

ESTRATIGRAFIA DE SUBSUPERFÍCIE DO GRUPO BAURU (K) NO ESTADO DE SÃO PAULO

FLAVIO DE PAULA E SILVA, CHANG HUNG KIANG & MARIA RITA CAETANO.CHANG

Abstract *SUBSURFACE STRATIGRAPHY OF BAURU GROUP (K) IN SÃO PAULO STATE, BRAZIL* Subsurface studies using geophysical logs and well data obtained from water wells were very important in defining stratigraphic and hydrostratigraphic frameworks of the Mesozoic Bauru Group sedimentary units of Paraná Basin, in the State of São Paulo. In the present study two important regional unconformity surfaces were identified – S1 and S2 – constituting excellent markers which can be correlated to formal lithostratigraphic units. S1 separates underlying Caiuá and Pirapozinho formations from overlying Santo Anastácio Formation. S2 surface is coincident with the contact between underlying Santo Anastácio Formation and overlying Araçatuba and Adamantina formations. New lithostratigraphic relationships for the Bauru Group were obtained applying correlation and interpretation criteria based upon regional unconformity surfaces. Caiuá, Santo Anastácio, Araçatuba, Adamantina and Marília formations were recognized in subsurface in addition to two new formations named Pirapozinho and Birigüi. Sedimentary evolution of Bauru Group is marked by three main depositional phases separated by erosive and non-depositional events of regional extension.

Keywords: Bauru Group, stratigraphy, well logs

Resumo Estudos baseados em perfis geofísicos e dados de poços profundos perfurados para captação de água subterrânea permitiram estabelecer o arcabouço estratigráfico de subsuperfície do Grupo Bauru, Cretáceo da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo. Duas superfícies de discordância regionais, designadas S1 e S2, foram identificadas, constituindo-se em excelentes horizontes-guia para distinção e delimitação de unidades geofísicas, correspondentes às unidades litoestratigráficas formais. A primeira delimita os estratos atribuídos às formações Caiuá e Pirapozinho, abaixo, e Santo Anastácio, acima; a segunda marca o contato entre a Formação Santo Anastácio, abaixo, e os sedimentos das formações Birigüi, Araçatuba, e Adamantina, acima. Os critérios de correlação utilizados permitiram estabelecer novas relações estratigráficas para o Grupo Bauru. Foram identificadas as formações Caiuá, Santo Anastácio, Araçatuba, Adamantina e Marília, e reconhecidas duas novas unidades litoestratigráficas, denominadas Formação Pirapozinho e Formação Birigüi. A evolução da sedimentação do Grupo Bauru, amparada pelos dados aqui apresentados, processou-se em três fases principais de acumulação, separadas por eventos erosivos e não-deposicionais, de caráter regional.

Palavras-chave: Grupo Bauru, estratigrafia, perfis geofísicos

INTRODUÇÃO O Grupo Bauru compreende um pacote sedimentar cretáceo, pertencente à Bacia do Paraná, que aflora em área de cerca de 117.000 km² no Estado de São Paulo (DAEE 1990), tendo como substrato as rochas basálticas da Formação Serra Geral e, localmente, os sedimentos das formações Botucatu e Pirambóia, como na região de Bauru (SP) e Agudos (SP) (Suguio *et al.* 1977, Paula e Silva & Cavaguti 1994).

Desde a primeira referência feita por Gonzaga de Campos (1905 *apud* Mezzalira 1974), os vários pesquisadores se dedicaram ao reconhecimento e à caracterização das diversas litofácies do Grupo Bauru, sob critérios predominantemente litológicos e sedimentológicos, tendo como objetivo a subdivisão desta sucessão, tarefa dificultada pela ausência de horizontes litoestratigráficos regionais. Integrando trabalhos de mapeamento regional, Soares *et al.* (1980) propuseram a clássica subdivisão estratigráfica do Grupo Bauru em formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília, no âmbito do Estado de São Paulo. Posteriormente, Barcelos & Suguio (1987) reconheceram, correlacionaram e estenderam essas unidades litoestratigráficas para os estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e Paraná, propondo oportunamente a subdivisão da Formação Adamantina em membros Araçatuba e São José do Rio Preto, e da Formação Marília, em membros Ponte Alta, Echaporã e Serra da Galga.

No início da década de 90, Fernandes (1992) esboçou novas concepções sobre gênese e relações estratigráficas das unidades

Bauru, contrapondo-se à versão operacional clássica de Soares *et al.* (1980), ao conceber um modelo de fácies cronocorrelatas, geneticamente associadas, constituindo um trato de sistemas deposicionais. O referido autor propôs a subdivisão desta unidade em grupos Caiuá (formações Goio Erê, Rio Paraná e Santo Anastácio) e Bauru (formações Adamantina, Marília e Uberaba e analcimitos Taiúva). Posteriormente, Fernandes (1998) subdividiu o Grupo Bauru em formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e Uberaba, extinguindo a Formação Adamantina.

Apesar do grande número de trabalhos publicados tratando da ordenação estratigráfica dos sedimentos cretáceos suprabasálticos da Bacia do Paraná, ainda é modesta a parcela de artigos que aborda este tema utilizando-se predominantemente de dados de subsuperfície. Destacam-se aqui os trabalhos de Mezzalira (1974) e Barcha (1980), com testemunhos de sondagem, e de Saad *et al.* (1988), Paula e Silva *et al.* (1994, 1999, 2002, 2003), Castro *et al.* (1999) e Paula e Silva (2003), com perfis geofísicos de poços para extração de água subterrânea.

Na grande maioria das pesquisas, os diversos autores não se preocuparam em compatibilizar as características litoestratigráficas observadas em afloramentos com aquelas extraídas de dados de subsuperfície provenientes, principalmente, de perfis geofísicos de poços profundos. Os relacionamentos litoestratigráficos, assim propostos, revelaram-se inconsistentes, não traduzindo adequadamente o comportamento espacial das unidades do Grupo

Bauru.

O presente trabalho apresenta o arcabouço litoestratigráfico de subsuperfície das rochas cretáceas suprabasálticas da Bacia do Paraná, em território paulista, estabelecido com base em interpretação de perfis geofísicos (radioativos, elétricos e acústicos), e em descrições de amostras de calha e de testemunhos de sondagem de poços profundos, extraídos de arquivos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e de pesquisas publicadas. Este estudo compreendeu a identificação de unidades geofísicas e sua correlação com as unidades litoestratigráficas formais, em escala de bacia. Para tanto, foram analisados 180 perfis representativos de 175 localidades diferentes do Estado de São Paulo, entre municípios, distritos e vilas. A figura 1 mostra a localização da área e dos perfis estudados, e a distribuição das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru, em superfície.

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS RECONHECIDAS EM SUBSUPERFÍCIE

Atualmente, as unidades suprabasálticas cretáceas do Estado de São Paulo estão arranjadas basicamente em duas versões de divisão estratigráfica, de acordo com as propostas de Soares *et al.* (1980) e Fernandes & Coimbra (2000). A concepção clássica proposta por Soares *et al.* (1980), reunindo as formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília e incluindo a formação Araçatuba, introduzida por Barcelos & Suguio (1987) e redefinida de acordo com Batezelli *et al.* (1999), é a que melhor se ajusta às características litológicas observadas em subsuperfície e aos padrões geofísicos registrados pelos perfis. Foram ainda reconhecidas duas unidades geofísicas, caracterizáveis através das curvas de raios gama e de resistividade das diagrafas, bem como pela descrição de amostras de calha, de ocorrência exclusiva em subsuperfície, aqui denominadas de formações Pirapozinho e Birigui.

