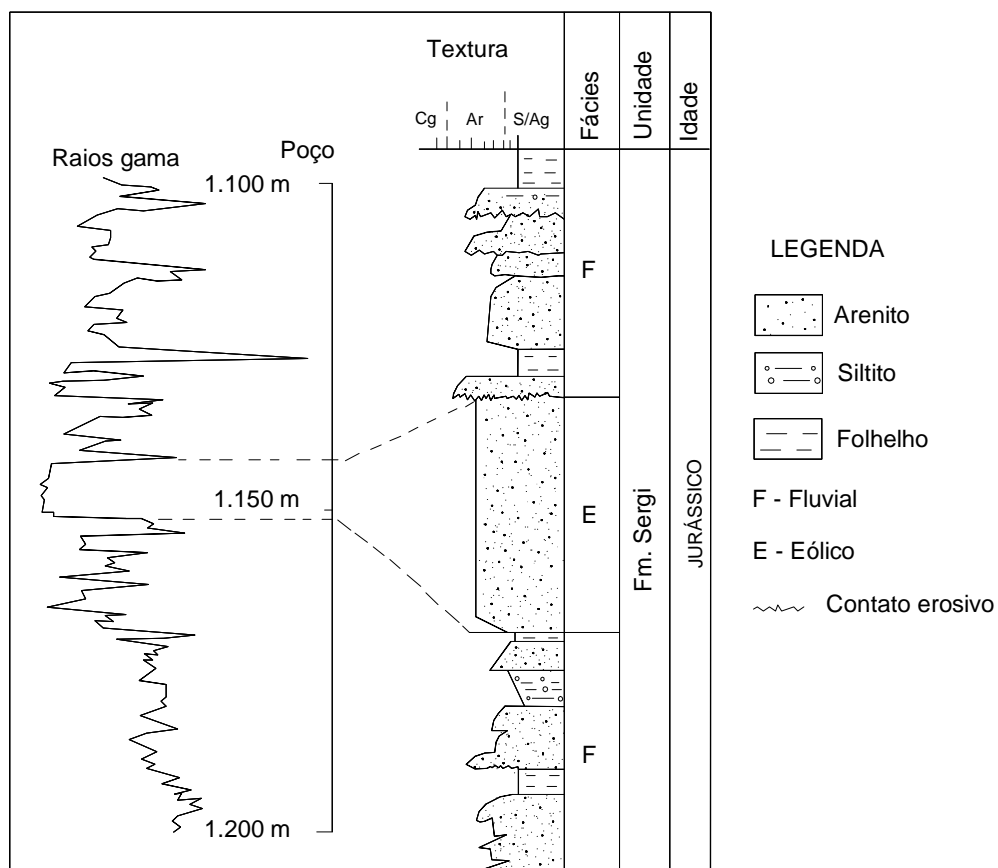


Figura 6 - Variação de fácies de parte da Formação Sergi, Bacia do Recôncavo (LANZARINI *et al.*, 1.986).

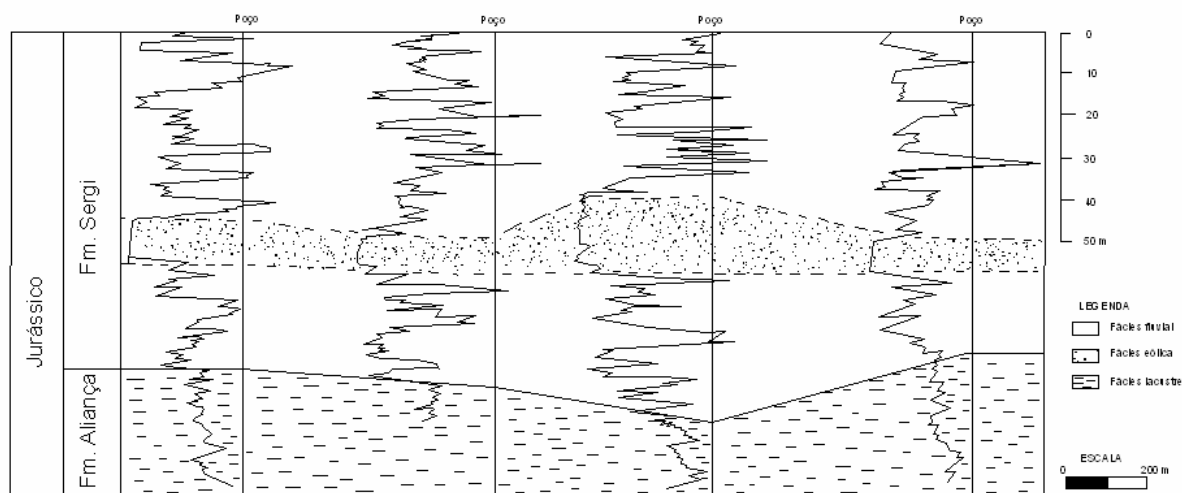


Figura 7 – Correlação estratigráfica entre poços, Bacia do Recôncavo (LANZARINI *et al.*, 1.986).

As curvas de raios gama e resistividade mostram padrão em formas cilíndrica (ou em caixa), sino (ou árvore de natal), funil, ovo e linear, com traçado liso ou serrilhado (POPP, 1.987; PAULA E SILVA, 2.003, entre outros).

O padrão cilíndrico indica sedimentos relativamente homogêneos, limitados por sedimentos argilosos, como sedimentos de preenchimento de canais com topo abrupto; esse padrão de curva é típico, também, de rios anastomosados (POPP, *op. cit.*) e dunas eólicas (LANZARINI *et al.*, 1.986). O padrão em caixa está bem representado nas curvas geofísicas de raios gama no caso, por exemplo, de uma fácies eólica limitada no topo e na base por uma fácies lacustre (Figuras 3, 4 e 5), ou uma fácies eólica intercalada entre duas fácies fluviais (Figuras 6 e 7). Ou seja, quando há uma passagem brusca de litologia, como de arenito limpo para argilito/folhelho, o que sugere uma descontinuidade na sedimentação. Sendo o Aquífero Gurarani constituído por uma seqüência sedimentar predominantemente arenosa, pode-se visualizar o padrão geral em caixa da curva geofísica de radioatividade pelo contato brusco com os basaltos da Formação Serra Geral, no topo, e com os argilitos da Formação Corumbataí, na base. A passagem da Formação Pirambóia para a Formação Botucatu verificada nas perfilagens de raios gama é brusca, indicando uma discordância, de forma que a curva é do tipo serrilhado, com os valores de radioatividade

diminuindo gradativamente para cima pela redução da porcentagem em finos na rocha (Figura 8). A diferença, porém, do padrão em caixa apresentado nas Figuras 3 a 7 reside na espessura da fácies eólica, pois enquanto nas bacias do Alto Amazonas e do Recôncavo (Figuras 3 a 7) os depósitos eólicos têm algumas dezenas de metros na Bacia do Paraná a seqüência essencialmente eólica (formações Pirambóia e Botucatu) passa dos 400 m, de maneira que neste caso a curva de raios gama apresenta longos trechos com valores relativamente homogêneos, limitados acima (Formação Serra Geral) e abaixo (Formação Corumbataí) por mudanças bruscas nos valores de radioatividade. Porém, na região de Ribeirão Preto, por exemplo, não se atinge a Formação Corumbataí, de maneira que a deflexão inferior, brusca para a direita da curva de raios gama, não aparece nos perfis geofísicos, ficando o padrão em caixa caracterizado apenas pela deflexão superior da curva, no contato Botucatu/Serra Geral.

A forma em sino (ou árvore de natal) é gerada pelas curvas de raios gama e resistividade conjugadas, indicando granodecrescência ascendente devido, possivelmente, ao preenchimento de canal, apresentando contato litológico transicional, liso ou serrilhado, até os lamitos de topo, enquanto na base o contato é abrupto (POPP, 1.987).

O padrão em funil representa granocrescência ascendente produzida, possivelmente, pela progradação de deltas, lobos submarinos, barras marinhas regressivas, ilhas barreiras ou recifes calcários sobre folhelhos (READING, 1.986).

A forma em ovo sugere granodecrescência ascendente de preenchimento de canal, com conglomerados ou brechas basais formados por clastos de folhelho, seqüências progradacionais/retrogradacionais ou sistemas submarinos de fandeltas (READING, *op. cit.*).

O padrão linear pode indicar espessas seqüências de lamitos, intercalados com arenitos e siltitos, depósitos de planícies de inundação, folhelhos, carvão de pântano, etc. (READING, *op. cit.*).

Em termos regionais, na Bacia do Paraná, MILANI *et al.* (1.994) apresentaram perfis de poços perfurados pela PETROBRAS, com as respectivas perfilagens geofísicas (raios gama e

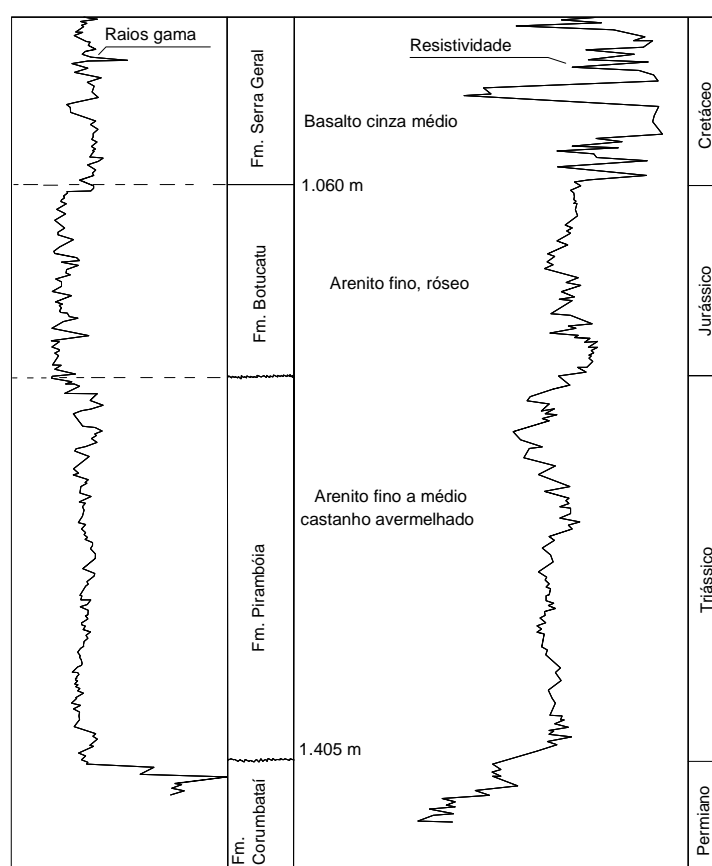


Figura 8 – Seção composta de poços da PETROBRAS, Bacia do Paraná. Baseado em MILANI *et al* (1.994)..

resistividade), sendo um deles, localizado em Araçatuba, Estado de São Paulo, de particular interesse para este estudo por ter atravessado as formações Pirambóia e Botucatu. Nesse poço a curva de raios gama mostra nitidamente o contato Pirambóia/Botucatu, de maneira que os valores de radioatividade são menores na Formação Botucatu, apresentando um aumento brusco no contato com a Formação Pirambóia subjacente (Figura 8), devido à maior porcentagem de finos nesta unidade. Em poços localizados no Rio Grande do Sul, a unidade Botucatu assenta-se sobre

o Grupo Rosário do Sul, contemporâneo ao menos em parte com a Formação Pirambóia, porém litofaciologicamente distinto desta por apresentar freqüentes intercalações argilosas de origem flúvio-lacustre; neste caso, o padrão da curva de raios gama da unidade Rosário do Sul é diferente do apresentado pela Formação Pirambóia, pois mostra picos de valores mais altos em virtude das freqüentes intercalações de camadas de clásticos finos (Figura 9).

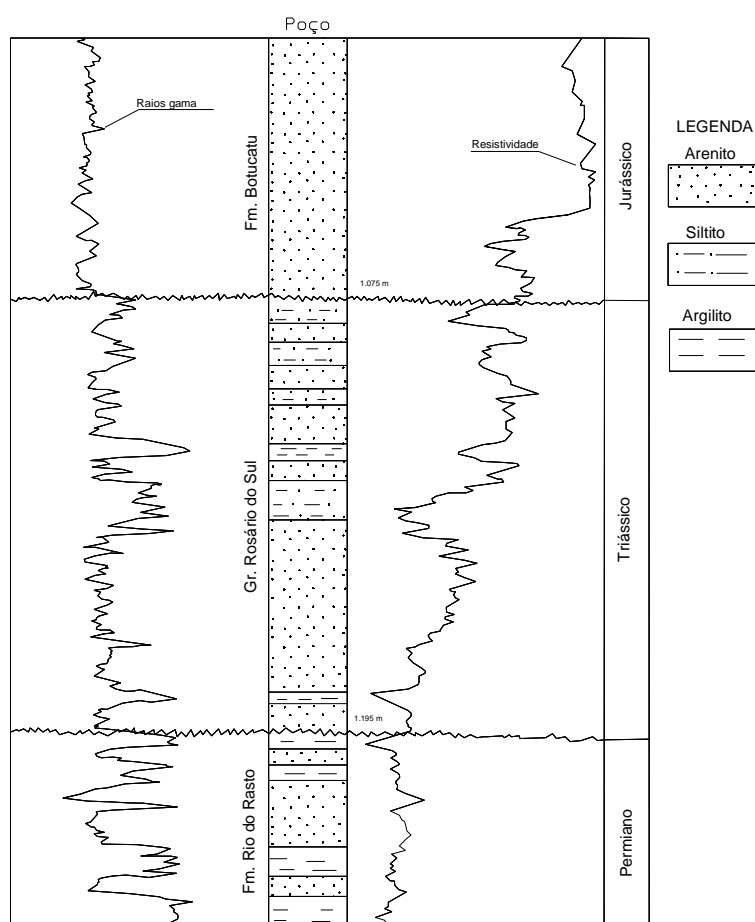


Figura 9 – Variações de litologias observadas em perfilagens de poços perfurados pela PETROBRAS no Rio Grande do Sul (MILANI *et al.*, 1.994).

3. GEOLOGIA REGIONAL

A área objeto deste trabalho situa-se próximo à borda oriental da Bacia do Paraná, distando cerca de 80 km do contato desta com o Embasamento Cristalino, que ocorre nos arredores do Distrito de São Benedito das Areias, representado por rochas arqueanas do Complexo Varginha, destacando-se granulitos e granulitos migmatizados.

Compreende as seguintes unidades estratigráficas, a partir da base: Grupo Tubarão (formações Aquidauana e Tatuí), Grupo Passa Dois (Formação Corumbataí), Grupo São Bento (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral), depósitos correlatos à Formação Itaqueri, coberturas colúvio-aluvionares cenozóicas indiferenciadas e depósitos aluvionares recentes, como mostra a Figura 10, adaptada de IPT (1.981).

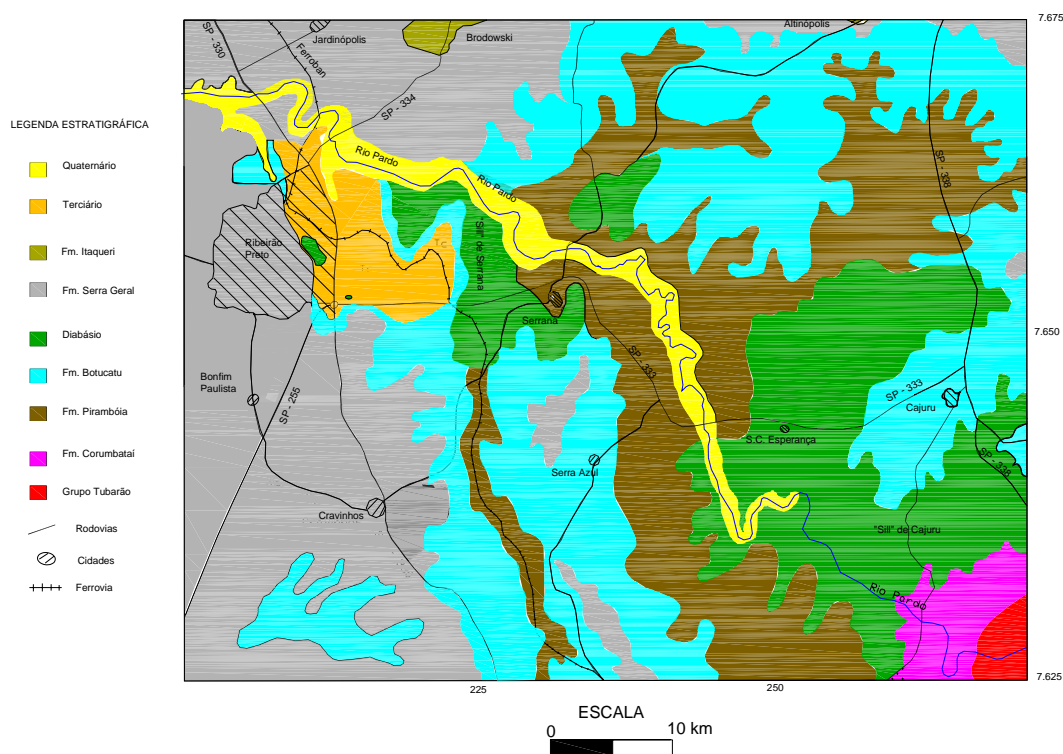


Figura 10 – Mapa geológico simplificado da região de Ribeirão Preto. Modificado de IPT (1.981).

Seção geológica da Bacia do Paraná, cortando a área no paralelo da cidade de Ribeirão Preto, baseada em parte em informações de sondagens para captação de água subterrânea, é mostrada na Figura 11, onde a Formação Tatuí não está registrada em função de sua faixa de afloramento ser reduzida, não representativa na escala utilizada.

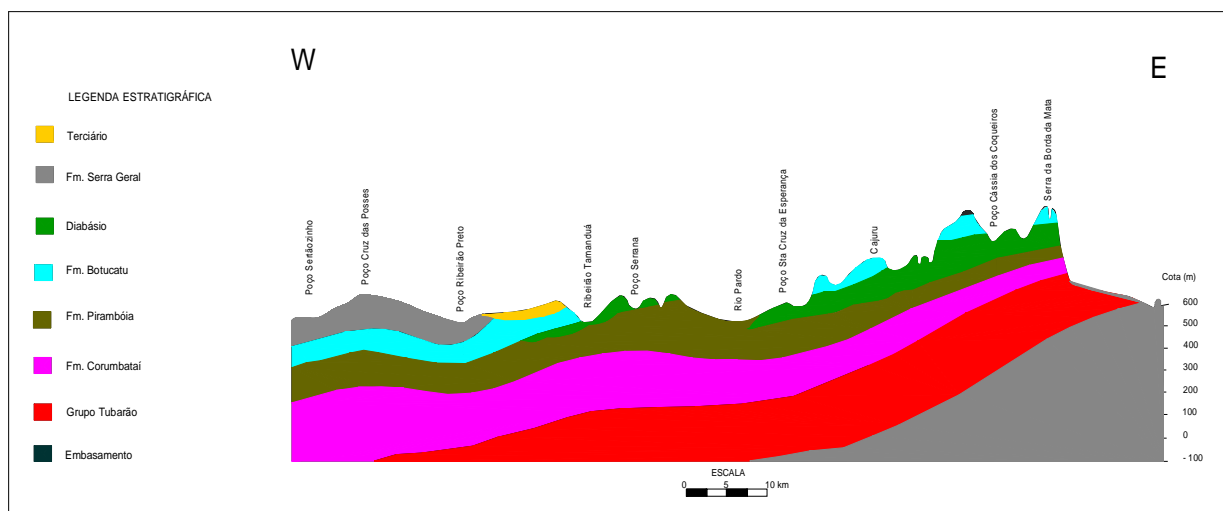


Figura 11 – Seção geológica regional passando por Ribeirão Preto. Adaptada de SOARES *et al.* (1.973).

3.1. Grupo Tubarão

Este grupo ocorre no vale do rio Pardo, sendo representado pelas formações Aquidauana e Tatuí. Sua espessura máxima na área de afloramento é estimada em cerca de 320 m a leste de Santa Rosa de Viterbo, dos quais 300 m compreendem a Formação Aquidauana.

3.1.1. Formação Aquidauana

Ocorre restritamente no vale do rio Pardo até a altura da foz do ribeirão Quebra-Cuia (Figura 10). Compreende, predominantemente, sedimentos arenosos, de cor vermelho-tijolo, granulação variando entre muito fina a grossa, com abundante matriz argilosa, exibindo estratificação cruzada planar de pequeno a médio porte, além de acamamento plano-paralelo. Na serra da Borda da Mata, fora da área em estudo, mostra uma seqüência de arenitos grossos com estratificações cruzadas, com finas intercalações de diamictitos arenosos vermelhos com pequena proporção de seixos e matações, e siltitos micáceos marrons, maciços ou bem laminados, às vezes intercalando camadas de argilito (SOARES & LANDIM, 1.973).

A espessura admitida para a unidade na área é de aproximadamente 300 m, sendo que o seu contato basal com o Embasamento Cristalino, na região de Mococa, é de caráter discordante (IPT, 2.000).

O ambiente de sedimentação da Formação Aquidauana é admitido como sendo continental, constituído por sistemas fluviais e lacustres, com influência glacial próximo à área de sedimentação, principalmente na área de ocorrência de diamictitos; os arenitos seriam cunhas clásticas mais espessas nas proximidades da fonte, acunhando-se em direção ao meio da Bacia do Paraná (PETRI & FÚLFARO, 1.988). Feições glaciais foram descritas na unidade por ROCHA-CAMPOS *et al.* (1.968) na região de Mococa.

Por apresentar contato interdigitado com o Subgrupo Itararé, desde a base até o topo, é considerada do Carbonífero Superior ao Permiano Médio (Stephaniano/Kunguriano), conforme PETRI & FÚLFARO (1.988).

3.1.2. Formação Tatuí

Ocorre localizadamente à margem esquerda do ribeirão Quebra-Cuia, afluente da margem esquerda do rio Pardo, não tendo sido representada no mapa geológico da Figura 10 por sua pequena extensão e espessura. Fora da área, aparece em manchas localizadas na Rodovia Cajuru-Mococa e na encosta da serra da Borda da Mata.

Compreende siltitos arenosos de cor vermelho-tijolo, maciços ou com laminação incipiente, com espessura em torno de 20 m (SOARES *et al.*, 1.973; SOARES & LANDIM, 1.973).

O contato basal da Formação Tatuí, com a Formação Aquidauana, se faz por discordância, com a superfície de contato dos siltitos daquela unidade formando pequeno ângulo com os arenitos desta, conforme pode ser visto na Rodovia Cajuru-Mococa (SOARES *et al.*, *op. cit.*).

Estratigraficamente a Formação Tatuí corresponde, em parte, às formações Rio Bonito e Palermo dos estados do sul do país, as quais compõem o Grupo Guatá, correspondente ao início do ciclo pós-glacial da Bacia do Paraná. A Formação Tatuí poderia estar, assim, incluída neste grupo, porém na coluna estratigráfica da bacia em São Paulo tem sido mantida no Grupo Tubarão (IPT, 2.000).

A Formação Tatuí teria se originado em ambiente marinho de baixa energia, com ocorrência de glauconita. Sua idade pode ser atribuída, por correlação ao Grupo Guatá, ao limite Permiano Médio/Permiano Superior (Kunguriano/Kazaniano) (IPT, 1.981).

3.2. Grupo Passa Dois

É representado unicamente pela Formação Corumbataí, em razão da não ocorrência da Formação Irati no flanco nordeste da bacia, por não deposição ou erosão.

Ocorre de Santa Rosa de Viterbo para leste, no vale do rio Pardo, onde a partir da confluência do ribeirão Quebra-Cuia para montante assenta-se discordantemente sobre o Grupo Tubarão. Sua espessura é estimada em 80 m em Santa Rosa de Viterbo, representada pela Formação Corumbataí (SOARES *et al.*, 1.973).

3.2.1. Formação Corumbataí

Ocorre no vale do rio Pardo a leste de Santa Rosa de Viterbo até o ribeirão Quebra-Cuia, de onde em direção a montante dá lugar à Formação Aquidauana (Figura 10).

Compreende, localmente, uma seqüência de arenitos muito finos de cores claras, com estratificação plano-paralela, interacamados com siltitos e folhelhos róseos e arroxeados, com intercalações de finas camadas de sílex, gradando para o topo a siltitos argilosos arroxeados maciços e localmente laminados (SOARES *et al.*, 1.973). Na porção inferior ocorre camada de calcário dolomítico, com estruturas estromatolíticas (SUGUIO *et al.*, 1.985). A espessura da unidade, em sua área aflorante, é estimada em cerca de 80 m.

O contato basal da Formação Corumbataí, na ausência da Formação Irati, faz-se com a Formação Tatuí de forma discordante, através de uma camada de até 3 m de espessura, composta por brecha de sílex, aflorante próximo ao vale do ribeirão Quebra-Cuia (SOARES & LANDIM, 1.973).

Atribui-se à formação idade Permiano Superior (Kazaniano), cuja origem teria ocorrido em condições litorâneas, de águas rasas, com exposições subaéreas periódicas, sob o domínio de correntes de marés, a julgar pelas estruturas sedimentares presentes, como gretas de contração, marcas onduladas e estromatólitos, entre as mais importantes. Nas pedreiras de calcário de Santa Rosa de Viterbo encontraram-se restos de mesossaurídeos na Formação Corumbataí (MASSOLI, 1.980; SUGUIO & SOUZA, 1.985), anteriormente atribuíveis exclusivamente à Formação Irati, que sugerem retrabalhamento pós-deposicional pelo fato de estarem bastante fragmentados.

Baseado nas altitudes do topo da Formação Corumbataí atingida em sondagens realizadas em Cássia dos Coqueiros (cerca de 70 km a sudeste de Ribeirão Preto) e em Santa Rosa de Viterbo, e em afloramento, pode-se estimar direção em torno de N 8° E, com mergulho de 1/2° NW para as camadas sedimentares.

Apenas uma sondagem constante no cadastro de poços perfurados em Ribeirão Preto atingiu a Formação Corumbataí, na altitude de 170 m, ainda assim num local afetado por 3 intrusões de soleiras de diabásios (SMA, 2.004).

3.3. Grupo São Bento

Compreende as formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, as duas primeiras reunindo sedimentos continentais predominantemente arenosos, e a outra representada por rochas ígneas

básicas extrusivas; a esta associam-se intrusões de diabásio. Sua idade é, tentativamente, atribuída do Triássico Médio ao Cretáceo Inferior (pré-Aptiano), quando se encerraram as atividades magmáticas básicas na região.

A espessura do Grupo São Bento na área não é determinada com precisão, pois não se tem registro de que as inúmeras sondagens aí realizadas, para captação de águas subterrâneas, tenham atingido seu substrato, no caso a Formação Corumbataí, com exceção de uma delas que, no entanto, teve início na Formação Botucatu. Baseado nos cadastros de poços disponíveis (IPT, 2.000), estima-se que a espessura da unidade tenha no mínimo 430 m em Ribeirão Preto, onde a Formação Serra Geral tem 168 m de espessura, no Parque Ribeirão Preto, zona sudoeste da cidade, enquanto as formações Pirambóia e Botucatu têm, juntas, pelo menos 262 m no Distrito de Bonfim Paulista, 5 km a sul de Ribeirão Preto.

Em termos de Bacia Sedimentar do Paraná, no Estado de São Paulo, o conjunto Botucatu/Pirambóia, que compõe o Sistema Aquífero Guarani (SAG), chega a atingir 400 m de espessura na região noroeste do Estado (Figura 12).

No entanto, sabe-se que no Rio Grande do Sul o SAG compreende outras unidades geológicas. MARTINEZ & SILVA (2.004) reconheceram o Grupo Rosário do Sul, formado por arenitos finos flúvio-eólicos, a Formação Santa Maria constituída principalmente por pelitos lacustres e secundariamente areias médias a grossas fluviais na base, e a Formação Botucatu composta por arenitos eólicos, as duas primeiras, de idade triássica, equivalendo à Formação Pirambóia de São Paulo e Paraná, e a outra, jurássica. Segundo esses autores, a seqüência sedimentar que compõe o SAG apresenta, no Rio Grande do Sul, 240 m de espessura em Santa Cruz do Sul, 120 km a noroeste de Porto Alegre, e 845 m em Alegrete, como pode ser visto nos mapas de isópacas apresentados por NORTHFLEET *et al.* (1.969) e ZALÁN *et al.* (1.987). FREITAS *et al.* (2.004) e CPRM (2.005) identificaram, no Rio Grande do Sul, as seguintes unidades sedimentares mesozóicas pré-basálticas, da base para o topo: Formação Pirambóia, Formação Sanga do Cabral, Formação Santa Maria (membros Passo das Tropas – aquífero – e Alemoa – aquítarde) e Formação Caturrita, pertencentes ao Grupo Rosário do Sul, e formações Guará e Botucatu, do Grupo São Bento, sendo que GIARDIN & FACCINI (2.004) consideraram a fácies eólica da porção inferior da Formação Sanga do Cabral (de origem fluvial) correspondente à Formação Pirambóia do norte

da Bacia do Paraná. Para SCHERER (2.000) a Formação Botucatu, nesse estado, compreende arenitos finos a médios, excepcionalmente grossos a conglomeráticos na base, com estratificações cruzadas acanaladas ou planares de grande a pequeno porte, depositados em um extenso mar de areia em um sistema eólico seco, a julgar pela ausência de depósitos de interdunas úmidas; apresenta espessura máxima de 100 m, sobrepondo-se às formações Guará, Caturrita ou Santa Maria (as duas últimas do Grupo Rosário do Sul) ou mesmo ao Paleozóico.

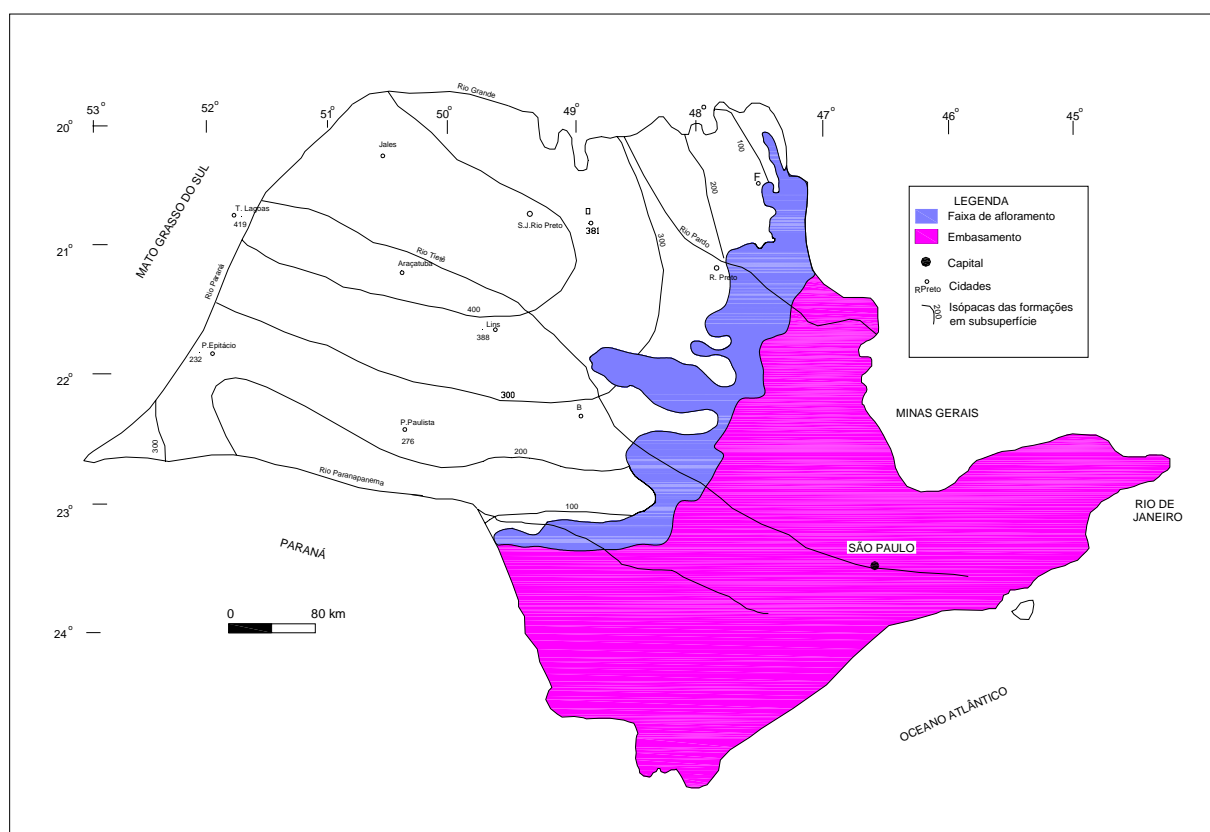


Figura 12 – Mapa de isópacas das formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo. Segundo NORTHFLEET *et al.* (1.969).

No âmbito internacional, a seqüência sedimentar que compõe o Aquífero Guarani típico atinge cerca de 800 m de espessura na Argentina, sendo composta pela Formação Buena Vista (Uruguai), de idade Permiano Superior e ambiente continental transicional (correlacionável à Formação Rio do Rasto ?), e pela Formação Tacuarembó (Argentina e Uruguai) ou Misiones (Paraguai), jurássica, de origem eólica com intercalações fluviais e lacustres (MONTAÑO *et al.*, 2.004).

3.3.1. Histórico sobre o conhecimento das formações Pirambóia e Botucatu

Deve-se a GONZAGA DE CAMPOS (1.889) a primeira menção aos sedimentitos Botucatu na serra homônima: “arenitos moles” vermelhos, que recobriam as camadas paleozóicas e em geral alternavam na sua parte superior com “augito-porfiritos” (basaltos).

PACHECO (1.927) introduziu a denominação Pirambóia para designar uma “formação quase que exclusivamente arenosa, cortada, recoberta e injetada por diques e derrames de diabásio e basalto, representando o membro inferior do Triássico, dos dois termos que os geólogos de São Paulo haviam dividido esse período geológico”. Portanto, já nessa época era reconhecida a subdivisão dos arenitos mesozóicos pré-basálticos, embora ela não fosse ilustrada nos mapas geológicos então existentes. Para WASHBURNE (1.930), essa seqüência arenosa representava-se, então, por dois elementos: uma parte inferior, fluvial (Pirambóia) e outra superior (Botucatu *sensu strictu*), de origem eólica. O Botucatu compreendia “arenito vermelho ou quase vermelho, de granulação grossa, e com forte estratificação falsa que acompanha as linhas curvas características de depósitos *eólicos*”. A porção inferior, denominada “Camadas de Pirambóia”, apresentava “acamamentos perfeitamente regulares, a estratificação falsa do arenito sendo tal como só poderia ser produzida pela ação da água”. O Pirambóia foi correlacionado por esse autor aos sedimentos ocorrentes em Santa Maria (atual Grupo Rosário do Sul), no Rio Grande do Sul, onde se encontraram ossos de dinossauros atribuídos ao Triássico.

Embora a carta geológica do Estado de São Paulo, de 1.947, fizesse referência aos arenitos Botucatu e Pirambóia como unidades distintas, eles foram representados, nesse mapa, como uma unidade indivisa, o mesmo acontecendo com os mapas geológicos do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000, de 1.963 e 1.974.

ALMEIDA & BARBOSA (1.953) admitiram que os arenitos pré-basálticos representavam um único ciclo sedimentar, refletindo condições climáticas que evoluíram de quente e úmida para desérticas. No entanto, distinguiram um membro inferior, o Arenito Pirambóia, de caráter essencialmente aquoso, e outro superior, o Arenito Botucatu, de origem eólica. Neste, localmente, ocorreriam fácies lacustres de sedimentos areno-argilosos, designada “Fácies Santana”, definida na localidade de Santana de Cima, onde a rodovia de São Carlos a Rio Claro atravessa a serra de Santana, no Município de Rio Claro. Encontram-se, ainda, na saída de Corumbataí para Itirapina; no vale do ribeirão Limoeiro (Águas de São Pedro); em Rifaina; Botucatu; Analândia; e Serrana. Esses autores encontraram fósseis de conchostráceos e ostracódeos atribuíveis a essa fácies de sedimentos finos.

Na descrição da Geologia do Estado de São Paulo, ALMEIDA (1.964) reconheceu três fácies na Formação Botucatu: 1) “fácies fluvial e de planícies de inundação”, compreendendo arenitos argilosos de cor rosada, granulação grossa a fina, com estratificação plano-paralela ou cruzada, podendo conter pequenos seixos rolados de quartzo ou calcedonito; associam-se-lhes, subsidiariamente, camadas de siltitos e folhelhos micáceos, podendo ocorrer, ainda que raramente, conglomerado de granulação fina; 2) “fácies lacustre” (Fácies Santana) que mostra seqüência de delgadas camadas, de poucos metros de espessura, compreendendo arenitos argilosos algo micáceos, de granulação fina a média, além de siltitos e folhelhos mais ou menos micáceos de cor vermelha (esverdeada em Rifaina), dispendo-se em lâminas e finas camadas com perfeita estratificação plano-paralela, onde se encontraram restos de conchostráceos e ostracódeos; 3) “fácies eólica dunar”, representando a maior parte do Arenito Botucatu em São Paulo, composta por arenitos de cor vermelha pálida, reduzida consistência e generalizada estratificação cruzada eólica; as frações arenosas, que geralmente equivalem a mais de 90% do peso da rocha, costumam ter mais que essa proporção de grãos de quartzo, em geral bem arredondados; os arenitos são bem selecionados, de granulação média a fina, só excepcionalmente possuindo frações maiores que 1 mm, e normalmente não tendo mais do que 10% de silte e argila. Para esse autor, o contato basal da Formação Botucatu, com a Formação Corumbataí, ocorreria através de um regolito fóssil, como observado nas encostas da serra da Fartura, com a presença de uma brecha composta por fragmentos angulosos de sílex, folhelhos e arenitos da Formação Corumbataí dispersos em matriz areno-argilosa vermelha. O Arenito Botucatu, segundo ALMEIDA (*op. cit.*), seria do Jurássico, em

razão de o vulcanismo basáltico do Grupo São Bento ter sido considerado desse período geológico por datações geocronológicas então realizadas.

O trabalho de NORTHFLEET *et al.* (1.969), baseado em sondagens realizadas para pesquisa de petróleo na Bacia do Paraná, considerou o Mesozóico pré-vulcanismo basáltico como estando representado na maior parte da mesma unicamente pela Formação Botucatu, com espessura máxima atingindo 500 m no Mato Grosso do Sul. No Rio Grande do Sul foi acrescentada a Formação Santa Maria, dando à seqüência mesozóica pós-paleozóica e pré-basáltica espessura de até 1.000 m no extremo sudoeste desse estado.

Para MENDES (1.971), a fácies aquosa na Formação Botucatu apresentar-se-ia dominante pelo menos nos 2/3 inferiores da sua espessura, tendo considerado sem fundamento a utilização dos termos Pirambóia e Santana.

A partir da década de 70, com o desenvolvimento de mapeamento geológico de semidetalhe na Bacia do Paraná, por parte da PETROBRAS, foi proposta por ANDRADE & SOARES (1.971) a retomada da utilização de Formação Pirambóia para o pacote fluvial da seção mesozóica sotoposta aos arenitos eólicos, os quais foram mantidos com a denominação de Formação Botucatu. Essas duas formações foram, então, mapeadas distintamente, conforme apresentado no mapa geológico, na escala 1:100.000, elaborado por esses autores.

Nas proximidades de Serrana, SOUZA *et al.* (1.971) encontraram conchostráceos, ostracódeos e restos de vegetais em argilitos avermelhados e esbranquiçados, os quais foram situados na Formação Botucatu. Seria, então, a fácies lacustrina dessa unidade geológica, ou “Fácies Santana” na concepção de ALMEIDA & BARBOSA (1.953).

SOARES (1.972) caracterizou sucintamente o pacote de arenitos fluviais da seção mesozóica sotopostos aos arenitos eólicos, concluindo pela conveniência de se usar a designação Formação Pirambóia para o mesmo, pelo fato dessa unidade geológica estar sempre associada a camadas sedimentares de origem subaquosa.

Em mapeamento realizado para a PETROBRAS nas regiões centro e nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo, VIEIRA (1.973) reconheceu dentro da Formação Botucatu, embora não subdividida nos mapas apresentados, duas unidades mapeáveis distintas: uma inferior, fluvial (Pirambóia), e outra superior, eólica, que seria a Formação Botucatu propriamente dita. A “Fácies” Pirambóia compreenderia “arenitos brancos, de granulação média, com estratificações cruzadas e

leitos argilosos esverdeados”. A “Fácies” Botucatu (eólica) estaria representada por “arenitos róseos, granulação média, bem eleccionados, grãos foscos, bem laminados nas grandes cunhas de sua notável estratificação cruzada e conglomerático na base”, na parte sul da área. O conjunto todo teria uma espessura variável em torno de 100 m, em alguns locais reduzindo-se para 50 m e em outros atingindo 150 m. O contato da “Fácies” Pirambóia com o Paleozóico seria concordante gradacional no sul e discordante ao norte da área mapeada; já o contato Pirambóia/Botucatu foi interpretado como sendo discordante, o mesmo ocorrendo entre o Botucatu e o Serra Geral. Tanto a “Fácies” Pirambóia quanto a Formação Botucatu propriamente dita foram consideradas, por esse autor, de idade triássica.

Para SAMPAIO & NORTHFLEET (1.973), a deposição mesozóica da Bacia do Paraná iniciou-se com uma sedimentação de natureza lacustre no sul – Formação Santa Maria – fluvial do centro para norte – Formação Pirambóia – e, mais generalizadamente, os sedimentos eólicos da Formação Botucatu.

SOARES (1.973) realizou uma análise estratigráfica regional dos arenitos Botucatu e Pirambóia, que constituem a seqüência final da sedimentação gondwânica, tendo executado o levantamento das seções e dos afloramentos mais representativos da seqüência, além da análise das estruturas sedimentares dos arenitos, da textura e da mineralogia de uma centena de amostras coletadas, e do exame de perfis de poços perfurados pela PETROBRAS no Estado de São Paulo. Esse autor definiu a Formação Pirambóia como sendo uma unidade mapeável independente, caracterizada por arenitos argilosos, com intercalações de siltitos e folhelhos, de origem fluvial, constituindo a parte inferior da seqüência mesozóica.

O trabalho de detalhe realizado na região nordeste do Estado de São Paulo por SOARES *et al.* (1.973) introduziu definitivamente nos mapas geológicos os termos Pirambóia e Botucatu como formações geológicas distintas e mapeáveis. Esses autores consideraram a Formação Pirambóia na região investigada como sendo constituída predominantemente por arenitos de granulação muito fina a média, raramente grossa e muito grossa, com uma matriz silto-argilosa em média de até 20%. A porcentagem de minerais pesados seria pequena, os grãos de quartzo subarredondados a angulosos, a esfericidade regular a boa e má seleção. Os arenitos apresentam acamamento plano-paralelo e estratificação cruzada planar de porte pequeno a médio, tangencial na base, mais raramente estratificação cruzada acanalada. As cores dos arenitos são amarelo-esbranquiçada e avermelhada.

Os sedimentos dessa unidade foram considerados como sendo de origem fluvial de rios meandrantés, onde ocorreriam duas fácies: a de arenitos com estratificação cruzada, fácies de canal; a de arenitos muito argilosos e argilitos e siltitos com estratificação plano-paralela, fácies de transbordamento. Já a Formação Botucatu consideraram-na uma unidade genética de ambiente desértico, compreendendo arenitos de granulação fina a média, subsidiariamente frações de grãos muito finos e grossos, teor em lama (silte + argila) inferior a 10% (geralmente inferior a 5%), os grãos tendo bom arredondamento e boa esfericidade nas frações areias média e fina. A estratificação cruzada planar é predominantemente de grande porte e tangencial na base; localmente ocorreriam, na sua porção basal, arenitos conglomeráticos.

No estudo de águas subterrâneas realizado na Região Administrativa 6, de Ribeirão Preto, o DAEE (1.974) apresentou coluna estratigráfica baseada no trabalho de SOARES (1.973), considerando os arenitos pré-basálticos subdivididos em duas unidades distintas: a inferior, denominada Formação Pirambóia, de origem aquosa, e a superior, Formação Botucatu, de origem eólica. A Formação Pirambóia na área estudada afloraria em uma área de 4.500 km², tendo espessura estimada em torno de 100 m nos arredores de Serrana e Serra Azul, diminuindo em direção a Franca, onde não ultrapassaria 60 m; suas características estruturais e texturais são as mesmas apresentadas por SOARES *et al.* (1.973). A Formação Botucatu, cuja descrição foi baseada em SOARES *et al.* (*op. cit.*), afloraria nessa região em uma área de aproximadamente 5.000 km², apresentando em Ribeirão Preto uma espessura de 90 a 100 m. Segundo esse estudo, os diâmetros médios e as medianas dos arenitos Botucatu revelaram-se maiores que os dos arenitos Pirambóia, de maneira que os sedimentitos da Formação Botucatu situar-se-iam na fração areia fina, próximo ao limite com areia média, enquanto que os do Pirambóia encontrar-se-iam na fração areia muito fina, próximo ao limite com areia fina; os arenitos Pirambóia teriam teor em finos (silte + argila) maior, enquanto as curvas granulométricas evidenciariam um selecionamento muito bom nos arenitos Botucatu e moderado nos arenitos Pirambóia.

Estudando a seqüência mesozóica pré-vulcânica na região centro-leste do Estado de São Paulo, SOARES (1.975) enumerou algumas de suas particularidades: 1) ocorrência, sobre uma discordância esculpida no Permiano, de um pacote de arenitos de granulação variável, predominantemente muito fina a média, muito a pouco silto-argilosos, exibindo estratificação cruzada planar e acanalada e plano-paralela, com variação cíclica de litologia na vertical, intercalando

camadas de lamitos arenosos e apresentando, em superfície, cores variáveis, em tons claros de amarelo, roxo, vermelho e verde; 2) sobreposição a esse pacote, de arenitos de granulação fina a muito fina dominante, com estratificação cruzada planar tangencial, de médio a grande porte, friáveis; 3) o pacote inferior mantém espessura duas ou mais vezes maior que o pacote superior; e 4) o contato entre os dois pacotes é uma superfície de brusca mudança textural, estrutural e de cor, em algumas áreas, enquanto em que em outros locais é uma zona de poucos metros com modificação gradual dessas características. Assim sendo, passou a usar o termo Formação Pirambóia, para o pacote inferior, e Formação Botucatu, para o superior. A idade do Pirambóia foi atribuída ao Triássico Médio (por sua contemporaneidade com a “Formação” Rosário do Sul, cuja porção média a superior seria do Triássico Superior) a Jurássico Inferior, já que após esse período, até o início do vulcanismo basáltico, no limite Jurássico-Cretáceo, ter-se-ia depositado a Formação Botucatu.

Com o mesmo enfoque abordado por SOARES (1.972, 1.973 e 1.975) quanto às características texturais e estruturais dos arenitos mesozóicos pré-vulcânicos, foi apresentado por CAVALCANTE *et al.* (1.979) mapeamento geológico na escala 1:250.000 das quadrículas de Ribeirão Preto e Campinas, dentre outras, onde as formações Botucatu e Pirambóia aparecem cartografadas separadamente. Também as interpretações paleoambientais foram as mesmas apresentadas pelos autores antecedentes, com a Formação Pirambóia sendo considerada de origem continental fluvial, com depósitos de rios meandantes e anastomosados, com pequenas lagoas associadas, e a Formação Botucatu representando deposição em ambiente desértico, eólico, ocorrendo, localmente, em sua parte basal, depósitos de origem torrencial e, mais raramente, depósitos lacustres no topo. À unidade Pirambóia foi atribuída idade triássico-jurássica e à Botucatu, idade jurássico-cretácea. O mapa geológico do Estado de São Paulo apresentado pelo IPT (1.981) também não apresentou novidades quanto à cartografia das formações Botucatu e Pirambóia, expostas distintamente no mapa em questão, bem como com relação às suas características litológicas, estruturas sedimentares, idades, aspectos texturais e paleoambientes deposicionais, mantendo, assim, as mesmas definições até então vigentes.

Estudando as formações Pirambóia e Botucatu na região da serra do Cadeado, no Paraná, RICCOMINI *et al.* (1.984) afirmaram ser a primeira constituída essencialmente por sedimentos de origem fluvial, apresentando contato concordante com a Formação Botucatu, de origem eólica.

Esses autores citaram, ainda, a ocorrência de níveis conglomeráticos com certa frequência na parte superior da Formação Pirambóia, não sendo possível afirmar a posição deles na base da Formação Botucatu. Ainda nessa região, segundo esses autores a Formação Pirambóia caracteriza-se por apresentar, em sua porção basal, sedimentos e estruturas exclusivamente de origem fluvial, enquanto que na parte superior, onde ocorrem os níveis conglomeráticos, são comuns estruturas e grãos com características morfométricas que evidenciam origem eólica para estes sedimentos. Dessa maneira, foi lançada dúvida quanto à gênese essencialmente fluvial para a Formação Pirambóia como era admitido até então, além de tornar incerta a relação de contato entre as unidades Botucatu e Pirambóia: se concordante ou discordante, neste caso devido à presença de conglomerado basal na Formação Botucatu sobreposta.

COTTAS *et al.* (1.986), estudando as formações Pirambóia e Botucatu quanto aos aspectos petrográfico, estratigráfico e geomorfológico em duas regiões do Estado de São Paulo - Altinópolis e Itirapina, e uma no Paraná, entre Ponta Grossa e Guarapuava, concluíram pela ocorrência da Formação Pirambóia situada abaixo de uma quebra negativa de relevo, observada em fotos aéreas na escala 1:25.000, e acima dessa feição morfológica uma seqüência compreendendo a Formação Botucatu, subdividida em duas fácies: a fluvial, na base, e a eólica, no topo, podendo estar ausente uma delas. A diferença entre os sedimentos eólicos e fluviais foi constatada pelo fosqueamento mais intenso dos grãos eólicos em relação aos grãos de origem fluvial, mais brilhantes; além disso, os sedimentos eólicos mostraram graus de arredondamento e esfericidade maiores que os fluviais, e fração siltico-argilosa sempre menor (no máximo 10% do total da amostra). O contato basal da Formação Botucatu foi considerado discordante, e nas três regiões estudadas verificou-se a ocorrência de conglomerado nesse contato.

No final da década de 80, ZALÁN *et al.* (1.987) ao estudarem a evolução tectono-sedimentar da Bacia do Paraná, consideraram a Formação Pirambóia, juntamente com o Grupo Rosário do Sul, como pertencendo à seqüência triássica, compreendendo sedimentos originados por uma variada alternância de ambientes fluviais, lacustres e eólicos, enquanto que a seqüência jurocretácea compreenderia “um gigantesco mar de dunas arenosas (Formação Botucatu)”, recoberto por derrames de lavas basálticas representados pela Formação Serra Geral.

Também MILANI *et al.* (1.994), num trabalho de reavaliação da cronolitoestratigrafia da Bacia do Paraná, atribuíram ambientes flúvio-eólicos, associados a lagos rasos, para as formações

Tabela 3 – Evolução da classificação, nomenclatura e gênese dos arenitos mesozóicos infra-basálticos da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo.

| | | | | | | |
|--|--|---|--|---|---|--|
| GONZAGA DE CAMPOS (1.889) | PACHECO (1.927) | WASHBUR- NE (1.930) | ALMEIDA & BARBOSA (1.953) | ALMEIDA (1.964) | NORTH-FLEET <i>et al.</i> (1.969) | ANDRADE & SOARES (1.971) |
| GRES DE BOTUCATU | FORMAÇÃO BOTUCATU FORMAÇÃO PIRAMBÓIA | ARENITO BOTUCATU (eólico) CAMADAS DE PIRAMBÓIA (fluvial) | ARENITO BOTUCATU (eólico, lacus- tre) ARENITO PIRAMBÓIA (aquoso) | FORMAÇÃO BOTUCATU fácies eólica; lacustre – San- tana; fluvial – Pirambóia | FORMAÇÃO BOTUCATU | FORMAÇÃO BOTUCATU (eólica) FORMAÇÃO PIRAMBÓIA (fluvial) |
| SOARES <i>et al.</i> (1.973) | SOARES (1.975) | RICCOMINI <i>et al.</i> (1.984) | COTTAS <i>et al.</i> (1.986) | ZALÁN <i>et al.</i> (1.987) | MILANI <i>et al.</i> (1.994) | CAETANO - CHANG (1.997) |
| FORMAÇÃO BOTUCATU (eólica) FORMAÇÃO PIRAMBÓIA (fluvial) | FORMAÇÃO BOTUCATU (eólica) FORMAÇÃO PIRAMBÓIA (fluvial) | FORMAÇÃO BOTUCATU (eólica) FORMAÇÃO PIRAMBÓIA (fluvial, eólica) | FORMAÇÃO BOTUCATU (eólica, fluvial) FORMAÇÃO PIRAMBÓIA (fluvial) | FORMAÇÃO BOTUCATU (eólica) FORMAÇÃO PIRAMBÓIA (fluvial, lacus- tre, eólica) | FORMAÇÃO BOTUCATU (eólica) FORMAÇÃO PIRAMBÓIA (fluvial, lacus- tre, eólica) | FORMAÇÃO BOTUCATU (eólica) FORMAÇÃO PIRAMBÓIA (eólica) |

Pirambóia e Rosário do Sul, considerando-as seqüência neotriássica, recoberta por extenso campo de dunas no Jurássico, constituindo a Formação Botucatu seguida, no Eocretáceo, pelo extravasamento de lavas basálticas da Formação Serra Geral, estas duas unidades compreendendo a seqüência jurássico-cretácea.

Finalmente, CAETANO-CHANG (1.997), ao estudar a região centro-leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo, atribuiu origem essencialmente eólica aos depósitos da Formação Pirambóia, com base na interpretação litofaciológica da mesma, principalmente em seções de superfície.

Resumo da evolução do conhecimento da nomenclatura estratigráfica e ambientes deposicionais das formações Pirambóia e Botucatu é mostrado na Tabela 3.

3.3.1.1. Análise petrográfica

Estudos realizados por WU (1.981), na região, mostram que os principais minerais pesados da Formação Pirambóia são: zircão, turmalina, rutilo, granada, estauroлита, moscovita, cianita, epidoto, biotita, sillimanita, magnetita, ilmenita, hematita e limonita. Nas proximidades de Cajuru, amostra de arenito coletada exibe grande predominância de opacos (magnetita e ilmenita), compreendendo 71% dos minerais pesados, vindo a seguir o zircão, com 11%, estes apresentando-se subarredondados a bem arredondados. Dentre os minerais leves predominam amplamente os grãos de quartzo (até 88%), regular a bem selecionados, subarredondados a arredondados, ocorrendo, secundariamente, feldspato, às vezes em quantidade tal que a rocha pode ser considerada um subarcósio.

Ainda segundo WU (*op. cit*), a Formação Botucatu compreende os mesmos minerais pesados que os encontrados na Formação Pirambóia. Nas proximidades de Serrana, predominam os opacos (magnetita e ilmenita), compreendendo até 84% dos minerais pesados, com ocorrência subordinada de zircão (4%), além de leucoxênio (3%) e limonita (3%). Dentre os minerais leves, os grãos de quartzo predominam amplamente (até 99%), os quais apresentam-se regular a bem selecionados, arredondados a subarredondados, de maneira que a rocha pode ser denominada de quartzo-arenito.

Com base nos resultados acima obtidos, verifica-se que os arenitos das formações Pirambóia e Botucatu apresentam maturidade mineralógica bastante elevada, podendo ser considerados maduros a supermaturos. Quanto à maturidade textural, os arenitos da Formação Pirambóia, denominados subarcósios, têm granulometria geralmente muito fina, grãos subarredondados a arredondados, seleção regular, com pouca matriz, ferruginosos, sendo considerados texturalmente submaturos a maduros; já os arenitos da Formação Botucatu, que classificam-se de subarcósios a quartzo-arenitos, são finos a médios, sem argila, ferruginosos, com grãos de quartzo arredondados a bem arredondados, seleção boa a muito boa, de maneira que texturalmente são considerados maduros a submaturos (WU, 1.981). A alta frequência de hematita e ilmenita como minerais pesados nos arenitos, principalmente da Formação Botucatu, deve-se ao vulcanismo básico (intrusivo e extrusivo) que afetou a região simultaneamente, ainda que em parte, à sedimentação.

Em termos de procedência, os arenitos das formações Pirambóia e Botucatu, na região situados na borda leste da Bacia do Paraná, devem ter sido derivados, predominantemente, de rochas sedimentares pretéritas, pelo elevado grau de maturidade textural e mineralógica dos mesmos, sendo que os altos graus de arredondamento e esfericidade dos componentes *psamíticos* denotam que os mesmos são produtos de abrasão prolongada, tratando-se, portanto, de materiais policíclicos.

Os arenitos das formações Pirambóia e Botucatu, por terem sido originados em desertos de clima árido a semi-árido, não deveriam apresentar material detrítico fino entre os grãos, pois as partículas menores que 0,062 mm (areia muito fina) são levadas, pelo vento, para fora do contexto desértico. No entanto, principalmente os arenitos da Formação Pirambóia exibem argila intersticial, formando películas alinhadas paralelamente à superfície dos grãos, de origem diagenética (CAETANO-CHANG & WU, 2.003). O material argiloso é introduzido nos interstícios dos arenitos pelas águas superficiais carregadas de finos, por ocasião de enchentes temporárias em ambientes áridos a semi-áridos. Ao se infiltrarem nos arenitos porosos e permeáveis, em direção ao lençol freático, as águas perdem a carga fina em suspensão que fica retida na superfície dos grãos (CAETANO-CHANG & WU, *op. cit.*). A infiltração das argilas nos interstícios dos arenitos provoca uma modificação em suas características texturais, com diminuição de sua permo-porosidade, e conseqüentemente afetando a sua potencialidade hidrogeológica.

A adição de argila diagenética em sedimentos de origem eólica é mais comum em fácies de interdunas úmidas e subaquáticas (até 5% de argila), sendo menos freqüente em fácies de dunas, interdunas secas e lençóis de areia (até 2%) (CAETANO-CHANG & WU, 2.003).

Uma vez que as argilas de um arenito eólico são oriundas de enchentes fluviais temporárias verificadas no sistema deposicional desértico, conclui-se que sua porcentagem na rocha constitui elemento diagnóstico das condições climáticas reinantes durante ou logo após a sedimentação. Assim, baixo conteúdo em argila na rocha indica condições de extrema aridez, enquanto teores mais elevados sugerem presença de água, na forma de enxurradas, ainda que episódicas, necessária para o transporte em suspensão de finos, os quais irão aderir à rocha na fase diagenética posterior à sedimentação. Portanto, como os arenitos da Formação Botucatu têm porcentagens de argila mais baixas que os arenitos da Formação Pirambóia, conforme é mostrado no subitem 3.3.1.2. – Análise sedimentológica, conclui-se que aquela unidade esteve submetida a clima mais árido do que esta, embora ambas tenham sido depositadas em um sistema essencialmente desértico.

3.3.1.2. Análise sedimentológica

Estudos sedimentológicos realizados por COTTAS *et al.* (1.986), em arenitos coletados a sul de Altinópolis (SP), mostram distinção entre sedimentos eólicos e subaquosos, tendo em vista sua distribuição granulométrica e características morfométricas.

Segundo esses autores, os arenitos da Formação Botucatu, de origem eólica, apresentam distribuição granulométrica com porcentagens de areia variando entre 92% e 96%, portanto com 4% a 8% de finos (silte + argila); o seu diâmetro médio (0,173 mm), obtido do percentual equivalente a 50% em peso da curva de freqüência acumulativa, situa-se no intervalo correspondente à fração areia fina (Figura 13).

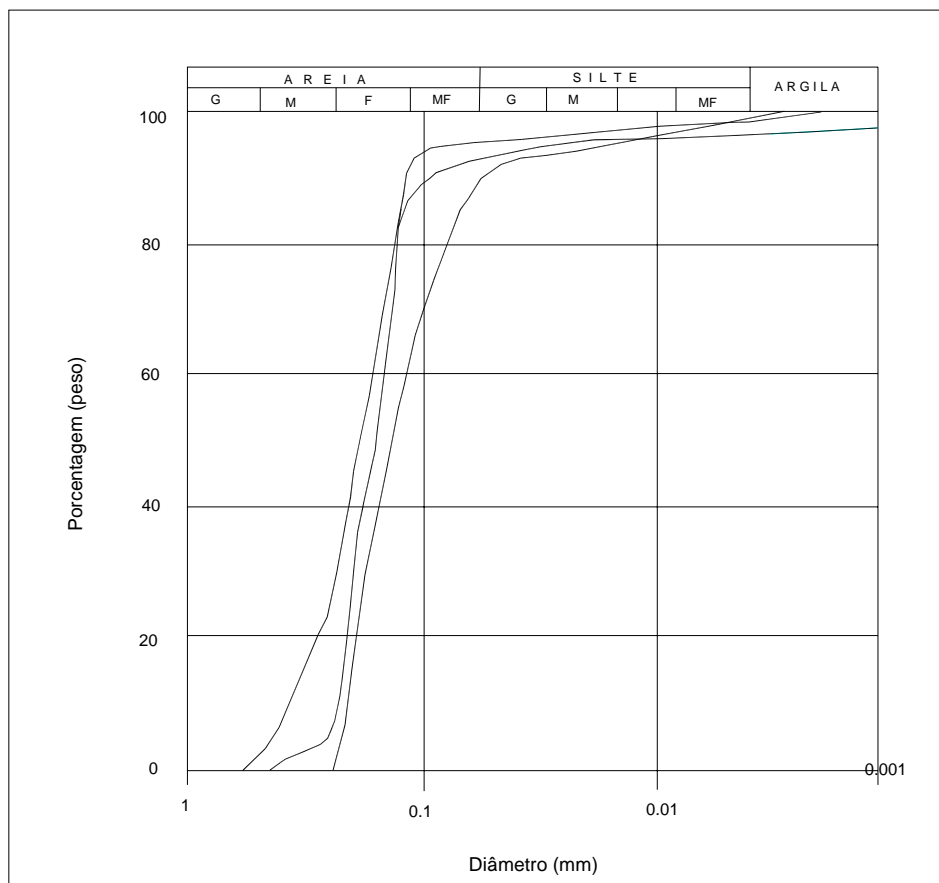


Figura 13 – Curvas de frequência acumulativa de arenitos da Formação Botucatu da região de Altinópolis.

Já os depósitos subaquosos da Formação Botucatu apresentam de 86% a 88% de areia, ou seja, com 12% a 14% de finos, com diâmetro médio (0,183 mm) também equivalente à areia fina. Os arenitos da Formação Pirambóia diferem dos da Formação Botucatu por terem porcentagens de areia mais baixas, entre 74% e 86%, tendo, como consequência, teor em finos variando entre 14% e 26%; o seu diâmetro médio (0,108 mm) situa-se no intervalo correspondente à fração areia muito fina (Figura 14), sendo, portanto, ligeiramente menor que o da Formação Botucatu.

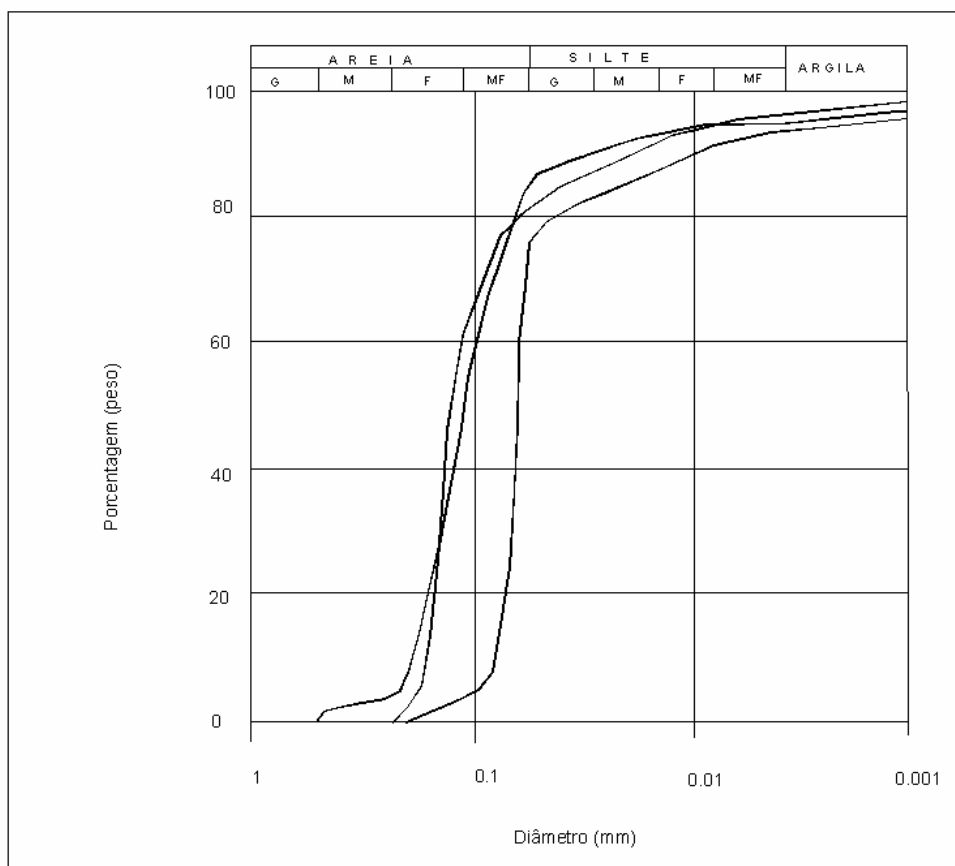


Figura 14 – Curvas de frequência acumulativa de arenitos da Formação Pirambóia da região de Altinópolis.

A visualização das curvas de frequência acumulativa referentes aos arenitos da Formação Botucatu (Figura 13) evidencia a quase horizontalidade das mesmas no intervalo correspondente à fração silte, indicando a pequena ocorrência dessa classe granulométrica nessa unidade geológica, estando a fração fina representada essencialmente por argila. Por outro lado, os arenitos da Formação Pirambóia são mais siltosos, o que pode ser visto nas curvas de distribuição granulométrica (Figura 14) por sua inclinação mais acentuada com relação às curvas referentes aos sedimentos da Formação Botucatu.

O teor em finos em uma rocha sedimentar de certa forma está relacionado com a sua gênese. No meio fluvial, por exemplo, as correntes de água transportam desde argilas até seixos, seja por suspensão, saltação ou tração. Já o transporte no meio eólico, que ocorre através desses mesmos processos sedimentares, é mais seletivo, de maneira que o material depositado tem diâmetro máximo limitado à capacidade de transporte do vento. Esta corresponde, em geral, ao intervalo compreendido entre 0,15 mm e 0,30 mm, ou seja entre areia fina e areia média e nunca menos de 0,08 mm, pois o material mais fino é movido como pó, dispersando-se amplamente para fora do ambiente desértico, constituindo os depósitos de *loess* (DUNBAR & RODGERS, 1.959).

Segundo COTTAS *et al.* (1.986), os grãos de quartzo dos arenitos da Formação Botucatu são na maioria foscos, ao passo que os da Formação Pirambóia são essencialmente brilhantes. A maior parte dos grãos de quartzo dos arenitos Botucatu são arredondados a bem arredondados, enquanto na Formação Pirambóia a maior parte dos clásticos são subarredondados a arredondados. Em termos de esfericidade os valores são semelhantes para os grãos de quartzo de ambas as formações.

O exame das curvas de frequência acumulativa, elaboradas a partir de ensaios granulométricos apresentados por COTTAS *et al.* (1.986), mostrados nas Figuras 13 e 14, aponta a melhor seleção dos arenitos da Formação Botucatu, uma vez que, considerando-se o percentil correspondente a 90% em peso, nesta unidade esse valor situa-se dentro da fração areia fina, enquanto na Formação Pirambóia esse percentil localiza-se na fração silte (fino a médio). Enquanto os histogramas de distribuição granulométrica da Formação Pirambóia mostram que os arenitos que a compõem podem ser tanto unimodais quanto bimodais, com as modas dominantes correspondendo ao intervalo das frações areia fina a muito fina (Figura 15), na Formação Botucatu predomina a unimodalidade dos arenitos que a constituem, com a moda dominante correspondendo ao intervalo da fração areia fina (Figura 16). Embora raras, ocorrem, também, pequenas porcentagens de frações areia média e grossa na Formação Botucatu, as quais são mais comumente encontradas em lâminas de fluxos de grãos concentradas nas caudas dos *foresets* de dunas; em áreas de interdunas secas, pela migração de ondulas eólicas ou queda de grãos; ou em ondulas de alto índice, formadas em lençóis de areia (CAETANO-CHANG, 1.997). Frações de areia mais grossa podem ser depositadas, também, no topo (*topset*) das dunas, porém essa porção dos depósitos dunares nunca se preserva por ser facilmente erodível, não sendo, dessa maneira, observada no registro geológico.

Para o cálculo do grau de seleção foi utilizada a expressão $S_o = \sqrt{Q1/Q3}$, sendo que Q1 e Q3 são quartéis obtidos da curva de frequência acumulativa correspondentes a 25% e 75% em peso, respectivamente (ZARAUZA *et al.*, 1.977), de maneira que, para valores de $S_o = 1$ a 2, o sedimento é considerado bem selecionado; entre 2 e 4, moderadamente selecionado; e > 4 , mal selecionado (MENDES, 1.984). Os valores encontrados situam-se entre 1,09 e 1,49, o que significa que os arenitos tanto da Formação Pirambóia quanto da Formação Botucatu são igualmente bem selecionados.

Já a assimetria mostra a distribuição das frequências do tamanho das partículas em relação à tendência central (mediana). Quando a porção mais deprimida (cauda) da curva situa-se do lado dos finos, fala-se em assimetria positiva; caso contrário, a assimetria é dita negativa (MENDES, 1.984). O exame dos histogramas de distribuição granulométrica de arenitos das formações Pirambóia e Botucatu da região (Figuras 15 e 16) indica que os sedimentos de ambas as unidades têm assimetria positiva, compatível com o ambiente eólico de deposição; uma assimetria positiva indica que a energia cinética média oscilou para valores mais baixos que o normal. Ao contrário, as areias de praia, em geral, mostram curva de distribuição granulométrica com tendência à assimetria negativa, ou simétrica. Na região de Santa Rita do Passa Quatro, AZEVEDO *et al.* (1.981) também encontraram valores equivalentes à assimetria positiva para os arenitos tanto da Formação Pirambóia quanto da Formação Botucatu.

As medidas de curtose dão a agudeza da curva de frequência como relação da proximidade entre os valores centrais, geralmente no 50% central, e os valores externos, geralmente no 90% (ZARAUZA *et al.*, 1.977). Os histogramas das Figuras 15 e 16 mostram que as curvas são angulosas (leptocúrticas), o que indica tratarem-se de sedimentos bem selecionados na parte central da distribuição, compatível com o ambiente deposicional eólico (AZEVEDO *et al.*, *op.cit.*); no caso de curvas achatadas (platicúrticas), teríamos sedimentos mal selecionados na parte central da distribuição, sugerindo ambiente deposicional controlado por agente de transporte menos seletivo que o vento, como a água, por exemplo.

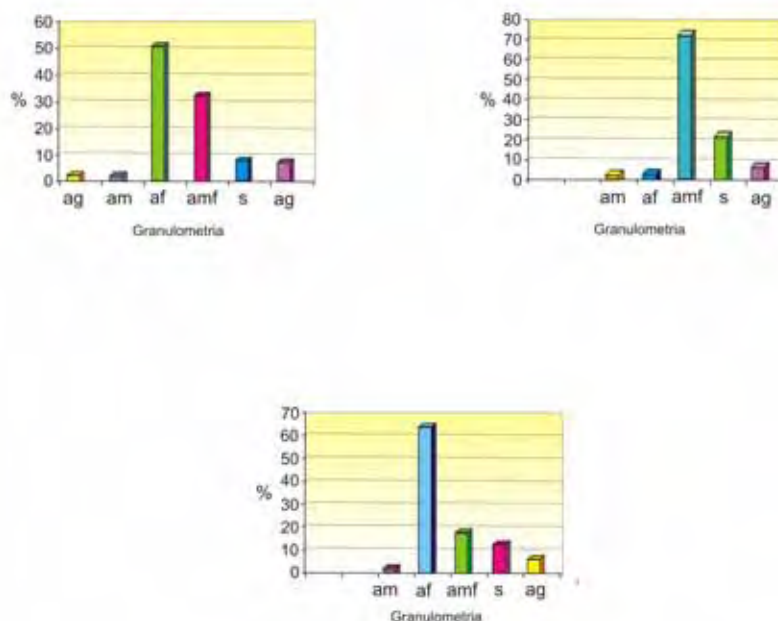


Figura 15 – Histogramas de distribuição granulométrica de arenitos da Formação Pirambóia da região de Altinópolis. Baseado em COTTAS *et al.*(1.986).

Resultados semelhantes foram encontrados por AZEVEDO *et al.* (1.981) para arenitos coletados na região de Santa Rita do Passa Quatro – São Simão – Santa Rosa de Viterbo – Tambaú, onde a Formação Pirambóia apresentou de 62% a 84% de areia (16% a 38% de finos), com diâmetro médio (0,087 mm) correspondente à fração areia muito fina; por outro lado, a Formação Botucatu exibiu de 81% a 94% de areia (6% a 19% de finos), com diâmetro médio (0,164 mm) equivalente à fração areia fina. Nesse trabalho foram calculados, ainda, os graus de seleção (S_o) dos sedimentos analisados, sendo que os arenitos da Formação Botucatu mostraram $S_o = 1,22$, enquanto que os da Formação Pirambóia apresentaram $S_o = 1,98$, evidenciando que aqueles são bem melhor selecionados do que estes, sendo que os sedimentos de ambas as unidades são, contudo, considerados bem selecionados.

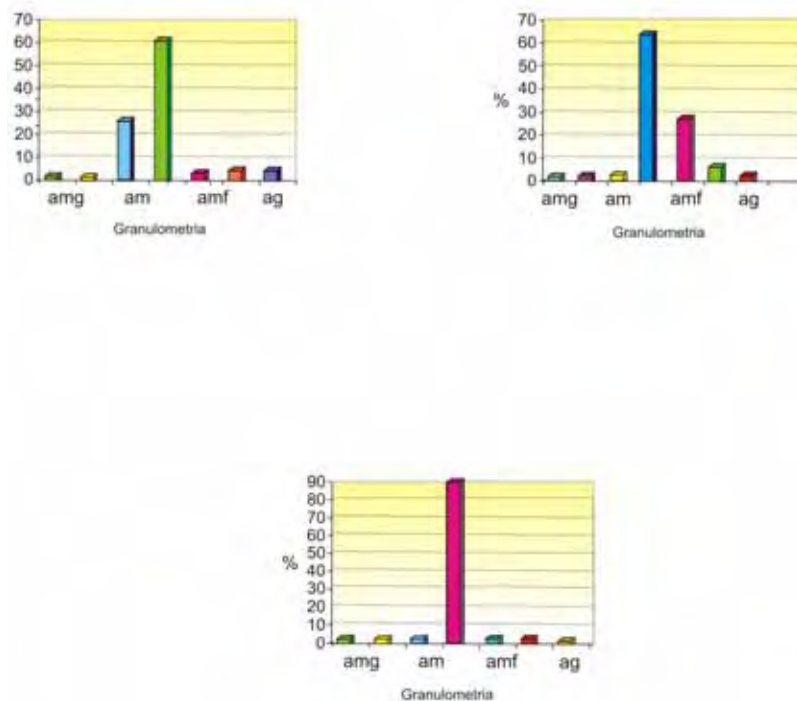


Figura 16 – Histogramas de distribuição granulométrica de arenitos da Formação Botucatu da região de Altinópolis. Baseado em COTTAS *et al.*(1.986).

3.3.2. Formação Pirambóia

Ocorre principalmente nos vales dos rios Pardo e Araraquara; ribeirões Tamanduá, Tamanduazinho, da Prata ou do Adão, do Cervo; e córregos Itambé, dos Fradinhos, entre outros (Figura 10).

Em trabalhos de mapeamento realizados principalmente na década de 70 (ANDRADE & SOARES, 1.971; SOARES *et al.*, 1.973; CAVALCANTE *et al.*, 1.979) ou início dos anos 80 (IPT, 1.981), levou-se em conta para a caracterização da Formação Pirambóia principalmente seu aspecto textural, considerando-se os arenitos que a compõem como sendo de granulação muito fina a média, pobremente selecionados, grãos de quartzo brilhantes subarredondados a angulosos, teor

em finos de até 20% (AZEVEDO *et al.*, 1.981), com raras intercalações de camadas centimétricas de siltitos e argilitos marrons, maciços ou laminados. Intervalo de arenitos conglomeráticos a conglomerados é admitido no topo da unidade (CAETANO-CHANG, 1.997) ao contrário de outros autores, como SOARES (1.975), CAVALCANTE *et al.* (1.979), COTTAS *et al.* (1.986), SCHERER (2.000) que o situaram na base da Formação Botucatu.

As estruturas sedimentares descritas são estratificações cruzadas planares de porte pequeno a médio, tangenciais na base, mais raramente acanaladas, ou acamamento plano-paralelo. Porém, essas estruturas nunca tiveram descrição mais detalhada, ao contrário do que apresentaram LANZARINI *et al.* (1.986), MORAES & RAJA GABAGLIA (1.986), CAETANO-CHANG *et al.* (1.991), CAETANO-CHANG (1.997), entre outros, cujos estudos pormenorizados dos padrões de estratificação, além de outros critérios, como litologia, textura, morfometria e composição mineralógica, permitiram a aplicação de metodologia que possibilitasse o reconhecimento de ambientes eólicos antigos. Por isso, a Formação Pirambóia, que sempre foi considerada de ambiente fluvial, atualmente tem sido considerada, em grande parte, como sendo de origem eólica (CAETANO-CHANG, 1.997; IPT, 2.000). Para MATOS & COIMBRA (1.997), nas porções nordeste e central do Estado de São Paulo os ventos que originaram a sedimentação da Formação Pirambóia sopravam, inicialmente, nos sentidos de norte para sul e de noroeste para sudeste.

O contato basal da Formação Pirambóia, com a Formação Corumbataí, é tido como discordante (SOARES *et al.*, 1.973; CAETANO-CHANG, 1.997; entre outros). No entanto, a existência, na região, de extenso e espesso *sill* de diabásio na parte basal da Formação Pirambóia inviabiliza a observação desse contato, mascarado pelo colúvio proveniente da rocha básica e disposto nas encostas das serras da Borda da Mata e Cubatão, a sul de Cássia dos Coqueiros, e São Pedro, a sudeste de Santa Rosa de Viterbo, originado pela intrusão. Há autores, porém, que consideram a passagem do Paleozóico para o Mesozóico como sendo transicional (IPT, 2.000). Outros, como MATOS & COIMBRA (1.997), interpretaram esse contato como sendo abrupto e plano entre a litofácies Porangaba e os arenitos da Formação Pirambóia. A litofácies Porangaba, segundo MATOS & COIMBRA (*op. cit.*), “é constituída por estratos tabulares decimétricos de brechas compostos por intraclastos imersos em matriz pelítica, por vezes intercalados com camadas pelíticas ou calcilitíficas, gradando rumo ao topo para um arenito conglomerático e

finalmente para um arenito pelítico maciço”; a espessura dessa litofácies variaria de 0,50 m a 4,00 m.

No local denominado Paredão, cerca de 8 km a NE de Serrana aflora, na margem do rio Pardo, à cota 510 m, arenito com estratificação cruzada de grande porte (SINELLI, 2.003), atribuído neste trabalho à Formação Pirambóia. Cerca de 13 km a NE desse afloramento, no topo do morro do Seladinho (cota 850 m), COTTAS *et al.* (1.986) coletaram amostra de arenito por eles considerado da Formação Botucatu. Desse modo, uma seção geológica de superfície entre esses dois pontos, aproximadamente na direção das camadas sedimentares apresentaria, na área do morro do Seladinho, uma espessura preservada de pelo menos 340 m da seqüência arenosa mesozóica infrabasáltica, sendo cerca de 120 m da Formação Botucatu e pelo menos 220 m da Formação Pirambóia. Assim, o contato Pirambóia / Botucatu, marcado por uma litofácies conglomerática pertencente ao topo do Pirambóia, estaria em torno da cota 720 m, ou seja na encosta do morro do Seladinho, de maneira a estar recoberto por depósitos coluvionares, impossibilitando a sua visualização.

Na ausência de fósseis com valor cronológico, a idade da Formação Pirambóia tem sido colocada entre o Triássico Médio, pela equivalência, em parte, ao Grupo Rosário do Sul, do Rio Grande do Sul, e o Jurássico Inferior a Médio, porque os derrames basálticos são do Cretáceo Inferior e, antes deles, há que se considerar o tempo de deposição da Formação Botucatu; no entanto, GIARDIN & FACCINI (2.004) correlacionaram a Formação Pirambóia à porção inferior do Grupo Rosário do Sul, denominada Formação Sanga do Cabral, atribuindo-lhe idade permotriássica, enquanto que as formações Santa Maria e Caturrita seriam meso a neotriássicas. A ocorrência de conchostráceos, ostracódeos e restos vegetais em argilitos avermelhados, nos arredores de Serrana (SP), é discutível quanto à sua posição estratigráfica, sendo que para alguns autores ela situa-se na Formação Pirambóia, enquanto para outros está na Formação Botucatu (MEZZALIRA, 1.989); já as plantas fósseis (*Lycopodiopsis derbyi* Renault) encontradas nesse local (SOUZA *et al.*, 1.971), típicas do Permiano, não devem ser contemporâneas à sedimentação dos arenitos mesozóicos, devendo ter sido transportadas provavelmente da Formação Corumbataí, onde são características.

3.3.3. Formação Botucatu

Expõe-se desde Ribeirão Preto para leste e sudeste, ocorrendo de forma descontínua principalmente entre Serra Azul e Cajuru pela ocorrência de uma espessa intrusão de diabásio, estratigraficamente situada, provavelmente, entre esta unidade e a Formação Pirambóia, pelo que o contato entre essas duas formações encontra-se em boa parte mascarado pela rocha básica (Figura 10). Nas regiões de relevo acentuado ocorre nas encostas, como na serra de Canaã (Luís Antônio); serras de São Simão e Santa Maria (São Simão); serra Azul (Serra Azul); serras Bico de Papagaio e Vazante (entre Altinópolis e Santo Antônio da Alegria); serra da Laje (entre Santo Antônio da Alegria e Cajuru); e serras da Lajinha e do Paredão e morro da Cascavel (Santo Antônio da Alegria). Essas feições geomorfológicas representam morros testemunhos coroados por rochas basálticas. A porção norte da área, de Altinópolis até Brodowski, mostra um relevo de *cuestas* da borda sul da serra de Batatais, com escarpas contínuas sustentadas por arenitos da Formação Botucatu e basaltos, cujo desnível médio é de 100 m.

A Formação Botucatu constitui-se principalmente de arenitos avermelhados (por vezes róseos a esbranquiçados), com estratificação cruzada, tangencial na base, de médio a grande porte, de granulação fina a média, com grãos bem selecionados e bem arredondados, em geral foscos e com alta esfericidade (IPT, 2.000), chegando a ser denominados, localmente, quartzo-arenitos, como ocorre nos arredores de Serrana (WU, 1.981). Os arenitos são muito friáveis ou silicificados; o teor de lama é, em geral, inferior a 10% (SOARES *et al.*, 1.973; AZEVEDO *et al.*, 1.981; COTTAS *et al.*, 1.986). Leitões de argilitos e siltitos com laminação plano-paralela (Fácies Santana) podem ocorrer na porção superior da Formação Botucatu ou em meio aos derrames de basalto, nesse caso já pertencendo, portanto, à Formação Serra Geral. Segundo a descrição original (ALMEIDA & BARBOSA, 1.953), a Fácies Santana compreende “arenitos de granulação média a fina, em camadas de até 2,30 m de espessura, alternados com siltitos, argilitos e mais raramente folhelhos micáceos, em lâminas e delgados estratos”. COTTAS *et al.* (op. cit.) coletaram amostras de arenitos no morro do Seladinho, 11 km a sudoeste de Altinópolis, onde reconheceram duas fácies na Formação Botucatu, com base em estudos sedimentológicos: fácies fluvial (inferior) e fácies eólica (superior); no entanto, esses autores incluíram na fácies fluvial a gruta de Itambé, onde foram descritas, neste trabalho, estruturas sedimentares indicativas de deposição eólica, como será visto adiante (capítulo 7, item 7.3 - Faciologia).

A nordeste do Distrito de Jurucê, uma janela estrutural em meio à Formação Serra Geral expõe arenitos silicificados pertencentes à Formação Botucatu, os quais foram, no passado, utilizados como revestimento de casas, pisos, etc. Com a utilização de um cintilômetro foi constatado elevado índice de radioatividade, cerca de 20 vezes acima da média regional, o que revelou a presença de uraninita (SINELLI, 2.003).

Quando silicificados, os arenitos constituem, junto com os basaltos, escarpas subverticais nas frentes de *cuesta* ou em morros testemunhos, como na região de Altinópolis-Santo Antônio da Alegria, e quando friáveis, em relevo colinoso, formam extensos areiais, o que dificulta a determinação de seu contato inferior com a Formação Pirambóia. Por outro lado, em áreas aplainadas, como a leste de Ribeirão Preto, a Formação Botucatu é recoberta por depósitos cenozóicos arenosos e areno-argilosos coluvionares, que podem atingir 30 m de espessura (PETROBRAS/UNAERP, 1.997), impedindo a ocorrência de afloramentos da unidade.

A espessura da Formação Botucatu pode ser determinada na região da serra de Canaã, a sul-sudoeste da área, onde se encontra o contato com a Formação Pirambóia, na base, e a Formação Serra Geral, no topo. Nesse local, a Formação Botucatu encontra-se, aproximadamente, entre as cotas de 655 m e 740 m, compreendendo, portanto, cerca de 85 m; a sul-sudoeste de Altinópolis (morro do Seladinho), situa-se entre 720 m e 840 m; entre Altinópolis e Santo Antônio da Alegria (serra da Vazante), ocorre entre 850 m e 950 m.

O contato basal da Formação Botucatu, com a Formação Pirambóia, segundo SOARES (1.975), verifica-se tanto por brusca mudança litológica (serra da Esperança, Paraná; região de Franca, São Paulo) como transicional por variação gradual no ambiente de sedimentação (serra de Itaqueri, São Paulo). Em Santa Catarina, na ausência da Formação Pirambóia, o contato basal da unidade se dá com a Formação Rio do Rasto, como pode ser visto na Rodovia SC-438, entre Lauro Muller e São Joaquim, onde arenitos eólicos com estratificação cruzada acanalada de grande porte sobrepõem-se, em uma superfície aplainada e inclinada, a bancos de arenitos de formas sigmoidais, atribuíveis ao Membro Morro Pelado, por sua vez progradando sobre siltitos argilosos, com intercalações de arenitos, considerados do Membro Serrinha (CPRM, 2.006). Na porção centro-oeste do Rio Grande do Sul, a Formação Botucatu sobrepõe-se a arenitos finos a médios, por vezes silicificados, com intercalações pelíticas e cimento argiloso, representativos da Formação Guará, considerada de origem fluvial e idade eocretácea (FREITAS *et al.*, 2.004).

Atribui-se à Formação Botucatu idade jurássico-cretácea, sendo que o limite inferior, com a Formação Pirambóia, não pode ser datado com precisão pela ausência de fósseis com valor cronológico, devendo, contudo, estar no Jurássico Médio, de maneira que a discordância entre o Pirambóia e o Botucatu representaria, aproximadamente, o intervalo correspondente ao Jurássico Inferior. Já o limite superior, com os basaltos, pode ser datado do Cretáceo Inferior, idade dos derrames com os quais a unidade interdigita-se.

3.3.4. Formação Serra Geral

É representada por rochas provenientes dos derrames de lavas basálticas e por diabásios intrudidos nas unidades sedimentares da Bacia do Paraná, principalmente na forma de soleiras.

Os basaltos ocorrem em toda porção norte e oeste da área, compreendendo, aproximadamente, os divisores de água da margem direita do ribeirão da Prata ou do Adão (afluente da margem direita do rio Pardo), e margem esquerda do ribeirão Tamanduá, afluente da margem esquerda do rio Pardo (Figura 10); sua espessura aumenta rapidamente para oeste, atingindo cerca de 170 m a oeste de Ribeirão Preto e 300 m em Jaboticabal. Morros testemunhos coroados por derrames basálticos encontram-se a oeste de Serra Azul (serra Azul); nos arredores de São Simão (serras de São Simão e Santa Maria); entre Cajuru e Santo Antônio da Alegria (serras da Laje e do Paredão); e entre Altinópolis e Santo Antônio da Alegria (serras da Vazante e Bico de Papagaio).

Duas principais intrusões de diabásio ocorrem na área formando soleiras. A maior delas, denominada *sill* de Cajuru, encontra-se entre Santa Cruz da Esperança, Cajuru, Cássia dos Coqueiros e Santa Rosa de Viterbo, constituindo, localmente, a serra da Borda da Mata. Aparentemente posicionada entre as formações Botucatu e Pirambóia, apresenta espessura de até 100 m, conforme constatado em poço perfurado em Cássia dos Coqueiros. A outra intrusão, denominada *sill* de Serrana por localizar-se nas imediações da cidade homônima, situa-se estratigraficamente entre as formações Pirambóia e Botucatu, representando uma ramificação do *sill* de Cajuru (SOARES *et al.*, 1.973); sua espessura, obtida em sondagem realizada a sudeste de Serrana, é de pelo menos 110 m. Intrusão menor situada a leste de Ribeirão Preto, de forma elíptica, representa um lacólito com cerca de 5.000 m de comprimento por 700 m de largura, sendo que um poço perfurado em seu interior atravessou pelo menos 243 m de rocha básica.

Estudos de datação geocronológica mostram que a manifestação vulcânica que afetou a Bacia do Paraná teria tido duração entre 115 M. a. e 135 M.a. (PETRI & FÚLFARO, 1.988), portanto do Cretáceo Inferior (pré-Aptiano). No entanto, SIEDNER & MITCHELL (1.976, apud PETRI & FÚLFARO, 1.988) após reinterpretações de datações das rochas basálticas da Bacia do Paraná, concluíram que o vulcanismo básico teve curta duração há 121 M.a. Segundo JERRAM & STOLLHOFEN (2.002), o vulcanismo que atingiu a Bacia de Huab (Namíbia), contemporaneamente ao da Bacia do Paraná, teria idade em torno de 133 M. a.

3.4. Depósitos correlatos à Formação Itaqueri

Ocorrem restritamente no divisor de águas da Bacia Hidrográfica do rio Pardo, em sua margem direita, nos arredores das cidades de Altinópolis e Brodowski (Figura 10), seguindo em direção a Batatais, Nuporanga e Sales de Oliveira, cidades situadas a nordeste da área de estudo.

Constituem-se de arenitos conglomeráticos e conglomerados com seixos de composição variada, com intercalações de siltitos. Representam sedimentos acumulados em ambientes de alta energia, provavelmente de leques aluviais em clima árido (IPT, 2.000). Invariavelmente estes sedimentos acham-se recobertos por uma seqüência de depósitos cenozóicos arenosos, coluvionares, sem estrutura, estes superpostos a sedimentos cenozóicos areno-argilosos mais antigos, com estratificação incipiente, tendo uma linha de seixos entre ambos (PETRI & FÚLFARO, 1.988).

3.5. Depósitos coluvionares

Compreendem as coberturas associadas a topos e encostas de colinas amplas que ocorrem nos arredores de Ribeirão Preto, recobrando a Formação Botucatu (Figura 10), e a leste de Santa Rosa de Viterbo, capeando a Formação Corumbataí. Esses tipos de depósitos, situados nos baixos interflúvios do rio Pardo e seus afluentes, a altitudes de 550 m a 600 m, correspondem ao Terciário mais recente, sendo que níveis mais antigos ocorrem capeando a serra de Batatais, em cotas de 900 m a 1.000 m, compreendendo as cidades de Altinópolis, Batatais, Brodowski,

Nuporanga e Sales de Oliveira, nesse caso sobrepondo-se aos sedimentos cretáceo-terciários correlatos à Formação Itaqueri.

Correspondem a sedimentos areno-argilosos ou argilo-arenosos que não apresentam estruturas sedimentares e que possuem, freqüentemente, um nível de seixos na base. A leste de Ribeirão Preto, na área do antigo lixão, foram constatadas, através de sondagens, espessuras variando de 10 m até 30 m de sedimentos cenozóicos sobrepostos à Formação Botucatu (PETROBRAS/UNAERP, 1.997).

3.6. Depósitos aluvionares modernos

Ocorrem em planícies aluvionares ao longo do rio Pardo e seus maiores afluentes das margens direita e esquerda (Figura 10), principalmente o ribeirão do Tamanduá, na região de São Simão, onde têm elevada importância econômica devido à ocorrência de argila branca.

Constituem-se de sedimentos argilosos, areno-argilosos, arenosos e níveis de cascalhos, cuja espessura total pode atingir 6 m.

3.7. Tectônica regional

A estrutura regional é representada por uma homoclinal, com as camadas mostrando direção N 8° E e mergulho 1/2° NW, atitudes essas obtidas através das cotas do contato Pirambóia/Corumbataí, determinadas tanto em afloramentos como em sondagens na região de Santa Rosa de Viterbo e Cássia dos Coqueiros (Figura 11).

Arqueamentos e depressões também ocorrem localmente associados a falhamentos, sendo mais bem conhecido o baixo estrutural de Ribeirão Preto, constatado por SINELLI (1.971), o qual apresenta rebaixamento do contato Serra Geral/Botucatu de até 70 m, conforme pode-se verificar no corte geológico regional (Figura 11), confeccionado de acordo com perfis de sondagens existentes na área (IPT, 2.000). Os arqueamentos mostrados nessa figura foram interpretados levando-se em conta o contato Serra Geral/Botucatu obtido em sondagens, cujo traçado foi inferido

para as camadas sedimentares infrajacentes, admitindo-se um paralelismo entre elas, além de considerar-se a espessura média das formações Pirambóia e Botucatu em Ribeirão Preto em torno de 270 m.

Os falhamentos estão relacionados ao fendilhamento do Embasamento Cristalino por ocasião da Reativação Wealdeniana, no Jurássico/Cretáceo, com a emissão de magma principalmente básico sob a forma de derrames e intrusões. Os esforços distensionais, que provocaram tais fraturamentos, tiveram maior repercussão na borda da bacia em virtude da menor espessura do pacote sedimentar, motivo porque nessa área é mais intensa a ocorrência de falhas, a maioria com direção preferencial para N 40° - 50° W, notadamente entre as cidades de Serra Azul, Santa Cruz da Esperança, Cajuru e Santa Rosa de Viterbo (SOARES *et al.*, 1.973); comumente tais falhamentos estão associados a intrusões de diabásio.

A Figura 17 mostra as principais feições estruturais da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo, notando-se a proximidade do Alto de Cardoso com a área em estudo, o qual seria responsável pelo arqueamento mostrado na Figura 11. A nordeste da área situa-se a Flexura de Goiânia, feição estrutural ativa desde o Paleozóico, já que nessa região não ocorrem os sedimentos dos grupos Tubarão e Passa Dois, com os arenitos da Formação Botucatu transgredindo diretamente sobre o Embasamento Cristalino (Grupo Canastra) na região de Rifaina.

Nos arredores de Ribeirão Preto ocorrem dois grandes alinhamentos estruturais: o Alinhamento Ribeirão Preto – Campinas, a leste, e o Alinhamento do rio Mogi Guaçu, a oeste (RICCOMINI, 1.997), ambos praticamente paralelos e com direção NW-SE (Figura 17). O Alinhamento Ribeirão Preto – Campinas restringe, a leste, a ocorrência de sedimentos rudáceos meso-cenozóicos em Nuporanga, Batatais, Pedregulho e Franca, além de ser responsável pela retilinidade do rio Pardo, entre Serrana e Serra Azul, e do rio Mogi Guaçu, entre Leme e Pirassununga. O Alinhamento do rio Mogi Guaçu limita, a oeste, os depósitos, também rudáceos, atribuíveis à Formação Itaqueri, além de causar uma certa retilinidade no contato Adamantina/Serra Geral, desde Araraquara até Colômbia, na divisa entre São Paulo e Minas Gerais. Em sentido oblíquo ocorre, ainda, o Alinhamento de Cabo Frio, situado entre a cidade homônima, do Rio de Janeiro, e a cidade paulista de Jaboticabal, no qual se situam três importantes focos de intrusão de magmas alcalinos: Itatiaia (na divisa entre São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais), Poços de Caldas (Minas Gerais) e Jaboticabal (São Paulo).