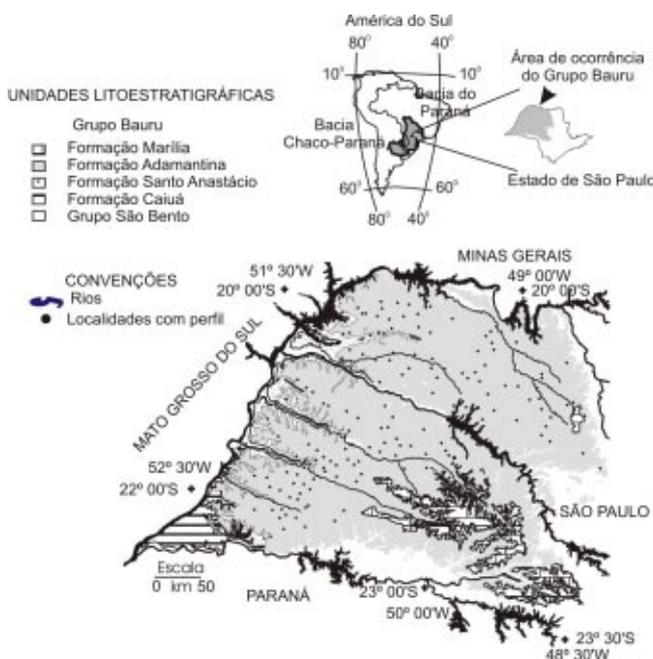


Figura 1 - Mapa de localização da área e dos perfis estudados, mostrando a distribuição das unidades litoestratigráficas atribuídas ao Grupo Bauru. Modificado de IPT (1981).

CRITÉRIOS DE CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA Os processos predominantemente fluviais e eólicos, atuantes em bacias exclusivamente continentais, conduzem a uma ampla variedade de depósitos sedimentares que ocorrem tanto no espaço quanto no tempo. Depósitos fluviais são fortemente cíclicos e controlados por mecanismos gerados no próprio sistema deposicional (autocíclicos), como migração de canais ou enchentes sazonais, e mecanismos externos (alocíclicos) derivados de eventos tectônicos ou mudanças climáticas, cujos efeitos de sobreposição podem produzir sucessões verticais complexas (Miall 1982). Além disso, essas bacias são controladas por níveis de base locais e desenvolvem sedimentação em ambientes de águas rasas ou subaéreos, onde as chances de preservação dos depósitos são muito pequenas, ou seja, os eventos erosivos sobrepujam os eventos de acomodação e preservação (Reading 1986). Estas características são sobressalientes na sedimentação do Grupo Bauru e têm induzido diversos pesquisadores a interpretar variações faciológicas como unidades litoestratigráficas, fato já alertado por Fúlfaro & Barcelos (1992).

A escassez de bons afloramentos na área de exposição das rochas do Grupo Bauru e o desconhecimento do comportamento de seu arcabouço em subsuperfície são responsáveis por correlações que transcendem os limites naturais das unidades estratigráficas. Mesmo os testemunhos de sondagem, como aqueles utilizados por Arid (1966), Mezzalana (1974), Barcha (1980) e outros pesquisadores, ainda que sejam excelentes fontes de informações geológicas em escala de detalhe, não conseguem traduzir as propriedades petrofísicas fundamentais percebidas pelos perfis geofísicos de alta resolução.

A análise de perfis geofísicos dos poços estudados revelou recorrência de sucessões de fácies similares, normalmente compondo padrões granulométricos de *fining upward*, *coarsening upward* e cilíndrico, em todas as unidades do Grupo Bauru, em menor ou maior escala. Esta característica constituiu fator complicador para o reconhecimento e a diferenciação das unidades litoestratigráficas em subsuperfície. Assim, considerando que nenhum destes padrões, por si só, é exclusivo de determinada unidade, a solução para superar o problema foi a identificação de superfícies de descontinuidade física ou correlativas que limitassem, regionalmente, as associações de fácies representativas das unidades litoestratigráficas formais.

Várias são as superfícies de descontinuidade física, separando fácies ou sucessões de fácies, correspondentes a interrupções ou mudanças no processo de sedimentação ou, ainda, a feições geradas por processos erosivos, neste caso podendo ter implicações temporais que podem ser indicadas pelos perfis geofísicos.

Dois importantes superfícies de descontinuidade, denominadas respectivamente S1 e S2, de caráter regional, foram reconhecidas no presente estudo (Fig. 2). A superfície S1 define o contato entre os estratos atribuídos às formações Caiuá / Pirapozinho, abaixo, e Santo Anastácio, acima, constituindo o limite superior da sucessão sedimentar depositada no intervalo de tempo compreendido entre o final do vulcanismo Serra Geral e o início da deposição da Formação Santo Anastácio. A superfície S2 marca o contato entre os depósitos atribuídos às unidades Santo Anastácio, abaixo, e Birigui/Araçatuba/Adamantina, acima, compreendendo o limite superior da sucessão depositada no "tempo" Santo Anastácio. Várias outras descontinuidades podem ser reconhecidas nos perfis, todavia representam provavelmente diastemas locais.

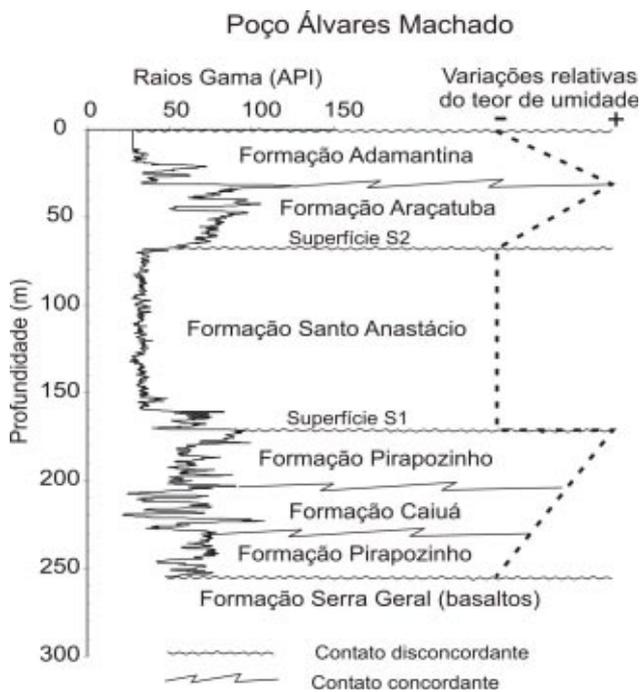


Figura 2 – Perfis de raios gama de poço perfurado na cidade de Álvares Machado (SP), sudoeste paulista, indicando as superfícies de discordância S1 e S2 e as variações relativas do teor de umidade na sedimentação do Grupo Bauru.

Ambas superfícies apresentam evidências, em perfis, de limites erosivos, podendo envolver hiato temporal. Dias-Brito *et al.* (2001) aventaram a existência de um hiato sugerido pelo exame de perfis geofísicos da região sudoeste paulista, no contato Caiuá / Santo Anastácio, salientando que Soares (1981) já havia sugerido uma descontinuidade erosiva na sedimentação entre as referidas unidades. Por outro lado, Paula e Silva *et al.* (2002) demonstraram que a natureza brusca do contato e os distintos padrões geofísicos das formações Adamantina e Santo Anastácio, na região de São José do Rio Preto (SP), indicam existência de hiato temporal entre elas.

Estas superfícies de descontinuidade, como definidas aqui, limitam sucessões sedimentares depositadas em intervalos de tempo específicos, ou seja, manifestam caráter cronoestratigráfico. Em outras palavras, envolvem sucessões de fácies remanescentes dos principais eventos deposicionais ocorridos na sedimentação Bauru, governados por fenômenos tectônicos e climáticos que, por sua vez, controlaram os níveis de base locais. Graças ao caráter regional, as superfícies S1 e S2 constituem excelentes horizontes-guia para distinção e delimitação das unidades geofísicas e sua associação com as unidades litoestratigráficas formais.

CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS EM SUBSUPERFÍCIE Para representação dos interrelacionamentos entre as unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru reconhecidas em subsuperfície, foram elaboradas seções representativas de compartimentos geológicos peculiares, localizados nas porções sudoeste (Figs. 4 e 5), nordeste (Fig. 6), centro-oriental (Fig. 7) e noroeste (Fig. 8) da bacia. A Figura 3 mostra a localização desses compartimentos na área estudada, conforme delimitação apresentada por Paula e Silva (2003).

Formação Caiuá A unidade geofísica equivalente à Formação Caiuá engloba uma sucessão sedimentar delimitada, na parte inferior, pela discordância erosiva da superfície basáltica e, na porção superior, pela superfície de discordância S1. Aparece muito bem preservada no compartimento sudoeste (Figs. 4 e 5), ao passo que tem expressividade reduzida no compartimento noroeste (Fig. 8), onde pode ter sido parcialmente removida por erosão. Não ocorre nos demais compartimentos estudados.

A Formação Caiuá, em subsuperfície, caracteriza-se pela presença de um pacote predominantemente psamítico, constituído de arenitos vermelho-vinho a marrom acastanhados, de granulometria variando de muito fina a média, grãos com boa esfericidade e cobertos por película ferruginosa, subarredondados, em geral pouco argilosos, localmente calcíferos, podendo apresentar em sua porção basal, próximo ao contato com os basaltos Serra Geral, arenitos sílticos, marrom avermelhados, médios, calcíferos, como no poço de Planalto do Sul, Município de Teodoro Sampaio (Paula e Silva *et al.* 1994).

A análise dos perfis geofísicos que atravessam a Formação Caiuá, no compartimento sudoeste (Figs. 4 e 5), evidencia uma sucessão de fácies em padrão de *fining upward*, com deficiência de material pelítico, ou seja, sem destacar as fácies características de depósitos de planície de inundação, mas apenas delgadas e frequentes intercalações de camadas silto-argilosas. As seqüências de *fining upward* devem-se a variações granulométricas e/ou de teor de matriz lamítica dos arenitos. Também fica evidente a tendência de enriquecimento progressivo no teor de argila em direção à base da sucessão (Paula e Silva *et al.* 1994).

Localmente, as sucessões de fácies em padrão de *fining upward* constituem uma sucessão maior, em padrão de *coarsening upward*, como observado no poço de Presidente Venceslau. Nesta cidade, a existência dos arenitos roxo-avermelhados, típicos da Formação Caiuá, foi confirmada em testemunho de sondagem descrito por Mezzalira (1974). Características semelhantes também foram observadas em perfuração de poço em Presidente Epitácio, às mar-

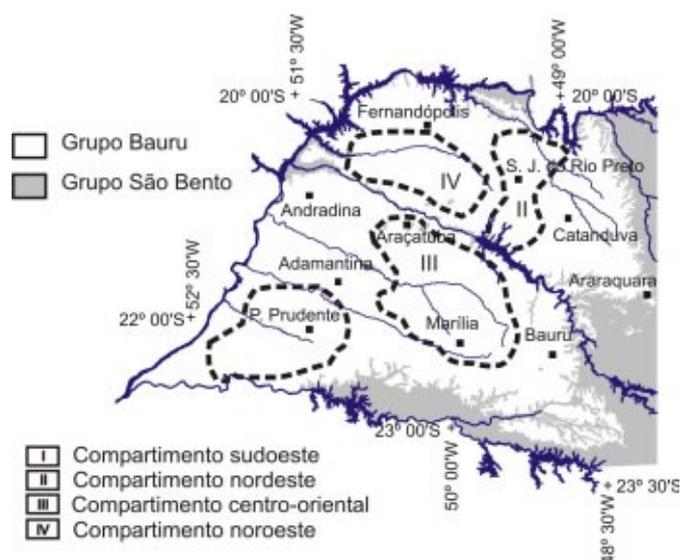


Figura 3 – Localização dos compartimentos estudados para reconhecimento e caracterização das unidades geofísicas correspondentes às unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru. Modificado de Paula e Silva (2003).