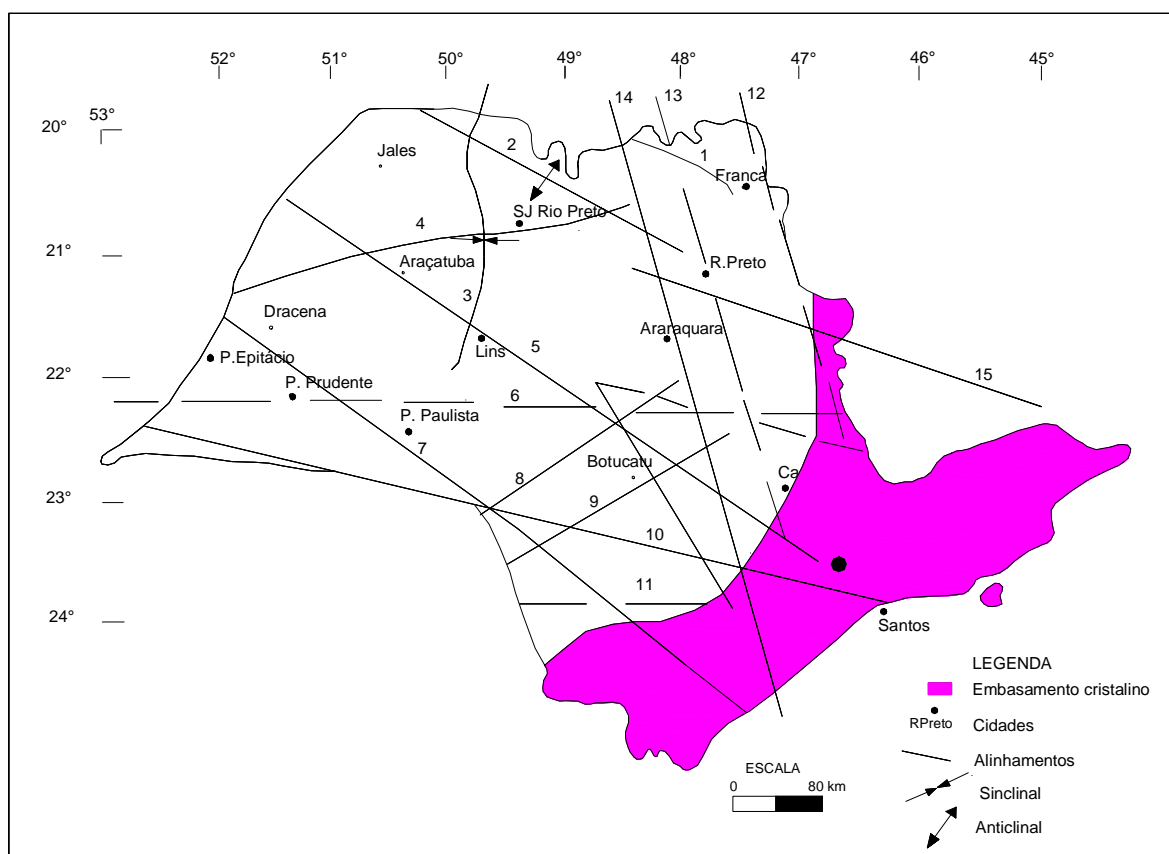


Figura 17 – Principais feições estruturais da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. Legenda: 1 – Flexura de Goiânia; 2 – Alto de Cardoso; 3 – Baixo de Ipiaçu/Campina Verde; 4 – Lineamento de Araçatuba; 5 – Alinhamento do Tietê; 6 – Lineamento Mogi Guaçu/Dourado; 7 – Zona de Falha de Guapiara; 8 – Falha de Guaxupé; 9 – Falha de Jacutinga; 10 – Alinhamento do Paranapanema; 11 – Lineamento de São Sebastião; 12 – Alinhamento Rifaina/São João da Boa Vista; 13 – Alinhamento Ribeirão Preto/Campinas; 14 – Alinhamento do rio Mogi Guaçu; 15 – Alinhamento de Cabo Frio; 16 – Alinhamento Ibitinga/Botucatu; 17 – Alinhamento São Carlos/Leme (Segundo ZALÁN *et al.*, 1.987; RICCOMINI, 1.997).

4. GEOLOGIA LOCAL

A estratigrafia da área estudada está representada, a partir da base, pelo Grupo São Bento, compreendendo as formações Pirambóia, não aflorante, Botucatu e Serra Geral, coberturas neocenozóicas indiferenciadas e depósitos aluvionares holocênicos, abrangendo uma área de 425 km², dos quais 21 km² são de depósitos aluvionares; 128 km² de Cenozóico/Formação Botucatu; e 276 km² de rochas ígneas básicas da Formação Serra Geral, sendo 254 km² de basaltos e 22 km² de diabásios (ver capítulo 8 – Estratigrafia).

4.1. Formação Pirambóia

Esta unidade não aflora na área pesquisada, somente ocorrendo em subsuperfície. O poço PETROBRAS 1 (UTM 7661,86 x 215,44), perfurado no vale do rio Pardo e a nordeste de Ribeirão Preto, na cota de 543 m, atingiu essa unidade à altitude de 451 m; a rocha atravessada foi descrita como sendo arenito avermelhado, com granulometria muito fina a média, grãos hialinos, com espessura máxima de 114 m, limitada na base pela ocorrência de diabásio na cota 337 m (FIPAI, 1.997).

Um poço perfurado no Jardim Florestan Fernandes, na porção nordeste da cidade de Ribeirão Preto, a partir da cota 540 m, atingiu a Formação Corumbataí na altitude de 170 m (SMA, 2.004), após atravessar três intrusões de diabásio (Figura 18), sendo que a mais alta (com espessura de 40 m) corresponderia ao *sill* de Serrana, enquanto a mais baixa é a mais espessa (cerca de 75 m), situando-se entre as altitudes de 350 m e 280 m. Também na porção leste da cidade de Ribeirão Preto, no Parque dos Flamboyants, área de afloramento do Aquífero Guarani, um poço tubular perfurado a partir da cota 580 m atravessou 262 m de arenitos (SMA, 2.004) (Figura 19), sendo que os 80 m iniciais seriam atribuíveis à Formação Botucatu, enquanto os outros 182 m restantes corresponderiam à Formação Pirambóia, sem que tivesse sido atingida a Formação Corumbataí subjacente, de maneira que o topo da unidade Pirambóia, nessa área, estaria a cerca de 500 m de altitude, ou seja, pouco abaixo do nível de base da região, que é de 510 m, representado pela calha do rio Pardo.

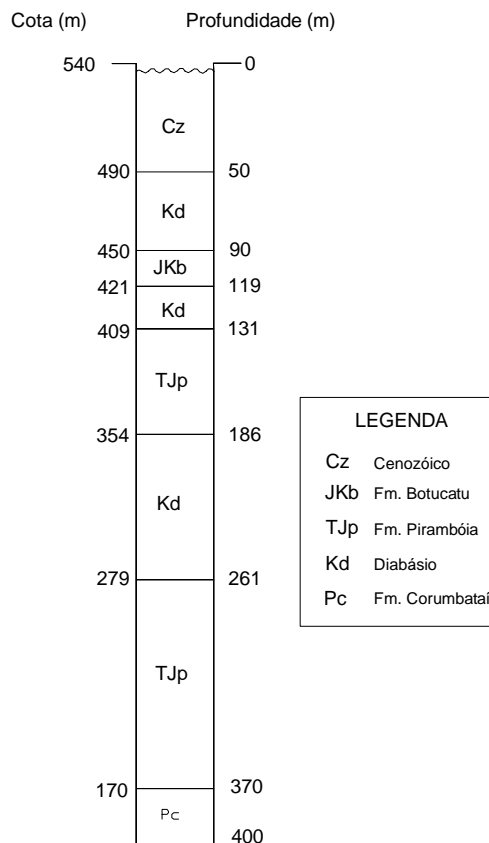


Figura 18 – Poço do Jardim Florestan Fernandes (= poço 167 da Figura 21).

Fonte: SMA (2.004).

As informações das sondagens acima referidas permitiram concluir-se, portanto, pelo não afloramento da Formação Pirambóia na área estudada, estando o topo da mesma entre as cotas de 500 m e 451 m na área de afloramento do Aquífero Guarani, e à altitude em torno de 360 m na parte central da cidade de Ribeirão Preto, onde se caracteriza a existência de um baixo estrutural (Figura 11).

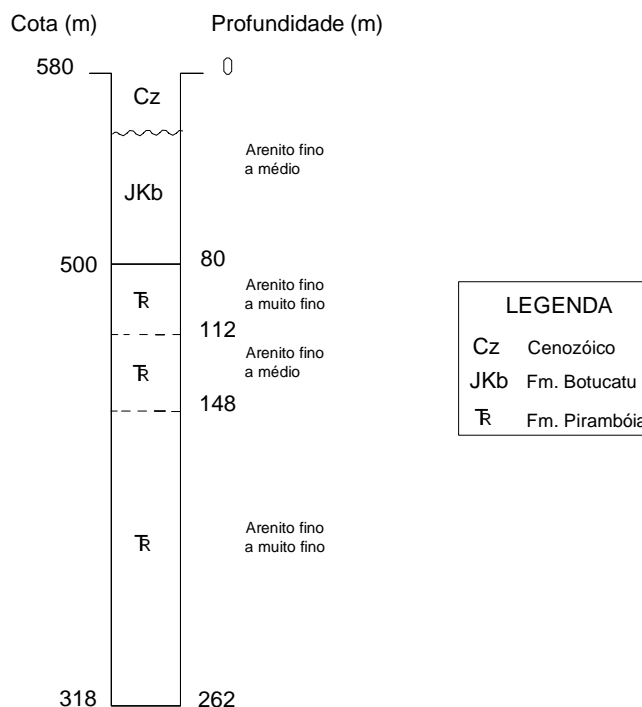


Figura 19 – Poço do Parque dos Flamboyants (= poço 176 da Figura 21).

Fonte: SMA (2.004).

Em consulta a informações de subsuperfície contidas no cadastro da Secretaria Municipal de Planejamento e Gestão Ambiental de Ribeirão Preto, foram obtidas descrições de perfis geológicos de poços onde constatou-se, em vários deles, a ocorrência de camada de arenito grosso a conglomerático, de cor esbranquiçada, feldspático, com espessuras variando entre 20 m e 100 m e situada a cerca de 80 m abaixo do contato entre as formações Botucatu e Serra Geral. Essa camada foi considerada, neste, trabalho como sendo o extremo superior da Formação Pirambóia, a exemplo do que foi definido por CAETANO-CHANG (1.997) na região de São Pedro. Também na região de São Simão, PRESSINOTTI (1.991) identificou sedimentos arenosos conglomeráticos, com matriz caulínica, atribuídos à Formação Pirambóia, e que seriam a fonte das argilas brancas encontradas nos aluviões do ribeirão Tamanduá.

Em geral, a Formação Pirambóia é descrita nos perfis geológicos de poços como compreendendo arenitos finos a muito finos, de cores creme, rosada e avermelhada, pouco a muito argilosos, com eventuais intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos arenosos, de cores creme ou avermelhada, geralmente superpostos pela camada conglomerática acima mencionada.

No contato entre as formações Pirambóia e Botucatu ocorre um corpo de diabásio, denominado *sill* de Serrana, que aflora no extremo nordeste da área e segue para sudeste, em direção à cidade que lhe empresta o nome (Figura 10), mergulhando para oeste, onde foi cortada pelo poço do Jardim Florestam Fernandes (Figura 18, intrusão mais alta). Pelas informações disponíveis essa intrusão não teria continuidade para a parte central de Ribeirão Preto.

4.2. Formação Botucatu

Ocorre na porção leste-nordeste da área estando, porém, recoberta, em grande parte, por depósitos neoceno-zóicos coluvionares. Em direção a oeste, encontra-se sobreposta pelos basaltos da Formação Serra Geral .

Em sondagens realizadas a leste do córrego das Palmeiras (poços PETROBRAS 1 e 2), foi caracterizada litologicamente como sendo composta, predominantemente, por quartzo microcristalino, com superfície lisa e polida e às vezes rugosa e fosca, com impregnações de hidróxido de ferro, quartzo policristalino, fragmentos de limonita, magnetita e ilmenita (FIPAI, 1.997).

No poço PETROBRAS 1 acima referido, foi constatada espessura de 92 m para a unidade, porém é bem provável que tenha sido incluída, também, a cobertura neoceno-zóica, que chega a ter até 30 m de espessura nos espigões, como será visto posteriormente. Desse modo, a espessura média da Formação Botucatu não deve ultrapassar 80 m nos arredores de Ribeirão Preto. A espessura máxima conhecida do conjunto Pirambóia/Botucatu foi obtida na zona leste de Ribeirão Preto, no Parque dos Flamboyants, na área de afloramento do Aquífero Guarani, onde uma sondagem atravessou 262 m dessas unidades sem, contudo, atingir a Formação Corumbataí subjacente (SMA, 2.004) (Figura 19). Também no Distrito de Bonfim Paulista foram perfurados 262 m de arenitos (FIPAI, 1.996) sem que tenha sido atingido o substrato do Aquífero Guarani.

Pelas descrições em perfis geológicos disponíveis, define-se a Formação Botucatu como sendo composta por arenitos finos a médios, de cores avermelhadas, compostos por grãos essencialmente de quartzo, bem arredondados, regular a bem selecionados, limpos, geralmente friáveis. Intercalações de lentes de argilito arenoso, de cores avermelhadas, ocorrem com pouca frequência.

Um poço perfurado no Bosque Municipal de Ribeirão Preto (Figura 20), na altitude de 570 m, atingiu, na cota 210 m, uma camada de siltitos e argilitos roxos e avermelhados, com pelo menos 12 m de espessura, presumivelmente atribuíveis à Formação Corumbataí (no perfil geológico descrito não consta a nomenclatura estratigráfica correspondente), enquanto o topo da Formação Botucatu estaria a 434 m de altitude. Descontando-se 10 m de uma soleira de diabásio, situada na porção inferior do conjunto Botucatu/Pirambóia, teria este uma espessura da ordem de 214 m no centro da cidade (MASSOLI, não publicado), de maneira que a Formação Botucatu abrangeria uma espessura em torno de 73,50 m, sobrepondo-se a 40 m de arenito grosso a conglomerático, esbranquiçado, além de 100 m de arenitos avermelhados a creme-amarelados, finos a muito finos, pouco a muito argilosos, com intercalações de argilitos, atribuíveis à Formação Pirambóia. Ainda nessa sondagem, o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu se dá por meio de uma camada de aproximadamente 10 m de espessura, interpretada como sendo composta por brecha vulcânica vermelha.

No corte da Rodovia Abrão Assed, próximo à ponte sobre o ribeirão do Tamanduá (Figura 1), aflora um arenito marrom claro, parcialmente decomposto, friável, atribuído à Formação Botucatu. A ele sobrepõe-se solo da mesma cor, arenoso, considerado de origem coluvionar, de idade cenozóica; entre o arenito e o solo ocorre um tênue nível composto por fragmentos de limonita e raros grânulos de quartzo.

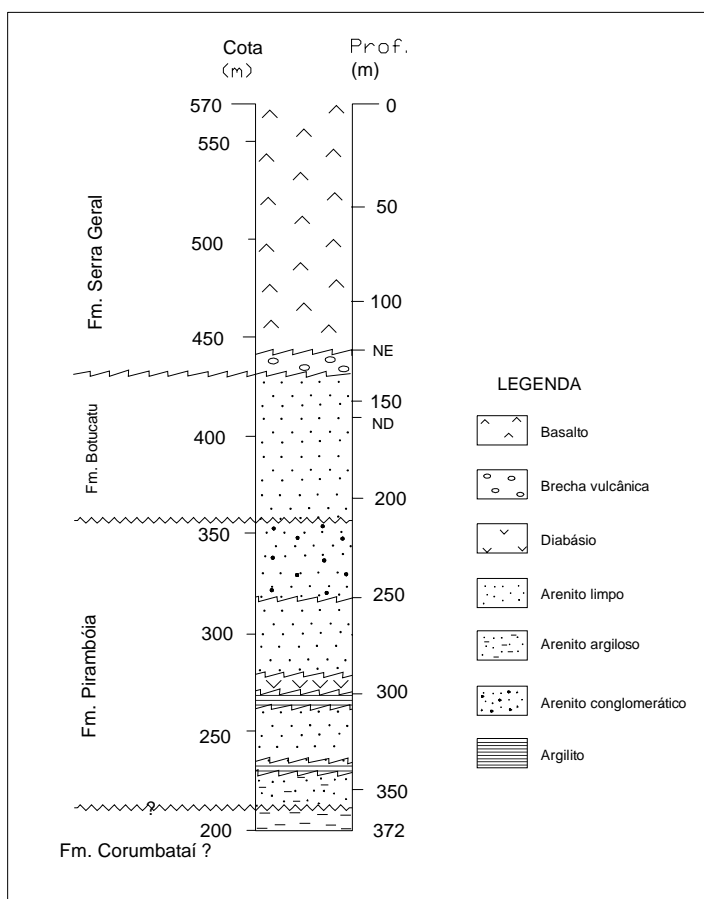


Figura 20 – Seção geológica do poço 129 (Bosque Municipal).

Cerca de 1 km além da entrada para a cidade de Serrana, no sentido para Cajuru, afloravam, em uma ravina situada às margens da Rodovia Abrão Assed, sedimentos atribuídos à Formação Botucatu por SOUZA *et al.* (1.971), que encontraram fósseis vegetais e animais (artrópodes) em argilitos vermelhos considerados da “Fácies Santana”, aqui interpretada como sendo formada por depósitos de lagos de deserto (*playa lakes*), alimentados por rios temporários ou pelo lençol freático; essa ocorrência situa-se estratigraficamente sob o *sill* de Serrana. No mesmo local, WU (1.981) coletou amostra que descreveu como sendo de arenito marrom, bimodal, com estratificação cruzada, a que denominou quartzo-arenito por apresentar 99% de grãos de quartzo, situando-o na

Formação Botucatu; esse afloramento não existe mais, uma vez que foi aterrado por obras de manutenção da rodovia. No entanto, há controvérsias com relação à posição estratigráfica dessa ocorrência, a qual situa-se na Formação Pirambóia segundo o mapa geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1.981). De qualquer modo, a “Fácies Santana” descrita por Almeida (1.964) na região de Rifaina estaria posicionada, a rigor, na Formação Serra Geral, já que encontra-se em sedimentos intertrapeanos idênticos aos da Formação Botucatu, mas, por definição, não mais pertencentes a esta unidade.

4.3. Formação Serra Geral

Compreende os derrames de basalto da Formação Serra Geral e intrusivas básicas associadas na forma de diques e soleiras (Figuras 10 e 11). Os basaltos são de cor cinza-escura a preta, textura afanítica, estrutura maciça, com juntas subhorizontais no topo e base dos derrames e verticais na parte central. Frequentemente apresentam vesículas preenchidas por calcita ou zeólitas. Nas proximidades do Bosque Municipal de Ribeirão Preto, é citada por BARBOSA (1.957) a ocorrência de basaltos de granulação fina a média, com amígdalas preenchidas por calcita, zeólita ou sílica, apresentando estrutura em corda (*pahoehoe*).

A espessura das efusivas é bastante variável, apresentando cerca de 40 m, na porção leste da cidade, e 195 m, na porção oeste (Bairro Monte Alegre).

O contato basal da Formação Serra Geral com a Formação Botucatu, conforme verificado em sondagem, ocorre de maneira irregular, com o arenito sobreposto por brecha vulcânica (SINELLI, 2.003); também no poço perfurado no Bosque Municipal (poço 129, Figura 20), zona central de Ribeirão Preto, foi descrito um intervalo de brecha vulcânica, com 10 m de espessura, sobreposto à Formação Botucatu. Essa mesma brecha basal da Formação Serra Geral pode ser vista no km 304 da Rodovia Anhangüera (SINELLI, *op. cit.*), primeiro trevo de acesso a Ribeirão Preto, no sentido do interior. Tal material rudáceo é interpretado como sendo uma rocha de origem tectônica, formada pelo atrito decorrente do movimento de blocos adjacentes a uma falha, cujos fragmentos angulosos estão envolvidos por material mais fino proveniente da fricção dos blocos deslocados. Não se trata, portanto, de brecha vulcânica, já que esta é formada pela acumulação de fragmentos líticos resultantes da explosão de lavas e do cone vulcânico, o que não ocorreu com

o vulcanismo basáltico da Bacia do Paraná, que foi acompanhado por um extravasamento tranquilo de lavas básicas através de fissuras. Já na Pedreira Spell, em Cravinhos, cerca de 15 km a sudeste de Ribeirão Preto, encontra-se, próximo ao piso da mesma, brecha compreendendo fragmentos de arenito envolvidos por material basáltico vesículo-amigdaloidal, a ela associando-se camada, com 0,50 m de espessura, de arenito intertrapeano silicificado. Nesse caso, a origem do material se daria pelo escoamento de lava basáltica sobre o Arenito Botucatu inconsolidado, arrastando porções deste que foram incorporadas ao magma, formando a brecha com o resfriamento da lava.

Rochas intrusivas básicas associadas a essa formação ocorrem na forma de soleira no extremo nordeste da área, junto ao rio Pardo, compreendendo a feição morfológica denominada morro do Piripau. Essa intrusão, denominada *sill* de Serrana, mergulha em direção a oeste e sul da área, permanecendo aflorante para leste, em direção à cidade que lhe empresta o nome, onde tem pelo menos 110 m de espessura, segundo poço perfurado para abastecimento público.

A leste da cidade de Ribeirão Preto, no local denominado morro do Cipó, há um corpo intrusivo junto ao contato com a Formação Botucatu, na forma de lacólito, já que as espessuras decrescem para as bordas, conforme constatado em levantamento geofísico realizado pelo DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS (DAERP); um poço perfurado na parte mais interna dessa intrusão revelou espessura de 240 m (sem ter sido atingida a rocha encaixante), anormalmente alta para ser considerada representativa de efusivas, uma vez que junto ao contato com a Formação Botucatu os derrames basálticos não ultrapassam 40 m. No entorno dessa feição morfológica ocorre uma cobertura coluvionar argilo-arenosa avermelhada, que grada lateralmente para norte, leste e sudeste a um capeamento, também coluvionar, porém essencialmente arenoso, que recobre a Formação Botucatu, e para oeste e sudoeste confunde-se com o solo de alteração da Formação Serra Geral.

No bairro denominado Parque São Sebastião, situado a leste da Rodovia Anhangüera, o poço 109 (ver capítulo 5, item 5.3.) atravessou, a partir da superfície do terreno (cota 595 m), cerca de 45 m de diabásio até atingir a Formação Botucatu. No mesmo bairro, 500 m a sudoeste desse poço, foi perfurado o poço 132 (cota 575 m) que atravessou somente arenito, o que mostra a irregularidade da ocorrência das rochas básicas na área.

Às margens da Rodovia Abrão Assed, em frente ao antigo lixão de Ribeirão Preto, encontra-se uma colina que se destaca na paisagem de topografia bastante suave. Trata-se de uma intrusão

de diabásio, de forma lacolítica, cujas encostas estão recobertas por colúvio argilo-arenoso avermelhado, que migra lateralmente em todas as direções, menos para sul, a material predominantemente arenoso, sobreposto à Formação Botucatu; em direção a sul, esse colúvio avermelhado mistura-se ao colúvio de mesma cor e textura situado nas encostas dos morros formados pelos derrames de basalto que ocorrem no extremo sudeste da área.

Os poços PETROBRAS 1 (UTM 7661,86 x 215,44) e PETROBRAS 2 (UTM 7661,86 x 215,69), com altitudes de 540 m e 550 m, respectivamente, distantes 250 m entre si, atingiram intrusão de diabásio às cotas de 451 m e 535 m; porém, sua espessura não pôde ser determinada, uma vez que as perfurações foram paralisadas ao ser atingida a rocha básica (FIPAI, 1.996).

Pelo menos 3 níveis diferentes de corpos intrusivos no conjunto Pirambóia/ Botucatu foram detectados por sondagens realizadas na área urbana de Ribeirão Preto, tanto na porção inferior como na média ou superior, com espessuras em geral não superiores a 10 m (ver capítulo 6). Uma exceção seria a intrusão encontrada na porção nordeste de Ribeirão Preto, no Jardim Florestan Fernandes, onde um poço tubular perfurou 75 m de diabásio (Figura 18) (SMA, 2.004), soleira essa situada na Formação Pirambóia, enquanto a mais superior situa-se na Formação Botucatu e a intermediária, menos espessa, no contato entre essas duas unidades.

4.4. Depósitos coluvionares terciários

Ocorrem na porção leste-nordeste da área, recobrimo a Formação Botucatu, bem como na área urbana de Ribeirão Preto, sobrepondo-se às efusivas básicas da Formação Serra Geral (Figuras 10 e 11). Na porção sedimentar, compreendem sedimentos areno-argilosos friáveis, castanho-claros, sem estruturas sedimentares e que possuem freqüentemente, na base, uma linha de seixos (IPT, 2.000). Na área urbana, já no domínio da Formação Serra Geral, os depósitos cenozóicos são predominantemente argilosos, com porcentagens variáveis de areia de coloração avermelhada, geralmente apresentando, na base, seixos ou fragmentos de limonita que os separam do material subjacente, do qual se originam.

Esses depósitos associam-se a espigões e encostas de colinas suavizadas, entre as cotas de 520 m e 600 m; na região de Brodowski, as coberturas neocenozóicas são mais antigas que as de

Ribeirão Preto, já que se situam a cerca de 850 m de altitude, enquanto mais a nordeste, na região de Franca, encontra-se o nível de depósitos cenozóicos mais antigos, sobrepostos aos sedimentos mesoceno-zóicos correlatos à Formação Itaqueri, a 1.000 m de altitude.

Na área do antigo lixão de Ribeirão Preto, foram constatadas espessuras de até 30 m de coberturas neoceno-zóicas areno-argilosas, sobrepostas à Formação Botucatu (PETROBRAS/UNAERP, 1.997).

4.5. Depósitos aluvionares quaternários

Os depósitos aluvionares quaternários são encontrados nas planícies de inundação associadas ao rio Pardo, ribeirão Preto, ribeirão Tamanduá e córrego das Palmeiras. Litologicamente são formados por cascalhos e areias recobertos por camada de argilas. A espessura máxima desses depósitos atinge 6 m no rio Pardo, sendo que as argilas superficiais não ultrapassam 3 m e os outros 3 m compreendem areias e cascalhos basais (SINELLI, 1.987).

Os depósitos aluvionares do ribeirão do Tamanduá têm particular importância econômica por apresentarem lentes de argilas brancas (*ball clays*), estudadas por PRESSINOTTI (1.991) na região de São Simão, e que seriam retrabalhadas de sedimentos conglomeráticos pertencentes à Formação Pirambóia.

4.6. Estrutura e tectônica local

Os alinhamentos Ribeirão Preto-Campinas, rio Mogi Guaçu e Cabo Frio, mencionados no capítulo 3 (item 3.7., Figura 17), seriam os responsáveis pelo basculamento na área urbana de Ribeirão Preto, formando blocos romboédricos, que, no geral, delimitam o baixo estrutural tectônico de Ribeirão Preto, conforme ilustra a Figura 11, onde o topo da Formação Botucatu cai de 570 m para cerca de 420 m no centro da cidade, enquanto a leste, no km 305 da Rodovia Anhangüera, sua cota é de 540 m; a oeste, no Campus da USP, sobe para 480 m, e mais para oeste chega a 525 m. Esta altitude do topo da Formação Botucatu representaria um anticlinal, com eixo norte-sul, que pode estar relacionado ao Alto de Cardoso (Figura 17), pois daí

para oeste, em direção a Sertãozinho, o contato Serra Geral/Botucatu cai, de forma suave, para 440 m, ou seja, está mais alto que no centro de Ribeirão Preto (420 m). A nordeste da área, entre a ponte sobre o rio Pardo e o trevo de acesso para Jardinópolis, verifica-se outra estrutura anticlinal, com eixo nordeste-sudoeste, onde o topo do Botucatu está a 450 m de altitude. Na parte central da área ocorrem duas calhas sinclinais com eixos nordeste-sudoeste e norte-sul, onde o contato Serra Geral/Botucatu situa-se a 420 m de altitude, enquanto próximo ao trevo para Franca há um significativo sinclinal, de forma alongada, com eixo praticamente leste-oeste, em que o topo da Formação Botucatu está a 370 m (ver capítulo 8).

A tectônica em blocos da área, no entanto, não afetou a quase horizontalidade das unidades sedimentares, a exemplo do que foi constatado no Grupo Rosário do Sul por GIARDIN & FACCINI (2.004).

A interpretação tectônica com falhas formando blocos escalonados já havia sido identificada na área urbana de Ribeirão Preto no final dos anos 70, conforme apresentado por SINELLI (2.003). Segundo esse autor, a ocorrência de blocos altos e baixos, evidenciados pelo deslocamento do contato Serra Geral/Botucatu, indica uma região bastante movimentada por falhamentos. Essa interpretação tectônica é reforçada pelo deslocamento também da litofácies de arenitos conglomeráticos da Formação Pirambóia, que ocorre em toda a área estudada, conforme mostrado no capítulo 7.

Evidências de tectonismo penecontemporâneo à sedimentação da Formação Pirambóia foram apresentadas por CHAMANI *et al.* (1.992) ao descreverem na unidade estruturas contorcidas, formando dobras irregulares, com camadas freqüentemente rompidas, atribuídas à liquificação de areias eólicas encharcadas, com expulsão ascendente de água, interpretadas como sendo originadas por abalos sísmicos.

Os dados disponíveis na área permitiram concluir que duas fases de tectonismo a atingiram: na primeira fase, falhamentos contemporâneos ao magmatismo basáltico possibilitaram a injeção de magma básico, na forma de soleiras e diques, bem como a extrusão de lavas basálticas; numa segunda fase, após o vulcanismo basáltico, os falhamentos atuaram de maneira a deslocar, em forma de blocos, o contato Serra Geral/Botucatu e a litofácies de arenitos conglomeráticos da Formação Pirambóia. A fase simultânea ao vulcanismo estaria relacionada à Reativação Wealdeniana, no Jurássico Superior/Cretáceo Inferior, por ocasião da abertura do Atlântico Sul. A fase pós-basalto deve estar associada ao tectonismo do Cretáceo Superior, responsável pelas

intrusões de magmas alcalinos, como as que ocorrem em Jaboticabal, Poços de Caldas e Itatiaia, entre outras, que definem o Alinhamento de Cabo Frio (PETRI & FÚLFARO, 1.988) (Figura 17).

Evidência de tectonismo posterior ao vulcanismo basáltico na área estudada pode ser verificada a nordeste do Distrito de Jurucê (Município de Jardinópolis), na cabeceira do córrego do Matadouro, onde SOARES *et al.* (1.973) mapearam uma feição correspondente a uma janela tectônica, através da qual a Formação Botucatu aflora em meio aos basaltos da Formação Serra Geral.

5. DESCRIÇÃO DOS POÇOS NA ÁREA DE ESTUDO

A seguir são apresentados poços perfilados localizados na área de estudo (Figura 21), cujo perfil geológico foi obtido, em parte, com a interpretação das respectivas curvas de perfilagens geofísicas e em parte através de correlação litoestratigráfica com poços que têm sua seção colunar descrita com algum detalhe.

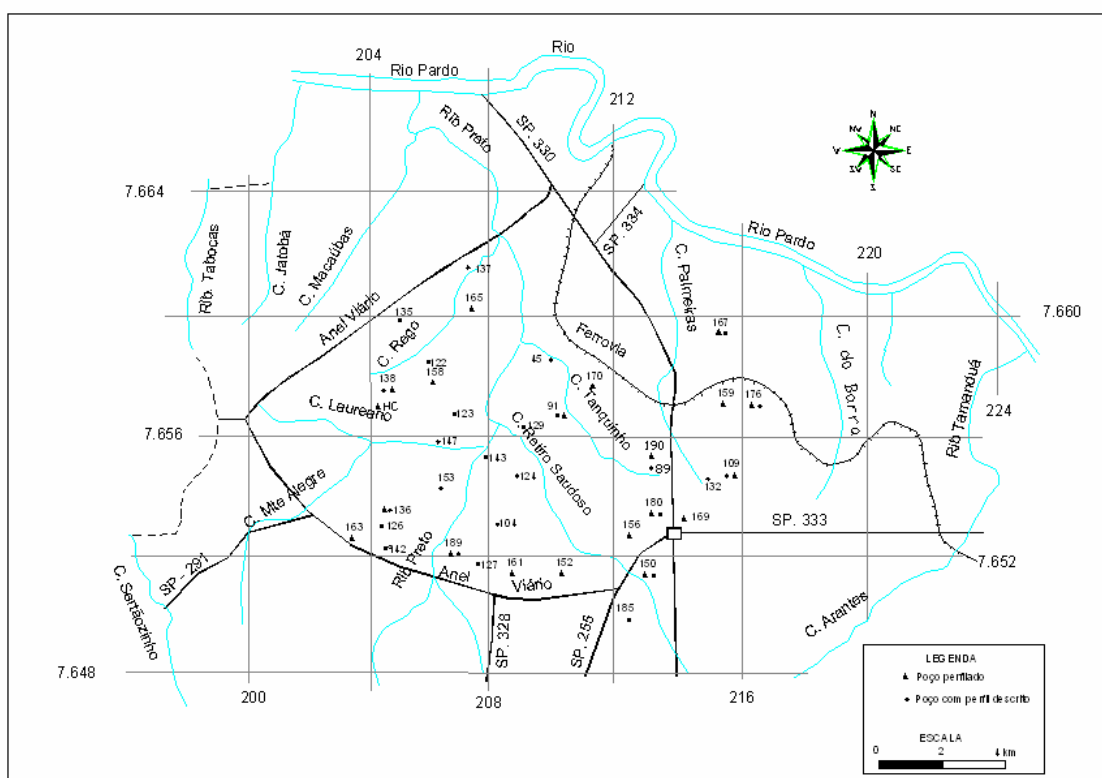


Figura 21 – Mapa de localização dos poços perfilados e com descrição dos perfis geológicos.

5.1. Poço do Hospital das Clínicas/USP (HC)

Para a interpretação da litofaciologia dos sedimentos mesozóicos pré-basálticos na área estudada foi realizado um levantamento das informações da geologia de subsuperfície junto às firmas perfuradoras de poços tubulares que operam na região, com particular interesse para a existência de perfilagens geofísicas.

Dentre os poços perfilados na área urbana de Ribeirão Preto (Figura 21), utilizou-se o pioneiro, em termos de interpretação de perfilagens geofísicas, perfurado no Hospital das Clínicas, da Universidade de São Paulo, cujos dados apresentam-se na Figura 22.

Situado na cota 605 m, o poço do HC/USP apresenta 162 m de basaltos e 88 m de arenitos, estes interpretados como sendo pertencentes à Formação Botucatu.

Perfilagens geofísicas foram realizadas no poço, cujas curvas de raios gama e resistividade (SINELLI, 1.987) acham-se representadas na Figura 22.

A curva de raios gama do poço HC/USP mostra nítida queda no valor da radioatividade à profundidade de 162 m, o que coincide com o contato basalto/arenito, conforme indica o perfil geológico do poço (Figura 22). Baixos valores de radioatividade indicam reduzida porcentagem de argila na rocha, no caso um arenito que pode ser, por isso, considerado limpo, ou seja, um quartzo-arenito, litologia esta também identificada por WU (1.981) em afloramento situado em Serrana, próximo à área em estudo, cuja rocha amostrada compreende 99% de quartzo.

A Figura 23 mostra uma sucessão sedimentar com 88 m de espessura, subjacente à Formação Serra Geral, que pode ser representada, com base em perfilagens geofísicas, por 3 litologias distintas, recorrentes no tempo.

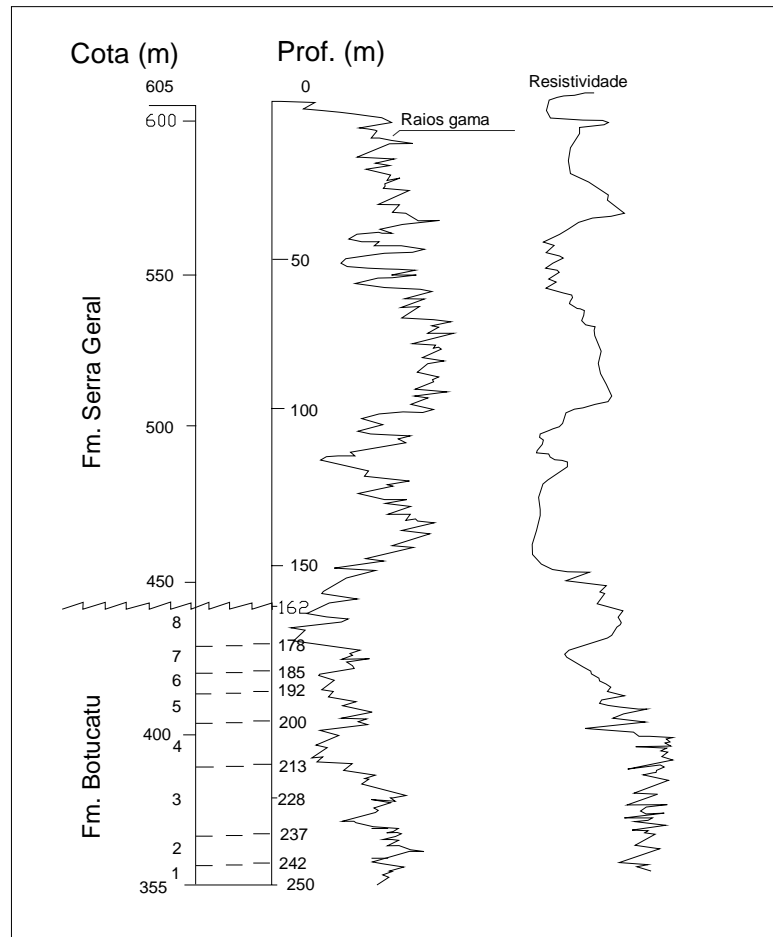


Figura 22 – Poço do HC/USP, com perfilagens de raios gama e resistividade.

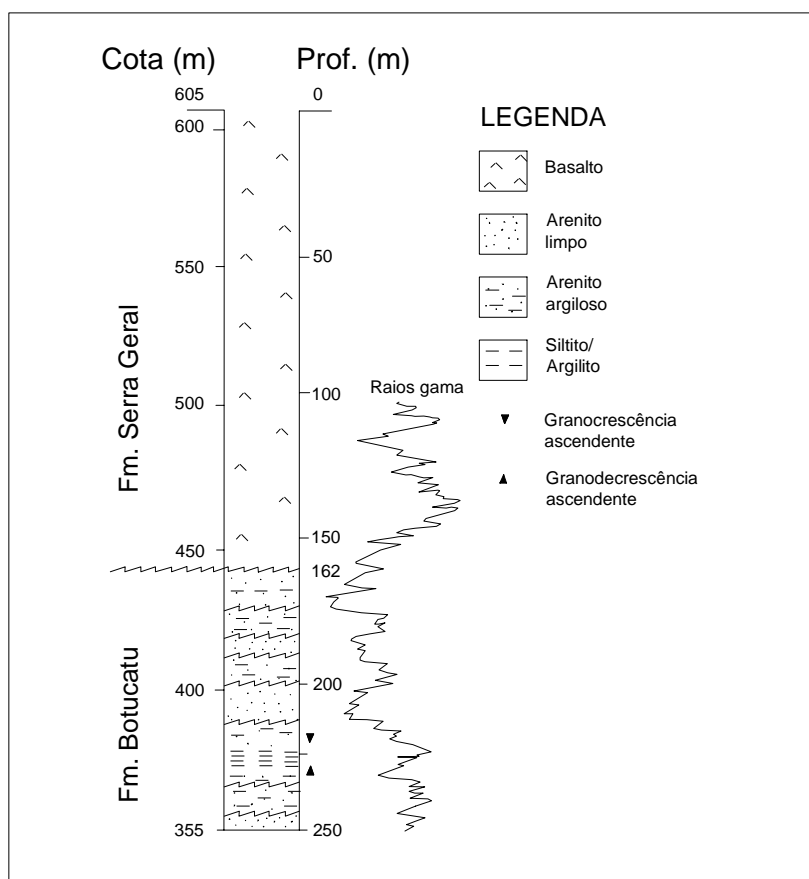


Figura 23 – Perfil litoestratigráfico do poço HC/USP, interpretado a partir de perfilagens geofísicas.

Ainda dentro dos basaltos da Formação Serra Geral, os valores da radioatividade começam a cair gradativamente desde a profundidade de 140 m para baixo até os 162 m, onde atinge-se o topo da Formação Botucatu; a deflexão para a esquerda a 110 m de profundidade pode representar uma camada de arenito intertrapeano. De 162 m até o final do poço, a 250 m de profundidade, há gradual aumento nos valores de raios gama, denotando aumento de finos em direção à base da

seqüência arenosa, porém com alternância de valores, ora para mais, ora para menos, de maneira que a curva assume padrão sigmóide (Figura 23). No entanto, variações locais no padrão da curva de raios gama são observados, com alternância de granocrescência e granodecrescência ascendentes, além de formatos em caixa.

A partir das informações fornecidas pela curva de raios gama, foi elaborada a coluna litoestratigráfica do poço, representada pela Figura 23, uma vez que não se dispõe da descrição do perfil geológico detalhado do mesmo.

Na base do poço (cota 355 m), o extremo da curva de raios gama indica uma tendência de queda brusca nos valores da radioatividade. O poço 138 (que será discutido adiante), situado 600 m a nordeste do poço HC/USP mostra, no perfil geológico, uma camada de arenito grosso a conglomerático, com cerca de 20 m de espessura, cujo topo está na cota 350 m. Como a cota do contato Serra Geral/Botucatu é praticamente a mesma nos poços HC/USP e 138 conclui-se pela horizontalidade das camadas nessa área, de modo que a perfuração do poço HC/USP teria sido paralisada na iminência de atingir essa litofácies rudácea.

A camada conglomerática acima mencionada, que ocorre de maneira contínua em toda a área urbana de Ribeirão Preto, foi considerada, neste trabalho, como sendo o topo da Formação Pirambóia, a exemplo da interpretação dada por CAETANO-CHANG (1.997) para semelhante fácies encontrada no centro-leste do Estado de São Paulo. Assim sendo, os 88 m de arenitos encontrados no poço HC/USP foram atribuídos exclusivamente à Formação Botucatu, não tendo sido atingida, nesse caso, a Formação Pirambóia subjacente.

5.2. Poço 91 (rua Peri)

Esse poço do DAERP situa-se à margem esquerda do córrego do Tanquinho (Figura 21), cujo trecho retilíneo foi interpretado como uma linha de falha, estando localizado no bloco rebaixado. Seu perfil geológico, bem como a curva de raios gama, são mostrados na Figura 24.

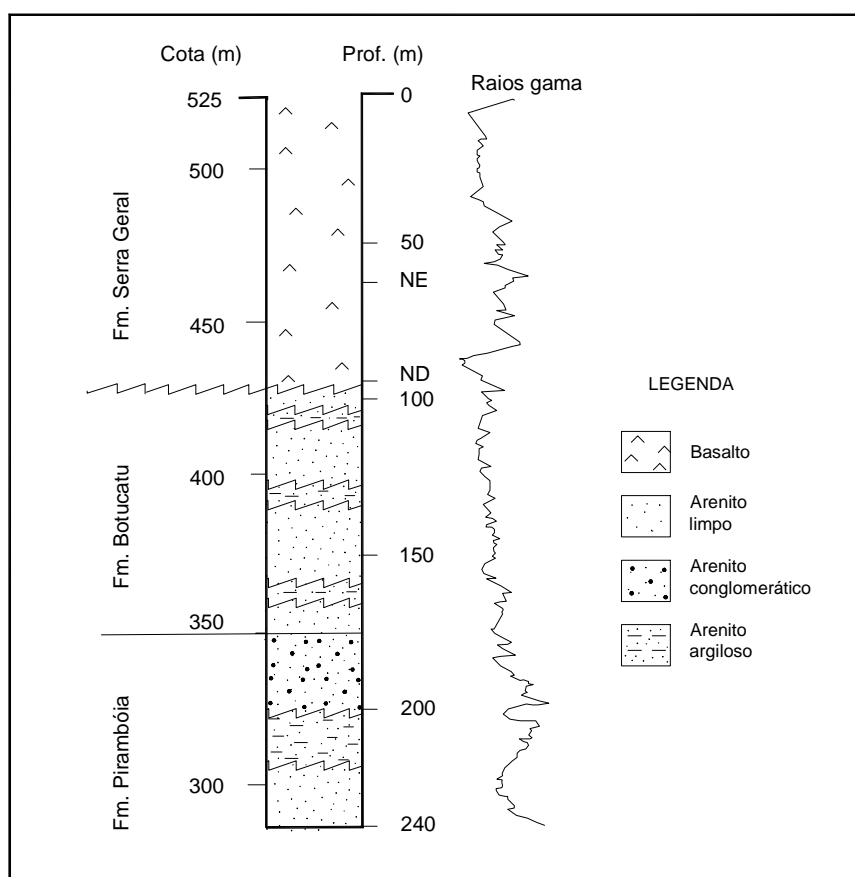


Figura 24 – Poço 91 (rua Peri), com perfilagem. NE = nível estático; ND = nível dinâmico.

Segundo o perfil geológico original, o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu ocorre à profundidade de 97,5 m, quando o perfil de raios gama marca uma mudança brusca nos valores da radioatividade. Já o contato entre as formações Pirambóia e Botucatu, não assinalado no perfil geológico original, foi interpretado como estando à profundidade de 175 m, topo de um intervalo de arenitos conglomeráticos, cuja base está a 200 m de profundidade (Figura 24).

Na base da seção colunar do poço (profundidade de 240 m) supõe-se a existência de sedimentos com baixa porcentagem de finos (arenitos limpos), que aumenta até a profundidade de 225 m (arenitos argilosos). No intervalo entre 240 m e 200 m há uma granocrescência ascendente. A partir de 200 m de profundidade, tem-se um padrão em forma de funil, com diminuição da emissão de raios gama; dessa profundidade até 175 m, os valores da radioatividade caem

gradativamente, mostrando uma granocrescência ascendente, isto é, diminuição de finos para o topo. Sabe-se pela descrição de perfis de poços da existência de uma espessa camada de arenitos grossos a conglomeráticos no topo da Formação Pirambóia em toda a área estudada. Portanto, esse intervalo com valores cada vez mais baixos de emissão de raios gama deve estar relacionado à diminuição de matriz envolvendo os clásticos maiores dessa litofácies de arenitos conglomeráticos. A extremidade inferior da curva de raios gama da Figura 24 mostra uma deflexão brusca da mesma para a direita, devendo tratar-se, provavelmente, de intrusão de diabásio, comum a essa profundidade nesse setor da cidade.

A partir da base da Formação Botucatu, a 175 m de profundidade, em direção ao topo, a curva de raios gama apresenta picos de radioatividade a 165 m, 130 m, 120 m e 105 m, o que representariam pequenas intercalações de sedimentos com maior teor em finos, interpretados como sendo arenitos argilosos, que ocorrem em vários níveis dentro da unidade, conforme descrito em perfis geológicos de outros poços situados na área. Porém, de uma maneira geral, o padrão da curva de raios gama tem a forma linear serrilhada, com gradual granocrescência ascendente, o que mostra a grande homogeneidade textural dos arenitos da Formação Botucatu nesse poço, diferentemente do que ocorre, por exemplo, com o padrão da curva de raios gama do poço do HC/USP (Figura 22), que exibe intercalações recorrentes de camadas com maior porcentagem de finos, representadas por arenitos argilosos ou mesmo argilitos.

5.3. Poços 109 e 132 (Parque São Sebastião)

O poço 109, situado na porção leste da cidade de Ribeirão Preto (Fig. 21), tem profundidade de 187 m, sendo que os 45 m iniciais são representados por rocha básica intrusiva, e os 142 m restantes por arenitos de texturas variadas (Figura 25).