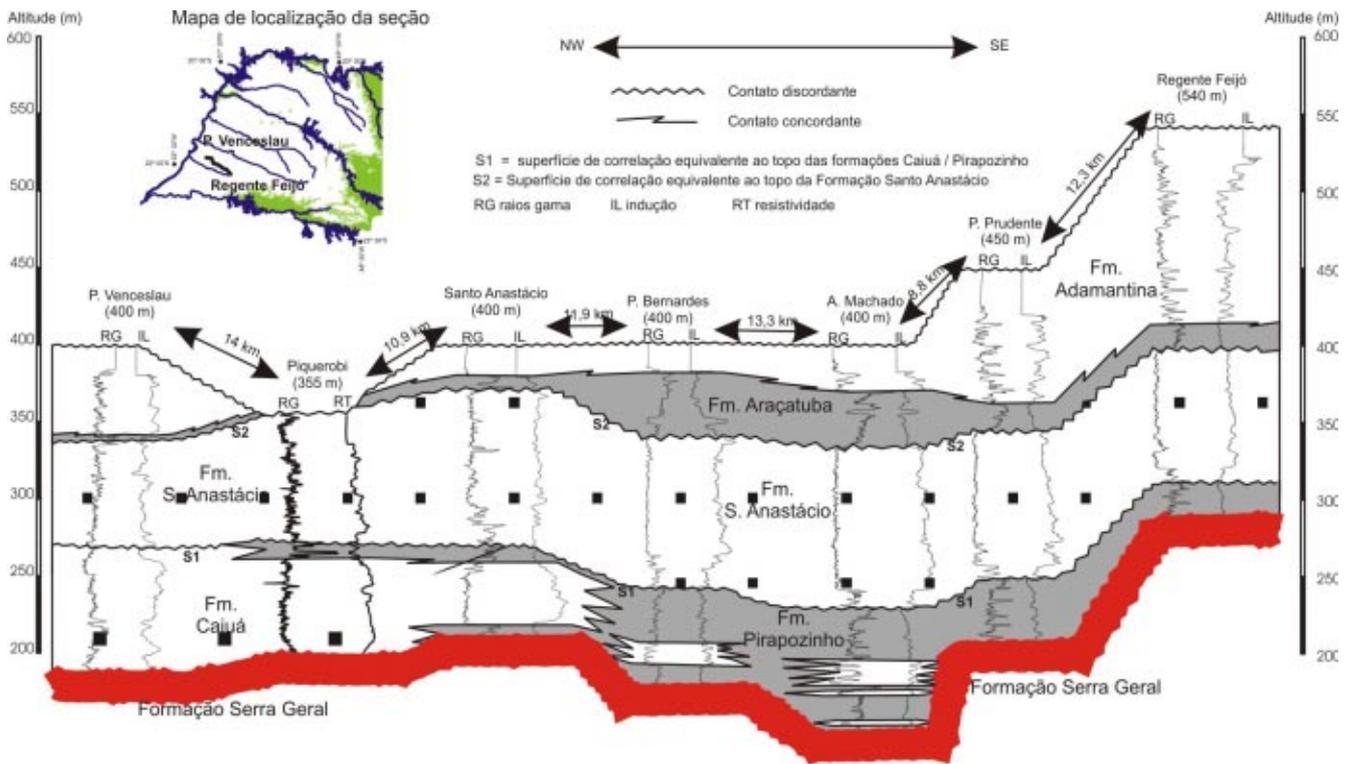


Figura 4. Seção geológica NW-SE, entre as cidades de Presidente Venceslau e Regente Feijó, mostrando as relações entre as unidades geofísicas atribuídas às formações Caiuá, Pirapozinho, Santo Anastácio, Araçatuba e Adamantina, no compartimento sudoeste da bacia. Observar as superfícies S1 e S2 limitando sucessões de fácies cronologicamente correlatas

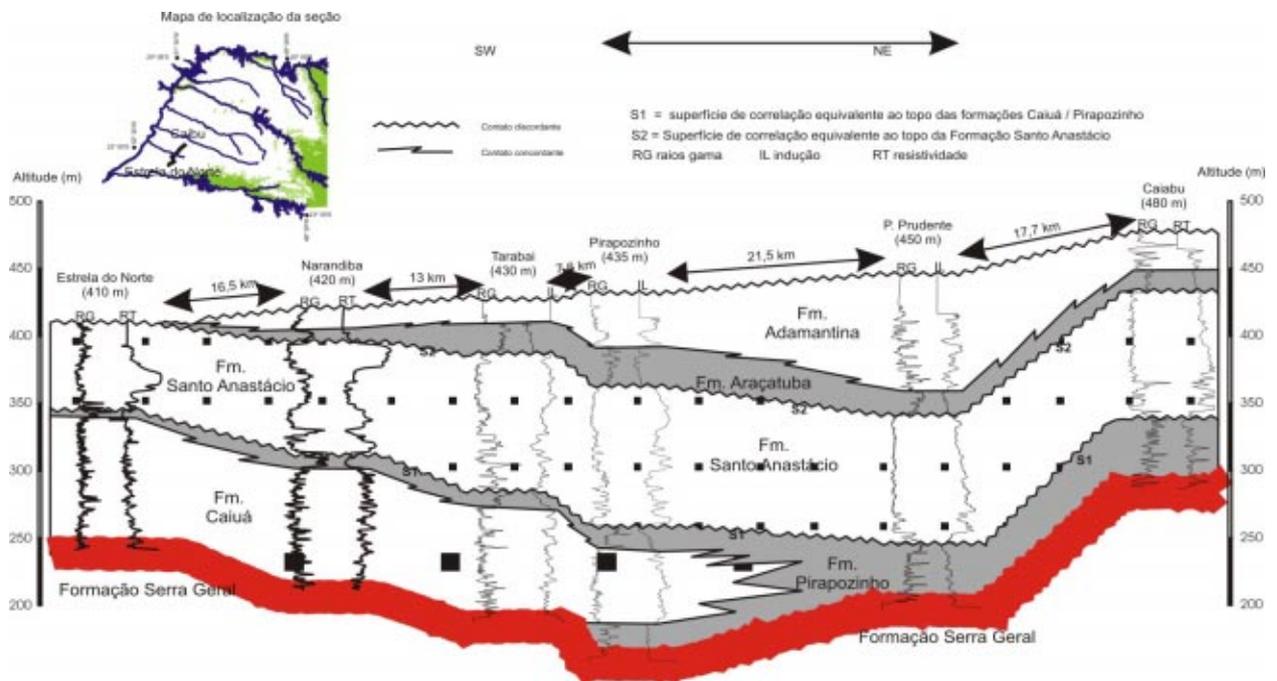


Figura 5 – Seção geológica SW-NE entre as cidades de Estrela do Norte e Caiabu, mostrando as relações entre as unidades geofísicas atribuídas às formações Caiuá, Pirapozinho, Santo Anastácio, Araçatuba e Adamantina, no compartimento sudoeste da bacia. Observar as superfícies S1 e S2 limitando sucessões de fácies cronologicamente correlatas.

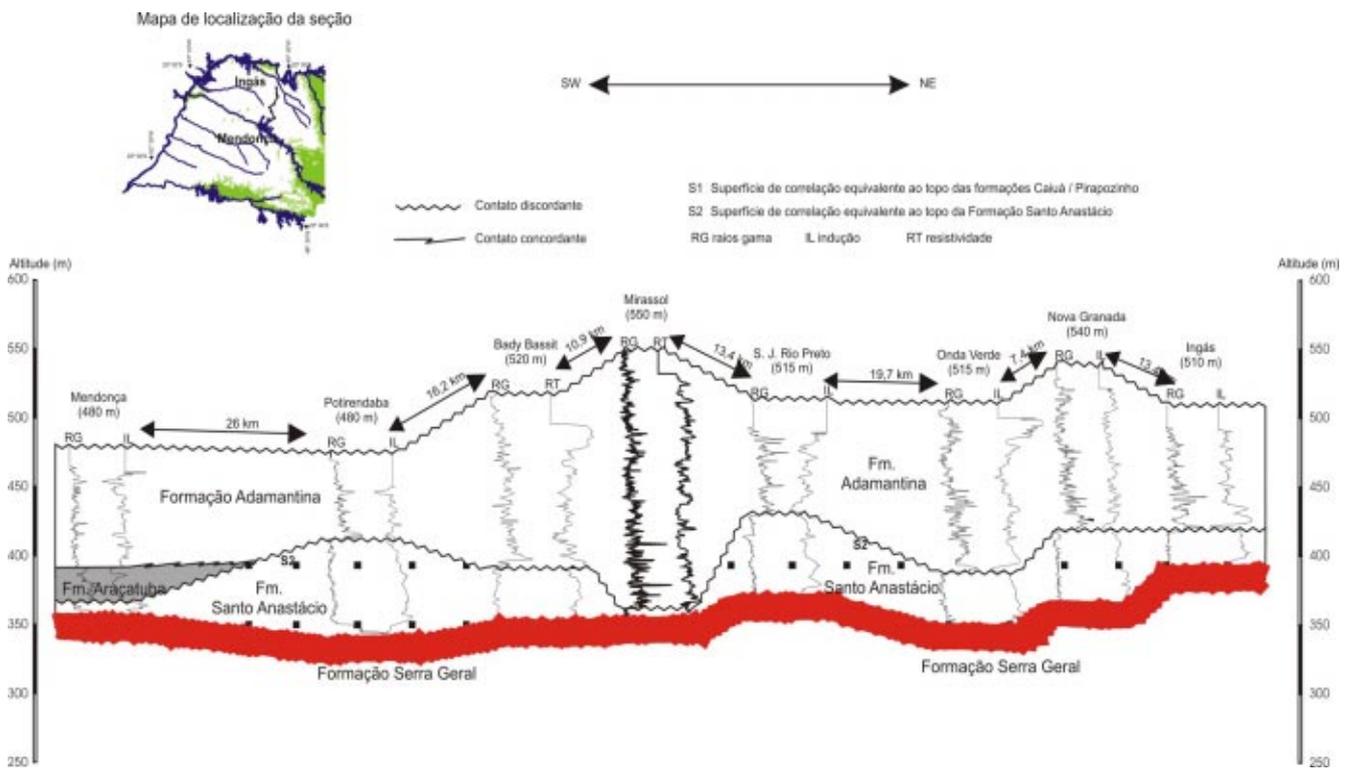


Figura 6 . Seção geológica SW-NE entre as localidades de Mendonça e Ingás (Distrito de Nova Granada), mostrando as relações entre as unidades geofísicas atribuídas às formações Santo Anastácio, Araçatuba e Adamantina, no compartimento nordeste da bacia. Observar que a superfície S1 coincide com o topo do embasamento basáltico.

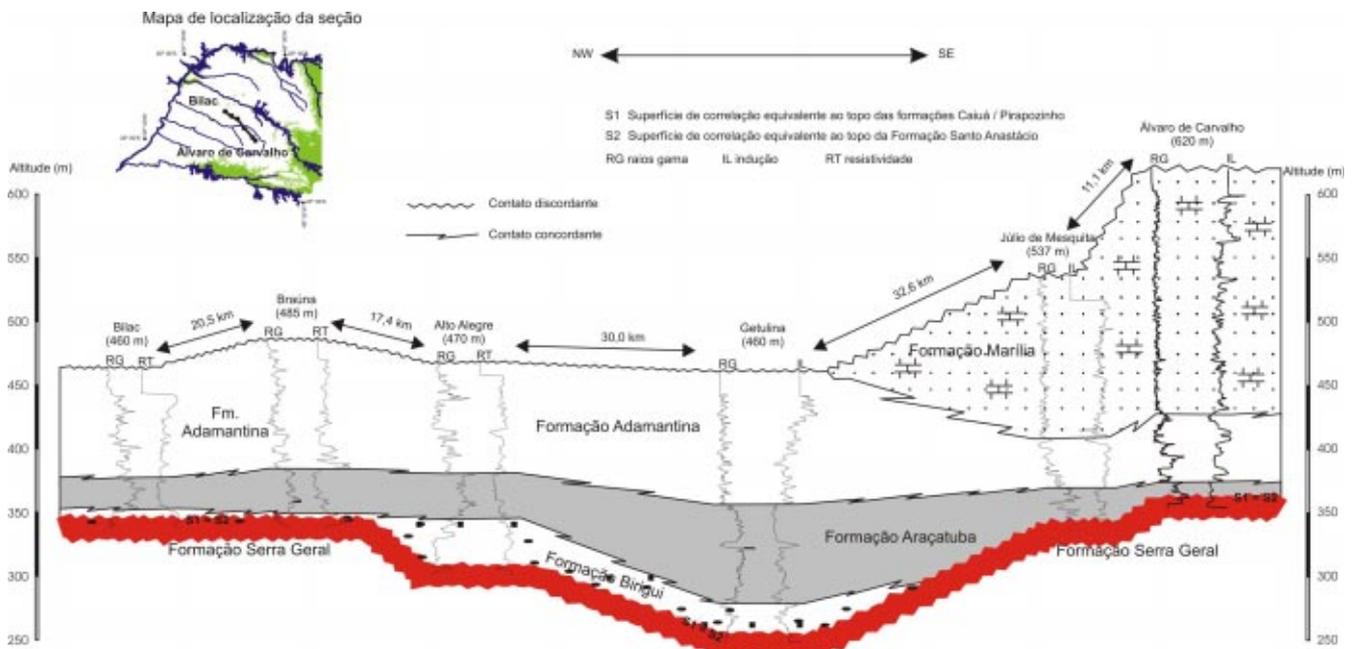


Figura 7 - Seção geológica NW-SE entre as cidades de Bilac e Álvaro de Carvalho, mostrando as relações entre as unidades geofísicas atribuídas às formações Birigüi, Araçatuba, Adamantina e Marília, no compartimento centro-oriental da bacia. Observar que as superfícies S1 e S2 ajustam-se ao topo do embasamento basáltico.