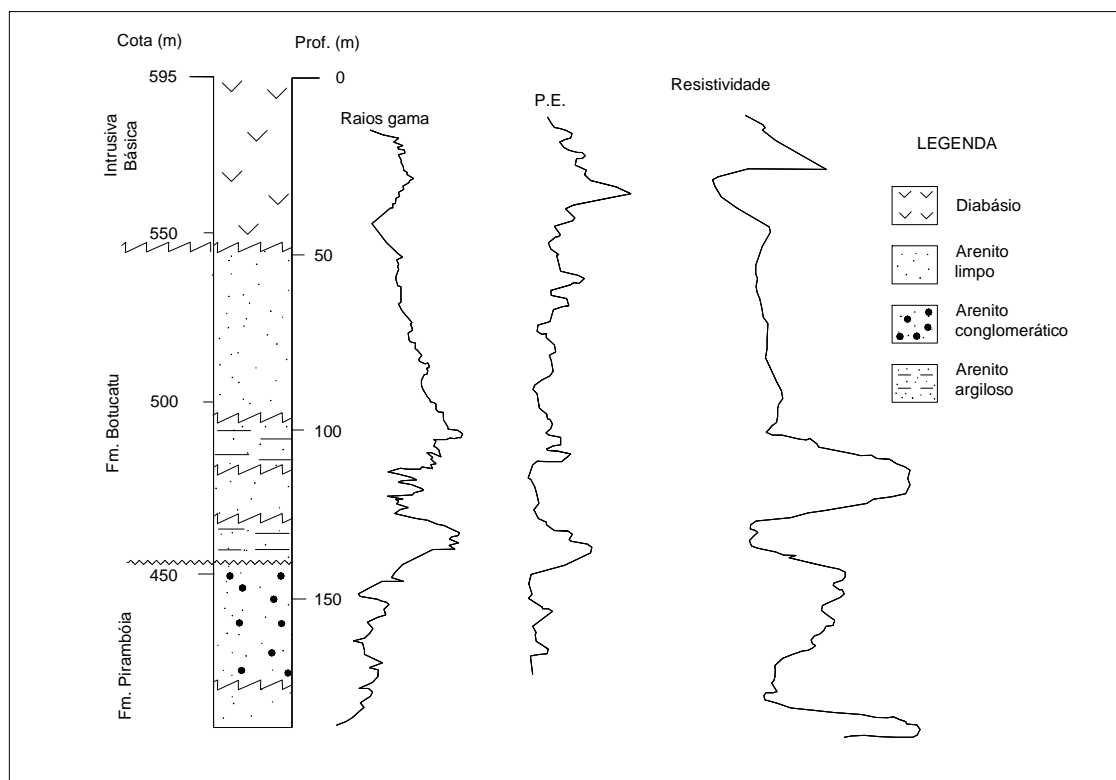


Figura 25 – Poço 109 (Parque São Sebastião), com descrição e perfilagens.

Além das perfilagens geofísicas de raios gama, potencial espontâneo e resistividade representadas em toda a sua extensão, o poço apresenta perfil geológico descrito, ainda que não muito bem detalhado.

O intervalo entre 187 m e 175 m de profundidade foi descrito como sendo representado por arenito fino. A diagrafia de raios gama exhibe valores muito baixos de radioatividade, enquanto a eletrorresistividade mostra um pico com valores máximos, revelando tratarem-se de sedimentos altamente resistivos, como arenitos limpos.

Entre 175 m e 140 m, conforme descrição do perfil geológico, ocorre arenito conglomerático. No perfil de raios gama há aumento visível nos valores da radioatividade em relação ao intervalo subjacente, enquanto a curva de resistividade mostra inicialmente queda acentuada, sugerindo

aumento de material fino envolvendo os grãos, com aumento gradativo nos valores em direção ao topo desse intervalo. Já a curva de potencial espontâneo não apresenta padrão representativo, mostrando valores relativamente constantes, com ligeiros picos, para a direita, de valores mais elevados.

De 140 m a 128 m tem-se o intervalo litoestratigráfico mais notável nos perfis geofísicos (Figura 25). Trata-se de arenito bastante argiloso, a julgar pelo aumento brusco na emissão de raios gama e potencial espontâneo e correspondente redução na resistividade.

Entre as profundidades de 128 m e 112 m é bastante sugestivo o comportamento das curvas, sendo que os perfis de raios gama e de potencial espontâneo apresentam uma queda significativa de valores, com padrão local em forma de caixa, enquanto a curva de resistividade mostra uma deflexão acentuada para a direita, evidenciando nesse intervalo sedimentos altamente resistivos, como arenitos limpos.

Entre 112 m e 98 m ocorre aumento nos valores de raios gama e do potencial espontâneo, enquanto a resistividade cai bruscamente. Deduz-se que nesse intervalo há aumento apreciável de finos no sedimento em relação ao intervalo anterior, indicando tratar-se de um arenito argiloso, conforme consta no perfil descrito.

A partir de 98 m e até 45m a curva de raios gama mostra granocrescência ascendente, com a diminuição da porção de finos em direção ao topo da seqüência pela diminuição gradativa nos valores da radioatividade, mostrando, assim, um padrão transicional ligeiramente serrilhado. De fato, o perfil geológico do poço descreve nesse intervalo a ocorrência de arenitos com aumento de matriz argilosa para a base. As curvas de potencial espontâneo e resistividade não auxiliaram na interpretação desse intervalo litoestratigráfico por apresentarem valores relativamente constantes.

No mesmo bairro, cerca de 500 m a sudoeste desse poço 109, foi perfurado o poço 132 (Figura 26), cujo perfil geológico não revelou a ocorrência de rocha básica: foram atravessados 100 m de arenitos castanho-claros a avermelhados, muito finos a finos, com grãos bem arredondados e selecionados, friáveis, com intercalação de camada lenticular de arenitos argilosos, considerados da Formação Botucatu. Subjacente a esta, inicia-se uma seqüência formada por arenitos grossos, localmente conglomeráticos, de cores esbranquiçadas, grãos mal selecionados, que persiste até a profundidade de 130 m; essa litofácies rudácea foi considerada o topo da Formação Pirambóia. De 130 m até 176 m ocorre um afinamento na granulação do arenito, que passa a fino/médio,

apenas localmente grosso, melhor selecionado. A partir daí e até a base do poço, a 200 m de profundidade, encontra-se arenito esbranquiçado, fino a muito fino, com matriz argilosa, grãos subarredondados a arredondados e seleção regular a boa. Esta litofácies de arenito fino, argiloso, estaria abaixo da base do poço 109.

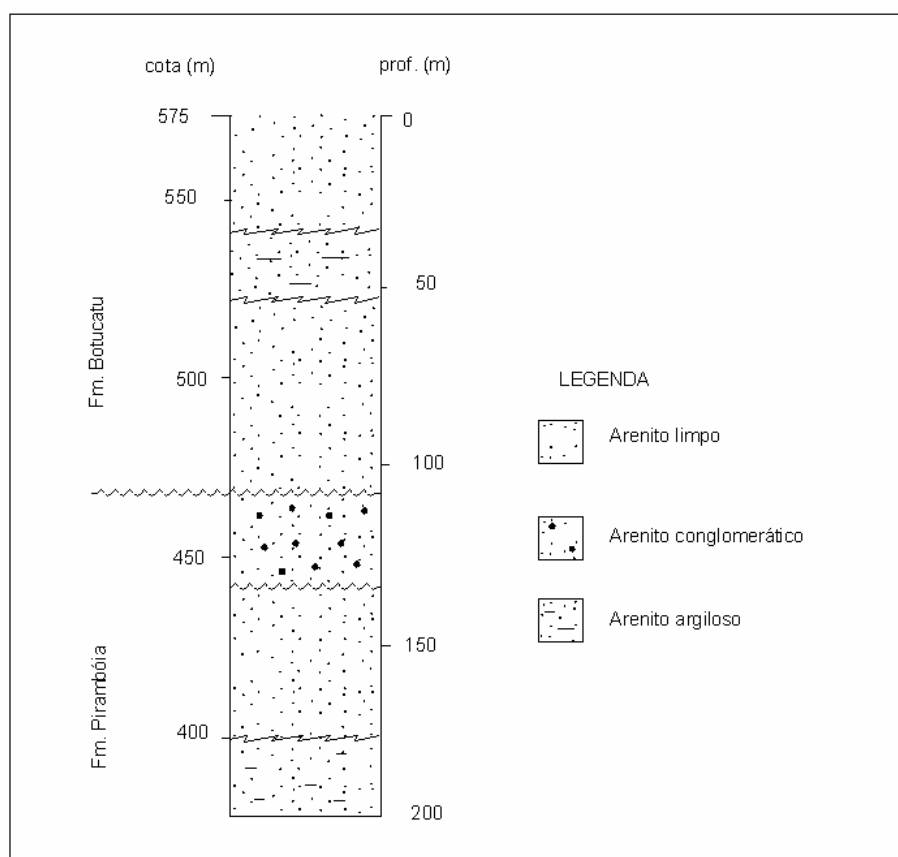


Figura 26 – Poço 132 (Parque São Sebastião), com perfil geológico descrito.

O topo do intervalo de arenito grosso/conglomerático, considerado excelente horizonte estratigráfico (além do contato Serra Geral/Botucatu), situa-se praticamente no mesmo nível altimétrico nos poços 109 e 132, descartando, portanto, a possibilidade de ocorrência de falha no local, não obstante a ocorrência de intrusão de diabásio no topo do poço 109 (Figura 25).

5.4. Poço 136 (Jardim Piratininga)

Situa-se na porção sudoeste da área urbana de Ribeirão Preto (Figura 21). Apresenta profundidade de 390 m, dos quais os 158 m iniciais correspondem aos basaltos da Formação Serra Geral e os 232 m subjacentes são constituídos por arenitos. São disponíveis para esse poço tanto a descrição do seu perfil geológico como as diagrfias de perfilagens geofísicas (Figura 27).

O intervalo basal do poço, situado entre 390 m e 372 m, compreende arenitos avermelhados, finos a muito finos, friáveis. A curva de raios gama mostra valores ligeiramente acima da média encontrada em toda a seqüência sedimentar do poço, sugerindo maior concentração de finos nesse intervalo, principalmente a 385 m onde se verifica um pico, para a direita, nos valores de raios gama, o mesmo ocorrendo com o perfil de potencial espontâneo, devendo indicar uma intercalação lamítica.

Entre 372 m e 264 m ocorrem, conforme o perfil geológico descrito, arenitos esbranquiçados a rosados, conglomeráticos, com matriz de areia fina a média, constituídos por grãos de quartzo e quartzito mal selecionados e subangulosos a angulosos, evidenciando pequeno transporte, situados no topo da Formação Pirambóia. A curva de raios gama apresenta valores relativamente menores que os dos arenitos subjacentes, após uma queda brusca no contato, a 372 m de profundidade. Por sua vez, a curva de resistividade mostra valores mais elevados entre 360 m e 340 m e valores mais baixos entre 300 m e 264 m, indicando variações nas porcentagens em finos dentro do intervalo correspondente à litofácies de arenitos conglomeráticos.

O intervalo situado entre 264 m e 158 m, representado pela Formação Botucatu, compreende arenitos muito finos a finos, avermelhados ou amarelados, por vezes friáveis, representados na curva de raios gama por um padrão linear serrilhado, com intervalos em forma de caixa, como entre 260 m e 240 m, e entre 222 m e 214 m, indicando sedimentos ainda mais limpos. No entanto, entre 214 m e 210 m um aumento acentuado na emissão de raios gama denuncia a ocorrência de uma camada composta por arenito muito argiloso, conforme descrito no perfil geológico do poço. Já o perfil de resistividade mostra o contato da Formação Pirambóia com a Formação Botucatu, a 264 m de profundidade, marcado por um aumento brusco na resistividade do sedimento, com a deflexão abrupta da curva para a direita. Nova variação brusca nos valores da resistividade pode ser detectada a 158 m, no contato Botucatu/Serra Geral.

Também a 158 m de profundidade, a emissão de raios gama sofre uma variação abrupta, com a curva de raios gama tomando a forma de funil, marcando o contato entre a Formação Botucatu e a Formação Serra Geral sobrejacente. O mesmo padrão é mostrado na curva de potencial espontâneo, sugerindo contato litológico.

De modo geral, as discrepâncias mais significativas no traçado dos perfis geofísicos são fornecidas pela curva de resistividade (Figura 27), pela sua variação brusca no contato Pirambóia/Botucatu e Botucatu/Serra Geral, mantendo-se os valores constantes e relativamente altos em toda a seção da Formação Botucatu.

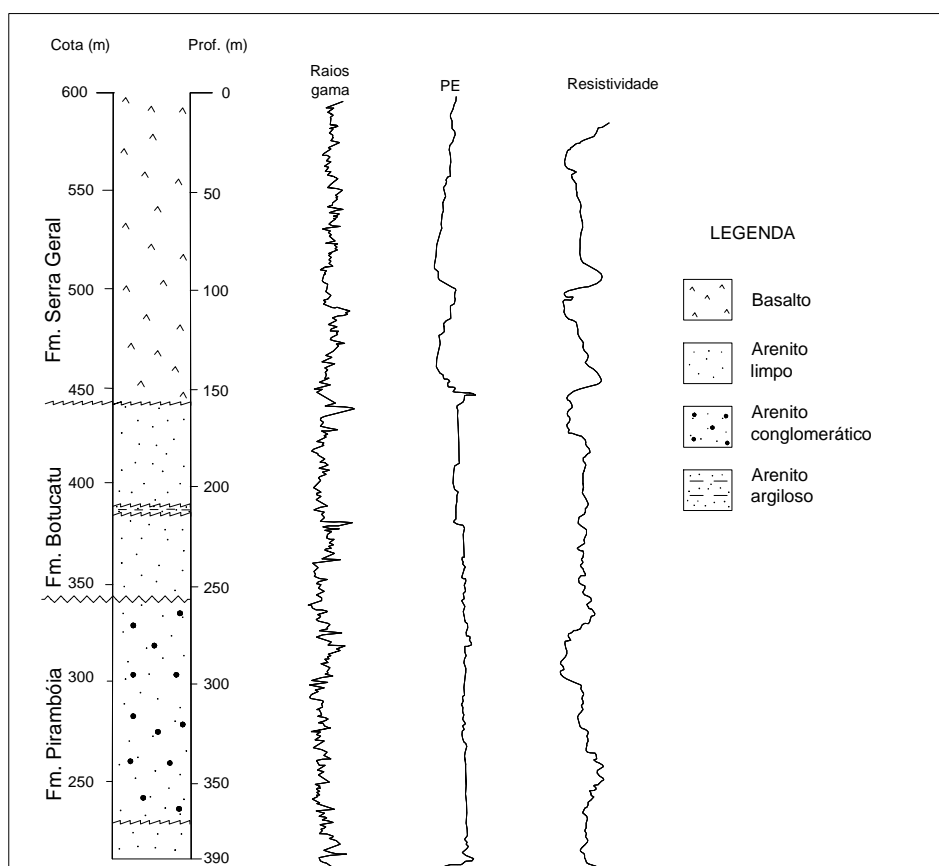


Figura 27 – Poço 136 (Jardim Piratininga), com descrição e perfisagens.

A curva de resistividade mostra, ainda, que os 30 m superiores da Formação Pirambóia (de 270 m a 300 m de profundidade) são menos resistivos que o restante dessa unidade (de 300 m a 370 m), sugerindo menor porcentagem de finos na matriz do intervalo entre 270 m e 300 m, descrito como sendo constituído por arenitos conglomeráticos. Na base do poço, a curva de resistividade termina com aumento brusco, indicando a presença de sedimento altamente resistivo subjacente à litofácies de arenitos conglomeráticos.

5.5. Poço 138 (Monte Alegre)

Localiza-se no Bairro Monte Alegre, porção oeste de Ribeirão Preto, cerca de 500 m a nordeste do poço do HC/USP (Figura 21). Apresenta 358 m de profundidade, os 195 m iniciais representados pelos basaltos da Formação Serra Geral, os 2 m finais compostos por diabásio, o restante por arenitos, conforme descrição do perfil geológico (Figura 28).

Entre 356 m e 352 m, segundo o perfil geológico do poço, ocorre arenito fino a muito fino e mais argiloso na base, conforme evidenciado pela curva de potencial espontâneo, já que os perfis de radioatividade e resistividade são pouco representativos nessa sondagem.

De 352 m a 288 m de profundidade o sedimento mostra-se homogêneo, compreendendo arenito fino a médio, de cor creme avermelhada, grãos regularmente selecionados e arredondados. As curvas de raios gama e resistividade mostram padrão semelhante em relação à camada conglomerática, apenas evidenciando ligeiro aumento em finos entre 310 m e 320 m e entre 340 m e 345 m (Figura 28). Nesse intervalo, a curva de potencial espontâneo varia bastante, sugerindo maior heterogeneidade no sedimento, sendo que um pico para a direita, na base do poço, evidencia intrusão de diabásio, não mostrada nas outras duas curvas.

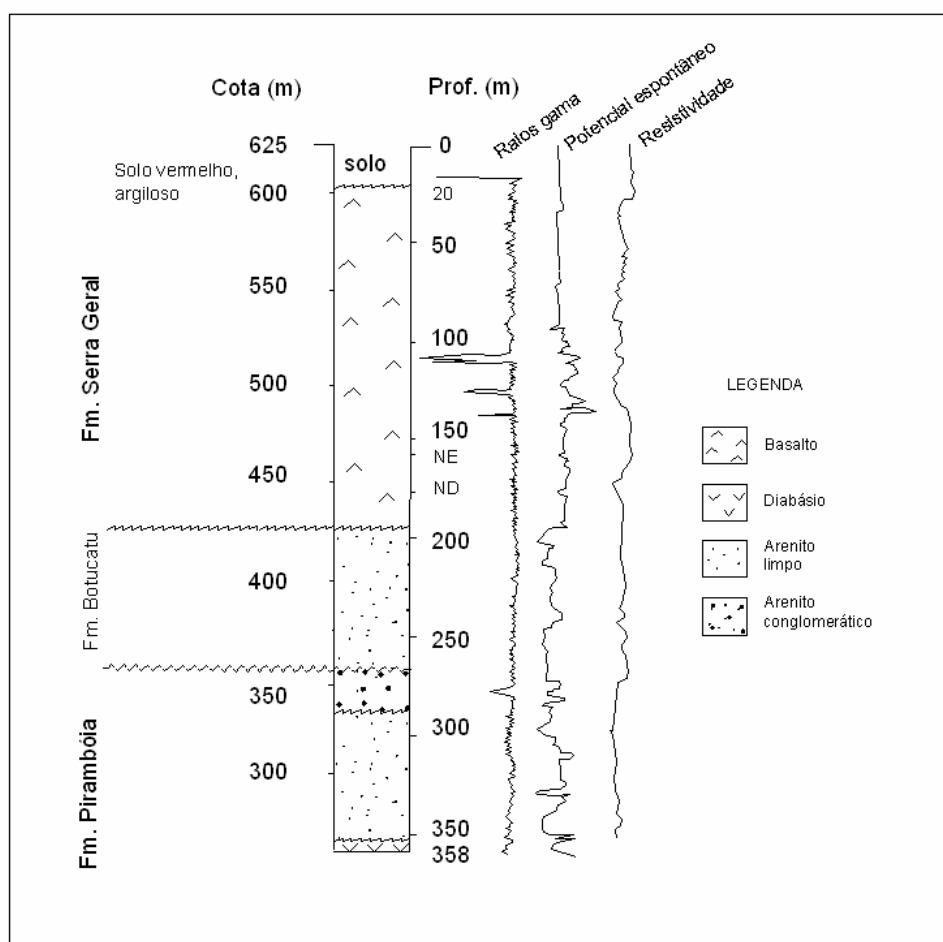


Figura 28 – Poço 138 (Monte Alegre), com descrição e perfilagens.

O intervalo compreendido entre 288 m e 266 m de profundidade foi descrito como representado por arenitos grossos, creme e avermelhados, mal selecionados, com clastos regularmente arredondados. Esse nível representa-se na curva de raios gama por uma deflexão brusca, em forma de funil, para a esquerda, provavelmente devido à presença de níveis com acúmulo de seixos de quartzo e quartzito, comuns nessa litofácies rudácea.

Entre 266 m e 195 m ocorre uma seqüência monótona de arenitos finos, avermelhados, com grãos arredondados e bem selecionados, compreendendo a Formação Botucatu. Esta seqüência está bem representada no perfil de raios gama, o qual mostra um padrão serrilhado, porém com valores

relativamente constantes. Também a curva de resistividade não se mostrou eficaz nesse poço para a interpretação litológica: os valores mostraram-se constantes, com apenas um pico para a direita entre 232 m e 236 m, evidenciando camada ligeiramente mais resistiva que o restante. Nem mesmo o contato Botucatu/Serra Geral é perceptível nas curvas de resistividade e raios gama.

O padrão mais significativo nas perfilagens geofísicas desse poço é mostrado na curva de raios gama, a 110 m de profundidade, na parte média da Formação Serra Geral, onde um pico de muito baixa radioatividade sugere a ocorrência de arenito intertrapeano, provavelmente metamorfisado pela lava básica, com outra ocorrência menor a 130 m.

5.6. Poço 150 (Manoel Pena)

Esse poço localiza-se na porção sudeste da área (Figura 21), na faixa de afloramento do Aquífero Guarani. Compreende 240 m de sedimentos, porém não se tem a descrição de seu perfil geológico, mas sim as perfilagens de raios gama, potencial espontâneo e resistividade, as duas últimas não representadas na Figura 29 por serem pouco representativas na escala da figura apresentada, embora tenham sido citadas no texto com base no perfil original, de escala bem maior (1:200).

A curva de raios gama mostra um padrão linear serrilhado, com valores relativamente constantes em toda a seção vertical do poço, porém ligeiramente mais elevados entre 240 m e 170 m e entre 80 m e 60 m. Entre as profundidades de 45 m e 51 m ocorre um aumento significativo na emissão de raios gama, sugerindo maior concentração de finos em um nível com cerca de 6 m de espessura, provavelmente arenitos muito argilosos (Figura 29).

A exemplo da curva de raios gama, também a de potencial espontâneo mostra valores mais elevados entre 80 m e 60 m e por volta de 45 m, indicando maior porcentagem de argila nesses intervalos, com queda entre 110 m e 80 m, acompanhada da respectiva redução da emissão de raios gama, sugerindo intervalo com arenitos mais limpos que os situados entre 80 m e 60 m.

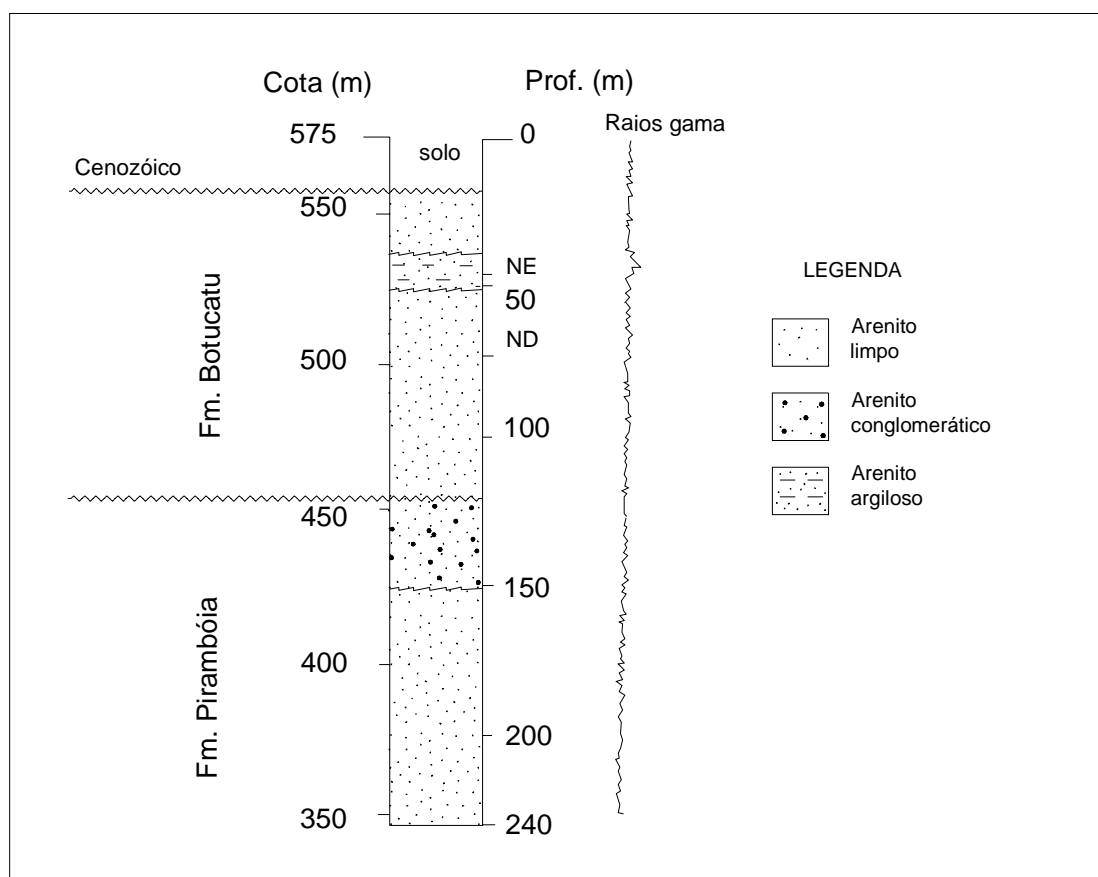


Figura 29 – Poço 150 (Manoel Pena), com perfilagem.

O perfil de resistividade mostra valores crescentes de 240 m até 130 m, sugerindo incipiente granocrescência ascendente. Entre 110 m e 80 m há um aumento acentuado na resistividade do sedimento, que decresce entre 80 m e 60 m, para apresentar um pico para a esquerda entre 51 m e 45 m, acompanhado de aumento na emissão de radioatividade. O intervalo entre 45 m e 20 m mostra sedimentos com resistividades elevadas, em constraste com a curva de radioatividade, que apresenta baixos valores, sugerindo a ocorrência de arenitos limpos.

Tendo em vista sua localização intermediária entre o poço 109 e o poço 185 (que será discutido adiante), foi possível efetuar-se a correlação litoestratigráfica entre esses três poços, uma vez que o poço 109 está descrito e perfilado e o poço 185 apresenta descrição detalhada de seu perfil geológico. Além desses poços, foram aproveitados na correlação o poço 169, com descrição

pouco detalhada, e o poço 176 (Parque dos Flamboyants), sem descrição mas com a maior espessura de arenitos registrada na área (pelo menos 262 m). A correlação sugere que o arenito conglomerático esteja, no poço 150, entre 120 m e 150 m de profundidade, intervalo onde a resistividade é relativamente alta, provavelmente em virtude da ocorrência de seixos de quartzo e quartzito resistivos. Entre as profundidades de 45 m a 51 m, segundo o perfil de raios gama e a curva de resistividade, ocorreria um nível de arenito muito argiloso (ou argilito), com aproximadamente 6 m de espessura, a exemplo do que se verifica no poço 109, cujo intervalo correspondente foi descrito como arenito muito argiloso. A correlação do poço 150 com o poço 185 indica a provável existência de uma importante camada de arenito argiloso na porção considerada basal da Formação Pirambóia, já que, supostamente, o topo da Formação Corumbataí no local deve estar em torno da cota 200 m; os valores de resistividade mais baixos na porção inferior do poço 150 (entre 240 m e 210 m) atestam o maior conteúdo em finos nesse intervalo, acompanhados da concomitante alta no registro da emissão de raios gama, não verificados nos perfis da Figura 29, devido à redução gráfica, mas observados nos perfis originais, elaborados na escala 1:200.

5.7. Poço 152 (Jardim Irajá)

Situado na parte sul da área (Figura 21), tem 291 m de profundidade, compreendendo 37 m de basaltos e 254 m de arenitos. Pela espessura destes, conclui-se que o contato inferior, com a Formação Corumbataí, não deve estar a mais de 20 m da base do poço. Este poço apresenta perfilagens de raios gama e resistividade, sendo que apenas o trecho mais representativo das curvas de raios gama e de resistividade foi utilizado (Figura 30), já que no restante das mesmas os seus valores se mantiveram bastante uniformes.

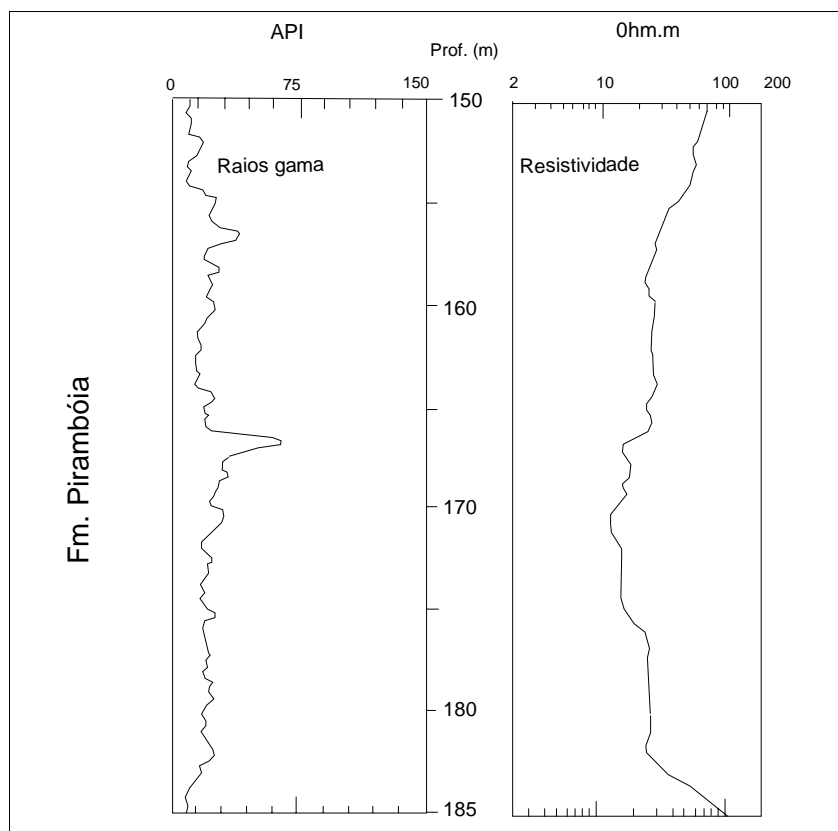


Figura 30 – Poço 152 (Jardim Irajá). Intervalo mais representativo das perfilagens.

A curva de raios gama mostra valores constantes, entre 15 A. P. I. e 30 A. P. I., desde 290 m até 230 m de profundidade. De 230 m a 183 m, a emissão de raios gama cai para menos de 15 A. P. I., para subir novamente entre 183 m e 154 m de profundidade (Figura 30), sugerindo aumento no teor em finos, com pico a 167 m (65 A. P. I.), indicando nível mais argiloso com cerca de 1 m de espessura. Entre 154 m e 37 m os valores da radioatividade caem para menos de 15 A. P. I., evidenciando intervalo de arenitos mais puros. À profundidade de 37 m ocorre brusca elevação na emissão de raios gama, indicando o contato do arenito com o basalto sobreposto.

O perfil de resistividade mostra valores crescentes de 290 m a 240 m, mantendo-se com valores altos e constantes (50 ohm.m a 150 ohm.m) entre 240 m e 183 m, sugerindo intervalo de

sedimentos altamente resistivos. Entre 183 m e 154 m a resistividade é menor (10 ohm.m a 40 ohm.m) que a do intervalo subjacente, indicando maior porcentagem de finos na rocha, conforme atestado, também, na curva de raios gama; esse intervalo mais argiloso estaria representado por arenitos conglomeráticos com matriz fina, encontrados a cerca de 100 m abaixo do contato Serra Geral/Botucatu. A partir de 154 m e até 37 m de profundidade, os valores de resistividade são altos, entre 40 ohm.m e 150 ohm.m, sugerindo arenitos limpos. Em 37 m, a resistividade sofre variação brusca, marcando o contato entre as formações Botucatu e Serra Geral. Também a 15 m ocorre queda brusca na curva de resistividade, mostrando o contato entre rocha/solo.

5.8. Poço 154 (Jardim Itaú)

Situa-se no extremo oeste da área investigada (Figura 21). Tem 203 m de profundidade e o seu perfil geológico não é conhecido, de maneira que o mesmo foi interpretado com base em perfilagens geofísicas e por correlação com o poço 138, situado a norte, que apresenta perfilagens e tem o seu perfil geológico descrito com detalhe. O intervalo mais representativo das perfilagens geofísicas está exposto na Figura 31.

A curva de raios gama apresenta valores uniformes, em torno de 15 A. P. I., desde a base até 125 m de profundidade, com picos para a direita a 195 m e 180 m. A partir de 125 m há um ligeiro aumento na emissão de raios gama, cujos valores oscilam entre 15 A. P. I e 30 A. P. I. até os 60 m de profundidade, onde ocorre uma mudança brusca, indicando o contato arenito/basalto.

Padrão local em forma de caixa ocorre entre 92 m e 89 m, evidenciando ausência de material pelítico nesse intervalo (Figura 31).

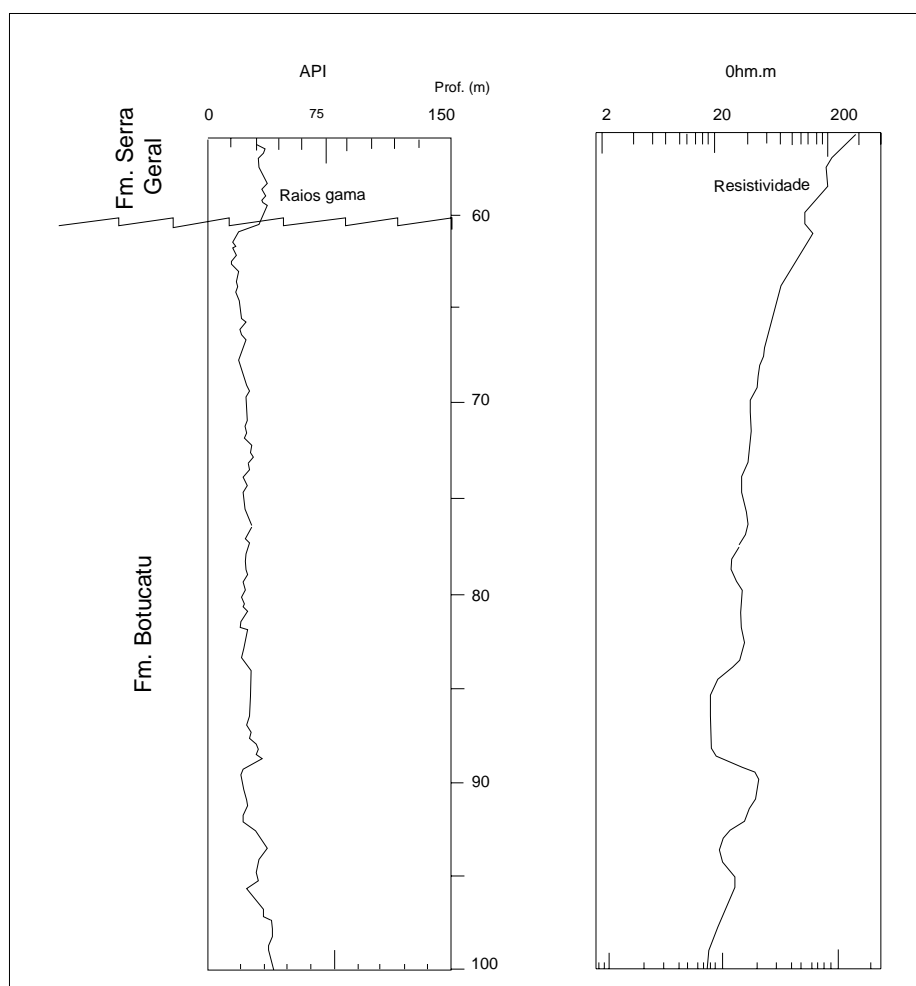


Figura 31 – Poço 154 (Jardim Itaú). Intervalo mais representativo das perfilagens.

O perfil de resistividade mostra valores relativamente altos (entre 50 ohm.m e 100 ohm.m) de 203 m até 125 m, com picos para a esquerda a 195 m e 180 m. Em 125 m, a resistividade cai bruscamente para 10 ohm.m, indicando intervalo pouco resistivo, ao contrário da radiação gama que concomitantemente se eleva, com passagem de sedimentos mais resistivos para menos resistivos até 98 m. Entre 92 m e 89 m aumento rápido na resistividade do sedimento, com padrão em forma de caixa na curva de resistividade, associado à queda na radioatividade, evidencia camada bastante resistiva, com ausência de finos, sugerindo arenitos limpos (Figura 31). De

89 m até 54 m, o aumento da resistividade é gradativo até 200 ohm.m; daí até 35 m ocorre o contrário, com os valores baixando para 70 ohm.m. Nota-se que a 60 m de profundidade a curva de raios gama apresenta mudança abrupta, com aumento nos valores da radioatividade, evidenciando o contato sedimento/lava basáltica.

A curva de potencial espontâneo, não representada na Figura 31, mantém-se com valores relativamente constantes em toda a seção colunar, a não ser a 9 m de profundidade onde ocorre uma queda nítida dos valores no perfil, indicando o contato basalto são/regolito.

A correlação entre esse poço 154 e o poço 138 descrito, situado a norte, sugere que o contato Pirambóia/Botucatu esteja a 125 m de profundidade, com a fácies de arenitos conglomeráticos apresentando cerca de 25 m de espessura. A Figura 31 mostra, então, quase toda a seção colunar da Formação Botucatu, composta por arenitos mais argilosos abaixo de 95 m de profundidade e arenitos limpos (diminuição na emissão de raios gama e aumento da resistividade) entre 95 m e 60 m. Já na Formação Pirambóia, os picos para a direita na curva de raios gama, a 195 m e 185 m, indicam intercalações métricas de arenitos mais argilosos em arenitos limpos.

5.9. Poço 156 (Mabel 2)

Situa-se na porção leste da área urbana de Ribeirão Preto (Figura 21), a cerca de 1 km da faixa de afloramento do Aquífero Guarani. Com 240 m de profundidade, apresenta perfilagens de raios gama, potencial espontâneo e resistividade, com a informação de que o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu está a 52 m de profundidade. De toda a seção vertical perfilada do poço foi apresentado apenas o intervalo mais significativo das curvas, como ilustra a Figura 32.

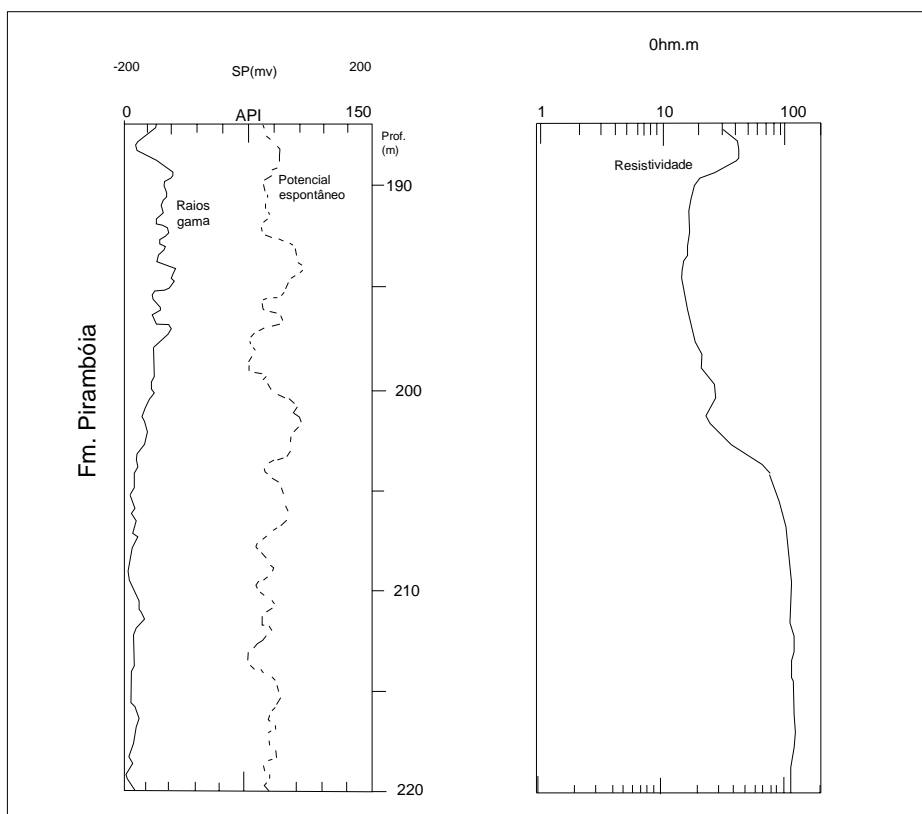


Figura 32 – Poço 156 (Mabel 2). Intervalo mais representativo das perfilagens.

A emissão de raios gama mantém-se com valores constantes e abaixo de 15 A. P. I desde 240 m até 200 m, e com resistividade elevada (entre 50 ohm.m e 100 ohm.m). Entre 200 m e 189 m, ocorre um intervalo com maior emissão de radioatividade, entre 15 A. P. I. e 30 A. P. I., com respectiva queda na resistividade (entre 15 ohm.m a 30 ohm.m), sugerindo camada com maior conteúdo em argila (Figura 32). De 189 m para cima, a radioatividade cai para menos de 15 A. P. I., exceto entre 166 m e 163 m, 133 m e 131 m, e 86 m e 83 m, onde ocorrem picos para a direita, o que sugere maior conteúdo em finos nesses intervalos; nesses mesmos intervalos, a curva de resistividade acusa queda nos valores, mostrando picos para a esquerda. Por outro lado, acusa

aumento brusco de 30 ohm.m a 100 ohm.m entre 175 m e 166 m, indicando intervalo muito resistivo, podendo representar a litofácies conglomerática que ocorre em toda a área, sendo que nesse mesmo trecho a curva de raios gama apresenta valores relativamente baixos, sugerindo sedimento com pouco conteúdo em finos.

Da profundidade de 52 m para cima, a emissão de raios gama sofre aumento brusco, passando de menos de 15 A. P. I. para 30 A. P. I., indicando o contato superior da Formação Botucatu.

Por correlação entre esse poço 156 e os poços descritos situados nas proximidades, a litofácies de arenitos conglomeráticos do topo da Formação Pirambóia estaria entre as profundidades de 180 m e 168 m, intervalo esse apresentando baixa emissão de raios gama provavelmente pela ausência de matriz envolvendo os clásticos grossos. Desse modo, o trecho representado na Figura 32 corresponde somente à Formação Pirambóia, que como se observa nas curvas de raios gama e resistividade tem diminuição de finos para baixo, ou seja, os sedimentos da seção inferior do poço podem ser considerados arenitos mais limpos.

5.10. Poço 158 (Pômpolo)

Localiza-se junto ao poço 122 (Figura 21), que tem perfil geológico descrito, o que auxiliou em sua calibração, além de possibilitar a elaboração de correlação litoestratigráfica entre ambos. Com 301 m de profundidade, compreende 100 m de basaltos sobrepostos a 201 m de sedimentos. De toda a seção vertical perfilada do poço representou-se apenas o trecho mais significativo das curvas geofísicas, como mostra a Figura 33.

Desde a base do poço (301 m) até 262 m de profundidade a emissão de raios gama mostra valores entre 15 A. P. I. e 30 A. P. I., sugerindo ocorrência de argila no sedimento. De fato, esse intervalo no poço 122 foi descrito como representado por arenitos finos a médios, de cores beges e amareladas, argilosos, compostos por grãos de quartzo arredondados e bem selecionados. Nesse trecho da seção colunar do poço, o perfil de resistividade apresenta valores constantes e relativamente elevados, entre 50 ohm.m e 100 ohm.m.

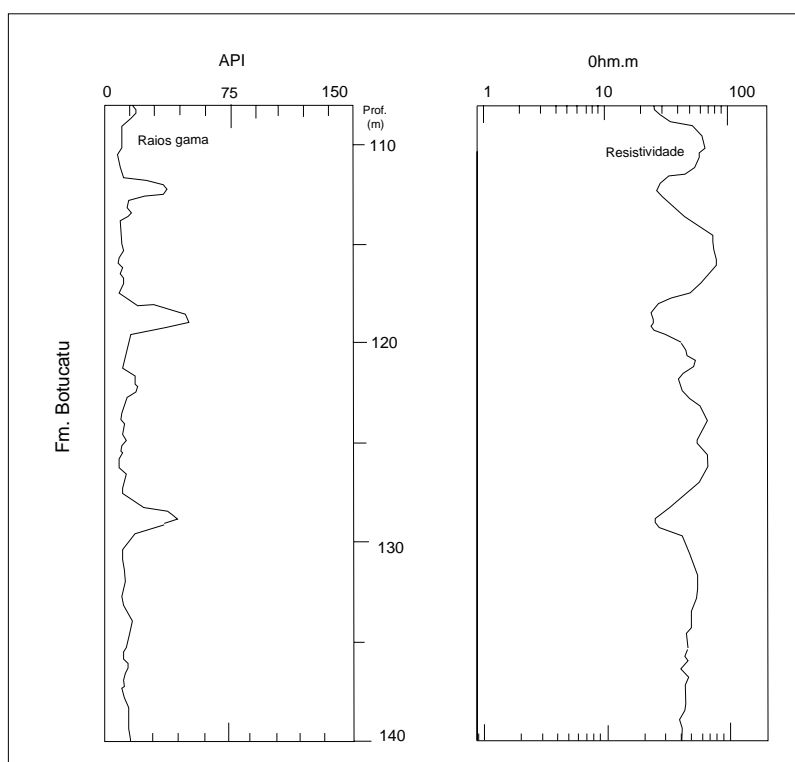


Figura 33 – Poço 158 (Pômpolo). Intervalo mais representativo das perfilagens.

Entre 262 m e 223 m, o valor da radioatividade cai para menos de 15 A. P. I. enquanto a resistividade mantém-se elevada, sugerindo diminuição de argila nos sedimentos. O intervalo correspondente no poço 122 está descrito como arenitos róseos e marrons, finos a médios, grãos arredondados e bem selecionados, sem matriz, ou seja arenitos limpos.

Mudança visível nas curvas de raios gama e resistividade ocorre entre as profundidades de 223 m e 209 m, quando a emissão de raios gama aumenta para 30 A. P. I. e a resistividade diminui para 15 ohm.m a 60 ohm.m, indicando aumento no teor em finos na rocha. O perfil do poço 122 descreve esse intervalo como composto por arenitos esbranquiçados, médios a muito grossos, mal selecionados, com matriz síltico-argilosa esbranquiçada.

De 209 m a 205 m de profundidade é bastante acentuado o aumento da emissão de raios gama, cujos valores atingem 60 A. P. I., ocorrendo, em contraposição, uma diminuição visível na

resistividade para cerca de 25 ohm.m, o que evidencia, para esse intervalo estratigráfico, a existência de uma camada argilosa sobreposta aos arenitos médios a muito grossos anteriormente mencionados.

Entre 205 m e 110 m a curva de radioatividade tem padrão linear levemente serrilhado, com valores abaixo de 15 A. P. I., porém com picos para a direita (até 45 A. P. I.) em 128 m, 119 m e 113 m, acompanhados dos respectivos picos para a esquerda no perfil de resistividade, que em geral têm valores elevados, entre 40 ohm.m e 80 ohm.m (Figura 33). O comportamento das curvas geofísicas sugere a ocorrência de sedimentos limpos, descritos no poço 122 como arenitos amarelados e esbranquiçados, finos a médios, compostos por grãos arredondados e bem selecionados. Intercalações mais argilosas estariam situadas nos intervalos com picos nos valores das curvas geofísicas.

O contato entre o arenito e o basalto está bem assinalado no perfil de resistividade, que mostra aumento abrupto da resistência elétrica para até 300 ohm.m à profundidade de 100 m, ao ser atingida a Formação Serra Geral, sendo que o padrão da curva sugere uma camada menos resistiva entre 110 m e 108 m, intervalo esse que coincide com o aumento da radioatividade.

No poço 122, perfurado nas proximidades, foi atravessada uma camada de arenito silicificado situada no topo da Formação Serra Geral e a cerca de 100 m acima do contato desta com a Formação Botucatu, indicando tratar-se de um arenito intertrapeano.

5.11. Poço 159 (Cândido Portinari)

Situado na área de recarga do Aquífero Guarani (Figura 21), tem 240 m de profundidade. Seu perfil geológico não é conhecido em detalhe, porém apresenta perfilagens de raios gama, resistividade e potencial espontâneo, as duas primeiras representadas em toda a seção do poço, conforme mostrado na Figura 34.