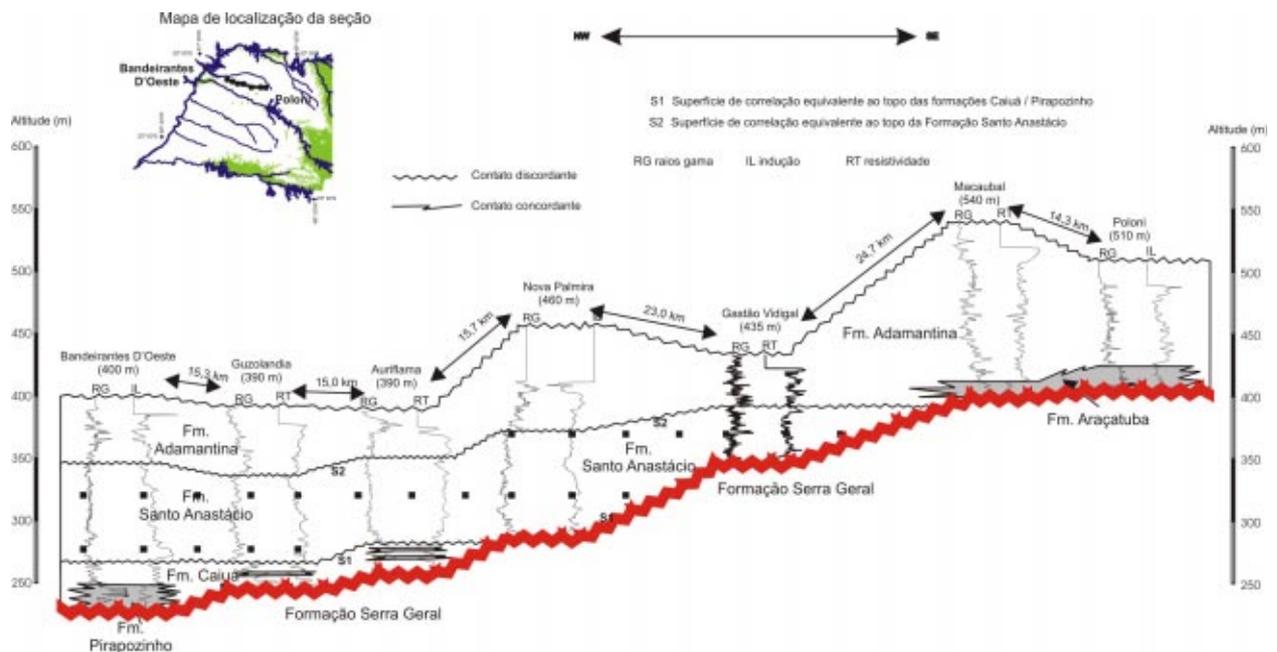


Figura 8. Seção geológica NW-SE entre as localidades de Bandeirantes D'Oeste (Distrito de Sud Menucci) e Poloni, mostrando as relações entre as unidades geofísicas atribuídas às formações Caiuá, Pirapozinho, Santo Anastácio, Araçatuba e Adamantina, no compartimento noroeste da bacia. Observar as superfícies S1 e S2 limitando sucessões de fácies cronologicamente correlatas.

gens do Rio Paraná (Flavio de Paula e Silva, 1991 – arquivo particular).

No compartimento noroeste (Fig. 8), a unidade geofísica correspondente à Formação Caiuá, representada por camadas arenosas em padrão de *fining upward* de pequena amplitude, interdiga-se com maior frequência a depósitos predominantemente lamíticos atribuídos à Formação Pirapozinho.

O contato basal da Formação Caiuá é discordante com a Formação Serra Geral, atestado pela presença de brecha basal e de irregularidades no topo basáltico (Riccomini *et al.* 1981). Lateralmente, no rumo leste, passa por interdigitação para a Formação Pirapozinho (Paula e Silva *et al.* 1999). Seu contato superior é discordante com a Formação Santo Anastácio (Paula e Silva 2003).

Considerando isoladamente as características litológicas e as sucessões de fácies geofísicas, organizadas em padrões de *fining upward* pode-se inferir deposição subaquosa para a Formação Caiuá, em sistemas fluviais, com distribuição granulométrica governada pelas variações de velocidade do fluxo aquoso. Esta dedução coloca em debate a questão do ambiente deposicional, uma vez que associações de fácies eólicas têm sido freqüentemente atribuídas a esta unidade, interpretada por diversos autores como depositada em ambiente desértico (p. ex., Fernandes & Coimbra 1994, 2000). Cabe ressaltar que as perfilagens utilizadas neste trabalho não cobrem as áreas onde a Formação Caiuá foi formalmente reconhecida e caracterizada, em superfície. Assim, a ocorrência de fácies eólicas sub-sidiariamente intercaladas ao sistema fluvial, ou localmente dominantes, não deve ser descartada.

As maiores espessuras da Formação Caiuá, em subsuperfície, encontram-se em Estrela do Norte (97 m), Naranjiba (92 m), Presidente Venceslau (91 m) e Tarabai (84 m). A figura 9 apresenta o perfil de referência da Formação Caiuá.

Formação Pirapozinho Formação Pirapozinho é a designação

proposta para a unidade litoestratigráfica predominantemente pelítica, de ocorrência exclusiva em subsuperfície, delimitada na base pelo assoalho basáltico e no topo pela superfície de discordância S1. Esta unidade geofísica foi identificada primeiramente por Paula e Silva *et al.* (1994), em perfis de poços perfurados para captação de água na região de Presidente Prudente (SP), e informalmente designada “Litofácies C”; posteriormente, Paula e Silva (2003) atribuiu-lhe hierarquia de formação.

Seu posicionamento estratigráfico, acima da Formação Serra Geral e abaixo da Formação Santo Anastácio, e contato

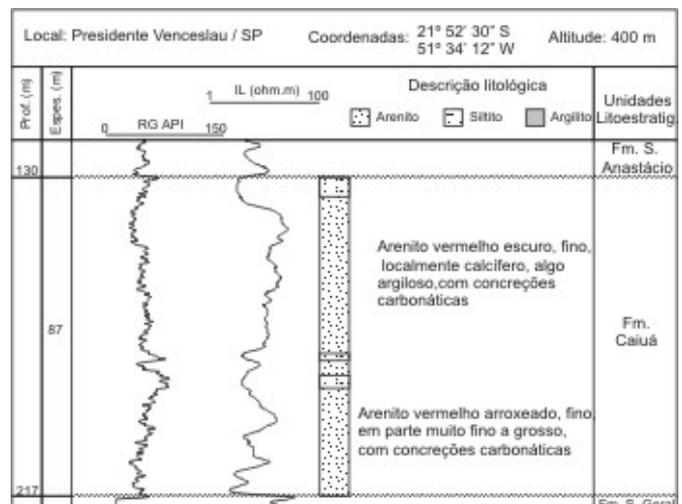


Figura 9 - Perfil de referência da Formação Caiuá (Paula e Silva *et al.* 2003).

interdigitado com a Formação Caiuá, mostram equivalência temporal com esta última. Justifica-se a proposição desta nova unidade estratigráfica em razão da incompatibilidade de suas características litológicas com a definição estratigráfica formal, estabelecida para a unidade Caiuá por Soares *et al.* (1980), e pela ampla área de ocorrência e facilidade de reconhecimento através de perfis geofísicos. Manifesta-se com maior expressividade no compartimento sudoeste (Figs. 4 e 5), enquanto apresenta expressão reduzida no compartimento noroeste (Fig. 8); não ocorre nos demais compartimentos.

Sob a designação de Formação Pirapozinho abriga-se uma sucessão clástica com predomínio de fácies pelíticas. Esta unidade é caracterizada por espessos pacotes de siltitos, lamitos arenosos e argilitos, vermelhos e castanhos e de tons acinzentados a esverdeados, em geral carbonáticos; subsidiariamente, intercalam-se camadas lenticulares de arenitos finos, raramente médios a grossos, em parte sílticos, marrom acastanhados a vermelhos, argilosos.

Em perfis, a unidade Pirapozinho tem elevada radioatividade e baixa resistividade, características de camadas predominantemente silto-argilosas, sugestivas de depósitos lacustres, onde variações granulométricas verticais entre termos mais finos ou mais grossos podem ser interpretadas como flutuações do nível de base do lago; localmente, destacam-se padrões granulométricos do tipo *fining upward*, indicativos de depósitos de transbordamento, de pequenos canais ou de rompimento de diques marginais, associados a depósitos psamíticos fluviais (Paula e Silva *et al.* 1994).

As maiores espessuras de sedimentos correspondentes à esta unidade foram registradas nas cidades de Álvares Machado (65 metros), Presidente Bernardes (52 m), Caiabu (50 m) e Presidente Prudente (48 m). A figura 10 apresenta o perfil de referência da Formação Pirapozinho.

Formação Santo Anastácio Estratigraficamente, a unidade geofísica correspondente à Formação Santo Anastácio encerra uma sucessão sedimentar balizada pelas superfícies de discordância S1, na base, e S2, no topo. Esta formação ocorre nos compartimentos sudoeste, nordeste e noroeste da bacia, aflorando apenas parcialmente no primeiro (Fig. 4, 5, 6 e 8); não ocorre no compartimento centro-oriental (Fig. 7). O contato inferior da Formação Santo Anastácio é discordante com a sucessão Caiuá / Pirapozinho ou, na ausência desta, com os basaltos da Formação Serra Geral; seu contato superior também é discordante com as formações mais jovens (Birigüi, Araçatuba ou Adamantina).

A Formação Santo Anastácio caracteriza-se, em subsuperfície, pelo predomínio de termos arenosos em detrimento de constituintes pelíticos. A litologia predominante é composta por arenitos de cor marrom avermelhada, de granulação muito fina a média, recobertos por película limonítica, com freqüentes nódulos e cimentação calcíferos. Intercalam-se aos arenitos lentes descontínuas de lamito, siltito e argilito marrom avermelhados. No compartimento sudoeste (Figs. 4 e 5), a freqüência das intercalações pelíticas se torna mais pronunciada nas porções basais da unidade (Paula e Silva *et al.* 1994), enquanto no compartimento nordeste (Fig. 6) ocorrem poucas intercalações pelíticas e os arenitos são pouco argilosos (Paula e Silva *et al.* 2002); no compartimento noroeste (Fig. 8), caracteriza-se pelo maior conteúdo argiloso dos arenitos, embora as condições de sedimentação não tenham sido propícias para a acumulação de corpos pelíticos expressivos (Paula e Silva 2003).

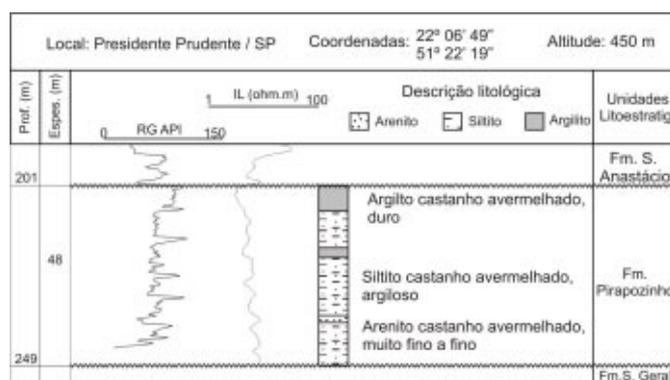


Figura 10 – Perfil de referência da Formação Pirapozinho (Paula e Silva *et al.* 2003).

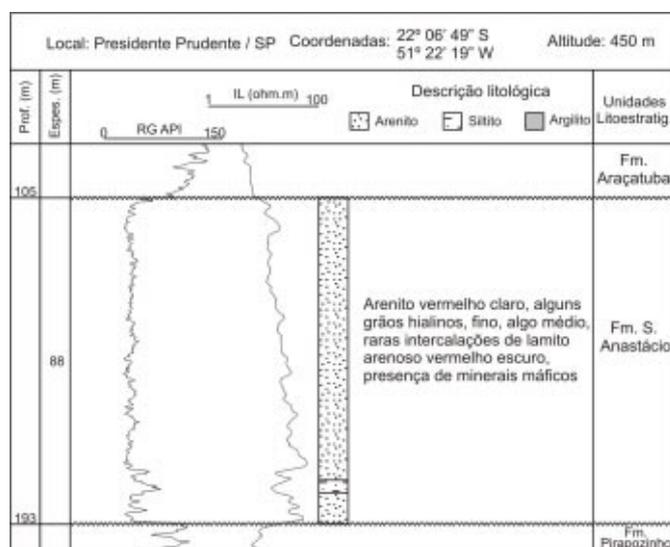


Figura 11 – Perfil de referência da Formação Santo Anastácio (Paula e Silva *et al.* 2003).

A análise dos perfis que atravessam a Formação Santo Anastácio revela padrões granulométricos predominantes do tipo cilindro, com formato serrilhado, indicativo de sedimentação relativamente homogênea, com deficiência de material pelítico. No compartimento sudoeste (Figs. 4 e 5), seções espessas de arenitos, configurando padrão granulométrico em cilindro, passam lateralmente e em direção à base da sucessão para seções com teor de argila e freqüência de intercalações pelíticas maiores, chegando a constituir intervalos característicos de depósitos em padrão de *fining upward*, com terminação em siltitos e argilitos, como nas cidades de Tarabai, Pirapozinho e Narandiba. No compartimento noroeste (Fig. 8), a observação mais detalhada das curvas de resistividade dos perfis também permite o reconhecimento de padrões granulométricos sutis em *fining upward*.

A análise dos padrões de variação granulométrica, registrados pelos perfis geofísicos, sugere que a unidade Santo Anastácio tenha sido depositada em ambiente fluvial, inicialmente do tipo meandrante, com fácies de canal e de transbordamento bem delineadas, evoluindo para modelo entrelaçado com carga

psamítica dominante e escassez de fácies pelíticas, menos organizado (Paula e Silva 2003).

As maiores espessuras preservadas da Formação Santo Anastácio foram constatadas nos poços de Valparaíso (127 m), Aparecida D'Oeste (123 m), Quatá (116 m), Mariápolis (113 m), Presidente Prudente (107 m) e Pirapozinho (103 m). Na região de São José do Rio Preto pode alcançar mais de 70 m, como na cidade de Potirendaba (76 m). A figura 11 apresenta o perfil de referência desta formação.

Formação Birigüi Formação Birigüi é a designação proposta para a unidade geofísica predominantemente areno-conglomerática, posicionada estratigraficamente acima da superfície de discordância S2, de ocorrência exclusiva no compartimento centro-oriental da bacia e em subsuperfície (Fig. 7), identificada por Paula e Silva (2003). Jaz discordantemente sobre o substrato basáltico na maior parte de sua área de ocorrência, onde esta superfície se confunde com a discordância S2 (Fig. 7), e localmente sobre a Formação Santo Anastácio. Acima, mantém relações de contato aparentemente concordantes com os pelitos da Formação Araçatuba (Paula e Silva 2003).

Em descrição de amostras de calha, esta unidade caracteriza-se pelo predomínio de corpos arenosos, com cores variando de cinza esverdeado a esbranquiçado, bege amarelado e marrom acastanhado, granulometria comumente fina a média, mas podendo exibir localmente arenitos grossos a conglomeráticos, como no Distrito de Taquari (Município de Birigüi) e na própria cidade de Birigüi. Nas citadas localidades, arenitos marrom acastanhados, finos a grossos, feldspáticos e carbonáticos, passam para conglomerados com fragmentos de basalto, arenito e calcedônia, em matriz areno-argilosa, com espessura em torno de 20 m. Intercalações de pelitos são pouco frequentes.

Em testemunhos de sondagem, Barcha (1980) descreveu um pacote de arenito fino a médio, maciço, apresentando níveis e concreções carbonáticas, em propriedade rural próxima a Avanhandava. Em Penápolis, o mesmo autor descreveu um pacote com cerca de 35 m de arenito cinza escuro a amarelado, compacto, fino, podendo apresentar granulação mais grossa em certos intervalos, e nódulos de calcita com forma estrelada de até 5 cm.