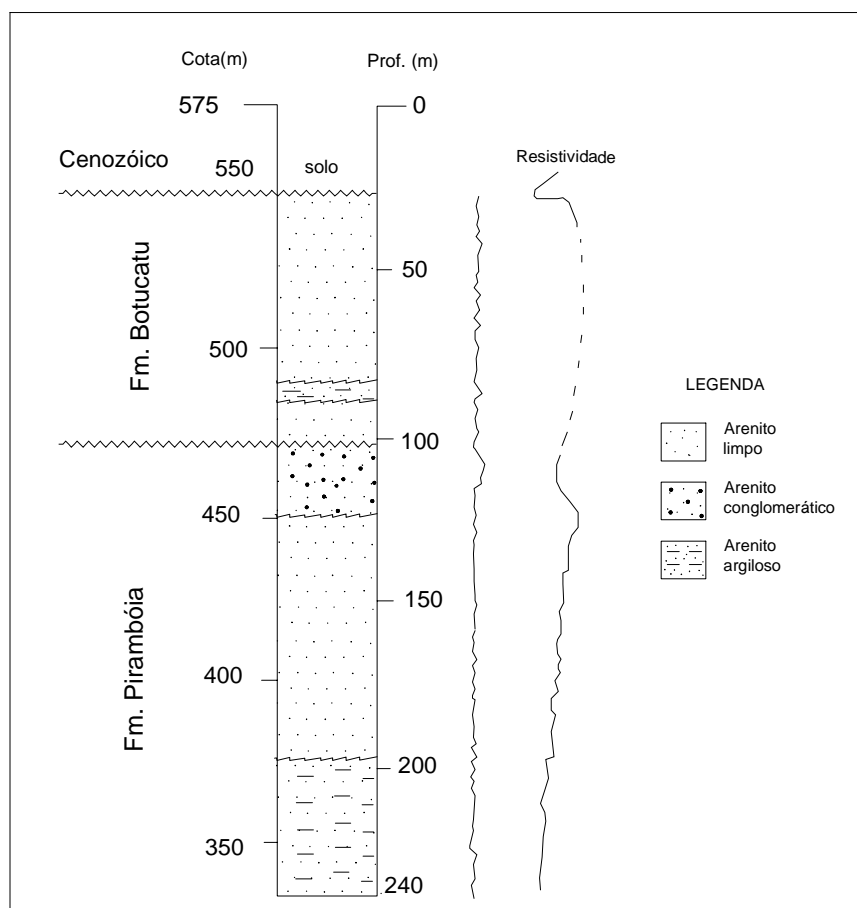


Figura 34 – Poço 159 (Cândido Portinari). Perfil litológico interpretado a partir de perfilagens geofísicas.

Os poços 109 (Figura 25) e 132 (Figura 26), localizados a sul desse poço, foram utilizados para correlação litoestratigráfica com o poço 159.

A curva de raios gama mostra padrão linear ondulado, com valores entre 15 A. P. I e 30 A. P. I., desde a base até a profundidade de 25 m, em granocrescência ascendente, com deflexão para a direita entre 120 m e 100 m e pico, também para a direita, em 81 m de profundidade (Figura 34). O intervalo entre 120 m e 100 m foi atribuído à litofácies de arenitos conglomeráticos do topo da

Formação Pirambóia, com matriz argilosa; o pico a 81 m foi atribuído a uma intercalação de material pelítico em arenitos limpos, na porção inferior da Formação Botucatu. Incipientes padrões em granocrescência ascendente alternados com granodecrescência ascendente são verificados, principalmente da base até 150 m de profundidade.

O padrão da curva de resistividade exhibe valores crescendo gradativamente desde 240 m até 25 m de profundidade, mostrando ser a seção basal do poço menos resistiva, portanto mais argilosa (litofácies de arenitos argilosos). De 240 m até 185 m os valores da resistividade aumentam suavemente de 10 ohm.m para 40 ohm.m e daí até 125 m mantêm-se altos entre 70 ohm.m e 150 ohm.m, evidenciando sedimentos bastante resistivos (litofácies de arenitos limpos). De 120 m até 100 m de profundidade, o intervalo é menos resistivo, com a curva defletindo para a esquerda, apresentando uma queda acentuada para cerca de 40 ohm.m, o que sugere intervalo com maior conteúdo em finos, ao mesmo tempo que a curva de raios gama deflete para a direita (Figura 34). A correlação entre esse poço e os poços 109 e 132 sugere que tal intervalo litoestratigráfico corresponde à litofácies de arenitos conglomeráticos, comum em toda a área estudada, e a mudança de valores nas curvas geofísicas estaria relacionada à ocorrência de matriz argilosa envolvendo os clásticos da rocha. A partir de 100 m de profundidade até aproximadamente 25 m, a resistividade mantêm-se com valores altos e acima de 200 ohm.m, representando arenitos limpos, bastante resistivos.

De 25 m de profundidade até a superfície, a resistividade cai abruptamente para cerca de 8 ohm.m, indicando a presença de sedimentos pouco resistivos associados às coberturas coluvionares argilo-arenosas neocenozóicas, em contraste com os arenitos limpos, altamente resistivos, da Formação Botucatu subjacente.

5.12. Poço 161 (João Fiúza)

Localizado no setor sul da cidade (Figura 21), tem 390 m de profundidade, tendo sido perfurado com raios gama, potencial espontâneo e resistividade (Figura 35).

A curva de raios gama mostra, no geral, granocrescência ascendente, com valores variando de 15 A. P. I. a 45 A. P. I., na base, para até 15 A. P. I., no topo. O trecho mais radioativo está entre 390 m e 360 m de profundidade (em geral de 20 A. P. I. a 30 A. P. I., localmente 45 A. P. I.), onde

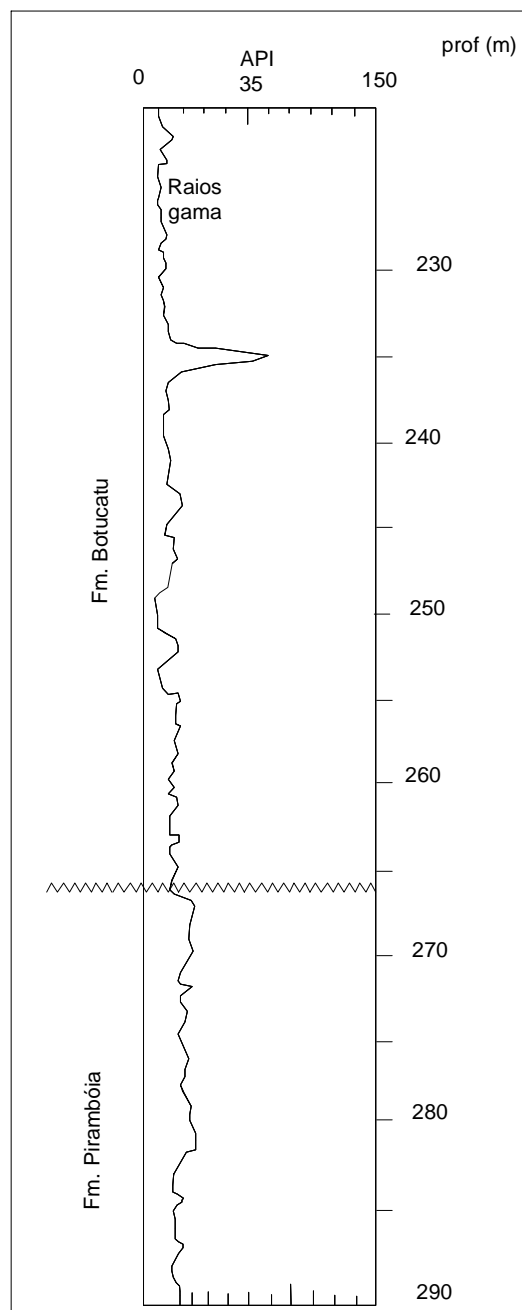


Figura 35 – Poço 161 (João Fiúza). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama.

o padrão é linear levemente ondulado. Entre 360 m e 281 m, numa suave granocrescência ascendente, a curva de raios gama mostra valores uniformes de, no máximo, 15 A. P. I. A partir de 281 m e até 266 m de profundidade, a curva deflete para a direita, em contato transicional, mostrando intercalação de níveis com maior teor em finos (20 A. P. I. a 30 A. P. I.), representando o contato entre as formações Botucatu e Pirambóia (Figura 35). Daí, deflete para a esquerda, em contato também transicional, seguindo até 133 m em padrão de granocrescência ascendente (valores em geral abaixo de 15 A. P. I.), exceto a 235 m (Figura 35), quando ocorre um pico para a direita (75 A. P. I.), evidenciando uma intercalação pelítica. Em 133 m, uma deflexão da curva para a direita, que passa transicionalmente de 15 A. P. I. para 30 A. P. I., representa o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu.

A curva de resistividade, ao contrário, mostra um padrão com valores ascendentes desde a base (20 ohm.m) até 281 m (100 ohm.m), quando sofre uma deflexão para a esquerda, mantendo-se uniforme até 266 m (10 ohm.m). Daí, mostra ligeiro aumento para cima, mantendo-se bastante uniforme, em torno de 20 ohm.m, exceto em 235 m, quando exibe um pico para a esquerda, evidenciando um nível pouco resistivo, indicando intercalação pelítica. O contato arenito/basalto não se mostra muito nítido nessa curva, apresentando ligeiro aumento da resistividade do sedimento para a rocha básica.

5.13. Poço 165 (Dutra)

Localiza-se no setor noroeste de Ribeirão Preto (Figura 21), na área de afloramento do Aquífero Guarani. Com 253 m de profundidade, apresenta perfilagens de raios gama e resistividade.

A curva de raios gama apresenta padrão linear ondulado, com estreitos intervalos mostrando granocrescência ascendente e granodecrescência ascendente. Em geral, no entanto, a curva mostra granocrescência ascendente, com valores variando de 30 A. P. I., na base, a cerca de 10 A. P. I., no topo. Na profundidade de 155 m há uma intercalação pelítica, evidenciada por um pico de 45 A. P. I. (Figura 36). Entre 150 m e 143 m de profundidade, visualiza-se granodecrescência ascendente (até 30 A. P. I.). Segue uma granocrescência ascendente (caindo para cerca de 15 A. P. I.) até o

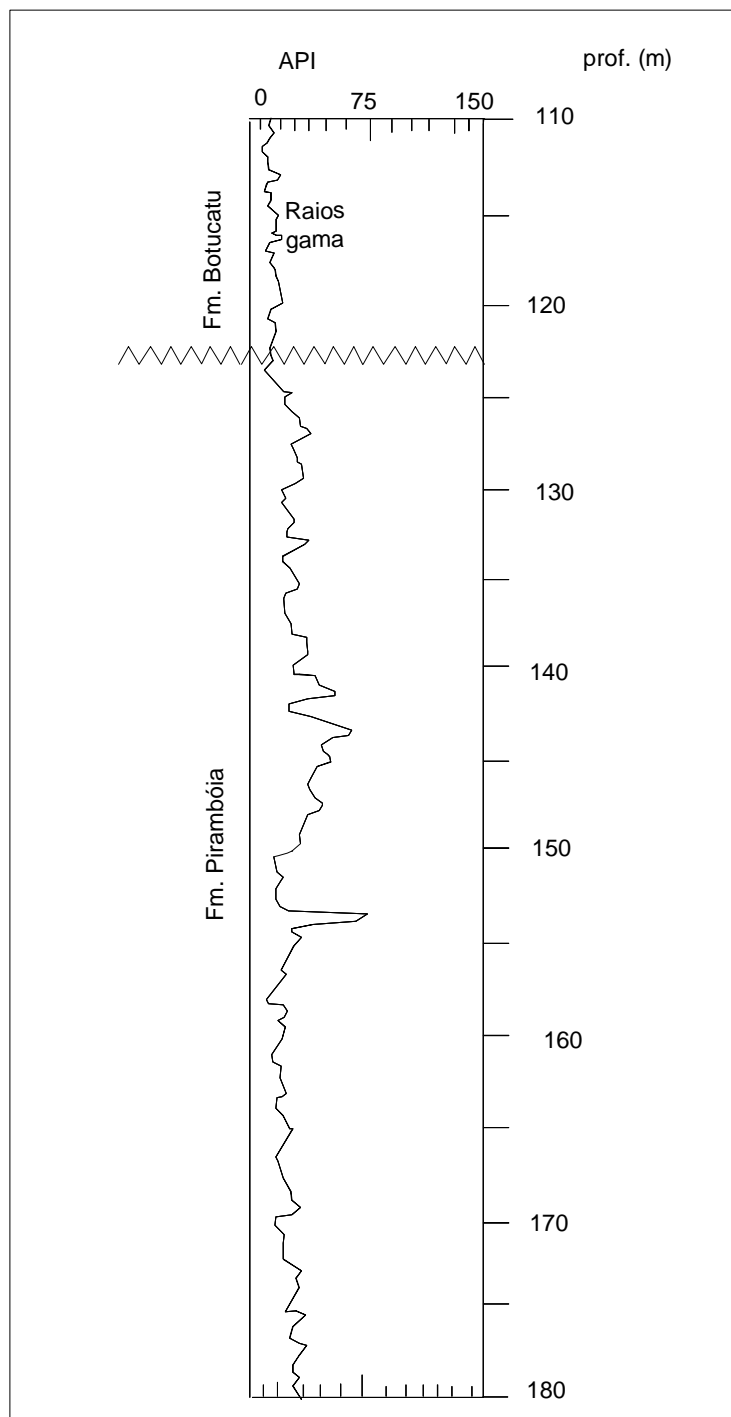


Figura 36 – Poço 165 (Dutra). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama.

contato entre as formações Botucatu e Pirambóia (Figura 36), daí seguindo com valores entre 10 A. P. I. e 15 A. P.I. até os 40 m de profundidade, quando deflete para a direita, passando de 15 A. P. I. para 30 A. P. I.. Esse ponto é interpretado como sendo o contato entre a Formação Botucatu e sedimentos cenozóicos areno-argilosos.

A curva de eletrorresistividade mostra valores gradativamente crescentes da base para o topo, que variam entre 30 ohm.m e 200 ohm.m, com ligeira queda entre 150 m e 140 m de profundidade. Também no topo da seção, a 40 m, a curva sofre um desvio acentuado para a esquerda, caindo de 200 ohm.m para 50 ohm.m, indicando a passagem de sedimentos resistivos (Formação Botucatu) para materiais com resistividade mais baixa (Cenozóico areno-argiloso).

5.14. Poço 167 (Jardim Florestan Fernandes)

Este poço situa-se na área de afloramento do Aquífero Guarani (Figura 21), apresentando perfil geológico descrito, além de perfilagem de raios gama, o que permitiu a sua calibração (Figura 37). Tem 400 m de profundidade, tendo atravessado 40 m de sedimentos argilosos, atribuíveis à Formação Corumbataí, além de três intrusões de diabásio (Figura 18).

O contato basal da Formação Pirambóia, com a Formação Corumbataí, é bastante nítido, de caráter discordante, mostrando brusca deflexão da curva de raios gama, cujos valores caem de 120 A. P. I. para cerca de 15 A. P. I. (Figura 37).

De 370 m a 360 m de profundidade, a curva apresenta um padrão em forma de caixa, com valores constantes e em torno de 15 A. P. I., limitados abruptamente na base e suavemente no topo. A partir de 360 m e até 260 m, a curva varia entre 15 A. P. I. e 30 A. P. I., mostrando uma sucessão de granocrescências ascendentes alternadas com granodecrescências ascendentes, compondo ciclos com alguns metros de espessura. Em 260 m, a curva deflete para a direita, passando de 15 A. P. I. para 25 A. P. I., onde o perfil geológico indica a ocorrência de diabásio, até 186 m; desta profundidade até 131 m, a curva de raios gama deflete para a esquerda, cujo valor cai de 20 A. P. I. a 30 A. P. I. para menos de 15 A. P. I., sugerindo arenitos limpos.

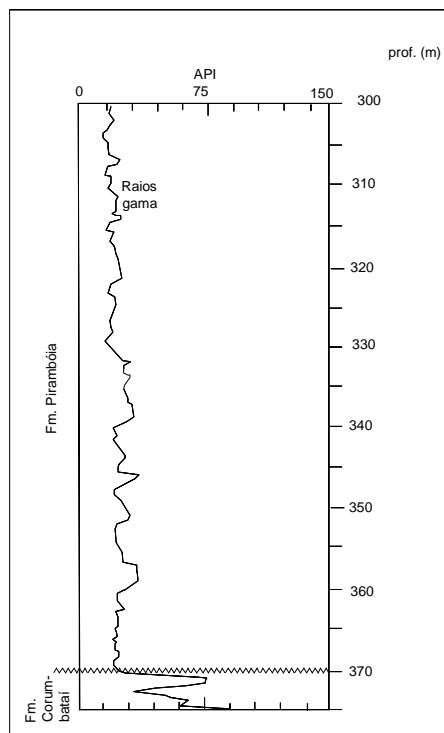


Figura 37 – Poço 167 (Jardim Florestan Fernandes). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama.

Entre 186 m e 131 m, a curva de raios gama mostra padrão linear serrilhado, com alternância de granocrescências e granodecrescências ascendentes, com valores em torno de 15 A. P. I. Em 131 m, nova deflexão para a direita (de 15 A. P. I. para 25 A. P. I.) indica contato litológico, que o perfil geológico revelou ser entre arenito e diabásio. Este ocorre até 120 m, quando a curva deflete para a esquerda, caindo de 25 A. P. I. para menos de 15 A. P. I.

De 120 m a 90 m, o padrão da curva de raios gama mantém-se linear serrilhado, com valores em geral abaixo de 15 A. P. I. Em 90 m de profundidade, há uma deflexão visível da curva para a direita, com os valores alternando entre 15 A. P. I. e 25 A. P. I. até 50 m, intervalo que a descrição geológica revelou a ocorrência de intrusão de diabásio.

A partir de 50 m o valor da radioatividade cai de 25 A. P. I. para menos de 15 A. P. I., mostrando padrão em caixa até 41 m. Desta profundidade até o topo, os valores da radioatividade

mantêm-se abaixo de 15 A. P. I., porém o padrão da curva volta a exibir intervalos mostrando granocrescências ascendentes intercalados a trechos com granodecrescências ascendentes.

5.15. Poço 169 (Parque dos Lagos)

Localizado na zona leste de Ribeirão Preto (Figura 21), na área de afloramento do Aquífero Guarani, apresenta 225 m de espessura, mostrando perfilagens de raios gama e resistividade, tendo sido mostrado o trecho mais representativo da perfilagem de raios gama (Figura 38).

A curva de raios gama é relativamente uniforme em toda a seção do poço, exibindo padrão linear levemente ondulado, com valores, em geral, não ultrapassando 15 A. P. I., exceto entre 125 m e 105 m de profundidade, quando variam de 15 A. P. I. para 30 A. P. I., evidenciando o contato entre as formações Botucatu e Pirambóia, e a 103 m, onde ocorre um pico com 75 A. P. I., indicando intercalação argilosa (Figura 38).

Já a curva de resistividade mostra valores gradativamente crescentes da base para o topo, os quais variam de 20 ohm.m para 200 ohm.m, exceto entre 125 m e 105 m, quando deflete para a esquerda, pois a resistividade cai de 100 ohm.m para 20 ohm.m. Esse intervalo mostra o aumento na emissão de raios gama, evidenciando aumento na porção de finos na rocha. A intercalação pelítica a 103 m de profundidade, bastante nítida na curva de raios gama, é pouco notada na curva de eletrorresistividade, representando-se por uma tênue deflexão para a esquerda.

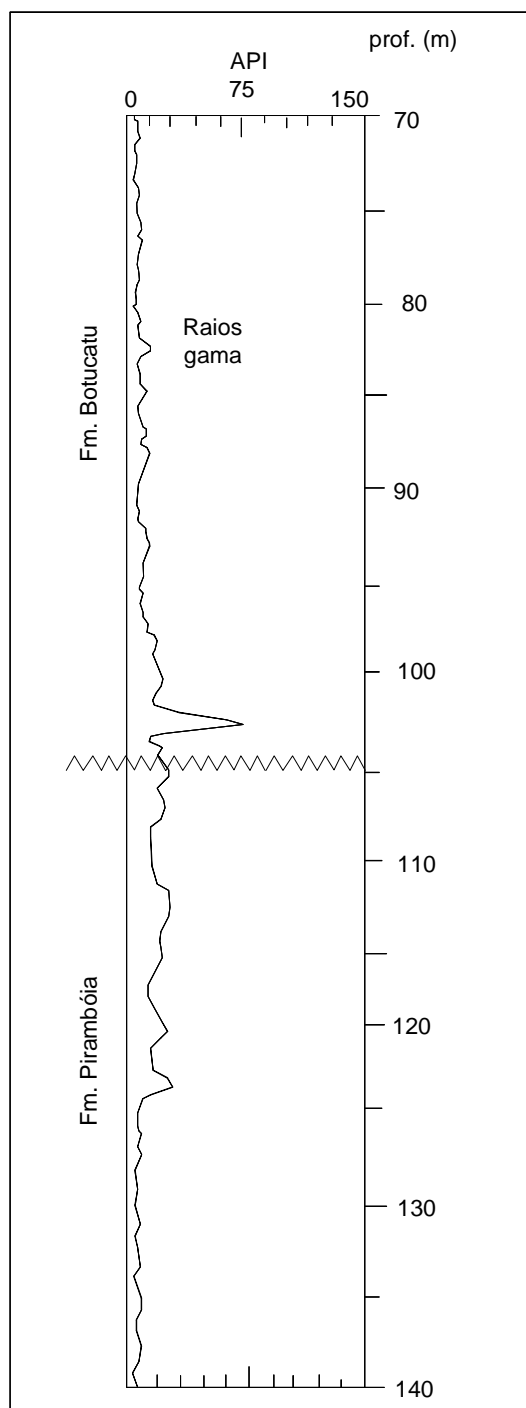


Figura 38 – Poço 169 (Parque dos Lagos). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama.

5.16. POÇO 170 (Educandário)

Localizado na área de ocorrência dos basaltos da Formação Serra Geral (Figura 21), compreende 353 m de profundidade, apresentando perfilagem de raios gama.

A curva mostra padrão geral linear serrilhado em ziguezague, no geral em granocrescência ascendente, com valores diminuindo, da base para o topo, de 30 A. P. I. para 15 A. P. I. Entre 304 m e 296 m de profundidade, mostra granodecrescência ascendente seguida de granocrescência ascendente, com máximo de 30 A. P. I. Também entre 197 m e 177 m, exibe granodecrescência ascendente seguida de granocrescência ascendente, porém com dois picos de 60 A. P. I. a 184 m e 179 m de profundidade (Figura 39), evidenciando duas finas intercalações pelíticas entre um intervalo com sedimentos menos radioativos, o que sugere o contato entre as formações Botucatu e Pirambóia.

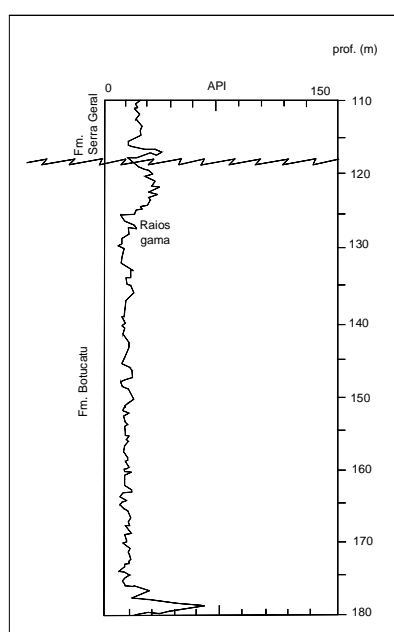


Figura 39 – Poço 170 (Educandário). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama.

De 179 m a 126 m, segue o padrão serrilhado, com valores em torno de 15 A. P. I.; entre 126 m e 119 m, exibe granodecrescência ascendente seguida de granocrescência ascendente, já no topo da Formação Botucatu. Em 119 m, a curva deflete bruscamente para a direita, de 15 A. P. I. para 35 A. P. I., indicando o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu (Figura 39), comprovado pelo perfil geológico do poço.

5.17. Poço 176 (Parque dos Flamboyants)

Situa-se na área de afloramento do Aquífero Guarani, na porção leste da cidade de Ribeirão Preto (Figura 21). Apresenta a maior espessura perfurada de arenitos, que atinge 262 m., tendo sido perfurado com raios gama, com o trecho mais significativo mostrado na Figura 40.

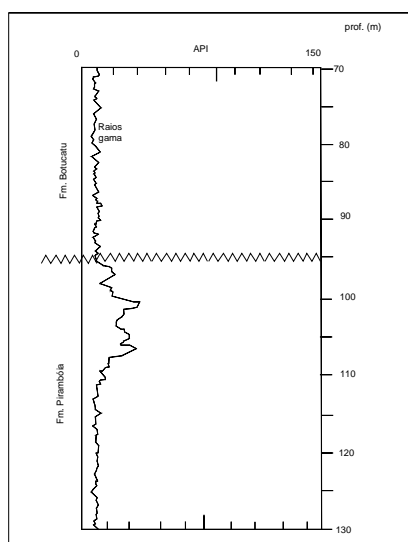


Figura 40 – Poço 176 (Parque dos Flamboyants). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama.

A curva geofísica mostra padrão linear serrilhado, com padrão em ziguezague principalmente da base até 150 m de profundidade, exibindo, no geral, granocrescência ascendente, com os valores variando de 40 A. P. I. para cerca de 15 A. P. I. Ocorrem dois intervalos mais radioativos, entre 190 m e 180 m e entre 110 m e 96 m de profundidade, em granodecrescências e granocrescências ascendentes, neste caso sugerindo o contato entre as formações Botucatu e Pirambóia (Figura 40). Ou seja, a curva de raios gama deflete gradativamente para a direita a 115 m de profundidade, atingindo valores de 30 A. P. I. entre 110 m e 100 m, onde deflete para a esquerda, de forma também gradual, para atingir cerca de 10 A. P. I. a 95 m de profundidade, no contato Pirambóia/Botucatu; esse intervalo mais radioativo corresponde à litofácies de arenitos conglomeráticos da porção superior da Formação Pirambóia.

5.18. Poço 189 (Santa Teresa)

Localizado na zona sul de Ribeirão Preto (Figura 21), tem 300 m de profundidade, apresentando perfis de raios gama e resistividade, além da descrição litológica.

A curva apresenta padrão linear serrilhado em ziguezague, com valores variando em torno de 20 A. P. I., praticamente em toda a seção. No entanto, entre 246 m e 212 m de profundidade a curva deflete para a direita, apresentando entre 20 A. P. I. e 40 A. P. I., com um pico de 120 A. P. I. a 233 m; o contato entre as formações Botucatu e Pirambóia está assinalado à profundidade de 212 m (Figura 41). Entre 212 m e 90 m, mantém-se o padrão serrilhado, em torno de 20 A. P. I., quando, a 90 m, a curva deflete para a direita, passando de 20 A. P. I. para 40 A. P. I., evidenciando o contato Serra Geral/Botucatu, conforme descrito no perfil geológico.

A curva de resistividade mostra valores altos (80 ohm.m a 150 ohm.m) entre as profundidades de 300 m e 246 m. Porém, sofre deflexão, para a esquerda, entre 246 m e 212 m, intervalo em que a resistividade cai para 10 ohm.m a 30 ohm.m; isto é, este intervalo mostra-se relativamente mais argiloso em relação às litofácies adjacentes, pelo que foi interpretado como sendo a litofácies de arenitos conglomeráticos com matriz argilosa do topo da Formação Pirambóia. Dessa profundidade para cima, há um aumento na resistividade, que se mantém entre 50 ohm.m e 100 ohm.m até a profundidade de 90 m., quando deflete para a direita, alcançando rapidamente valores de até 500 ohm.m.

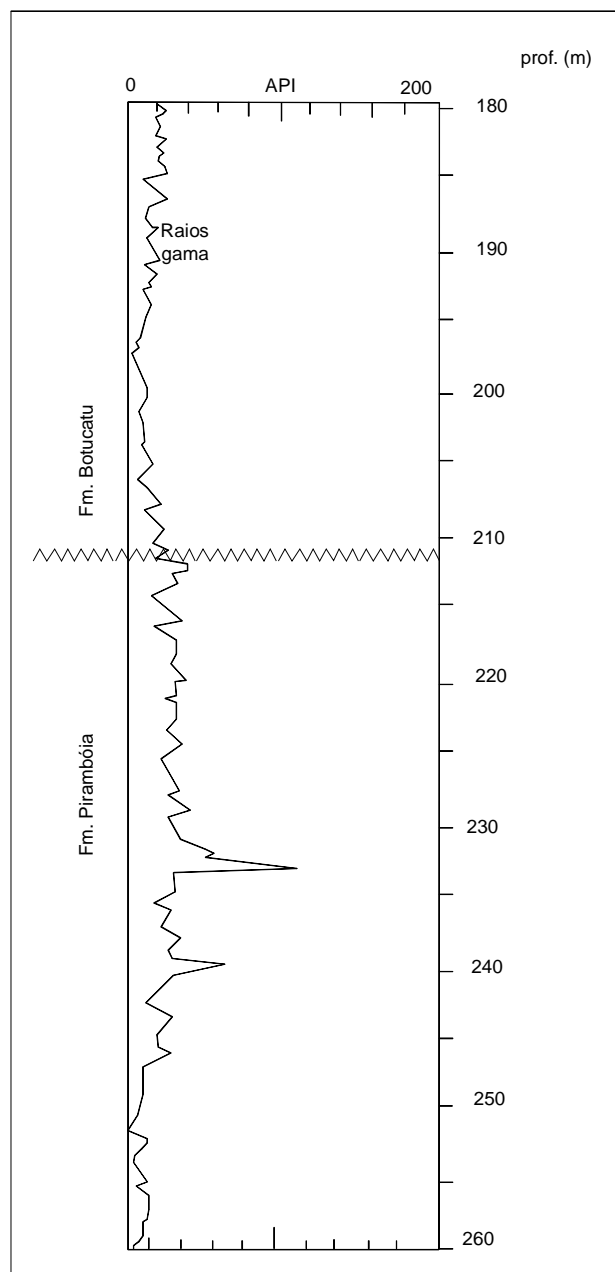


Figura 41 – Poço 189 (Santa Teresa). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama.

O perfil geológico, embora não seja muito detalhado, descreve o intervalo entre 246 m e 212 m de profundidade como sendo representado por arenito argiloso, com intercalação de folhelho a 233 m, evidenciada na curva de raios gama por um pico de 120 A. P. I. (Figura 41).

5.19. Poço 190 (Jardim Zara)

Com 230 m de profundidade, situa-se na área de afloramento do Aquífero Guarani (Figura 21), apresentado perfilagens de raios gama e resistividade.

A curva de raios gama mostra padrão linear serrilhado em ziguezague, com valores em geral decrescentes da base para o topo, variando de 30 A. P. I. a cerca de 10 A. P. I. A forma em ziguezague da curva, mostrando alternância de granocrescências e granodecrescências ascendentes, é mais acentuada principalmente entre as profundidades de 160 m e 130 m (contato entre as formações Botucatu e Pirambóia), onde os valores da radioatividade oscilam alternadamente entre 10 A. P. I. e 30 A. P. I. (Figura 42). Três picos de 35 A. P. I. ocorrem às profundidades de 120 m, 105 m (Figura 42) e 60 m. A 18 m, a curva deflete ligeiramente para a direita, sugerindo o contato Botucatu/Cenozóico.

O perfil de resistividade mostra valores gradativamente crescentes da base até 150 m de profundidade, ou seja, de 20 ohm.m a 50 ohm.m. Entre 150 m e 130 m a resistividade cai para 15 ohm.m a 30 ohm.m, enquanto que a emissão de raios gama aumenta nesse intervalo. De 130 m para cima, os valores da resistividade voltam a aumentar, oscilando entre 50 ohm.m e 80 ohm.m até a profundidade de 18 m, quando deflete bruscamente para a esquerda, evidenciando a existência de material pouco resistivo.

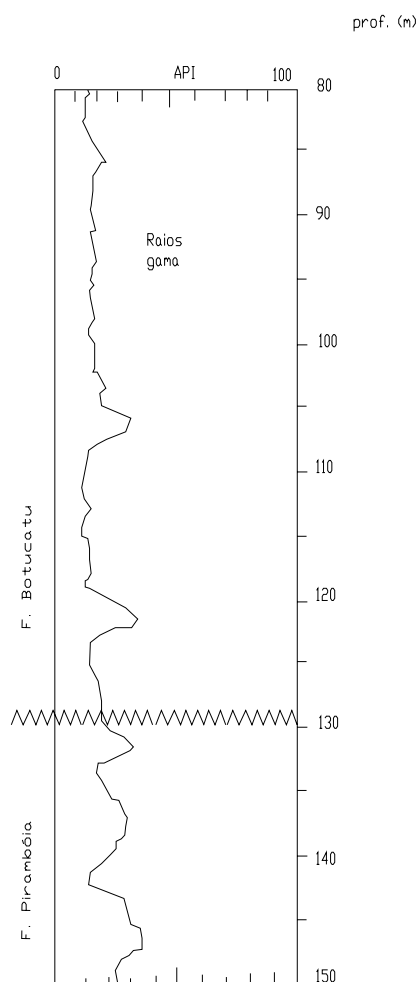


Figura 42 – Poço 190 (Jardim Zara). Intervalo mais representativo da perfilagem de raios gama.

5.20. Poço COC (Centro)

Este poço localiza-se na área central da cidade de Ribeirão Preto (Fig. 21). O perfil geológico resumido desta sondagem aponta 95 m de basaltos da Formação Serra Geral, sobrepostos a 95 m

de arenitos, estes representando exclusivamente a Formação Botucatu. Embora tenha sido realizada perfilagem de raios gama, a curva equivalente não se mostra favorável à interpretação litoestratigráfica da seção do poço, por apresentar um padrão muito uniforme (Fig. 43).

Na porção sedimentar, o padrão da curva de radioatividade tem a forma linear levemente serrilhada, com valores gradativamente decrescentes da base para o topo, sugerindo sedimentos homogêneos com baixo conteúdo em finos, atribuíveis à Formação Botucatu (Fig. 43).

Dois picos para a direita verificam-se a 95 m e a 15 m de profundidade, os quais foram interpretados, respectivamente, como o contato Formação Botucatu/Formação Serra Geral e basalto/regolito, o que foi confirmado pelo perfil geológico disponível.

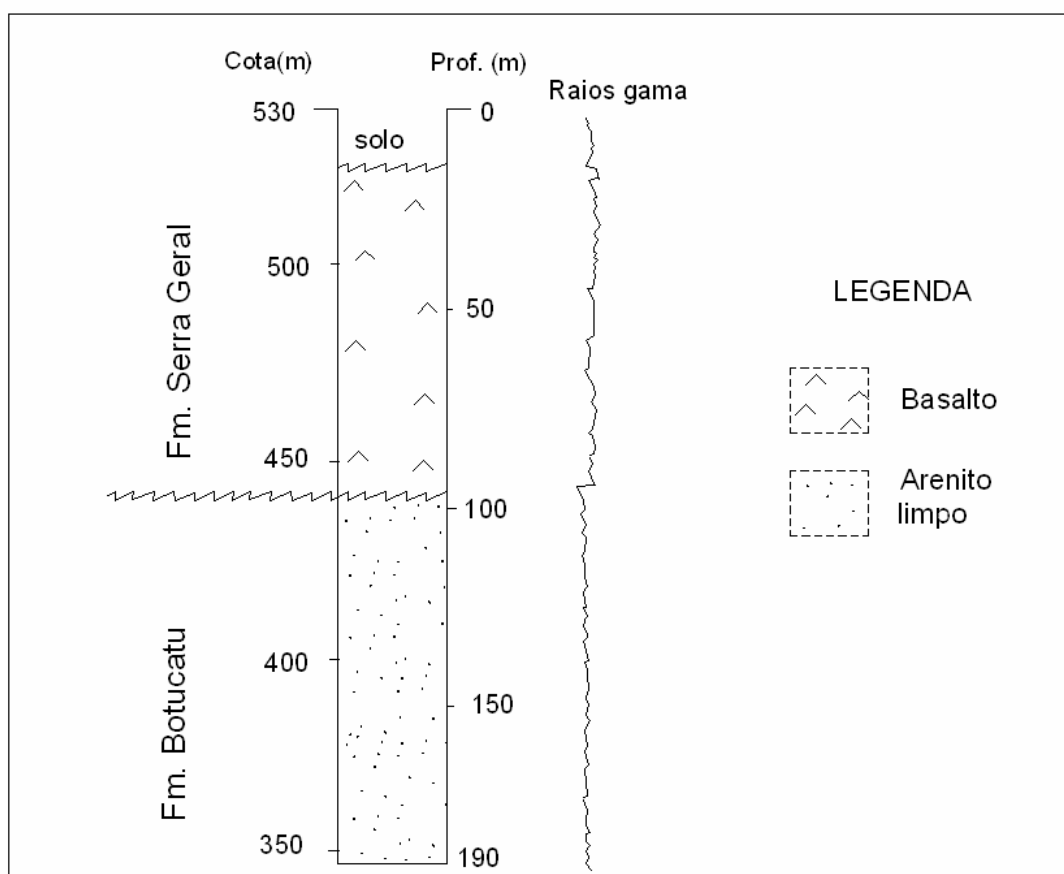


Figura 43 – Poço COC (Centro), com perfilagem.

6. HIDROGEOLOGIA

A cidade de Ribeirão Preto é abastecida totalmente por água subterrânea, sendo que atualmente estão em funcionamento 97 poços públicos (Figura 44), cuja produção é de 13.416 m³/h para atender a uma população estimada em 550.000 habitantes (DAERP, 2.004), o que equivale a cerca de 580 L/hab/dia. Os poços particulares cadastrados no DAEE são 172. No entanto, a captação de água dos poços públicos atinge 98,4% do volume de água extraído do Aquífero Guarani na área urbana, contra 1,6% dos poços particulares (Figura 45). Essa exploração intensiva tem provocado o rebaixamento gradual e contínuo da superfície potenciométrica, gerando um cone de depressão na parte central da cidade (MONTEIRO, 2.003; SMA, 2.004). O rebaixamento da superfície piezométrica é estimado em 60 m, sendo que o topo do cone de depressão formado encontra-se na altitude 440 m na parte central de Ribeirão Preto (SMA, *op. cit.*), coincidindo com a bacia estrutural identificada por SINELLI (1.971).

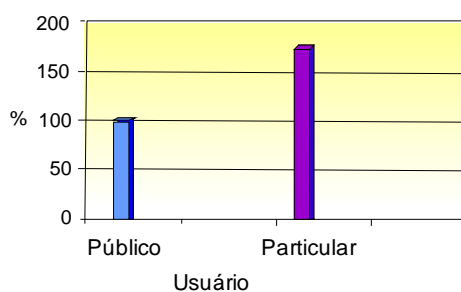


Figura 44 – Captação de água subterrânea em Ribeirão Preto, em n° de poços.

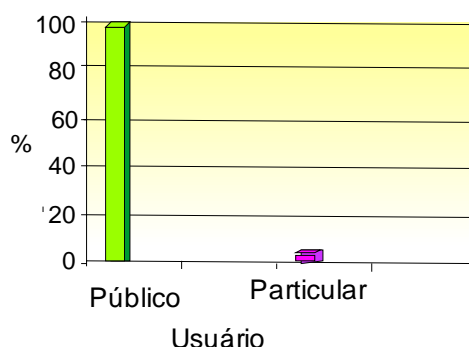


Figura 45 – Percentual de captação de água subterrânea em Ribeirão Preto. Fonte: DAERP (2.004).

Enquanto na Bacia Hidrográfica do rio Pardo a água subterrânea perfaz cerca de 97% do total de água consumida, ocorre o contrário na Bacia Hidrográfica do rio Mogi Guaçu, onde o recurso hídrico subterrâneo é pouco utilizado, representando apenas 18,50% do total de água consumida pela população, embora a contribuição da água proveniente do Aquífero Guarani seja a mais significativa, perfazendo cerca de 70% do recurso hídrico subterrâneo explorado nessa bacia, sendo os 30% restantes provenientes dos aquíferos Tubarão e Cristalino. Ainda assim, em termos comparativos, a exploração de água subterrânea do Aquífero Guarani na bacia do rio Pardo é aproximadamente sete vezes maior que a da bacia do rio Mogi Guaçu. Isto se explica pelo fato de que nesta bacia as cidades mais importantes situam-se geologicamente sobre os aquíferos Tubarão e Cristalino, diferentemente ao que ocorre na Bacia do rio Pardo, onde os centros urbanos mais importantes, como Ribeirão Preto e Sertãozinho, localizam-se sobre o Aquífero Guarani, livre ou confinado.

A Figura 46 mostra o quadro atual da exploração anual de água subterrânea nas bacias hidrográficas dos rios Pardo e Mogi Guaçu, onde nota-se o grande consumo naquela em relação a esta, uma vez que apenas a cidade de Ribeirão Preto consome cerca de 117.000.000 m³/ano (83,5%) do total de 140.000.000 m³/ano explorados na Bacia do Pardo. Por outro lado, o consumo de água subterrânea do Aquífero Guarani na Bacia do Mogi Guaçu é relativamente baixo (cerca de

20.000.000 m³/ano) porque a maioria das cidades é de pequeno porte, muitas delas aproveitando unicamente os recursos hídricos superficiais.

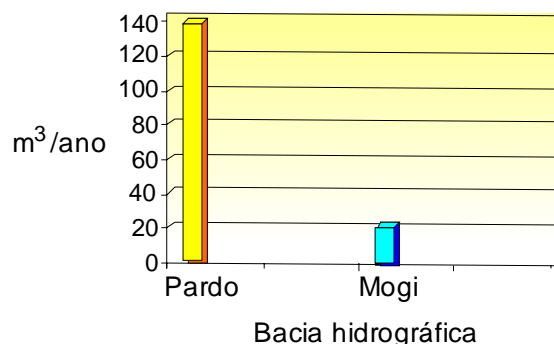


Figura 46 – Captação de água subterrânea nas bacias dos rios Pardo e Mogi Guaçu, em milhões de m³/ano. Modificado de SMA (1.995).

No cadastro do DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS DE RIBEIRÃO PRETO (DAERP) constam 96 poços desativados, os quais, no entanto, contribuíram para o fornecimento de informações, como perfis geológicos, por meio dos quais pode-se ter um conhecimento mais detalhado da geologia de subsuperfície, bem como da estrutura da área estudada. Já quanto aos poços particulares, não se tem conhecimento preciso da sua quantidade, pois se o número cadastrado é de 172 estima-se que na realidade ele ultrapasse 300.

Segundo DAEE (1.974) e SOARES (1.975), a Formação Pirambóia compreende dois membros: o inferior e o superior, sendo este menos argiloso do que aquele, além de representar cerca de 70% da seção vertical dessa unidade. Conforme DAEE (*op. cit.*), as características texturais do membro superior da Formação Pirambóia são similares às da Formação Botucatu, de maneira que pode-se admitir que as porções média e superior da Formação Pirambóia, juntamente com a Formação Botucatu, constituam uma unidade hidrogeológica homogênea e isótropa, no caso o Aquífero Guarani, enquanto o terço inferior do Pirambóia representaria um aquítarde. Para PIUCI & DINIZ (1.985), os poços totalmente penetrantes no Aquífero Guarani não apresentam informação técnica suficiente que justifique a separação hidrogeológica entre as

formações Pirambóia e Botucatu, de maneira que as características gerais das rochas indicam, para esses autores, condição de isotropia para esse sistema aquífero.

Na área em estudo, a porção inferior da Formação Pirambóia, pouco penetrada pelas sondagens, apresenta arenitos argilosos, menos permeáveis que os sedimentos que compõem o restante da coluna sedimentar infrabasáltica, representados por arenitos limpos, altamente permeáveis, conforme constatado tanto em perfis geológicos descritos como em perfilagens geofísicas (conforme descrito nos capítulos 5 e 7). Há que se considerar, ainda, a ocorrência, em Ribeirão Preto, de um intervalo de arenitos grossos a conglomeráticos, entre as formações Pirambóia e Botucatu, cuja presença de matriz argilosa envolvendo os clastos, constatada nas curvas de raios gama pelo aumento da radioatividade, deve diminuir a permeabilidade dessa litofácies, o que também contribui para tornar o Aquífero Guarani anisotrópico na área estudada.

A identificação de intervalos com alta permeabilidade foi verificada pela análise de perfis de raios gama e resistividade, nos quais encontraram-se valores baixos da radioatividade (até 15 A. P. I.) e altos da resistividade (acima de 50 ohm.m) (porção inferior da Figura 32), indicando sedimentos com pouca quantidade de material siltico-argiloso, sendo que PAULA E SILVA (2.003) considera que valores da resistividade acima de 20 ohm.m são indicativos de areias bem permeáveis. A porção inferior da seção colunar do Aquífero Guarani na área mostra, nas perfilagens geofísicas, a ocorrência de sedimentos com maior argilosidade, identificados pelos valores relativamente mais altos de raios gama, em torno de 30 A. P. I., e mais baixos da resistividade, menos de 20 ohm.m (Figura 30). Intercalações de material argiloso são evidenciadas por deflexões para a direita na curva de raios gama e para a esquerda na curva de resistividade (Figura 33), porém são lateralmente descontínuas e de pequena espessura, raramente ultrapassando 1 m. Desse modo, o principal obstáculo à percolação das águas subterrâneas no Aquífero Guarani, interferindo em sua potencialidade hídrica, seria a presença de intrusões de diabásio, comuns na área, geralmente associadas a falhamentos, tal como ocorre no poço do Jardim Florestam Fernandes (Figura 18).

A Tabela 4 apresenta a de ocorrência de intrusões de diabásio em poços contendo água do Aquífero Guarani, poços esses pertencentes ao DAERP (FIPAI, 1.996). Com base na posição estratigráfica dos corpos de diabásio intrusivos nos sedimentos que compõem o Aquífero Guarani, pode-se fazer um zoneamento dos mesmos, os quais ocupam três níveis estratigráficos distintos: Inferior (I), Médio (M) e Superior (S), sendo o Inferior o mais comum, situando-se cerca de 200 m

abaixo do contato Serra Geral/Botucatu, como mostrado no capítulo 7. Essa intrusão inferior, mais significativa, ao que tudo indica corresponde ao *sill* estratigraficamente mais baixo do poço representado na Figura 18, zona nordeste da área, e que, aparentemente, se estende para a região oeste de Ribeirão Preto, onde é atingida por algumas sondagens, tais como os poços 79, 87, 122, 123, 131, 147, etc. (Tabela 4).

Pela localização dos poços apresentados na Tabela 4 verifica-se, também, que a maioria das intrusões básicas ocorre onde o Aquífero Guarani está confinado pelos derrames de basalto da Formação Serra Geral, sendo, aparentemente, de menor importância a ocorrência de intrusões de diabásio na porção livre do aquífero, pelo menos nos níveis médio e superior do mesmo. Essa situação muda em direção a leste de Ribeirão Preto, na divisa com Serrana, onde ocorre expressiva intrusão de diabásio posicionada, ao que tudo indica, no contato Pirambóia/Botucatu e denominada, informalmente, *sill* de Serrana (Figura 10).

A Figura 47 apresenta a localização dos 20 poços com maior exploração de águas subterrâneas, na qual se verifica que os dois de maior vazão situam-se próximos entre si, no setor sudeste da cidade, enquanto que os demais distribuem-se aleatoriamente pela área urbana. A Tabela 5 mostra a relação desses 20 poços mais produtivos na área de estudo, todos com vazão superior a 140 m³/h (FIPAI, 1.996), sendo que os quatro primeiros têm vazão igual ou superior a 264 m³/h.

Dentre os 20 poços, 17 localizam-se na parte confinada do Aquífero Guarani, enquanto os outros três (102, 103 e 149 da Tabela 5) situam-se na área de afloramento, apresentando vazões menores por estarem na periferia da cidade, onde a demanda de água é menor, e também porque a capacidade específica é menor onde o aquífero é livre, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 4 – Poços com ocorrência de intrusivas básicas na área urbana de Ribeirão Preto.**(S) = nível superior; (M) = nível médio; (I) = nível inferior. Fonte: IPT (2.000).**

| nº do poço | coordenadas UTM | cota do topo do dia- básio (m) | cota da base do dia- básio (m) | espessura do diabásio (m) |
|------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 58 | 7656,11 x 210,77 | 333,00 (S) | 319,00 | > 14,00 |
| 76 | 7655,78 x 201,65 | 522,00 (S) | 486,00 | 36,00 |
| | | 468,00 (S) | 456,00 | 12,00 |
| | | 438,00 (S) | 418,00 | 20,00 |
| 79 | 7657,19 x 207,09 | 312,00 (I) | 310,00 | > 2,00 |
| 87 | 7656,96 x 207,84 | 293,00 (M) | 291,00 | > 2,00 |
| 103 | 7660,84 x 208,67 | 307,00 (I) | 306,00 | > 1,00 |
| 109 | 7655,51 x 215,86 | 595,00 (S) | 548,00 | 47,00 |
| 111 | 7650,58 x 213,35 | 463,00 (M) | 461,00 | 2,00 |
| 118 | 7656,92 x 205,92 | 445,00 (S) | 427,00 | 17,00 |
| 122 | 7658,32 x 206,13 | 297,00 (I) | 291,00 | > 6,00 |
| 123 | 7656,65 x 206,62 | 275,00 (I) | 270,00 | > 5,00 |
| 128 | 7659,57 x 211,11 | 356,85 (I) | 356,70 | > 0,15 |
| 129 | 7656,26 x 209,30 | 282,00 (M) | 276,00 | 6,00 |
| 131 | 7656,22 x 205,03 | 253,00 (I) | 251,50 | > 1,50 |
| 135 | 7659,99 x 205,73 | 276,00 (I) | 275,00 | > 1,00 |
| 137 | 7661,62 x 207,10 | 295,00 (I) | 290,00 | > 5,00 |
| 138 | 7657,34 x 204,46 | 274,00 (M) | 271,50 | > 2,50 |
| 147 | 7655,81 x 205,85 | 248,00 (I) | 244,00 | > 4,00 |
| 151 | 7651,43 x 206,53 | 275,00 (I) | 260,00 | > 15,00 |
| 167 | 7661,40 x 214,90 | 490,00 (M) | 450,00 | 40,00 |
| | | 421,00 (M) | 409,00 | 12,00 |
| | | 354,00 (I) | 279,00 | 75,00 |

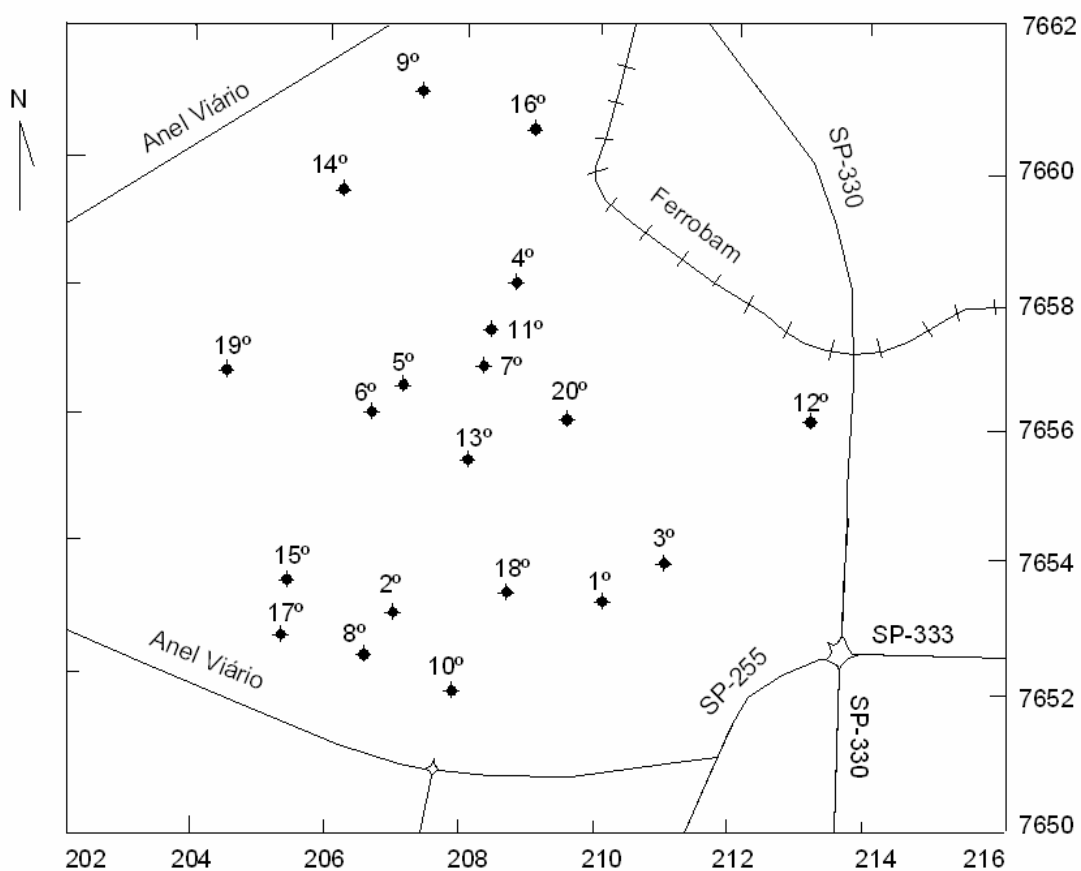


Figura 47 – Mapa de localização dos 20 poços mais produtivos de Ribeirão Preto, em ordem decrescente de vazão (ver Tabela 5). Com base em FIPAI (1.996).

Tabela 5 – Relação entre a vazão de poços (com mais de 140 m³/h) e as respectivas capacidades específicas (* = poços com perfil geológico descrito).

| poço | coordenadas UTM | vazão (m ³ /h) | arenitos (m) | capac.específica ca m ³ /h/m |
|------|------------------|---------------------------|--------------|---|
| 92 | 7653,08 x 206,52 | 281,57 | 212,00 | 20,1 |
| 115 | 7654,04 x 210,89 | 274,86 | 198,00 | - |
| 101 | 7658,33 x 208,40 | 270,00 | 183,00 | 10,69 |
| 123* | 7656,65 x 206,62 | 264,50 | 177,00 | - |
| 147* | 7655,81 x 205,85 | 250,00 | 208,00 | - |
| 87 | 7656,96 x 207,84 | 245,72 | 182,00 | 5,71 |
| 142* | 7652,32 x 205,79 | 236,30 | 209,00 | 10,44 |
| 137* | 7661,62 x 207,10 | 228,60 | 230,00 | 10,79 |
| 127* | 7651,79 x 207,35 | 223,55 | 213,00 | 19,09 |
| 65 | 7657,51 x 208,03 | 221,00 | 176,00 | 7,98 |
| 149 | 7656,06 x 213,18 | 213,10 | 143,00 | 3,29 |
| 143* | 7655,43 x 207,59 | 208,00 | 175,00 | - |
| 135* | 7659,99 x 205,73 | 198,00 | 233,00 | 9,00 |
| 136* | 7654,40 x 205,31 | 167,10 | 232,00 | 8,09 |
| 103 | 7660,84 x 208,67 | 167,00 | 209,00 | - |
| 126* | 7653,68 x 204,89 | 161,54 | 217,00 | 6,54 |
| 104* | 7653,35 x 208,29 | 161,03 | 196,00 | 2,82 |
| 138* | 7657,34 x 204,46 | 153,30 | 161,00 | 7,70 |
| 129* | 7656,26 x 209,30 | 146,00 | 230,00 | 5,15 |
| 102 | 7661,88 x 209,86 | 140,64 | 170,00 | - |

A espessura máxima de arenitos encontrada em poços perfurados na malha urbana, dos quais se tem o respectivo cadastro, é de 233 m na parte norte da cidade (Tabela 5). Essa espessura diminui na porção central para 175 m, para aumentar em direção a sul, onde atinge 220 m, no setor da cidade onde se situam os dois poços mais produtivos (Figura 48); para leste, na área de afloramento, tende a diminuir, chegando a 143 m junto à Rodovia Anhangüera (SP-330).

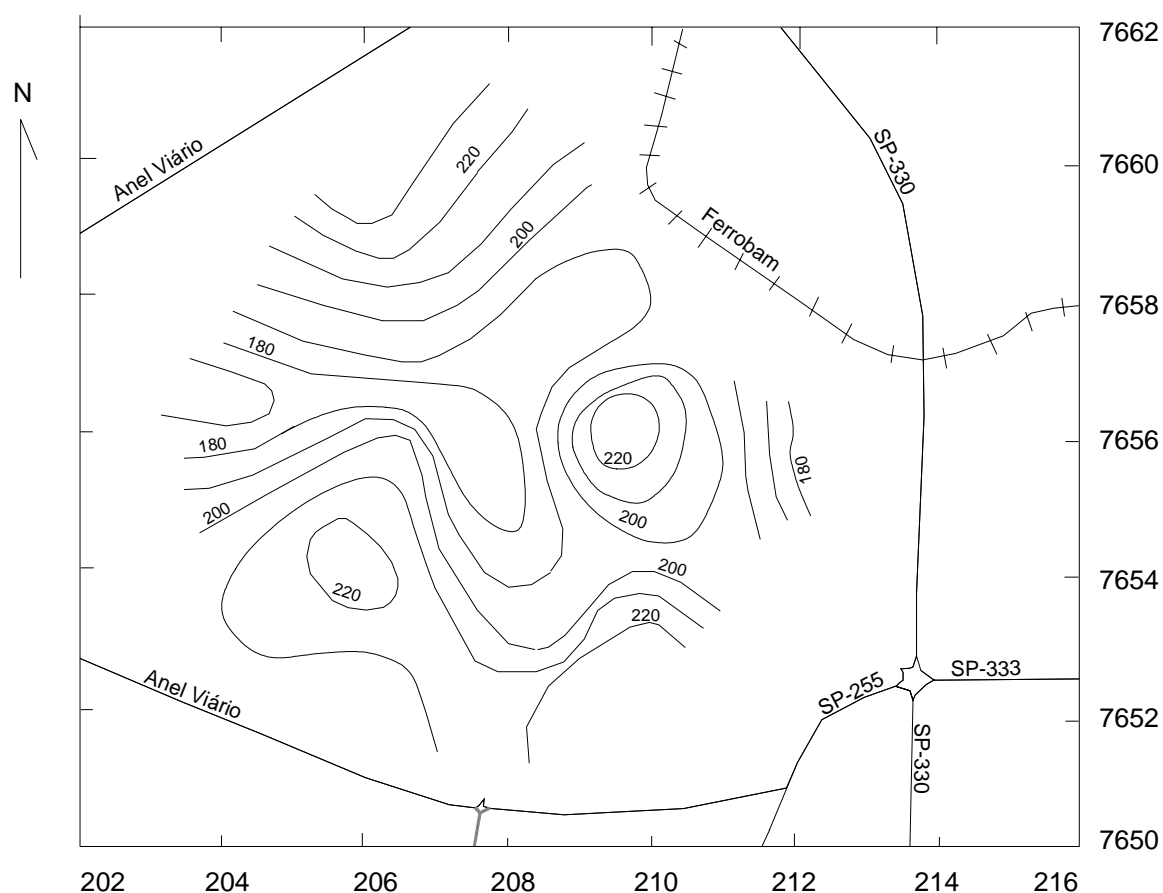


Figura 48 – Mapa de espessura perfurada de arenitos do Aquífero Guarani, sem diabásio, em sua porção confinada. Baseado no cadastro de poços do DAERP (FIPAI, 1.996).

A Figura 49 mostra a evolução do aumento da profundidade dos poços, em metros, no decorrer do tempo, tendo em vista a crescente demanda de água subterrânea para o abastecimento público da cidade de Ribeirão Preto.

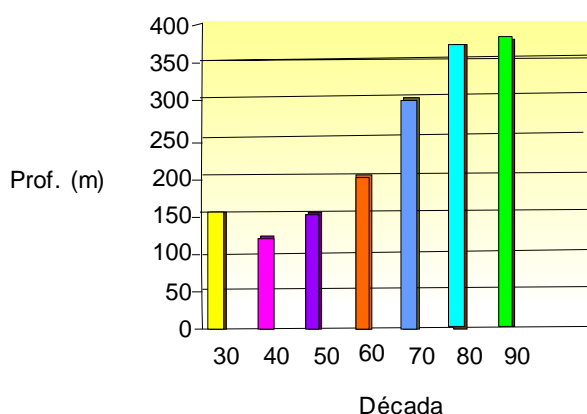


Figura 49 – Evolução do aumento da profundidade dos poços perfurados em Ribeirão Preto com o tempo. Segundo SMA (2.004).

Na área circundada pelas rodovias SP-330 (Anhangüera) e SP-333 (Abrão Assed) e FERROBAN há, também, poços tubulares para atender a alguns bairros aí localizados, onde o aquífero é livre, porém as vazões não são grandes e tampouco as espessuras dos arenitos perfurados. Exceção é feita ao poço do Parque dos Flamboyants, onde uma sondagem atravessou 262 m de sedimentos sem, contudo, atingir o substrato do aquífero (Figura 19), ainda que nessa espessura esteja incluída a cobertura cenozóica, estimada localmente em cerca de 20 m, o que daria uma espessura total de arenitos das formações Pirambóia e Botucatu de, no mínimo, 242 m.

No setor nordeste da cidade, delimitado pelas rodovias SP-330 (Anhangüera) e SP-334 (Cândido Portinari), FERROBAN e pelo rio Pardo, situa-se o Jardim Florestan Fernandes, onde foi perfurado um poço com 400 m de profundidade, cujo perfil apresenta-se na Figura 18. Levando-se em conta a profundidade atingida, o poço não tem vazão alta se comparado aos outros até menos profundos. Isso se deve à ocorrência de três corpos intrusivos de diabásio que interferem em sua produtividade, que é de 90,35 m³/h.

A produtividade dos poços depende, em grande parte, da permeabilidade dos arenitos que compõem o aquífero, a qual, por sua vez, está diretamente relacionada aos paleoambientes que originaram tais sedimentos. Na área estudada, os valores da permeabilidade (K) variam de autor para autor, conforme exposto a seguir:

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| DAEE (1.974) | entre 2 e 3,5 m/d |
| SINELLI (1.987) | 0,15 m/d (em média) |
| FIPAI (1.996) | entre 0,12 e 1,03 m/d |
| IPT (2.000) | entre 0,15 e 2,00 m/d |
| SMA (2.004) | 1,7 m/d |

A Tabela 6 mostra a representação gráfica dos valores de permeabilidade em função da variação granulométrica dos sedimentos. Nesse esquema, observa-se a amplitude dos valores da permeabilidade do Aquífero Guarani, com base nos dados acima referidos, o qual se situa, assim, no intervalo correspondente aos bons aquíferos. Ou seja, o Aquífero Guarani é nitidamente superior, em termos de potencialidade hídrica, ao Aquífero Bauru, cuja permeabilidade não ultrapassa 0,5 m/d (DAEE, 1.974), em função de sua condição de heterogeneidade e anisotropia, devido ao teor relativamente alto de material fino e às intercalações de camadas permeáveis e impermeáveis (PAULA E SILVA, 2.003). Com relação ao Aquífero Caiuá a diferença não é tão acentuada, uma vez que este apresenta permeabilidades em torno de 1 a 3 m/d (DAEE/ IG/ IPT/ CPRM, 2.005), tornando-o tão produtivo quanto o Aquífero Guarani.

Já a transmissividade (T) é calculada pela fórmula $T = K.H$, onde K é a permeabilidade e H é a espessura saturada do aquífero, que na área estudada é estimada em 230 m. Assim, tomando-se os valores mínimo e máximo da permeabilidade anteriormente expostos (0,12 m/d e 3,5 m/d), tem-se valores de transmissividade variando entre 28 m²/d e 805 m²/d.

Outro parâmetro hidrogeológico analisado foi a capacidade específica, que é definida pelo quociente entre a vazão extraída (Q) e o rebaixamento (s) do nível d'água. Esse parâmetro é facilmente obtido por meio dos testes de bombeamento, podendo ser utilizado para a avaliação do potencial hídrico subterrâneo, pois reflete, aproximadamente, as características da permeabilidade do aquífero (PAULA E SILVA, 2.003). Segundo a FIPAI (1.996), esse parâmetro, na área de Ribeirão Preto, varia entre 0,78 m³/h/m e 10,32 m³/h/m, sendo que o valor mais baixo foi

encontrado no poço do Jardim Florestan Fernandes (Figura 18), fato atribuído às três significativas intrusões de diabásio. De acordo com o cadastro de poços apresentados por SMA (2.004), a capacidade específica do Aquífero Guarani apresenta os maiores valores (até 11,00 m³/h/m) nas porções sul-sudeste e noroeste da área, onde o aquífero está confinado, enquanto na porção livre esse parâmetro hidrogeológico cai significativamente (menos de 4,00 m³/h/m); a capacidade

Tabela 6 – Representação gráfica da permeabilidade em função do tipo de sedimento, mostrando o intervalo de variação de valores para o Aquífero Guarani na área região. Adaptado de PULIDO (1.978).

| Permeabilidade m/d | 10 ⁴ 10 ³ 10 ² 10 ¹ 10 ⁰ 10 ⁻¹ 10 ⁻² 10 ⁻³ 10 ⁻⁴ 10 ⁻⁵ 10 ⁻⁶ 10 ⁻⁷ 10 ⁻⁸ | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|-------------------|--|--|------------------|--|--|--|--------------|------------------------|--|--|--|
| | Tipo de sedimento | cascalho limpo | areia limpa misturada com cascalho e areia | | | areia fina; areia argilosa, mistura de areia, silte e argila; argila estratiforme | | | | argila não meteorizada | | | |
| Classificação | Bons aquíferos | | | | Aquíferos pobres | | | | Impermeáveis | | | | |
| Aquífero Guarani | | | | | | | | | | | | | |

específica média para o Aquífero Guarani, em 53 poços considerados, seria de $5,91 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo que, excepcionalmente, valores de até $20,10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ foram registrados na área urbana de Ribeirão Preto (poço 92 da Tabela 5). No âmbito estadual, a capacidade específica do Aquífero Guarani varia entre $0,03 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e $17,00 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ para a porção livre, e entre $0,01 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e $26,00 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ para a parte confinada (IG/CETESB/DAEE, 1.997). No Paraguai, foram registrados valores mais baixos, entre $0,50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e $3,00 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (ALVAREZ, 2.004; FARINA *et al.*, 2.004).

Segundo SINELLI & GALLO (1.980), as características hidráulicas não permitiriam uma separação das formações Pirambóia e Botucatu, de maneira que os parâmetros hidrogeológicos por

eles apresentados envolveram as duas unidades. Estas, no entanto, diferenciam-se quanto ao aspecto textural, conforme exposto no capítulo 3 (subitem 3.3.1.2 – Análise sedimentológica), fator esse que influi na produtividade dos poços: a Formação Botucatu tem, em média, a metade da porcentagem em argila que a Formação Pirambóia e diâmetro médio e grau de seleção maiores do que esta, enquanto que ambas apresentam leve cimentação carbonática. Desse modo, o Arenito Botucatu é mais permeável que o Arenito Pirambóia, embora a espessura deste seja cerca de 1,6 vez maior que a daquele.

Fora do Brasil, o Sistema Aquífero Guarani apresenta as seguintes características hidráulicas: transmissividade de $155 \text{ m}^2/\text{dia}$ e capacidade específica de $3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, entre Rivera e Artigas (divisa entre Brasil e Uruguai); já na faixa de afloramento do aquífero, em Tacuarembó (Uruguai), a predominância de litologias siltico-arenosas reduz os valores da transmissividade para $25 \text{ m}^2/\text{dia}$. No entanto a transmissividade varia, em média, entre $60 \text{ m}^2/\text{dia}$ e $200 \text{ m}^2/\text{dia}$ entre o Uruguai e a Argentina, região onde o aquífero encontra-se confinado por lavas basálticas, que em alguns lugares chegam a superar os 1.000 m de espessura (MONTANÕ *et al.*, 2.004).

7. ANÁLISE LITOFACIOLÓGICA DAS FORMAÇÕES PIRAMBÓIA E BOTUCATU NA ÁREA DE ESTUDO

A partir da disponibilidade de perfis geológicos, elaborados por empresas perfuradoras de poços tubulares, e com a utilização de perfilagens geofísicas, montaram-se as seções litoestratigráficas dos poços da área (Figuras 22 a 43), a partir do que foi possível efetuar-se a correlação estratigráfica de subsuperfície da área urbana de Ribeirão Preto, resultando na apresentação de seções de correlação estratigráfica (Figuras 50 a 52) e de um diagrama de litocorrelação em cerca (Figura 53).

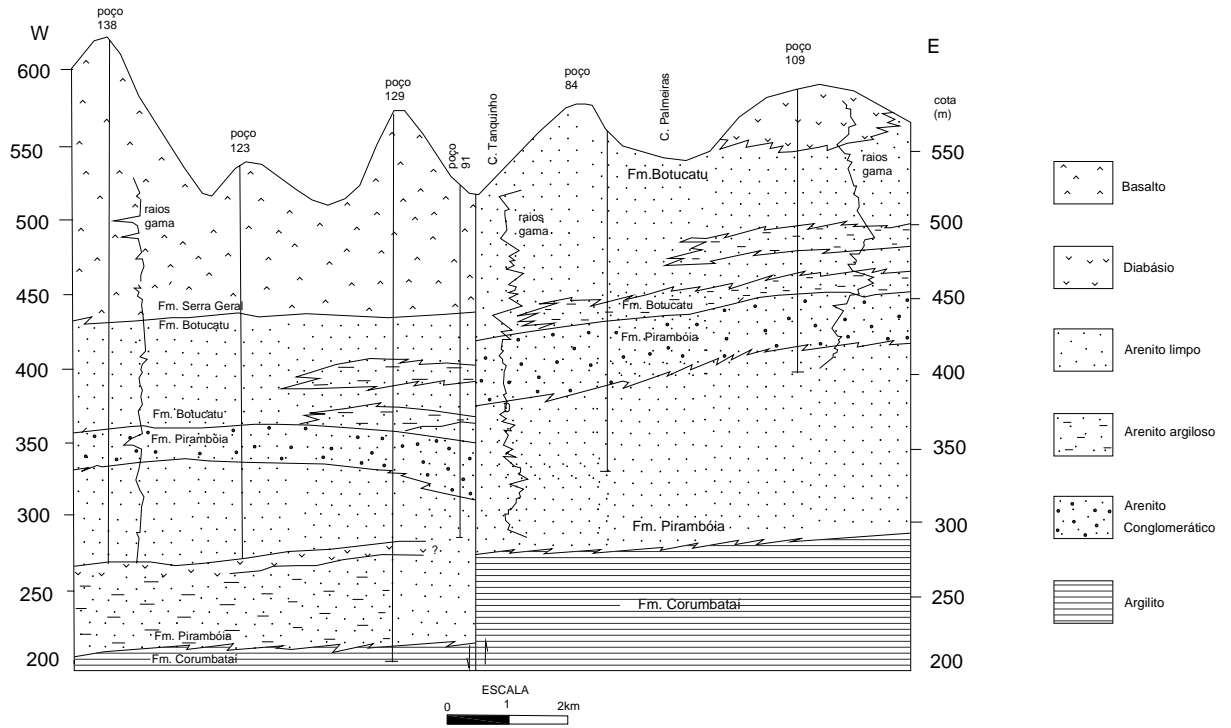


Figura 50 – Correlação litoestratigráfica entre poços com perfis geológicos descritos e perfilagens geofísicas.

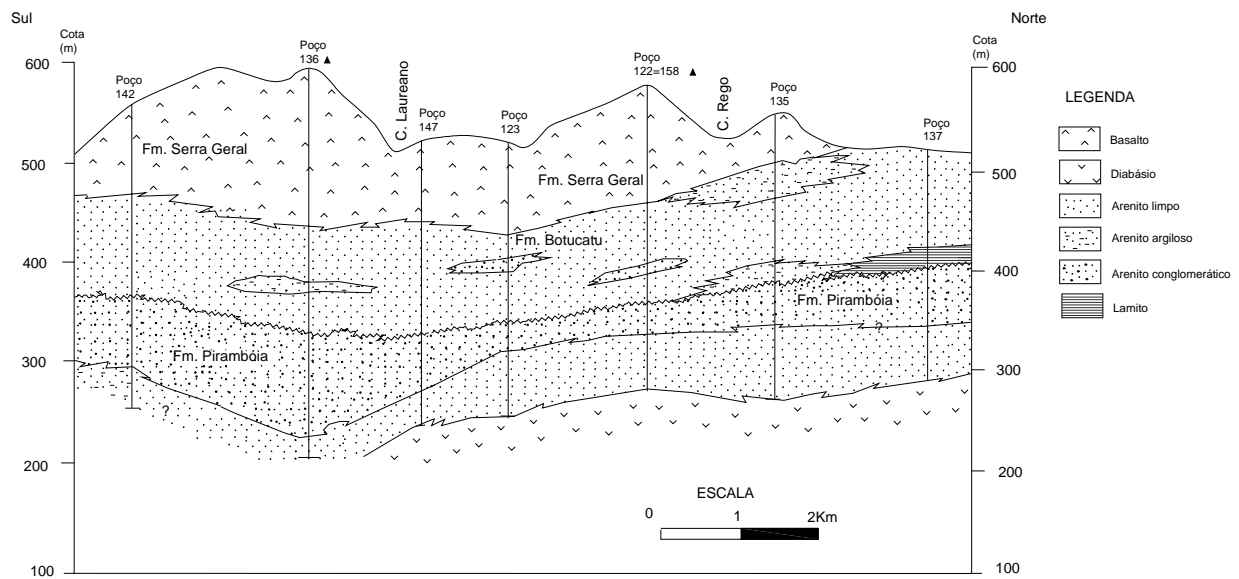


Figura 51 - Correlação litoestratigráfica entre poços com perfis geológicos descritos.

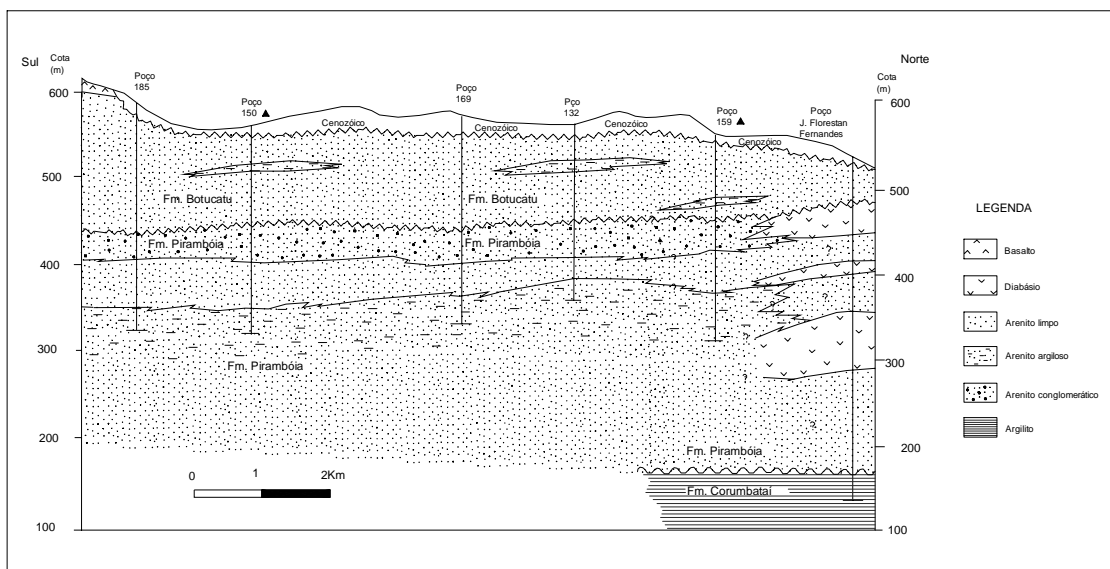


Figura 52 – Correlação litoestratigráfica entre poços com perfis geológicos descritos e perfilagens geofísicas.

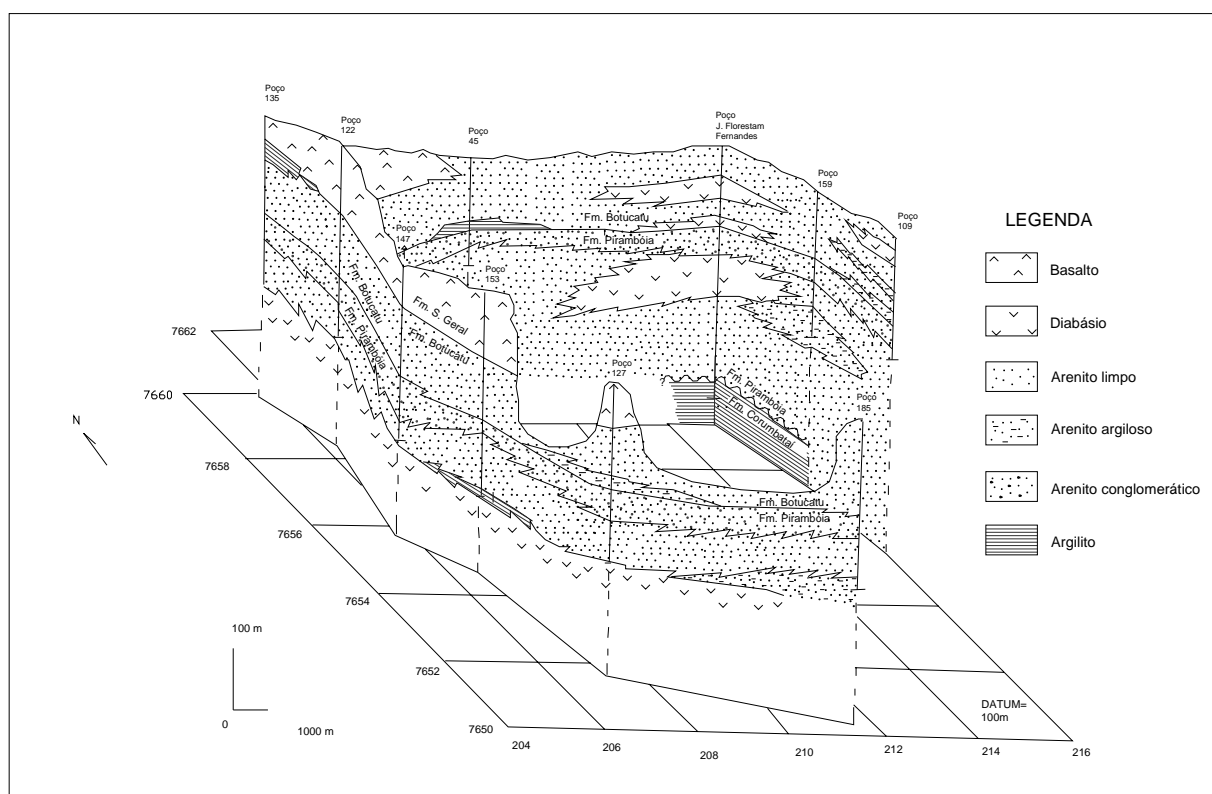


Figura 53 – Diagrama de litocorrelação em cerca da área urbana de Ribeirão Preto.

A Formação Pirambóia atinge uma espessura máxima estimada em 165 m (Figura 11), enquanto a Formação Botucatu alcança, em média, 100 m, ou seja 1,6 vez menor, com um máximo de 122 m na região de Ribeirão Preto (Figura 54).

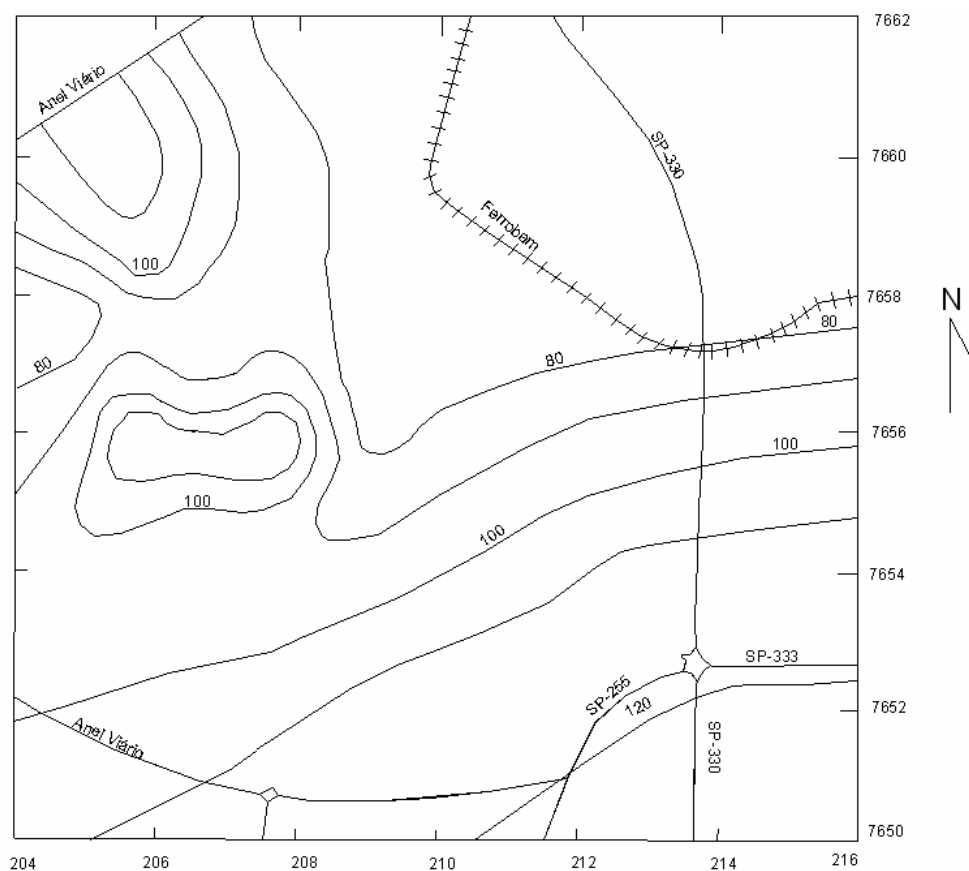


Figura 54 – Mapa de isópacas da Formação Botucatu em Ribeirão Preto.

As seções estratigráficas e o diagrama anteriormente expostos mostram a variação lateral e vertical de corpos sedimentares, cada qual apresentando características litológicas próprias como texturas e estruturas, distintas dos demais, definindo uma litofácies. Portanto, na área estudada foram reconhecidas as seguintes litofácies: arenitos limpos, arenitos argilosos, arenitos conglomeráticos e lamitos, representativas de diferentes subambientes sedimentares dentro do sistema deposicional eólico dominante.

A variação litofaciológica do Aquífero Guarani reflete na produtividade dos poços nele perfurados, como pode ser verificado, por exemplo, nos poços 138 e 109 (Figuras 21 e 50). Para a mesma espessura de aquífero perfurado (150 m) e mesmo rebaixamento (20 m), foram obtidas

vazões bastante distintas: enquanto o poço 138 produziu 153 m³/h (capacidade específica de 7,7 m³/h/m), o poço 109 forneceu somente 26 m³/h (capacidade específica de 1,56 m³/h/m) nos testes de bombeamento (FIPAI, 1.996). Isso se deve em grande parte ao fato de que o poço 138 atravessou uma seqüência arenosa com predominância da litofácies de arenitos limpos, bem selecionados, com pouca matriz fina, portanto bastante permeável; já o poço 109 cortou uma alternância de litofácies de arenitos limpos e arenitos argilosos, com redução nos valores de permeabilidade.

Um poço que apresenta alta capacidade específica (10,44 m³/h/m) é o 142, situado na porção sul da área (Figuras 21 e 51). O seu perfil geológico, excluindo-se os 92 m de cobertura basáltica, apresenta uma coluna de 209 m de arenitos, sendo que os 100 m iniciais compreendem, predominantemente, a litofácies de arenitos limpos, finos a médios, bem selecionados, pertencentes à Formação Botucatu, sobrepostos a 72 m de arenitos grossos a conglomeráticos, mal selecionados, carbonáticos, considerados o topo da Formação Pirambóia, abaixo dos quais ocorre um intervalo, até a base do poço, de 37 m, composto por arenitos finos a médios, bem arredondados, mal selecionados, com matriz argilosa, da Formação Pirambóia. Esse poço forneceu, no ensaio de bombeamento, vazão de 292,50 m³/h para um rebaixamento de 28 m.

7.1. Litofácies da Formação Pirambóia

A análise do diagrama de litocorrelação em cerca (Figura 53) mostra, de imediato, a ocorrência contínua de uma litofácies rudácea, com espessuras variando entre 20 m e 100 m (Figura 55), situada 80 m a 100 m abaixo do contato entre as formações Serra Geral e Botucatu. Essa litofácies *psefítica* foi constatada em 20 dentre 22 poços com perfis litologicamente descritos, de maneira a compreender uma área de pelo menos 140 km². Como os poços analisados limitam-se ao perímetro urbano da cidade, não foi possível acompanhar-se a continuidade, em subsuperfície, desse intervalo conglomerático além da área estudada.

Em termos regionais, sabe-se que tal litofácies foi descrita por SOARES *et al.* (1.973) nas encostas do morro dos Rosa, 5 km a norte de Itirapuã, próximo a Franca, e 75 km a nordeste de Ribeirão Preto. Embora esses autores tenham situado tal nível conglomerático na base da

Formação Botucatu considerou-se, neste trabalho, que essa litofácies pertence ao topo da Formação Pirambóia, constituindo excelente camada-guia para a determinação do contato entre esta unidade e a Formação Botucatu, a exemplo do que foi constatado por CAETANO-CHANG (1.997) nas regiões de Anhembi-São Pedro e Descalvado.

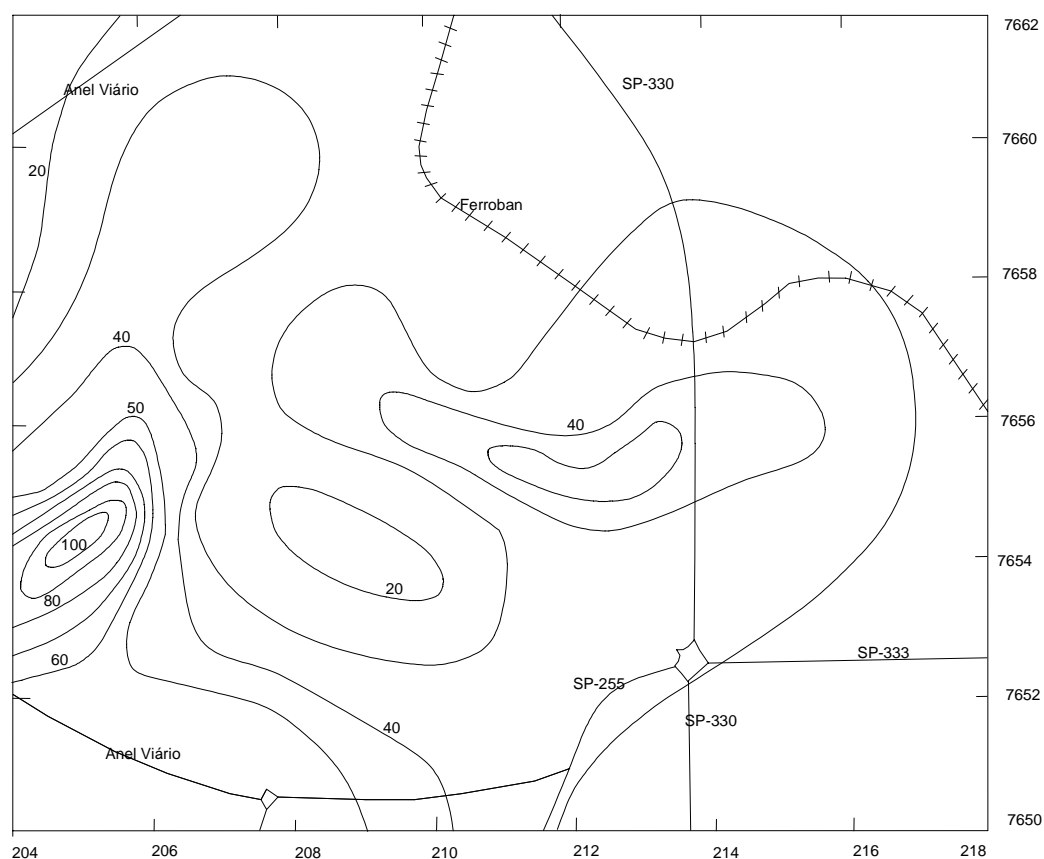


Figura 55 – Mapa de isópacas da litofácies de arenitos conglomeráticos do topo da Formação Pirambóia em Ribeirão Preto. Curvas de nível em metros.

Cabe salientar que COTTAS *et al.*(1.986) também identificaram a ocorrência de depósitos rudáceos na região de Altinópolis, 45 km a nordeste de Ribeirão Preto, porém atribuíram o contato entre as formações Pirambóia e Botucatu à ocorrência de uma quebra negativa no relevo, observada em fotos aéreas. Esses autores reconheceram a ocorrência de clásticos grossos também

nas regiões de Itirapina (SP) e serra da Esperança (PR), o mesmo acontecendo com VIEIRA (1.973), RICCOMINI *et al.*(1.984) na região da serra do Cadeado (PR) e SOARES (1.975) na serra da Esperança, região de Prudentópolis, centro-leste do Paraná. MASSOLI (1.980) descreveu arenitos conglomeráticos e conglomerados nas escarpas da serra de Santo Onofre, em Santa Rita do Passa Quatro (SP), no contato entre as formações Pirambóia e Botucatu, enquanto PRESSINOTTI (1.991) apontou a ocorrência de arenitos conglomeráticos feldspáticos nas cabeceiras do ribeirão do Tamanduá, em São Simão (SP), os quais seriam a área fonte das argilas brancas quaternárias existentes na planície de inundação desse curso d'água.

A litofácies de arenitos conglomeráticos ocorre em toda a área estudada (Figuras 50 a 53), compreendendo arenitos grossos a conglomeráticos, de cores esbranquiçadas, acinzentadas ou avermelhadas, por vezes com abundante matriz argilosa (localmente cimentação carbonática), mal selecionados, com seixos subarredondados a angulosos; suas espessuras variam entre 20 m a 100 m (Figura 55).

Situada no topo da Formação Pirambóia, constitui excelente marco estratigráfico para determinar o contato com a Formação Botucatu sobrejacente. Nas perfilagens geofísicas, normalmente pode ser constatada pelo aumento nos valores da radioatividade e diminuição da resistividade (ver poço 159 da Figura 34), contrastando com a litofácies de arenitos limpos na qual se intercala. Essa condição se deve à ocorrência de matriz argilosa no sedimento, conforme constatado em afloramento dessa litofácies na região de São Simão, 40 km a sudeste de Ribeirão Preto, a qual implica no aumento da emissão de raios gama e diminuição da resistividade pela presença de K nos minerais feldspáticos que envolvem os clásticos. Essa litofácies pode ser considerada uma tectofácies, termo utilizado para caracterizar a variação lateral de uma unidade estratigráfica causada por fatores tectônicos (MENDES, 1.984); CAETANO-CHANG (1.997) já havia chamado atenção para o componente tectônico associado à sedimentação desses arenitos.

Além da litofácies de arenitos conglomeráticos acima mencionada reconheceram-se na Formação Pirambóia três outras litofácies distintas: arenitos limpos, arenitos argilosos e lamitos.

Subjacente à litofácies de arenitos conglomeráticos, ocorre a litofácies de arenitos limpos que, conforme descrição, são muito finos a finos, de cores amareladas, acinzentadas ou avermelhadas, com grãos subarredondados a arredondados, seleção regular a boa, por vezes friáveis, com pouca matriz argilosa. Aparece em toda área estudada, apresentando espessuras que variam entre 30 m e 70 m, sendo caracterizada nos perfis de raios gama pelos baixos valores da radioatividade,

geralmente em torno de 15 A. P. I. (Figuras 24, 25 e 50) e resistividade entre 50 ohm.m e 100 ohm.m. Frequentemente limita-se, na base, por intrusão de diabásio que ocorre de maneira aparentemente contínua na porção centro-oeste da área e cuja espessura, estimada em 10 m, foi obtida no poço 129 (Figuras 20 e 50). Em direção a leste, essa litofácies intercala-se entre a litofácies de arenitos conglomeráticos e a litofácies de arenitos argilosos subjacente (Figuras 50 e 53).

A litofácies de arenitos argilosos distribui-se nas porções central e sul da área, desta estendendo-se para leste (Figuras 52 e 53). Nas curvas de raios gama caracteriza-se por apresentar valores entre 30 A. P. I. e 40 A. P. I. e nas de resistividade entre 20 ohm.m e 50 ohm.m. Na porção nordeste encontra-se, provavelmente, a maiores profundidades, não tendo sido constatada nas sondagens analisadas, uma vez que estas, por tratar-se de área de afloramento do Aquífero Guarani, têm profundidades menores que as perfurações feitas nas áreas onde esse aquífero está confinado sob os basaltos da Formação Serra Geral.

Na parte central da cidade, o perfil geológico do poço 129 (Figura 20) mostra a ocorrência de uma camada pelítica com espessura em torno de 3 m, representando a litofácies de lamitos que, pela seção litoestratigráfica mostrada nessa figura, situa-se na parte inferior da Formação Pirambóia. O poço 153 (Figura 53) também mostra um nível de lamito na porção inferior da unidade, cuja espessura, porém, não pode ser determinada pela interrupção da perfuração após atravessar 9 m dessa litofácies. Nas perfilagens geofísicas é evidenciada por picos para a direita na curva de raios gama, que atingem 50 A. P. I., e para a esquerda na de resistividade (valores de até 20 ohm.m), destacando-se do restante da curva.

Importante ocorrência da litofácies de lamitos da Formação Pirambóia encontrava-se a leste da cidade de Serrana, já fora da área de estudo, ainda que próximo a esta, na porção superior da unidade, pouco abaixo do *sill* de Serrana (ver Figura 11, na encosta para o rio Pardo), cujo afloramento foi soterrado pelos trabalhos de conservação da Rodovia SP-333. Segundo SOUZA *et al.*(1.971), a litologia e o conteúdo paleontológico dessa litofácies indicam uma deposição lacustre em ambiente eminentemente desértico, na porção superior da Formação Pirambóia.

7.2. Litofácies da Formação Botucatu

A Formação Botucatu compreende uma seqüência predominantemente arenosa, com espessuras variando de 80 m a 120 m (Figura 54) limitada, no topo, pelos basaltos da Formação Serra Geral e, na base, por uma espessa camada de arenitos conglomeráticos aqui atribuídos ao topo da Formação Pirambóia. As espessuras da Formação Botucatu, em sua porção confinada, aumentam gradativamente de norte para sul, apresentando, também, valores elevados na parte central da cidade (porção centro-oeste da Figura 54).

Na área estudada, a Formação Botucatu comporta quatro litofácies: arenitos limpos, arenitos argilosos, lamitos e arenitos conglomeráticos, sendo a primeira amplamente dominante.

Com distribuição em toda a área, ocorre a litofácies de arenitos limpos (Figuras 50, 51, 52 e 53), que apresenta espessuras variando entre 73 e 110 m. Compreende arenitos avermelhados e acastanhados, finos a médios, compostos por grãos de quartzo arredondados a bem arredondados, bem selecionados, praticamente isentos de matriz argilosa. Nas curvas de raios gama apresentam baixos valores (em geral até 15 A. P. I.), e valores altos (50 ohm.m a 200 ohm.m) para as curvas de resistividade (Figura 33). Embora presente em toda a área estudada, essa litofácies é mais espessa na região sul-sudeste da cidade, refletindo na maior produtividade dos poços aí localizados (Figura 47). Essa litofácies está muito bem definida fora da área de estudo, na gruta de Itambé, Município de Altinópolis, onde verifica-se uma seção vertical com espessura de 27 m, composta por 12 m de arenitos avermelhados finos a médios, com estratificações cruzadas tabulares de grande porte, sobrepostos por 15 m de arenitos com estratificações cruzadas acanaladas de grande porte; a estrutura interna dos arenitos inferiores mostra intercalações de lâminas de fluxo de grãos com lâminas de queda de grãos, exibindo bimodalidade, o que evidencia a origem eólica em *foresets* de dunas. Essa localidade situa-se, estratigraficamente, na porção inferior da Formação Botucatu.

A litofácies de arenitos argilosos ocorre tanto na porção superior quanto na inferior da unidade. Conforme a descrição de perfis geológicos de poços compõe-se de arenitos finos a muito finos, avermelhados, com abundante matriz argilosa. Difere da litofácies de arenitos limpos pelo aumento nos valores da radioatividade e potencial espontâneo, pela maior presença de material fino, enquanto que com a resistividade ocorre uma diminuição significativa nos valores (Figura 25). Sua espessura, em geral, não ultrapassa de 10 m e ocorre em corpos descontínuos, variando lateral e verticalmente para a litofácies de arenitos limpos (Figuras 50 a 53).

Nas porções norte e central da área ocorre a litofácies de lamitos, que se situa, respectivamente, na base e na porção superior da Formação Botucatu (Figura 53). Compreende camadas de lamitos arenosos, de cores avermelhadas ou acinzentadas, maciços, com espessuras métricas. Nas perfilagens geofísicas destacam-se por constituírem picos para a direita, nas curvas de raios gama, e para a esquerda, nas de resistividade (Figura 33).

De importância restrita, constatou-se a litofácies de arenitos conglomeráticos na porção centro-oeste da área (poços 122 e 123 da Figura 51). Representa-se por intercalações, na litofácies de arenitos limpos, de arenitos grossos a conglomeráticos, de cores esbranquiçadas ou avermelhadas, com freqüente matriz argilosa, mal selecionados, situados na parte intermediária da Formação Botucatu. Suas espessuras não ultrapassam de alguns metros (Figura 51).

A área analisada mostra variações locais no comportamento das espessuras da Formação Botucatu e litofácies de arenitos conglomeráticos da Formação Pirambóia, cujos mapas de isópacas (Figuras 54 e 55) indicam espessamento para SW. Ao contrário, o mapa de isópacas das formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo (Figura 12) mostra espessamento regional das mesmas para NW, evidenciando uma calha deposicional com eixo na direção NW-SE, situada a norte do atual vale do rio Tietê.

7.3. Faciologia

Em afloramentos ou testemunhos de sondagens uma fácies pode ser bem definida levando-se em conta os aspectos texturais, estruturas sedimentares e conteúdo fossilífero presentes em um determinado corpo rochoso. Já em trabalhos de subsuperfície, onde não se dispõe de amostragens, a interpretação faciológica torna-se mais difícil, pois tem-se, apenas, a resposta de um intervalo estratigráfico a investigações indiretas, nas quais utilizam-se as propriedades físicas das rochas, no caso de perfilagens geofísicas. A partir da indicação da variação do tamanho dos grãos dos sedimentos perfilados, pode-se fazer uma analogia com depósitos semelhantes reconhecidos em superfície. Exemplificando, sabe-se que, no sistema desértico, a fácies de dunas eólicas compreende arenitos finos a médios, bem selecionados, com estratificações cruzadas, praticamente isentos de matriz fina. Comparativamente, nas perfilagens geofísicas a ausência de fração siltico-argilosa corresponderia à litofácies de arenitos limpos, que apresenta baixos valores de raios gama

e altos de resistividade. Ao contrário, a ocorrência de pelitos registra-se nas curvas geofísicas pelos altos valores de radioatividade e baixos de resistividade, sugerindo fácies lacustre ou de transbordamento de canais fluviais. Entre esses extremos valores das propriedades geofísicas, situar-se-iam os depósitos de transição entre os tipicamente eólicos e os predominantemente subaquáticos.

Com base na definição acima proposta identificaram-se, na área de estudo, as seguintes fácies: de dunas eólicas/lençóis de areia, de interdunas, de leques aluviais e canais fluviais associados e lacustres, dependendo das características das unidades litoestratigráficas a elas associadas. Tais fácies se inserem no sistema deposicional continental desértico, vigente durante a deposição das formações Pirambóia e Botucatu na Bacia do Paraná.

O intervalo estratigráfico caracterizado pela predominância de arenitos limpos, isto é, praticamente sem fração siltico-argilosa, representa a fácies de dunas eólicas, que se forma em decorrência da queda ou fluxo de grãos transportados pelo vento, no processo de migração das acumulações de areia, enquanto a parte fina é transportada, em suspensão, pelos ventos para áreas distantes dos campos de dunas, ou são trapeadas em interdunas úmidas. Por isso, essa fácies apresenta arenitos bem selecionados, maduros a submaduros, tendo como característica a textura bimodal, além de mostrar nas curvas geofísicas baixa radioatividade e alta resistividade (Figura 32), pela sua deficiência em material pelítico. A fácies de dunas eólicas assemelha-se, texturalmente, à fácies de lençóis de areia e interdunas secas, sendo que a distinção só pode ser feita com base nas estruturas sedimentares presentes.

Os depósitos de dunas apresentam, principalmente, estratificação cruzada de média a alta inclinação e médio a grande porte, enquanto os depósitos de lençóis de areia e de interdunas secas exibem, essencialmente, estratificação subhorizontal, podendo exibir lâminas com gradação inversa. Evidentemente, essa distinção não pôde ser aplicada neste trabalho que utilizou, basicamente, informações de subsuperfície (descrições simplificadas de perfis geológicos e perfilagens geofísicas), em que prevaleceram os parâmetros texturais para a caracterização faciológica das unidades analisadas, o que pode induzir a equívocos na interpretação de fácies litologicamente semelhantes.

No entanto, exemplo de fácies de dunas eólicas pode ser constatado próximo à área estudada, em uma gruta formada em arenitos, situada perto da cidade de Altinópolis, onde litofácies de arenitos com estratificações tabulares de grande porte (Fotos 1, 2 e 3) está sobreposta por litofácies

de arenitos com estratificações cruzadas acanaladas de grande porte (Foto 2). Nesse afloramento, os estratos tabulares inferiores exibem direção do plano de acamamento N 75° E e mergulho 25° SE (Foto 3); esta fácies corresponde à fácies Slt de SCHERER (2.000), ou seja *large-scale trough cross-bedded sandstone*, interpretada por esse autor como sendo depósito formado pela migração de dunas com *slipfaces* bem desenvolvidas, pela presença abundante de estratos de fluxos de grãos. Feições morfológicas de morros testemunhos ocorrem na frente de *cuesta*, nessa região, sustentados por arenitos da Formação Botucatu, cuja erosão produz depósitos coluvionares que recobrem o contato inferior dessa unidade, com a Formação Pirambóia (Foto 4).



Foto 1 – Estratificações cruzadas tabulares planares de grande porte da Formação Botucatu.



Foto 2 – Estratificações cruzadas acanaladas de grande porte da Formação Botucatu. Gruta de Itambé, Altinópolis.



Foto 3 – Detalhe da estratificação cruzada tabular planar (N 75° E, 25° SE).

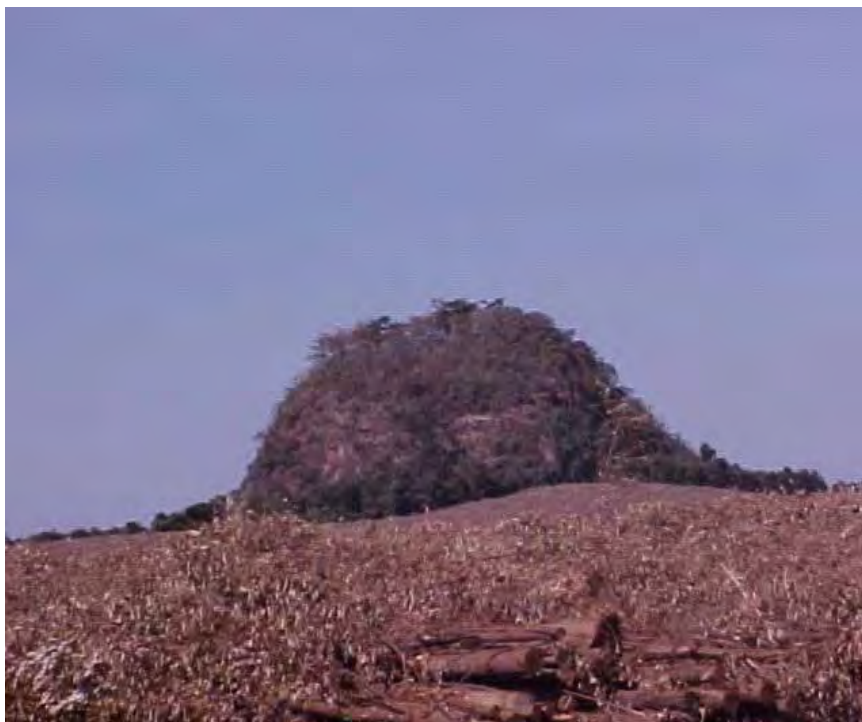


Foto 4 – Morro do Seladinho. Testemunho de arenitos da Formação Botucatu.

A litofácies com predominância de arenitos argilosos, ou seja com abundante matriz siltico-argilosa, estaria relacionada à fácies de interdunas úmidas, que são os depósitos interdunares mais comuns na Formação Pirambóia (BRIGHETTI & CAETANO-CHANG, 1.992; CAETANO-CHANG, 1.997). Tal fácies interdunar pode se estender lateralmente por amplas áreas, porém interdigitando-se horizontalmente com a de dunas eólicas, que apresenta faciologia distinta, conforme exposto anteriormente. Essa variação faciológica lateral pode ser vista na Figura 51, entre os poços 142 e 136 e no poço 135, onde arenitos argilosos interdigitam-se com arenitos limpos atribuíveis a dunas eólicas, cuja distinção nas perfilagens geofísicas é feita pela variação não muito acentuada nos seus valores. Por outro lado, a continuidade lateral de arenitos argilosos interdunares pode ser significativa, como mostrado na Figura 52 (poços 185, 150, 169, 132 e 159).

Os depósitos rudáceos situados no topo da Formação Pirambóia (Figuras 24 a 29 e 50 a 53) definem a fácies de leques aluviais associados a canais entrelaçados, evidenciando uma fase de aumento na energia de transporte dos sedimentos, em função de provável reativação tectônica na borda nordeste da Bacia do Paraná. Drenagens rejuvenescidas passaram a carregar material proveniente do Embasamento Cristalino e sedimentos anteriormente depositados, acumulando os clásticos mais grossos nos sopés das escarpas, na forma de cones aluviais, pela redução abrupta das declividades, enquanto a carga restante era transportada pelos canais fluviais, sendo posteriormente depositada nas planícies desérticas, o material mais grosso na forma de depósitos de canal e o mais fino como barras arenosas. Esta fácies destaca-se nas perfilagens geofísicas por representar, em geral, um intervalo mais radioativo (e menos resistivo) pela sua maior argilosidade em relação à fácies de dunas eólicas na qual intercala-se (Figura 34).

Embora situada fora da área de estudo, porém próxima a esta, deve ser mencionada, por sua importância paleontológica, a ocorrência da fácies lacustre (*playa/lake*) em Serrana, na porção superior da Formação Pirambóia, constituída por argilitos marrons contendo fósseis de conchostráceos e ostracódeos, além de restos vegetais retrabalhados do Permiano Superior. Tais lagos constituiriam as porções terminais das drenagens endorréicas, formadas por canais entrelaçados que percorriam, intermitentemente, as planícies desérticas, em épocas curtas de fortes chuvas, até serem assoreados pelo avanço dos campos de dunas, durante os períodos de seca prolongada. Além dessa ocorrência, hoje infelizmente soterrada pelos trabalhos de manutenção da Rodovia SP – 333, registraram-se outros níveis de argilitos menos importantes dessa fácies lacustre nas formações Pirambóia e Botucatu, como é mostrado nas Figuras 20, 51 e 53. Nas perfilagens geofísicas sua ocorrência é constatada pela formação de picos, para a direita, nas curvas de raios gama, e para a esquerda, nas de resistividade, como mostrado na Figura 33.

8. ESTRATIGRAFIA

A Estratigrafia aflorante da área compreende parte do Grupo São Bento, representado pelas formações Serra Geral e Botucatu, pois a Formação Pirambóia é subaflorante; a Formação Botucatu acha-se, em grande parte, recoberta por depósitos coluvionares de idade neocenozóica, conforme representado no mapa geológico (Figura 56) e quadro cronolitoestratigráfico (Figura 57).

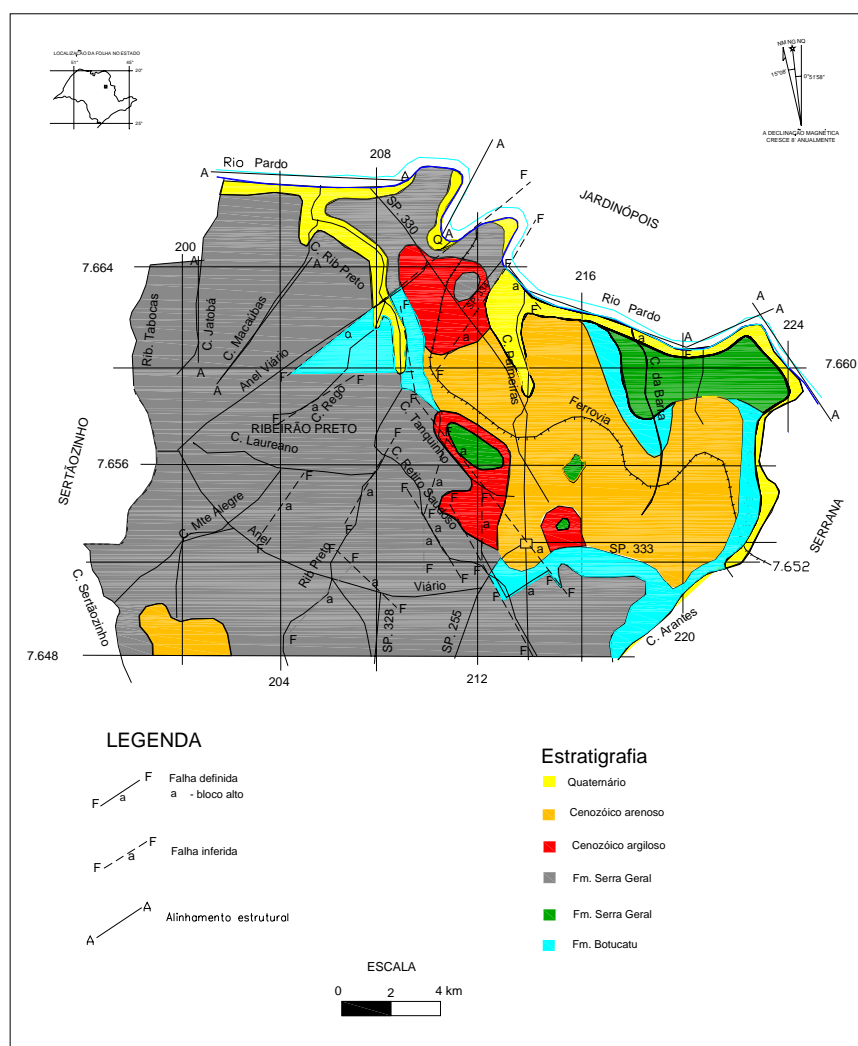


Figura 56 – Mapa geológico da área.

O arcabouço da estrutura local, conforme mencionado nos capítulos 3 e 4, formou-se por meio de falhas normais pós-basaltos, as quais originaram blocos romboédricos, constituindo o baixo estrutural de Ribeirão Preto, como pode ser visto nas Figuras 58 a 61.

O mapa geológico da área mostra que o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu ocorre em grande parte por falha (Figura 56). A área de contato entre essas duas unidades geológicas está representada, geomorfologicamente, por um relevo de colinas amplas, de topos aplainados, encostas suavizadas com perfis retilíneos a convexos, cuja amplitude não ultrapassa 60 m. Desse modo, a partir, por exemplo, do trevo de acesso a Ribeirão Preto (km 307 da Rodovia Anhangüera) para oeste, em direção ao centro da cidade, passa-se da Formação Botucatu para a Formação Serra Geral de maneira topograficamente imperceptível (nota-se apenas a mudança gradual na coloração dos solos correspondentes). Porém, cerca de 500 m adiante dessa faixa de transição, em direção a oeste, uma sondagem revelou que o topo da Formação Botucatu está rebaixado em cerca de 60 m, o que explicaria a existência de uma falha com direção NE-SW e bloco alto para SE (Figura 59, perfil C – D, entre os poços 94 e 139). Análise estrutural da área, realizada por WERNICK & SINELLI (1.970), já havia mostrado que as direções preferenciais de falhamentos são para NE e NW, concordantes, portanto, com as apresentadas neste trabalho.

O exame preliminar dos perfis geológicos de poços disponíveis, com o auxílio de perfilagens geofísicas, permitiu a identificação de uma contínua camada de arenito grosso a conglomerático, esbranquiçado, mal selecionado, que ocorre em toda área urbana de Ribeirão Preto, apresentando espessuras que variam de 20 m a 100 m (Figura 55). Esse intervalo rudáceo, situado entre 80 m e 100 m do contato entre a Formação Serra Geral e a Formação Botucatu, foi considerado, nesta pesquisa, como sendo pertencente ao topo da Formação Pirambóia, a exemplo do que consideraram CAETANO-CHANG (1.997) e CAETANO-CHANG & WU (1.994) para as regiões de Descalvado e São Pedro, no centro-leste do Estado de São Paulo. Anteriormente, depósitos dessa natureza foram situados na base da Formação Botucatu, como em SOARES *et al.* (1.973), que os consideraram depósitos fluviais de rios temporários de deserto (*wadis*).

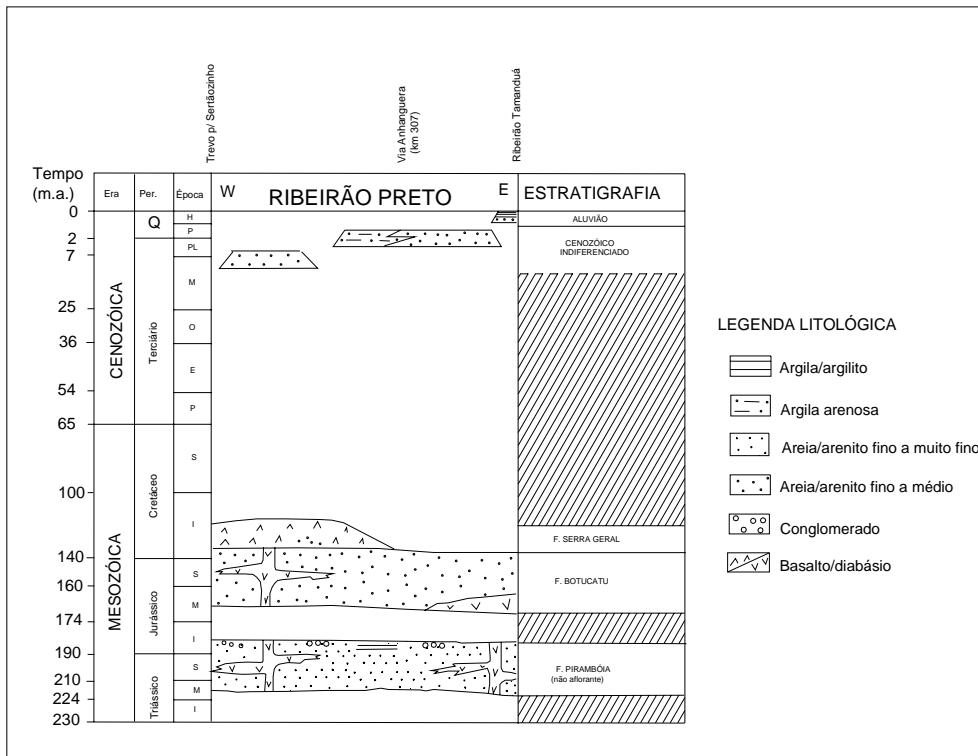


Figura 57 – Quadro cronolitoestratigráfico da área.

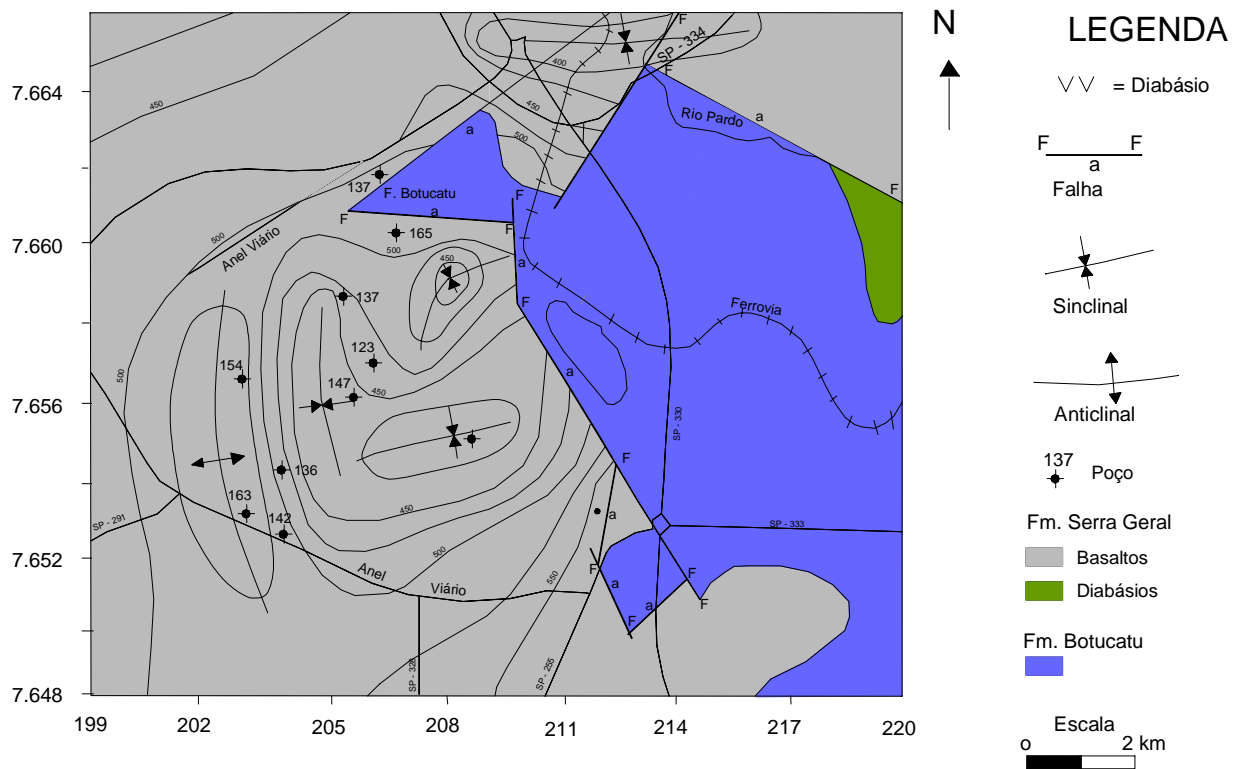


Figura 58 – Mapa de contorno estrutural do topo da Formação Botucatu. Localização dos poços obtida de FIPAI (1.996).

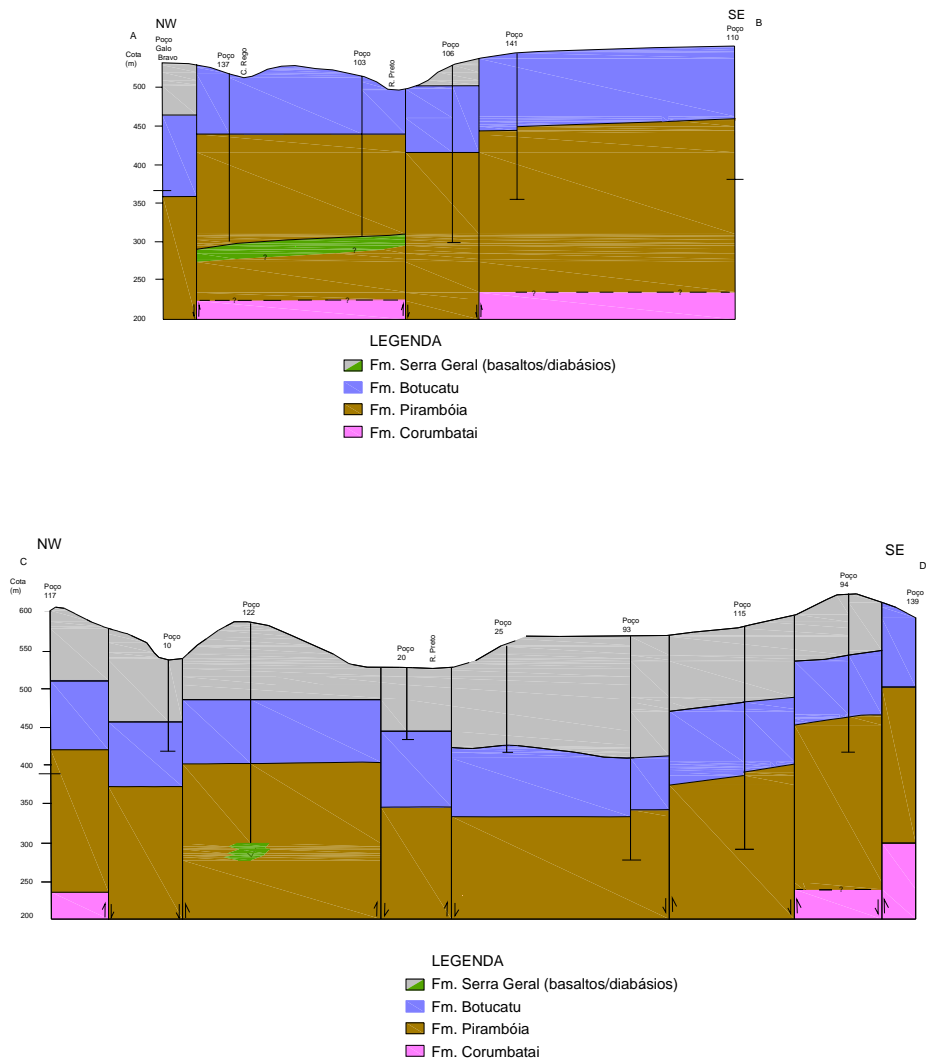


Figura 59 – Seções geológico-estruturais na área urbana de Ribeirão Preto. Localização na Figura 1.

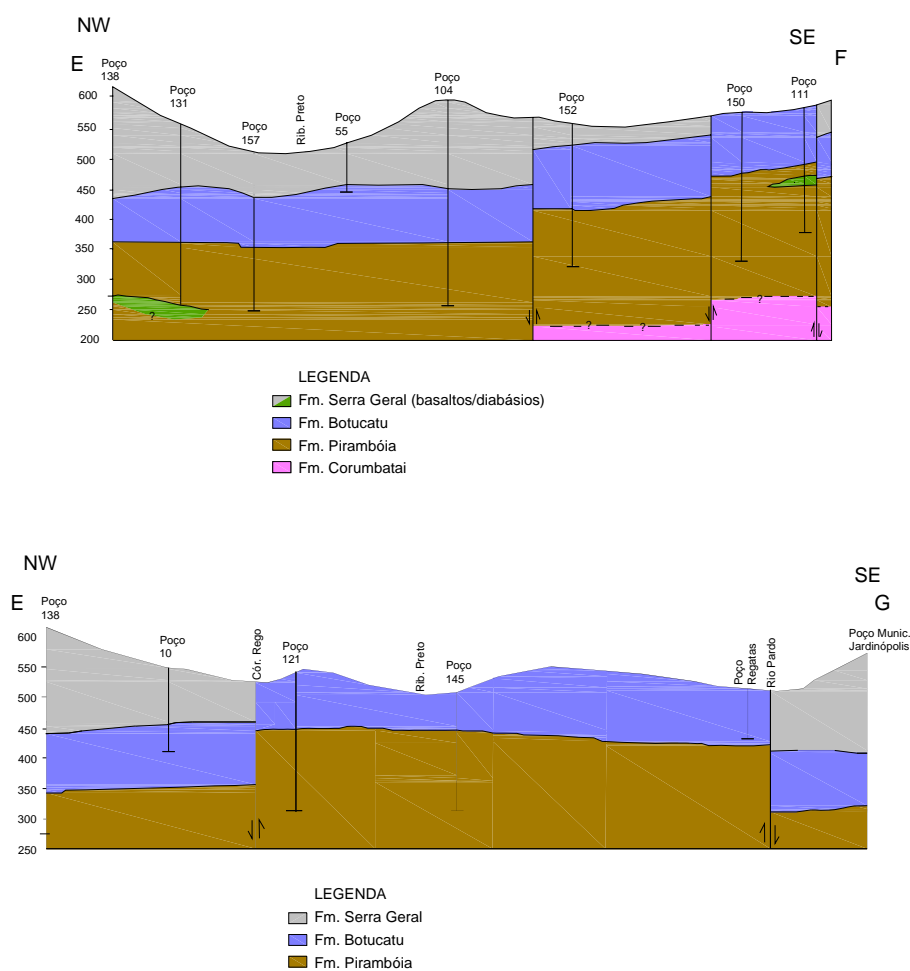


Figura 60 – Seções geológico-estruturais na área urbana de Ribeirão Preto. Localização na Figura 1.

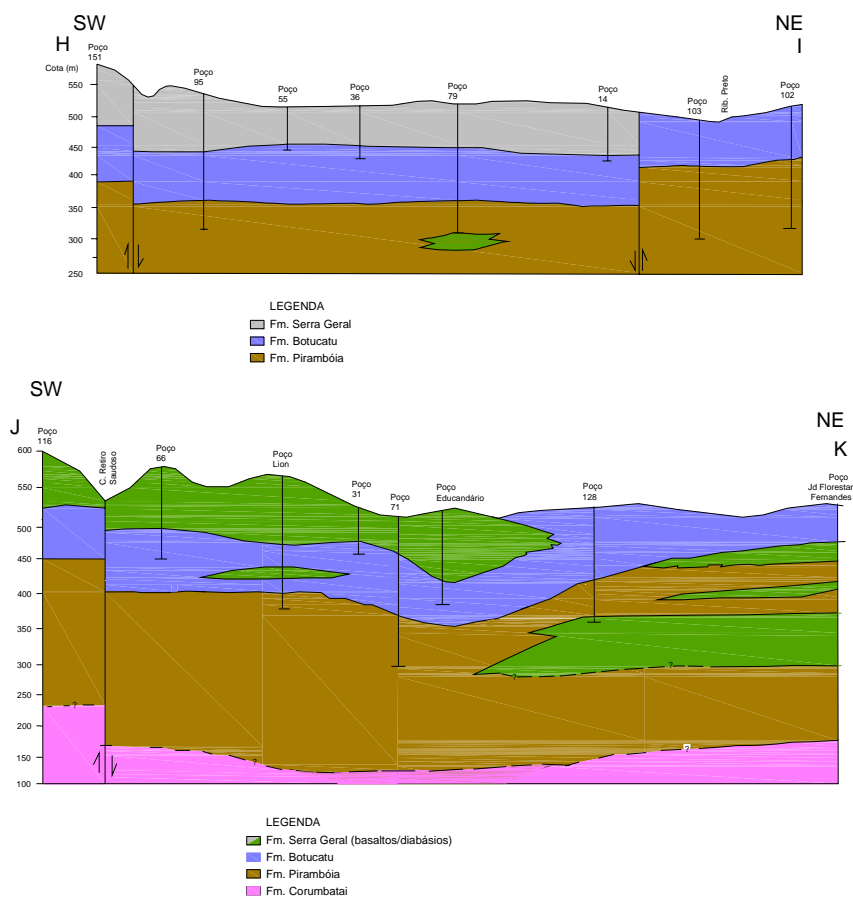


Figura 61 – Seções geológico-estruturais na área urbana de Ribeirão Preto. Localização na Figura 1.

Considerando-se o intervalo grosso/conglomerático como marco estratigráfico, na área, pode-se determinar o contato entre as formações Pirambóia e Botucatu no topo dessa litofácies rudácea, como está exposto nas seções litoestratigráficas (Figuras 50 a 52) e diagrama de litocorrelação em cerca (Figura 53). Também como *datum* estratigráfico pode ser considerado o contato Formação

Botucatu/Formação Serra Geral, o qual teve fundamental importância na interpretação da tectônica local, constituindo boa camada-guia na identificação de falhamentos (Figura 50 e Figuras 59 a 61).

A passagem da Formação Pirambóia para a Formação Botucatu ocorre, então, por brusca mudança litológica, de arenitos grossos a conglomeráticos (Formação Pirambóia) para arenitos finos a médios, limpos (Formação Botucatu). Os arenitos conglomeráticos normalmente contêm matriz argilosa, indicando uma descontinuidade na sedimentação, no contato com a Formação Botucatu, por variação acentuada da energia do agente transportador. Localmente pode ocorrer lente argilosa na base da Formação Botucatu, como no poço 137, da Figura 51, e no poço 45, da Figura 53, de maneira a constituir, também, contato litológico abrupto entre as duas unidades geológicas.

Considerando-se, então, a camada conglomerática como estando no topo da Formação Pirambóia, foi possível determinar-se a espessura da Formação Botucatu, a qual varia de 74 m, na porção norte da área, até 120 m, a sul-sudeste (Figura 54). Até então, não se dispunha de um horizonte-chave que pudesse determinar o limite Pirambóia/Botucatu, de maneira que o contato entre ambas na área, por estar em subsuperfície, nunca ficou bem caracterizado, motivo pelo qual o pacote de arenitos mesozóicos infrabasálticos acabava sendo denominado simplesmente por Formação Botucatu, ou mesmo por formações Pirambóia e Botucatu, porém sem menção de um nível estratigráfico reconhecível que pudesse definir, com precisão, o limite entre ambas.

Pelos registros de sondagens disponíveis na área, tem-se que apenas o poço do Jardim Florestan Fernandes, situado na zona nordeste da cidade, teria atingido o substrato do Aquífero Guarani, representado pela Formação Corumbataí (Figura 18); nesse local, a Formação Pirambóia compreende cerca de 164 m de arenitos, com intercalação de 75 m de rocha básica intrusiva, enquanto a Formação Botucatu apresenta espessura em torno de 79 m, com duas intrusões de diabásio perfazendo 52 m. Já na parte central da área é sugestivo, porém não comprovado, que o poço 129 (Figura 20), perfurado no Bosque Municipal de Ribeirão Preto, tenha atingido o Permiano Superior, pois em seu perfil geológico consta que de 360 m a 372 m de profundidade (cotas de 212 m a 200 m) a sondagem atravessou 12 m de argilitos e siltitos arroxeados e avermelhados, com intercalações de níveis de arenitos argilosos, descrição essa que poderia corresponder à Formação Corumbataí, embora não conste no perfil descrito.

O exame do diagrama de litocorrelação em cerca (Figura 53) bem como das seções de correlação estratigráfica às Figuras 50 a 52, mostra, claramente, que a Formação Pirambóia não é

aflorante na área, uma vez que o topo desta, determinado pela litofácies de arenitos conglomeráticos, nunca está em cota superior a 500 m, enquanto que o nível de base local, representado pelo rio Pardo, tem altitude em torno de 510 m. Somente a leste da área, entre Serrana e Santa Cruz da Esperança, é que a Formação Pirambóia aflora, pela aproximação da borda leste da Bacia do Paraná, atingindo a cota de 800 m na serra da Borda da Mata, em Cássia dos Coqueiros, onde está separada da Formação Botucatu por uma espessa intrusão de diabásio (Figuras 10 e 11).

O mapa geológico da área (Figura 56) mostra que o contato entre as formações Botucatu e Serra Geral ocorre normalmente por falha, tendo em vista a análise da cota do topo da Formação Botucatu encontrada nos poços perfurados em Ribeirão Preto. A seção litoestratigráfica da Figura 50 apresenta o truncamento da Formação Serra Geral, por falha, entre os poços 91 e 84, onde se nota, também, o rejeito sofrido pela camada de arenito conglomerático nessas duas sondagens, o mesmo não ocorrendo, no entanto, entre os poços 91 e 129. Já em direção ao poço 138, a oeste, os contatos Serra Geral/Botucatu e Botucatu/Pirambóia mostram-se horizontalizados, portanto sem influência tectônica; nessa região, a Formação Serra Geral apresenta as maiores espessuras na área em estudo, da ordem de 200 m.

A leste do córrego do Tanquinho, no local denominado morro do Cipó (ou da Vitória), a ocorrência de rocha ígnea básica (Figura 56) foi interpretada como sendo uma intrusão lacólica de forma ovalada (MASSOLI, não publicado). Na parte mais central dessa feição geomorfológica registraram-se 300 m de rocha básica, espessura essa que diminui gradativamente para os flancos, onde atinge 100 m, de maneira que o mapa de isópacas dessa intrusão apresenta linhas fechadas de forma alongada, com eixo na direção NW-SE. Essa ocorrência está bem caracterizada por dois poços perfurados no Jardim Palmares, sendo que um deles, situado na parte mais alta do morro do Cipó, registrou 243 m de diabásio (a sondagem parou na intrusiva), enquanto o outro, localizado na periferia da estrutura, cortou somente 58 m de rocha básica para atingir a Formação Botucatu subjacente. Por outro lado, os poços 89 e 190 do DAERP (Figura 21), perfurados no flanco sul do morro, não atingiram o corpo básico, mas apenas o colúvio argilo-arenoso dele proveniente, sobreposto à Formação Botucatu. Cabe acrescentar que os derrames basálticos têm espessuras regulares e crescentes desde o contato com a Formação Botucatu, onde apresentam cerca de 50 m, para oeste, atingindo 200 m.

Intrusões de diabásio ocorrem, em subsuperfície, tanto na Formação Botucatu como na Formação Pirambóia (Figuras 50 a 53), sendo, no entanto, mais comuns nesta unidade,

principalmente nas suas porções média e inferior, com espessuras em geral não superiores a 15 m na área urbana de Ribeirão Preto (Tabela 4), porém atingindo 75 m no poço do Jardim Florestan Fernandes (Figura 18), zona leste da cidade. Como se verifica nas Figuras 50 e 51, as sondagens foram interrompidas ao ser atingido o diabásio, dificultando a avaliação da espessura da rocha básica, que, no entanto, registra cerca de 10 m no poço 129 (Figuras 20 e 50); o exame das Figuras 20, 50 e 51 permite localizar essa intrusão na porção oeste de Ribeirão Preto e na parte média a inferior da Formação Pirambóia, aparentemente sem continuidade em direção a leste-sudeste da cidade.

9. INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

O intervalo estratigráfico compreendendo cerca de 230 m de sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu, desde o topo dessa seqüência sedimentar, porém sem atingir a sua parte basal, possibilitou, por meio da interpretação de curvas de perfilagens geofísicas, o reconhecimento de 4 subintervalos litofaciológicos, os quais puderam conduzir à caracterização dos paleoambientes deposicionais que se sucederam na evolução da história sedimentar desse intervalo na área estudada, compreendido, cronologicamente, entre o Triássico Médio (210 M.a.) e o Cretáceo Inferior (135 M.a.) (Figura 57), excluindo-se, naturalmente, os depósitos neocenozóicos de cobertura.

Considerando-se a espessura total do Pirambóia/Botucatu, na porção norte da Bacia do Paraná, em cerca de 450 m (Figura 12), para um tempo decorrido de sedimentação por volta de 60 M.a., desde o Triássico Médio ao Cretáceo Inferior (já descontados os cerca de 15 M.a. correspondentes ao hiato deposicional admitido entre as formações Pirambóia e Botucatu, equivalente ao Jurássico Médio), tem-se uma taxa de sedimentação em torno de 7,5 m/M.a., sendo que a Formação Pirambóia teria tido uma velocidade de sedimentação maior que a da Formação Botucatu (já que este tem uma espessura cerca de 1,6 vez menor para tempos de sedimentação não muito diferentes).

A presença de um hiato entre o final da sedimentação paleozóica e o início da mesozóica é indicativa de ter havido tempo suficiente para a elevação de terrenos previamente depositados e a conseqüente exposição dos mesmos à erosão, gerando uma discordância. Nesse caso, a ação epirogenética positiva teria acelerado a regressão definitiva do mar paleozóico, iniciada com a progradação deltaica da Formação Rio do Rasto, fazendo com que a sedimentação Pirambóia, na borda nordeste da Bacia do Paraná, ocorresse longe da costa e não próximo a ela.

A área em estudo situa-se a 55 km do contato Paleozóico/Mesozóico, que ocorre em Santa Rosa de Viterbo, a sudeste de Ribeirão Preto (Figura 10). Nessa área, o contato entre as formações Corumbataí e Pirambóia não está exposto, pela ocorrência, entre essas duas unidades geológicas, de espessa intrusão de diabásio (SOARES *et al.*, 1.973) a qual sustenta as serras de Santa Vitória e Borda da Mata. Nos flancos da serra da Borda da Mata, em Cássia dos Coqueiros, próximo à divisa dos estados de São Paulo e Minas Gerais, a Formação Corumbataí se adelgaça até

desaparecer, de maneira que a Formação Pirambóia transgride sobre o Grupo Tubarão em território mineiro.

No entanto, na região limítrofe entre Santa Rita do Passa Quatro e Tambaú, 80 km a sudeste de Ribeirão Preto, tem-se o contato entre o Paleozóico e o Mesozóico já referido anteriormente, que se verifica através de uma discordância erosiva sobreposta por uma camada de brecha composta por fragmentos de siltitos e sílex oriundos da Formação Corumbataí (MASSOLI, 1.980; 1.981). Essa brecha pode ser considerada residual, pois refere-se à concentração de fragmentos rudáceos angulosos, resultantes da meteorização e erosão de rochas, formando depósitos sobre estas após curto transporte, pela eliminação da fração fina, de maneira que os clastos têm a mesma composição que a rocha mãe infrajacente. Acima desse contato, no corte da estrada de ferro da FERROBAN, ocorre uma espessa camada de arenito fino a muito fino, esbranquiçado, apresentando estratificações cruzadas de grande porte, tangenciais na base, além de estruturas de preenchimento de canal e falhas de pequeno rejeito (MASSOLI, 1.981). O depósito de canal, de pequenas dimensões, representaria feição efêmera de escavação e preenchimento de dunas por curso d'água temporário (*wadis*), em épocas de enchentes episódicas; as falhas de rejeitos decimétricos estariam ligadas ao colapso das dunas, pela expulsão ascendente de água contida nas areias eólicas inconsolidadas e encharcadas, sob a ação de abalos sísmicos penecontemporâneos à sedimentação. O intervalo de arenitos estratificados pode ser interpretado como sendo a parte frontal de dunas que migraram sobre a superfície paleozóica previamente exposta à erosão, marcando, então, o início da deposição mesozóica já sob condições desérticas provavelmente no Triássico Médio, considerando-se um hiato erosivo entre este período e o Permiano Superior, que corresponderia ao Triássico Inferior.

O conceito de dunas eólicas avançando sobre a superfície erosiva paleozóica já no Mesotriássico foi estendido da faixa de afloramento do contato Paleozóico/Mesozóico para a região de Ribeirão Preto, para elaboração da interpretação paleoambiental da mesma, tendo em vista a inacessibilidade, na área de estudo, de informações sobre a parte basal do Mesozóico (Formação Pirambóia) em subsuperfície, já que, em geral, os poços perfurados na região não atingem o Paleozóico.

A Figura 62 mostra alguns perfis de variação granulométrica obtidos de poços perfurados na área de estudo e utilizados na interpretação paleoambiental da mesma.

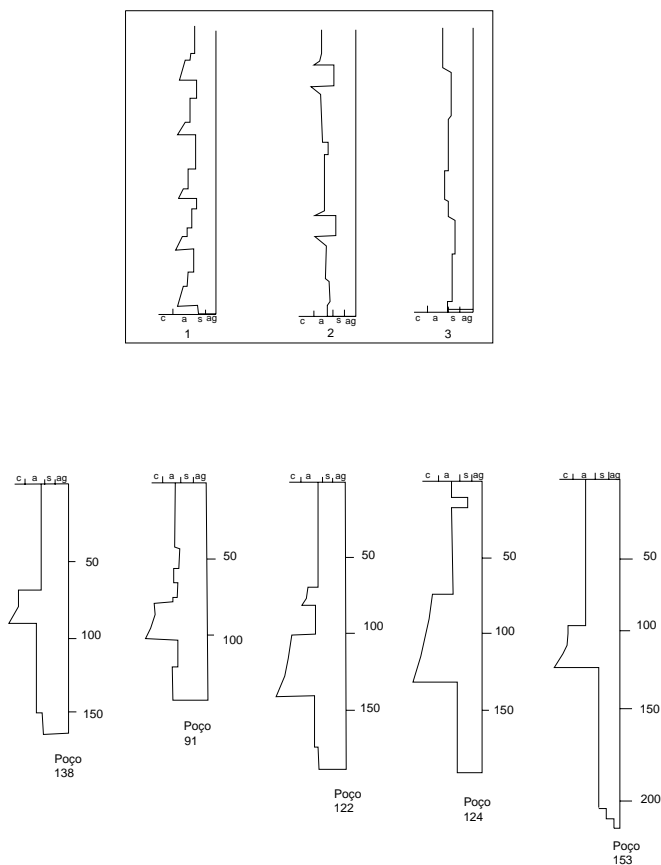


Figura 62 - Perfis de variação granulométrica das formações Pirambóia e Botucatu de alguns poços da área estudada. Granulometria: c=fração cascalho; a= fração areia; s= fração silte; ag= fração argila. Exemplos de paleoambientes: 1=canal meandrante; 2=canal entrelaçado; 3=duna eólica.

Nota-se claramente na Figura 62 o contato entre as formações Pirambóia e Botucatu marcado pela presença de camada conglomerática, assentando-se sobre esta arenitos com muito pouca variação granulométrica, com níveis de finos intercalados, cujos perfis apresentam padrão típico de dunas eólicas (Formação Botucatu) pela sua homogeneidade. Da mesma forma, subjacente ao intervalo conglomerático também ocorrem arenitos com pouca variação granulométrica, com intercalações de pelitos (Formação Pirambóia), sugerindo ambiente deposicional semelhante ao que originou a seqüência arenosa sobreposta ao nível rudáceo. A Figura 63 mostra a seção colunar

esquemática da área, com a distribuição espacial dos corpos litológicos que compõem o Aquífero Guarani.

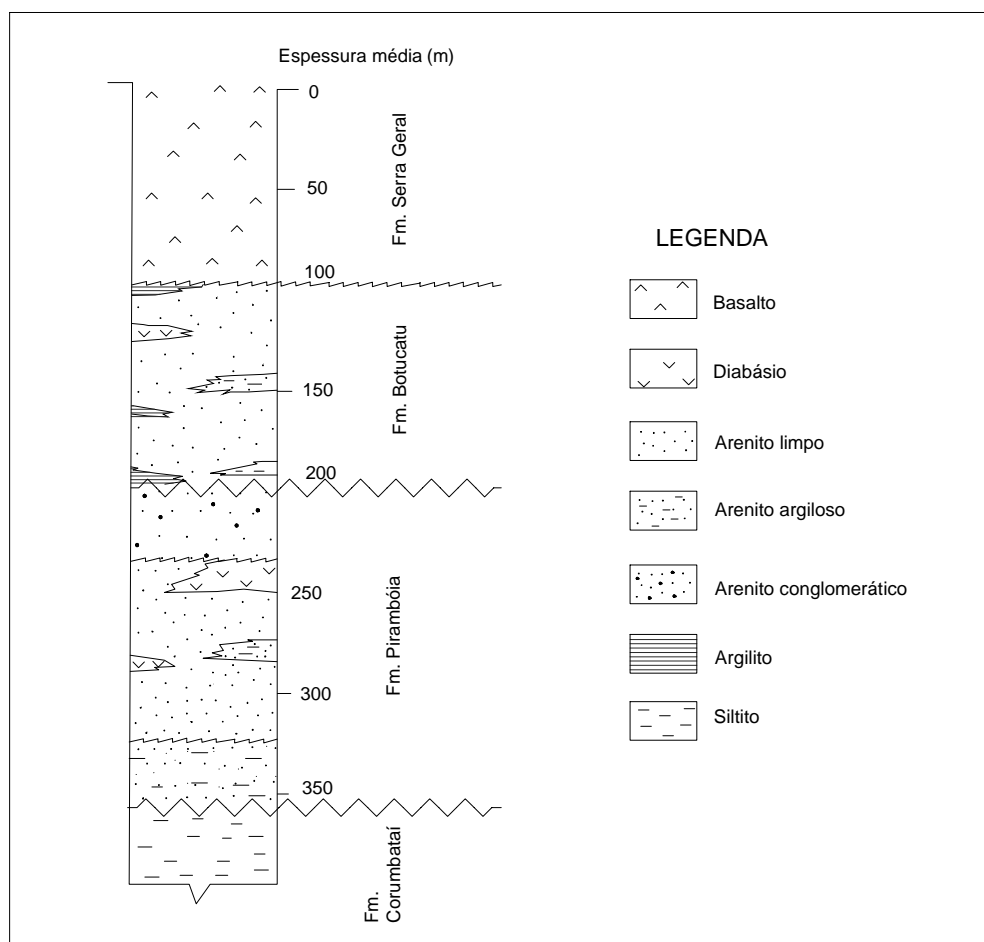


Figura 63 – Seção geológica esquemática da área.

A evolução paleoambiental da área estudada, desde o início do Triássico até o início do Cretáceo, é mostrada nas Figuras 64 e 65.

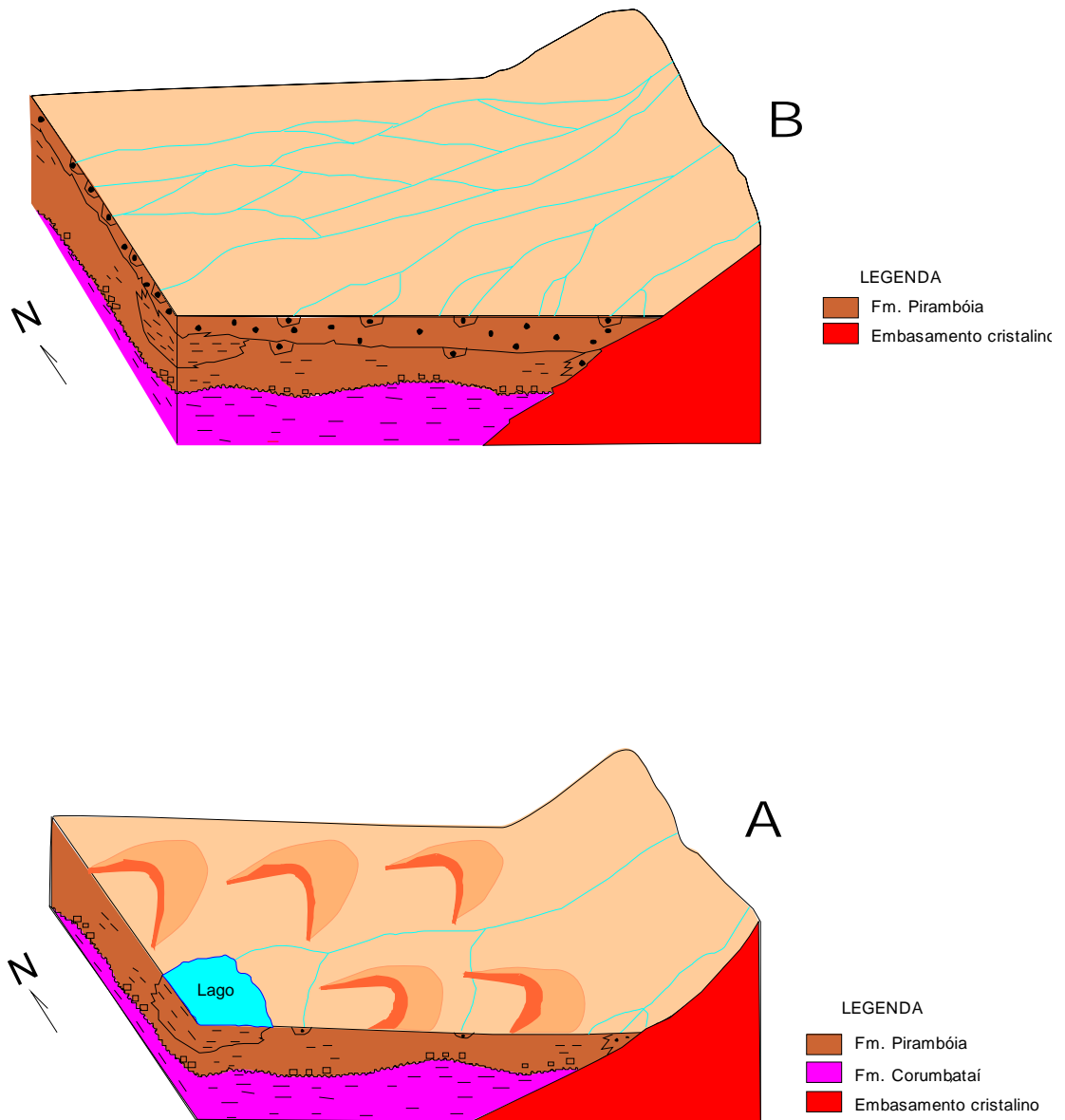


Figura 64 – Evolução paleoambiental da Formação Pirambóia.

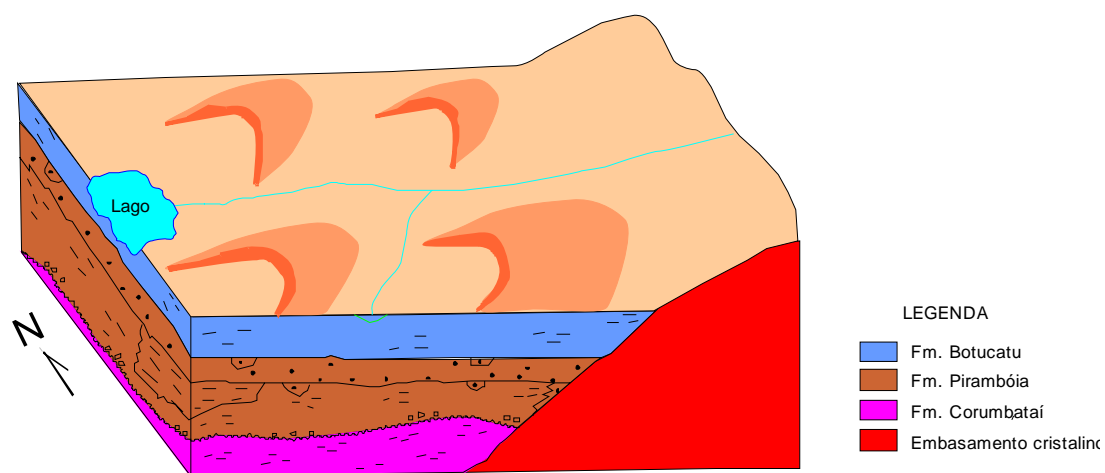


Figura 65– Paleoambiente deposicional da Formação Botucatu.

A porção inferior da Formação Pirambóia, na área de estudo, foi interpretada paleoambientalmente por correlação com seção estratigráfica observada na área de afloramento do contato entre o Paleozóico e o Mesozóico, na região de Santa Rita do Passa Quatro-Tambaú, situada 85 km a sudeste de Ribeirão Preto. A Figura 64 A mostra o avanço de campos de dunas sobre a superfície erodida e brechada da Formação Corumbataí. Como mostram as Figuras 50 e 51, a ocorrência, em Ribeirão Preto, de rocha básica na porção inferior da Formação Pirambóia impossibilitou o estudo desse intervalo estratigráfico na área, já que diversas perfurações foram interrompidas ao ser atingida a rocha ígnea, enquanto boa parte dos poços não vai além da parte intermediária da unidade (Figuras 50 a 53).

A sedimentação mesozóica da Bacia do Paraná, em sua borda nordeste, teve início, provavelmente no Triássico Médio, com o avanço da sedimentação essencialmente eólica, proveniente principalmente de nordeste, por meio do retrabalhamento, pelo vento, de rochas sedimentares permo-carboníferas da Formação Aquidauana e cristalinas, até então submetidas à erosão. O avanço do sistema deposicional desértico triássico na Bacia do Paraná teria ocorrido de norte para sul em São Paulo, e de sul para norte no Paraná (MORI *et al.*, 2.003), de maneira a

promover o assoreamento da sub-bacia norte do Paraná com material essencialmente eólico pertencente à Formação Pirambóia (Figura 64 A).

Durante a deposição das porções inferior e média da Formação Pirambóia, a área em estudo deve ter sido tectonicamente estável, tendo em vista a uniformidade litológica apresentada pelos seus depósitos. O mapa de isópacas apresentado na Figura 12 mostra que, no geral, a deposição mesozóica pré-basáltica teve como depocentro, no Estado de São Paulo, a área balisada pelas cidades de São José do Rio Preto e Jales, formando uma calha com direção NW-SE, onde as formações Pirambóia e Botucatu atingem mais de 400 m de espessura, tendo a sul o controle do carbonífero Arco de Ponta Grossa, então como feição tectônica positiva, evidenciado pela inflexão, para noroeste, da curva de 200 m, e a norte o Arco da Canastra, ativo desde o Eopaleozóico. Essa mesma calha deposicional alongada para NW-SE seria mantida no Cretáceo Superior, onde acumularam-se as maiores espessuras (cerca de 120 m) da Formação Adamantina, do Grupo Bauru.

No entanto, na parte final da deposição da Formação Pirambóia, no limite do Triássico com o Jurássico, deve ter havido uma reativação tectônica no flanco nordeste da Bacia do Paraná, com a elevação dessa porção da bacia, de maneira a ser alterado o nível de base local, promovendo o rejuvenescimento da drenagem e, portanto, com aumento da energia de transporte, ocasionar a deposição de clásticos grossos no sopé das terras altas, em cones aluviais (Figura 64 B). A pouca maturidade textural e mineralógica desses depósitos rudáceos indica condições de transporte rápido, com pouco ou nenhum intemperismo, evidenciado pela freqüente ocorrência de matriz feldspática. Para o interior da bacia, em direção à planície desértica, com a suavização do relevo a drenagem passaria a fluir de forma desorganizada, originando depósitos de arenitos grossos a muito grossos, sendo que a escassez de finos sugere tratar-se de canais entrelaçados. A fração fina, levada em suspensão pela drenagem endorréica, seria acumulada em depressões do deserto, originando depósitos lacustres (Figura 64).

Cessada a deposição da Formação Pirambóia, a Bacia do Paraná, pelo menos em seu flanco nordeste, passaria por um período de estabilidade tectônica com o retrabalhamento, principalmente pelo vento, dos sedimentos previamente depositados, bem como do Embasamento Cristalino submetido a intemperismo físico, sob clima árido a semi-árido.

Sobreposta à fácies de leques aluviais associados a canais entrelaçados ocorre, predominantemente, litofácies de arenitos limpos atribuíveis à fácies de dunas eólicas, representando a Formação Botucatu (Figuras 50 a 53). A homogeneidade litofaciológica do intervalo sedimentar subjacente à litofácies de arenitos conglomeráticos indica que as condições ambientais que controlaram a deposição da Formação Botucatu foram praticamente constantes, onde predominaram, essencialmente, as acumulações de areia em forma de dunas eólicas ou lençóis de areia (Figura 65). O clima teria sido bastante seco, a julgar pela rara ocorrência de depósitos com clásticos finos indicativos de presença de água, como interdunas úmidas ou lagos. Apenas localmente verificam-se depósitos pouco significativos de clásticos grossos atribuíveis a canais fluviais de rios temporários de deserto (poços 122 e 123, Figura 51), ou depósitos pelíticos lacustres (poço 137, Figura 51, e poço 45, Figura 53).

Em superfície, foi elaborada uma seção vertical da Formação Botucatu na gruta de Itambé, situada no Município de Altinópolis. Com cerca de 27 m de espessura, a seção estratigráfica compreende uma fácies de arenitos com estratificações cruzadas tabulares de grande porte (direção N 75° E e mergulho 25° SE), sobrepostos por arenitos com estratificações cruzadas acanaladas de grande porte. Os arenitos da base da seção apresentam, internamente, laminações de arenitos muito finos atribuídos à queda de grãos, alternadas com lâminas de arenitos finos a médios, considerados de fluxos de grãos, exibindo nítida bimodalidade. Essa seção estratigráfica, situada cerca de 150 m abaixo do contato Serra Geral/Botucatu, representa uma fácies da Formação Botucatu interpretada como sendo um depósito formado pela migração de dunas eólicas, de modo que a presença abundante de estratos de fluxos de grãos indica dunas com *foresets* bem desenvolvidos, cujo mergulho indica ventos provenientes de noroeste.

No tempo de deposição da Formação Botucatu (Jurássico Médio a Cretáceo Inferior) as condições de clima árido e semi-árido se acentuariam em toda a Bacia do Paraná, a qual foi submetida, na sua totalidade, ao sistema desértico, enquanto no tempo Pirambóia (Triássico Médio a Jurássico Inferior) este ambiente deposicional predominava apenas na porção norte da bacia, já que a parte sul estava submetida a clima úmido, registrado pelos depósitos flúvio-eólico-lacustrinos do Grupo Rosário do Sul.

Durante o vulcanismo basáltico, no Cretáceo Inferior, o clima árido a semi-árido continuava atuante inclusive na borda nordeste da Bacia do Paraná, uma vez que na área estudada foi descrita, em perfil de poço, a ocorrência de camada de arenito intertrapeano, silicificado, idêntico ao da

Formação Botucatu, na porção superior da Formação Serra Geral, mais precisamente 100 m acima do contato dos basaltos com os sedimentos.

A partir do Cretáceo Superior a sedimentação eólica sofreria uma diminuição areal, passando a ocupar a porção central da então instalada Bacia Bauru, enquanto que em direção às bordas desta prevaleceria a deposição sob sistema fluvial de canais entrelaçados, evidenciando, portanto, clima mais úmido, comprovado pela riqueza em seu conteúdo fossilífero.

10. CONCLUSÕES

A inexistência de afloramentos rochosos, bem como a indisponibilidade de testemunhos das centenas de poços perfurados na área, exigiram que este trabalho fosse realizado, preferencialmente, com base em informações de subsuperfície, por meio da interpretação de perfilagens geofísicas. Paralelamente, foram usadas descrições de perfis geológicos de duas dezenas de poços situados na área, cujas informações, principalmente texturais, muito contribuíram para a calibração e, conseqüentemente, interpretação das curvas geofísicas disponíveis.

A obtenção de seções colunares de poços foi de grande utilidade no estabelecimento da coluna litoestratigráfica da área em estudo. Já a correlação estratigráfica entre os poços (descritos e/ou perfilados) possibilitou a elaboração de seções litoestratigráficas, tanto segundo a direção das camadas como no sentido do mergulho das mesmas, de maneira a apresentar a distribuição lateral e vertical das litofácies reconhecidas.

O estudo litofaciológico detalhado de todo o conjunto Pirambóia/Botucatu, na região de Ribeirão Preto, ficou comprometido pela inexistência de poços que tenham atravessado toda essa seqüência sedimentar, predominantemente arenosa, até atingir os pelitos da Formação Corumbataí subjacente, que constitui o substrato do Aquífero Guarani. A razão disso é que os poços mais antigos, perfurados na área, apenas penetravam a porção superior da Formação Botucatu e já produziam água subterrânea, inclusive por artesianismo, em quantidade suficiente para o abastecimento público, sendo, portanto, pouco profundos. A exploração intensiva de água, principalmente na parte central da cidade onde se formou um cone de depressão, com rebaixamento do nível piezométrico de até 60 m, tem exigido, através dos anos, a perfuração de poços cada vez mais profundos para a obtenção de vazões elevadas. Ainda assim, as profundidades não são suficientes para que todo o Aquífero Guarani seja atravessado, de maneira que sua porção inferior permanece sem registro, seja direto (testemunhos) ou indireto (perfilagens). Por isso, buscou-se em afloramentos do contato Paleozóico/Mesozóico, situados fora da área de estudo, as informações litoestratigráficas necessárias para a interpretação litofaciológica da porção inferior da Formação Pirambóia, não alcançada pelas sondagens realizadas em Ribeirão Preto.

De significativa importância para a definição da Estratigrafia da área foi o reconhecimento, em subsuperfície e em toda sua extensão, da litofácies de arenitos conglomeráticos, situada no topo da Formação Pirambóia e que serviu de horizonte-guia para a delimitação do contato desta unidade

com a Formação Botucatu sobreposta. Esse intervalo rudáceo foi assinalado em 20 poços que apresentam perfis geológicos descritos, distribuídos de forma aleatória na área urbana de Ribeirão Preto, o que permitiu a caracterização dessa litofácies nas curvas geofísicas pela correlação entre poços descritos e poços perfilados, geralmente sem descrição.

A combinação de informações obtidas desses poços descritos e de outros 20 perfilados viabilizou a elaboração de seções litoestratigráficas e diagrama de litocorrelação em cerca, por meio dos quais foram reconhecidos intervalos litoestratigráficos distintos nas formações Pirambóia e Botucatu, denominados informalmente litofácies de arenitos limpos, de arenitos argilosos, de arenitos conglomeráticos e de lamitos. Essas litofácies ocorrem em ambas as formações, porém com importâncias diferentes. No entanto, há um amplo predomínio da litofácies de arenitos limpos, tanto na Formação Pirambóia quanto na Formação Botucatu. Já a litofácies de arenitos conglomeráticos é bastante representativa na Formação Pirambóia, constituindo excelente marco estratigráfico que representa o contato desta unidade com a Formação Botucatu sobrejacente.

Cada litofácies reconhecida na área pode ser relacionada a um subambiente deposicional inerente ao sistema continental desértico considerado. Assim, a litofácies de arenitos limpos corresponde à fácies de dunas eólicas/lençóis de areia; a litofácies de arenitos argilosos, à fácies de interdunas úmidas; a litofácies de arenitos conglomeráticos e conglomerados, à fácies de leques aluviais associados a canais fluviais entrelaçados; e a litofácies de lamitos, à fácies lacustre (ou *playa/sabkha*) ou de interdunas aquáticas. A fácies de dunas eólicas está muito bem representada na gruta de Itambé, localizada a 45 km a nordeste de Ribeirão Preto, onde ocorrem arenitos com estratificações cruzadas acanaladas e tabulares de grande porte situados, estratigraficamente, cerca de 150 m abaixo do contato Formação Serra Geral/Formação Botucatu.

Apesar de considerar-se que no sistema deposicional desértico predominem, amplamente, clásticos finos (arenitos de muito finos a médios), clásticos grossos (arenitos grossos a conglomeráticos e conglomerados) também podem ocorrer, associados a pelo menos três fácies sedimentares desse ambiente de sedimentação: a) dunas eólicas e lençóis de areia; b) canais fluviais efêmeros (*wadis*); e c) leques aluviais.

Na área de estudo ocorre uma brusca mudança litológica entre as formações Botucatu e Pirambóia, pela passagem, aparentemente rápida, da litofácies de arenitos conglomeráticos para a de arenitos limpos, indicando uma retomada da sedimentação eólica sobre a planície aluvial

desértica. Essa variação litofaciológica entre as duas unidades indica, senão uma discordância, pelo menos uma mudança significativa na energia do agente transportador.

Na porção superior da Formação Serra Geral foi encontrado no poço 122 (Figura 21) um nível de arenito silicificado, com 4 m de espessura, caracterizando um arenito intertrapeano situado cerca de 100 m acima do contato Botucatu/Serra Geral (Figura 51), porém não representado por causa da escala, evidenciando a continuidade da deposição eólica bem depois do início do vulcanismo basáltico. Já na porção basal da Formação Serra Geral, porém fora da área de estudo, em pedreira de basalto no Município de Cravinhos, foi encontrada brecha composta por basalto englobando fragmentos de arenito silicificado, demonstrando a ação das lavas basálticas sobre a superfície sedimentar incoerente, arrancando fragmentos de arenito, posteriormente preservada com o resfriamento rápido da lava. As condições de interdigitação entre as formações Botucatu e Serra Geral seriam confirmadas pela ocorrência, nesse local, de camada de arenito intertrapeano junto ao contato dessas unidades, demonstrando contemporaneidade entre sedimentação e magmatismo. Porém, conforme mostrado no mapa geológico da área, o contato entre as formações Serra Geral e Botucatu ocorre preferencialmente por meio de falhas normais.

As litofácies identificadas na área estão bem caracterizadas nas curvas geofísicas, principalmente nos perfis de raios gama, onde a litofácies de arenitos limpos apresenta valores, em geral, de até 15 A. P. I., enquanto a litofácies de arenitos argilosos situa-se entre 15 A. P. I. e 30 A. P. I.; valores acima de 30 A. P. I. são sugestivos da ocorrência de intervalos com alta porcentagem em finos, indicativa de litofácies de lamitos, tendo sido constatado um máximo de 60 A. P. I. no poço 158. Porém, nos perfis geofísicos de raios gama analisados é rara a ocorrência de valores acima de 40 A. P. I., demonstrando a carência de pelitos na área estudada, compatível com o ambiente desértico considerado, composto, essencialmente, por dunas eólicas. Ainda assim, verifica-se uma frequência maior de clásticos finos na Formação Pirambóia, principalmente em sua porção inferior, em relação à Formação Botucatu, evidenciando um aumento da aridez da base para o topo da seqüência mesozóica pré-basáltica. A litofácies de arenitos conglomeráticos é reconhecida nas curvas de raios gama por apresentar, em geral, um intervalo mais radioativo em relação aos sedimentos adjacentes, normalmente arenitos limpos pouco radioativos.

Nos perfis de resistividade a litofácies de arenitos limpos mostra-se bastante resistiva, em geral apresentando valores entre 50 ohm.m e 200 ohm.m. Já a litofácies de arenitos argilosos tem baixa resistência elétrica, com valores oscilando entre 10 ohm.m e 40 ohm.m, enquanto a litofácies

argilosa mostra valores de no máximo 10 ohm.m. Por outro lado, a litofácies de arenitos conglomeráticos apresenta resistividades variadas, dependendo do conteúdo de matriz fina nos sedimentos, porém menores que as dos arenitos nos quais intercala-se.

A litofácies de arenitos conglomeráticos foi a menos caracterizada nas curvas geofísicas, uma vez que valores de raios gama ou resistividade elétrica variam conforme a matriz predominante no sedimento. Assim, se a matriz que envolve os clastos for arenosa, os valores de raios gama são baixos, e os de resistividade altos, ao passo que se for argilosa (feldspática) a emissão de radioatividade aumenta significativamente, ao contrário da resistividade, de maneira que a interpretação desse intervalo litoestratigráfico, apenas por geofísica, deve ser feita com cautela. No entanto, na área de trabalho tem-se, também, a descrição de perfis geológicos de duas dezenas de poços, de maneira que esse nível conglomerático ficou bem posicionado nas seções litoestratigráficas e colunares elaboradas.

O mapa de isópacas da Formação Botucatu mostra que as espessuras da unidade na área de estudo crescem de norte para sul, enquanto a litofácies de arenitos conglomeráticos do topo da Formação Pirambóia apresenta espessamento de NE para SW. Ainda assim, o sentido do depocentro local, durante a sedimentação de parte da Formação Pirambóia e toda a Formação Botucatu, difere da calha deposicional dessas unidades no âmbito regional, que é para NW, a qual é limitada a sul pelo rio Tietê.

Na porção central da área, confirmou-se a existência de um baixo estrutural, com eixo NE/SW, originado por falhas NE e NW pós-basálticas; verificou-se que o baixo estrutural está limitado, a oeste, por um alto estrutural com direção aproximadamente norte/sul, talvez relacionado ao Alto de Cardoso. A datação pós Formação Serra Geral, para o tectonismo gerador dessas falhas, deve-se ao fato de que o contato desta unidade com a Formação Botucatu encontra-se deslocado em pelo menos 50 m. A região de Ribeirão Preto encontra-se na área de influência dos alinhamentos do rio Mogi Guaçu, Ribeirão Preto-Campinas e Cabo Frio, de modo que o arcabouço estrutural da área estaria, então, relacionado aos eventos gerador/deformador da Bacia Bauru, por ocasião da reativação, no Cretáceo Superior, do magmatismo alcalino, iniciado contemporaneamente ao vulcanismo basáltico, no Cretáceo Inferior.

A influência da tectônica na área reflete-se no limite por falhas entre as formações Botucatu e Serra Geral, como mostram os mapas geológico e estrutural da área, uma vez que ambas as unidades ocorrem lado a lado em praticamente toda a extensão do contato entre elas, que apresenta

relevo suave, exceto na porção sudeste da área, onde aparecem morros escarpados sustentados por basaltos sobrepostos ao Arenito Botucatu, este em grande parte recoberto por depósitos coluvionares de idade neocenozóica. O tectonismo pós-basáltico na área pode explicar a ausência do relevo de *cuestas* na mesma, já que as falhas mapeadas constituem sistema em blocos cuja parte elevada está composta pelos arenitos da Formação Botucatu, situados no mesmo nível topográfico que os basaltos da Formação Serra Geral.

A variação altimétrica do contato entre as formações Botucatu e Serra Geral poderia ser explicada por processos erosivos atuantes na superfície pré-basáltica, isto é nas dunas eólicas do deserto Botucatu. No entanto, a erosão, nesse caso, removeria boa parte das cristas das dunas, reduzindo a amplitude das mesmas, de maneira a produzir uma superfície menos pronunciada que a verificada em Ribeirão Preto, onde desníveis de pelo menos 50 m foram encontrados. Na região entre Altinópolis e Santo Antônio da Alegria, 60 km a nordeste de Ribeirão Preto, o contato Botucatu/Serra Geral ocorre ao longo de escarpas, com pequena variação altimétrica, a não ser devido ao mergulho regional das camadas para o interior da bacia, que na área é de $1/2^\circ$ para oeste.

Na área urbana de Ribeirão Preto tem-se, por exemplo, entre os poços 89 e 91 um deslocamento vertical da litofácies de arenitos conglomeráticos de 80 m, em uma distância horizontal de aproximadamente 2.000 m, ou seja, equivalente a um caimento de 40 m/km, bem acima da média regional, o que justifica a existência de uma falha entre as referidas sondagens, a qual coloca, lado a lado, as formações Serra Geral e Botucatu; além disso, a falha seria posterior ao vulcanismo basáltico, provavelmente associada ao tectonismo gerador da Bacia Bauru, por sua vez relacionado à reativação do magmatismo alcalino, no Cretáceo Superior.

A interpretação litofaciológica da seqüência sedimentar da área mostra que a deposição ocorreu em condições de calma tectônica, a julgar pela homogeneidade apresentada pelos sedimentos acumulados. No entanto, o topo da Formação Pirambóia, composto por litofácies de clásticos grossos a conglomeráticos, indica condições de instabilidade tectônica, com o rejuvenescimento da drenagem endorréica, portanto em condições de alta energia de transporte, propiciando a formação de leques aluviais nos sopés das terras elevadas.

O principal reservatório de águas subterrâneas da área é representado pelo Sistema Aquífero Guarani, composto pelas formações Pirambóia e Botucatu, estando confinado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral na porção centro-oeste da cidade e livre na parte leste.

Embora composto por uma seqüência sedimentar essencialmente siliciclástica, espessa de pelo menos 270 m, esse aquífero apresenta, localmente, intercalações de lentes argilosas, além de intrusões de diabásio, principalmente no seu terço inferior, que constituem barreiras ao fluxo das águas subterrâneas.

Constatou-se a ocorrência, na região centro-oeste da área, de contínua intrusão de diabásio na porção inferior da Formação Pirambóia, de maneira a limitar a profundidade dos poços perfurados, afetando sua produtividade. É o caso das sondagens 147, 123, 122, 135 e 137, que foram interrompidas ao ser atingida a rocha ígnea.

Por outro lado, verificou-se que não há perfeito inter-relacionamento entre as formações Pirambóia e Botucatu, já que no contato entre ambas ocorre uma espessa camada de arenitos conglomeráticos e conglomerados, com abundante matriz argilosa. Por isso, a permeabilidade mais baixa dessa litofácies rudácea dificulta a percolação vertical da água subterrânea da Formação Botucatu para a Formação Pirambóia, de maneira que essas unidades estratigráficas não se comportam como um único aquífero homogêneo, pelo menos nos dois terços superiores da seqüência arenosa mesozóica infra-basáltica.

O Aquífero Guarani pode ser considerado, então, localmente anisotrópico, já que as características litofaciológicas apresentadas pelas suas formações constituintes permitiram a distinção de intervalos estratigráficos cujo material componente apresenta propriedades hidráulicas diferentes. A seção colunar tipo da área mostra que a porção inferior do Aquífero Guarani compreende litofácies de arenitos argilosos, refletindo numa permeabilidade mais baixa. Ao contrário, as suas porções média e superior compõem-se de arenitos limpos e arenitos conglomeráticos da Formação Pirambóia e, essencialmente, arenitos limpos da Formação Botucatu, de permeabilidade mais alta, indicando ser esse intervalo litoestratigráfico o mais promissor do aquífero para a captação de água subterrânea. Já a sua porção basal, além de conter maior porcentagem de finos, pela ocorrência de arenitos argilosos, é mais comumente afetada por intrusões de diabásio, interferindo negativamente na produtividade dos poços que a atravessam.

Com base nos intervalos litofaciológicos interpretados, pode-se afirmar que a porção sudeste da área urbana de Ribeirão Preto é a mais promissora para a exploração de água subterrânea, pela predominância da litofácies de arenitos limpos e arenitos conglomeráticos e aparente ausência de intrusivas básicas, pelo menos nas porções média e superior do aquífero. De fato, é nessa região que se situam os poços mais produtivos da cidade, onde verificam-se, também, as maiores

espessuras de arenitos perfurados na parte confinada do Aquífero Guarani. Na parte norte-noroeste da área, também foram atravessadas importantes espessuras de arenitos, porém aí as sondagens tiveram que ser suspensas pelo aparecimento de soleira de diabásio, como mostram os poços 147, 123, 122, 135 e 137, de maneira a limitar a sua potencialidade hídrica.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de** – 1.964 – Grupo São Bento. Bol. Inst. Geogr. e Geol., São Paulo, nº **41**: p. 85 – 101.
- ALMEIDA, F. F. M. de & BARBOSA, O.** – 1.953 – Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro. *In*: Bol. Div. Geol. Min., Rio de Janeiro, DNPM, (1.943), p. 1 – 96.
- ALVAREZ, R. A.** – 2.004 – El aprovechamiento del “Acuífero Guaraní” en el abastecimiento de agua para la ciudad de Caaguazú. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, **13**, Cuiabá - MT, CD.
- ANDRADE, S. M. & SOARES, P. C.** – 1.971 – Geologia do centro-leste do Estado de São Paulo: PETROBRAS-DESUL, Rel. 407, Ponta Grossa.
- ASTIER, J. L.** – 1.975 – Geofísica aplicada a la Hidrogeología. Editora Paraninfo, Madrid, Espanha, 344 p.
- AZEVEDO, A. A. B. de; PRESSINOTTI, M. M. N. & MASSOLI, M.** – 1.981 – Estudos sedimentológicos das formações Botucatu e Pirambóia na região de Santa Rita do Passa Quatro, SP. *In*: Revista do Instituto Geológico - IG, São Paulo – SP. **1** (2): p. 31 –38.
- BARBOSA, O.** - 1.957 - Observações e comparações sôbre algumas ocorrências vulcânicas no Peru, no México e no Brasil. *In*: Boletim DNPM, DGM, nº **167**: 45 p.
- BATEZELLI, A.; SAAD, A. R.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; PERINOTTO, J. A. J. & FÚLFARO, V. J.** – 2.003 – Análise estratigráfica aplicada à Formação Araçatuba (Grupo Bauru – Ks) no centro-oeste do Estado de São Paulo. *In*: Revista Geociências, UNESP. **22** (nº especial): p. 5 – 19.
- BRIGHETTI, J. M. P. & CAETANO-CHANG, M. R.** – 1.992 – Feições características de depósitos de interdunas eólicas em sedimentos da Formação Pirambóia na região de Rio Claro (SP). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **37**, Boletim de Resumos Expandidos, São Paulo – SP, p. 510 – 511.
- BUSSO, A. S. & GARRASINO, C. A. F.** – 2.004 – Presencia de las Formaciones Piramboia y Botucatu (Triásico – Jurásico) en el subsuelo oriental de la provincia de Entre Rios. *In*: Revista de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires, **59** (1).

- CAETANO-CHANG, M. R.** – 1.997 – A Formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo. (Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo). São Paulo – SP. 196 p.
- CAETANO-CHANG, M. R., WU, F. T. & BRIGHETTI, J. M. P.** – 1.991 – Caracterização eólica de arenitos da Formação Pirambóia, proximidades de São Pedro (SP). *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE*, 2, São Paulo – SP, Atas... 2: p. 53 – 58.
- CAETANO-CHANG, M. R. & WU, F. T.** – 1.994 – Afloramento modelo da Formação Pirambóia. *In: Geociências*. 13 (2): p. 371-385.
- CAETANO-CHANG, M. R. & WU, F. T.** – 2.003 – Diagênese de arenitos da Formação Pirambóia no centro-leste paulista. *In: Geociências*. 22 (nº especial): p. 33 – 39.
- CASTAGNY, G.** – 1.975 – Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Ediciones Omega, S. A., Barcelona, Espanha, 738 p.
- CAVALCANTE, J. C.; CUNHA, H. C. S.; CHIEREGATI, L. A.; KAEFER, L. Q.; ROCHA, J. M.; DAITX, E. C.; COUTINHO, M. G. N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J. B. V.; ROSA, D. B. & RAMALHO, R.** – 1.979 – Projeto Sapucaí. Relatório final de Geologia. Brasília, DNPM, 299 p.
- CHAMANI, M. A.; MARTIN, M. A. B. & RICCOMINI, C.** – 1.992 – Estruturas de liquefação induzidas por abalos sísmicos no Permo-Triássico da Bacia do Paraná, Estado de São Paulo, Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37, São Paulo – SP, Boletim dos Resumos Expandidos. p. 508 – 509.
- COIMBRA, A. M; FERNANDES, L. A. & HACHIRO, J.** – 1.992 – Sismitos do Grupo Caiuá (Bacia Bauru, Ks) no Pontal do Paranapanema. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37, São Paulo - SP, Boletim de Resumos Expandidos. p. 503 – 504.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM)** – 2.005 – Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. Extraído da Internet, site www.cprm.gov.br.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM)** – 2.006 – Excursão virtual pela Serra do Rio do Rastro. Extraído da Internet, site www.cprm.gov.br.
- COTTAS, L. R.; GODOY, A. M. & GERALDES, M. C.** – 1.986 – Novas considerações petrográficas e estratigráficas sobre as formações Pirambóia e Botucatu da Bacia

Massoli, M. – 2.007 – Caracterização litofaciológica das formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, ...

-
- Sedimentar do Paraná. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **34**, Goiânia – GO, Anais...**1**: p. 191 – 205.
- DAEE/IG/IPT/CPRM** - 2.005 – Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo, Conselho Estadual dos Recursos Hídricos, 119 p.
- DELLA FÁVERA, J. C.** – 2.001 – Fundamentos de Estratigrafia Moderna. Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 263 p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE)** – 1.974 – Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 6, Ribeirão Preto. São Paulo –SP: v. 2.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS DE RIBEIRÃO PRETO (DAERP)** – 2.004 – Seminário Aquífero Guarani. Ribeirão Preto – SP: Publicação Especial.
- DUNBAR, C. O. & RODGERS, J.** – 1.957 - Principios de Estratigrafía. Companhia Editorial Continental S. A., México, 422 p.
- FARINA, S.; VASSOLO, S.; CABRAL, N.; VERA, S. & JARA, S.** – 2.004 – Caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica del Sistema Acuífero Guaraní (SAG) en la región oriental del Paraguay al sur de la latitud 25°30'. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, **13**, Cuiabá – MT, CD.
- FERNANDES, L. A. & COIMBRA, A. M.** – 1.992 – A cobertura cretácea suprabasáltica no Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **37**, São Paulo - SP, Boletim de Resumos Expandidos. p. 506 – 508.
- FERNANDES, L. A. & COIMBRA, A. M.** – 1.994 – O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. *In*: Revista Brasileira de Geociências **24** (3): p. 164 – 176.
- FIPAI** – 1.996 – Relatório técnico do projeto de gestão da qualidade de águas subterrâneas – resultados, apresentado à Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, 166 p.
- FIPAI** - 1.997 – Projeto Ribeirão Verde: diagnóstico ambiental. Relatório apresentado à Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, 49 p.
- FREITAS, A.; MACHADO, J. L. F.; VIERO, A. C.; TRAININI, A. O. G.; GUGLIOTTA, A. P.; CAYE, B. R.; PIMENTEL, G. B.; MARQUES, J. L.; GOFFERMANN, M. & SILVA, P. R. R.** – 2.004 – Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul: um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, **13**, Cuiabá – MT, CD.

- GIARDIN, A. & FACCINI, U.** – 2.004 – Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do Sistema Aquífero Guarani: abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria – RS, Brasil. *In: Revista Águas Subterrâneas*. (18): p. 39 – 54.
- GONZAGA DE CAMPOS, L. F.** – 1.889 – Relatório da Comissão Geográfica e Geológica da Província de São Paulo: 33 p.
- HACHIRO, J. & COIMBRA, A. M.** – 1.992 - *Bone beds* e *shell beds* como feições diagnósticas de tempestitos da Formação Irati no Estado de São Paulo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, **37**, São Paulo - SP, Boletim de Resumos Expandidos. p. 511 – 512.
- IG/CETESB/DAEE** – 1.997 – Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Convênio Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, Saneamento e Obras, 2 v.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT)** – 1.981 – Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000, São Paulo – SP, IPT: Vol. 1 e Vol. 2.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT)** – 2.000 – Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes para a elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Pardo – Relatório Final. Relatório nº 40.670, 367 p.
- JERRAM, D. A. & STOLLHOFEN, H.** – 2.002 – Lava-sediment interaction in desert settings; are all peperite-like textures the result of magma-water interaction ? *In: Journal of Volcanology and Geothermal Research*. p. 231 – 249.
- LANZARINI, W. L., COSTA, M. G. F. da & CRUZ, C. E. S.** – 1.986 – Reconhecimento da fácies sedimentar eólica em subsuperfície: critérios e exemplos de aplicação. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, **34**, Goiânia – GO, Anais...**1**: p. 233 – 245.
- LANZARINI, W. L.** – 1.996 – Geometria das unidades genéticas e eólicas das formações Aliança e Sergi na borda oeste da Bacia do Recôncavo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, **39**, Salvador – BA, Anais... **1**: p. 328 – 331.

Massoli, M. – 2.007 – Caracterização litofaciológica das formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, ...

LAVINA, E. L. – 1.989 – Formação Pirambóia: um depósito de desertificação da Bacia do Paraná ao final do Permiano. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, **1**, Rio de Janeiro – RJ, Boletim de Resumos. p. 8 – 9.

MACHADO, J. L. F. & FACCINI, U. F. – 2.004 - Influência dos falhamentos regionais na estruturação do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, **13**, Cuiabá – MT, CD.

MARTINEZ, M. M. & SILVA, J. L. S. da – 2.004 – Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas no Município de Santa Cruz do Sul, RS/Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, **13**, Cuiabá – MT, CD.

MASSOLI, M. – 1.980 – Geologia da folha de Santa Rita do Passa Quatro. *In*: Revista do Instituto Geológico – IG, São Paulo – SP. **1** (1): p. 7 – 14.

MASSOLI, M. – 1.981 – Geologia do Município de Santa Rita do Passa Quatro, SP. *In*: Revista do Instituto Geológico – IG, São Paulo – SP. **2** (2): p. 35 – 45.

MASSOLI, M. – A ocorrência de intrusivas básicas na área urbana de Ribeirão Preto (não publicado).

MATOS, S. L. F. de – 1.995 – O contato entre o Grupo Passa Dois e a Formação Pirambóia na borda leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo. 110 p.

MATOS, S. L. F. de & COIMBRA, A. M. – 1.997 – Sucessão de fácies na Camada Porangaba, Grupo Passa Dois, Estado de São Paulo. *In*: Revista Brasileira de Geociências. **27** (4): p. 377 – 386.

MEDEIROS, R. A. & PONTE, F. C. – 1.981 – Roteiro Geológico da Bacia do Recôncavo. Salvador, PETROBRAS/ SEPES/DIVEN/SEM- BA, 63 p.

MENDES, J. C. – 1.971 – As camadas gondwânicas do Brasil e seus problemas. *In*: Anais da Academia Brasileira de Ciências. **48**: p. 187 – 196.

MENDES, J. C. – 1.984 – Elementos de Estratigrafia. EDUSP, São Paulo, 566 p.

MENDES, R. L. R. & VERMA, O. P. – 2.002 – Prospecção de água subterrânea na região de Belém (PA) através de perfilagem geofísica de poço e eletrorresistividade. *In*: Revista Brasileira de Geociências. **32** (1): 87 – 94.

MEZZALIRA, S. – 1.989 – Os fósseis do Estado de São Paulo. *In*: Boletim do Instituto Geológico - IG, São Paulo, série pesquisa. 155 p.

Massoli, M. – 2.007 – Caracterização litofaciológica das formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, ...

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B. & SCHNEIDER, R. L. – 1.994 – Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro – RJ. **8** (1): p. 69 – 82.

MONTAÑO, J.; COLLAZO, P.; PEEL, E. & ROSA, E. da – 2.004 – Características hidrogeológicas del aquífero transfronterizo Guaraní. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, **13**, Cuiabá – MT, CD.

MONTEIRO, R. C. – 2.003 – Estimativa espaço - temporal da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guaraní na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil. Tese de doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 212 p.

MORAES, M. A. S. & RAJA GABAGLIA, G. P. – 1.986 – Arenitos eólicos intercalados em seqüências fluviais: critérios para o reconhecimento. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **39**, Goiânia - GO, Anais...**1**: p. 246 – 261.

MORI, K. E.; SAWAKUSHI, A. O.; DONATTI, L. M. & FERNANDES, L. A. – 2.003 – Rumos de paleoventos na Formação Pirambóia nos estados de São Paulo e Paraná. Resumo obtido pela Internet, site: www.usp.br/siicusp.

NORTHFLEET, A.; MEDEIROS, R. A. & MULHMANN, H. – 1.969 – Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. *In*: Boletim Técnico da PETROBRAS, Rio de Janeiro – RJ. **12** (3): p. 292 – 346.

PACHECO, J. – 1.927 – Relatório elucidativo do esboço geológico. *In*: Exploração da região compreendida pelas folhas topográficas Sorocaba, Itapetininga e Itararé. Com. Geogr. e Geol. de São Paulo. p. 9 – 12.

PAULA E SILVA, F. – 2.003 – Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Tese de doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 166 p.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H. K. & CAETANO-CHANG, M. R. – 2.003 – Perfis de referência do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. *In*: Revista Geociências, UNESP. **22** (nº especial): p. 21 – 32.

PETRI, S. & FÚLFARO, V. J. – 1.988 – Geologia do Brasil. T. A. QUEIROZ, EDITOR, LTDA., 631 p.

PETRI, S.; MENDONÇA, C. A.; BOLOGNA, M. S.; COUTINHO, J. M. V.; VIEIRA, P. C. & BOTELHO, P. F. – 1.996 – Correlação estratigráfica de poços para captação de água

Massoli, M. – 2.007 – Caracterização litofaciológica das formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, ...

subterrânea na região de Capivari/Rafard, SP. Descrições litológicas, macroscópicas, microscópicas e perfis geofísicos. *In: Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo. **26** (1): 25 – 34.

PETRÓLEO BRASILEIRO S. A. (PETROBRAS)/UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO (UNAERP) – 1.997 – Lixão de Serrana: Caracterização do problema ambiental e proposição de soluções. Relatório Final, contrato PETROBRAS/UNAERP, 91 p.

PIUCI, J. & DINIZ, H. N. – 1.985 – Conhecimento do Aquífero Botucatu na cidade de Araraquara - SP. *In: Revista do Instituto Geológico – IG*, São Paulo. **6**: p. 23 – 44.

POPP, J. H. – 1.987 – Introdução ao estudo da Estratigrafia e da interpretação de ambientes de sedimentação. Editora da Universidade Federal do Paraná, 323 p.

PRESSINOTTI, M. M. N. - 1.991 – Caracterização geológica e aspectos genéticos dos depósitos de argilas tipo “ball clay” de São Simão, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. 141 p.

PULIDO, J. L. – 1.978 – Hidrogeología práctica. URMO, S. A. de Ediciones, Bilbao, Espanha, 314 p.

READING, H. G. – 1.986 – Sedimentary environments and facies. Oxford, Blackwell Scientific Publications, second edition.

RICCOMINI, C. – 1.997 – Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. *In: Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo. **27** (2): 153-162.

RICCOMINI, C.; GIMENEZ FILHO, A. & ALMEIDA, F. F. M. de – 1.984 – Considerações sobre a estratigrafia do Permo-Triássico na região da serra do Cadeado, Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, **28**, Rio de Janeiro – RJ, Anais...**2**: p. 754 – 763.

ROCHA-CAMPOS, A. C.; FARJALLAT, J. E. S. & YOSHIDA, R. – 1.968 – New glacial features of the Upper Paleozoic Itararé Subgroup in the State of São Paulo, Brazil. *In: Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo. **17**: p. 47 – 57.

ROSA FILHO, E. F. da – 2.003 – Caracterização hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná. Texto extraído da Internet, site <http://www.maringa.pr.gov.br>.

Massoli, M. – 2.007 – Caracterização litofaciológica das formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, ...

SAMPAIO, A. V. & NORTHFLEET, A. – 1.973 – Estratigrafia e correlação das bacias sedimentares brasileiras. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **27**, Aracaju – SE, Anais...**3**: p. 189 – 206.

SCHERER, C. M. S. – 2.000 – Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. *In*: Sedimentary Geology, 137, p. 62 – 84.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA) – 1.995 – Macrozoneamento das bacias dos rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio-Grande. São Paulo, SMA/SAA/SEP, 167 p.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA) – 2.004 – Projeto de cooperação da SMA/SP com o Governo da Baviera. Proteção do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto. Relatório apresentado em Workshop Internacional.

SINELLI, O. – 1.971 – Considerações gerais sobre a tectônica no Município de Ribeirão Preto. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **25**, São Paulo – SP, Anais... **2**: p. 145 – 151.

SINELLI, O. - 1.987 - Estudos hidrogeológicos da bacia do rio Pardo (SP). *In*: Revista Águas Subterrâneas, São Paulo. p. 05 - 25.

SINELLI, O. – 2.003 – Panorama histórico da evolução do conhecimento científico sobre a Hidrogeologia da região de Ribeirão Preto. Seminário Aquífero Guarani, realizado em Ribeirão Preto de 17 a 19 de setembro de 2.003, promovido pelos governos federal, estadual e municipal, publicação especial.

SINELLI, O. & GALLO, G. – 1.980 – Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto. *In*: Revista Brasileira de Geociências, São Paulo. **10**: p. 129 – 140.

SOARES, P. C. – 1.972 – Arenitos Botucatu e Pirambóia no Estado de São Paulo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **26**, Belém – PA, Boletim especial 1, Resumo das comunicações. p. 250 – 251.

SOARES, P. C. – 1.973 – O Mesozóico gondwânico no Estado de São Paulo. Tese de doutoramento. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro – SP.

SOARES, P. C. – 1.975 – Divisão estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. *In*: Revista Brasileira de Geociências, São Paulo. **5** (4): p. 229 – 251.

- SOARES, P. C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A. de & CASTRO, P. M. R.** – 1.973 – Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, **27**, Aracaju – SE, Anais...**1**: p. 209 – 228.
- SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B.** – 1.973 – Aspectos regionais da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, **27**, Aracaju – SE, Anais...**1**: p. 243 – 256.
- SOUZA, A. de; SINELLI, O. & GONÇALVES, N. M. M.** – 1.971 – Nova ocorrência fossilífera na Formação Botucatu. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, **25**, São Paulo – SP, Anais...**2**: p. 281 – 296.
- SUGUIO, K.; FAIRCHILD, T. R. & SOUZA, S. H.** – 1.985 – Novas descobertas de estromatólitos na Formação Corumbataí (Permiano) em Santa Rosa de Viterbo e seus significados paleoambientais. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA*, **5**, São Paulo – SP, Boletim de Resumos. p. 12.
- SUGUIO, K. & SOUZA, S. H.** – 1.985 – Restos de mesossaurídeos na Formação Corumbataí, Permiano da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo. *In: Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro - RJ, **3** (57): p. 339 – 347.
- VIEIRA, A. J.** – 1.973 – Geologia do centro e nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, **27**, Aracaju – SE, Anais...**3**: p. 259 – 277.
- ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T. & ZANOTTO, O. A.** – 1.987 – Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. *In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, **3**, Curitiba – PR, Atas...**1**: p. 441 – 477.
- ZARAUZA, I. C.; SANUY, J. R.; DE LA TORRE, L. S., TORRES, J. A. V. & MINONDO, L. V.** – 1.977 – Estratigrafía. Editorial Rueda, Madrid, Espanha, 718 p.
- WASHBURNE, C. W.** – 1.930 – Petroleum geology of the state of São Paulo, Brazil. *Bol. Com. Geogr. Geol.*, São Paulo, (22): p. 1-282.
- WERNICK, E. & SINELLI, O.** – 1.970 – Análise estrutural em Geomorfologia. *In: Notícia Geomorfológica*, Campinas - SP, **10** (20): p. 39 – 54.

WU, F. T. – 1.981 – Minerais pesados das seqüências arenosas paleozóica e mesozóica no centro-leste do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP. 78 p.

WU, F. T. & CAETANO-CHANG, M. R. – 1.992 – Estudo petrográfico de arenitos da Formação Pirambóia a partir de testemunhos de poços na região de Anhembi (SP). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **37**, São Paulo – SP, Boletim de Resumos Expandidos. p. 428 – 429.