A análise dos perfis geofísicos desta sucessão mostra corpos arenosos com padrão granulométrico predominante do tipo cilíndrico, com poucas intercalações de corpos pelíticos e baixa argilosidade. Localmente, podem ser observados sutis padrões de *fining upward* e incremento do teor de argila dos corpos arenosos.

As características granulométricas e de perfis da Formação Birigüi sugerem deposição por correntes de alta energia, em sistemas fluviais predominantemente entrelaçados. As maiores espessuras da unidade, constatadas em perfurações de poços, são de 51 m no Distrito de Taquari (Município de Birigüi), 48 m em Guaiçara, 43 m em Luiziana e 42 m em Santa Maria do Gurupá (Município de Promissão). A figura 12 apresenta o perfil de referência desta formação.

Formação Araçatuba A Formação Araçatuba, conforme redefinição de Batezelli *et al.* (1999), representa uma unidade estratigráfica composta predominantemente por siltitos e argilitos e, secundariamente, por arenitos finos, cinza-esverdeados. Esta unidade situa-se em posição estratigráfica bem definida, acima da superfície de discordância S2, a qual se confunde localmente com o topo do embasamento basáltico. Ocorre em todos os comparti-

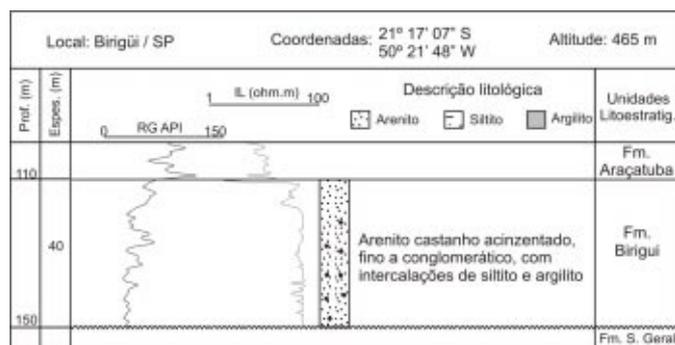


Figura 12 – Perfil de referência da Formação Birigüi (Paula e Silva *et al.* 2003).

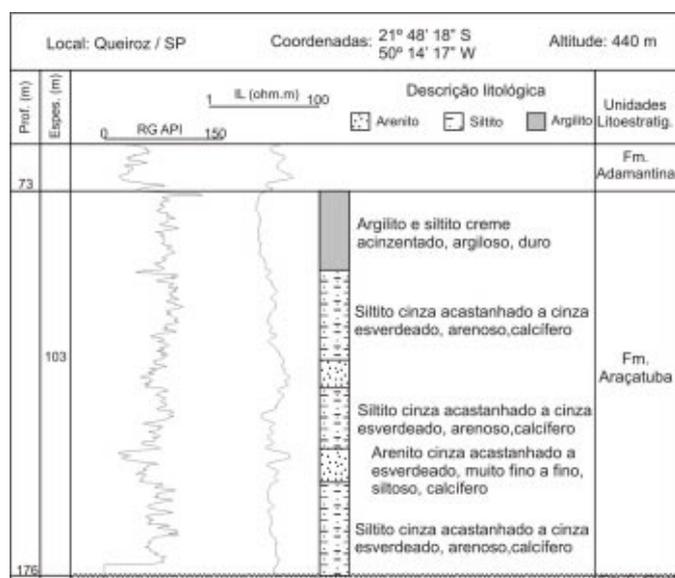


Figura 13 – Perfil de referência da Formação Araçatuba (Paula e Silva *et al.* 2003).

mentos estudados, mas tem maior expressão nos compartimentos centro-oriental (Fig. 7) e sudoeste (Figs. 4 e 5).

O contato inferior da Formação Araçatuba é discordante com o embasamento basáltico e com a Formação Santo Anastácio, e concordante com a Formação Birigüi; seu contato superior com a Formação Adamantina é concordante interdigitado e localmente abrupto, graças a diastemas originados pela erosão fluvial.

Os perfis geofísicos representativos desta unidade litoestratigráfica caracterizam-se pela elevada radioatividade e baixa resistividade, diagnósticas de sedimentação predominantemente pelítica; localmente, apresentam padrões granulométricos em *fining upward*, indicativos de depósitos de transbordamento ou de rompimento de diques marginais, associados a fácies arenosas fluviais.

A análise dos perfis e das características litológicas da Formação Araçatuba evidencia uma sucessão com amplo predomínio de fácies pelíticas sobre fácies psamíticas, indicativa de um ambiente deposicional lacustre, como sugerido por vários autores (Suguio *et al.* 1977, Fernandes 1998, Batezelli *et al.* 1999). Este lago estaria sujeito a expansões e retrações cíclicas decorrentes de flutuações

do nível de base, responsáveis pelos padrões granulométricos de empilhamento sedimentar. Para Etchebere *et al.* (1991), a presença de moldes salinos nesta unidade indicaria condições evaporíticas.

Em subsuperfície, a unidade geofísica atribuída à Formação Araçatuba registrou as maiores espessuras preservadas em poços nas cidades de Queiroz (105 m), Getulina (78 m), Lins (67 m) e Oriente (61 m). A figura 13 apresenta o perfil de referência desta unidade.

Formação Adamantina A Formação Adamantina ocupa posição estratigráfica acima da superfície de discordância S2 que, como já referido anteriormente, ajusta-se localmente ao topo do embasamento basáltico. Aflora de modo generalizado em todos os compartimentos estudados, estando recoberta apenas parcialmente pela Formação Marília no compartimento centro-oriental da bacia (Fig. 7).

A Formação Adamantina, em subsuperfície, caracteriza-se pela presença de arenitos avermelhados a acastanhados, finos a muito finos, argilosos, algo carbonáticos, quartzosos, intercalados por camadas de lamito marrom a avermelhado, arenoso, carbonático (Paula e Silva *et al.* 1994).

O contato inferior da Formação Adamantina é discordante com os basaltos da Formação Serra Geral e com a Formação Santo Anastácio, e concordante interdigitado, localmente erosivo, com a Formação Araçatuba; o contato superior é concordante interdigitado a abrupto com a Formação Marília.

Os perfis geofísicos da sucessão correspondente à Formação Adamantina permitem a distinção de fácies com padrão de *fining upward*, com eventuais terminações em sedimentos silto-argilosos, e padrão geral de *coarsening upward*, compondo sucessões cíclicas.

Variações faciológicas são comumente observadas em perfis da Formação Adamantina e refletem a extrema variabilidade dos depósitos continentais de origem fluvial. Essas variações têm sido responsáveis pela profusão de diferentes designações para uma mesma unidade estratigráfica, tomando-se como exemplo os poços de Getulina, Alto Alegre e Braúna, os quais mostram-se bastante distintos (Fig. 7).

No compartimento nordeste (Fig. 6), o padrão de radioatividade natural, expresso pelas curvas de raios gama dos perfis geofísicos, é notavelmente mais intenso do que aquele verificado na unidade Adamantina, no compartimento sudoeste (Figs. 4 e 5). Paula e Silva *et al.* (2002) chamaram a atenção para a existência de arenitos com radioatividade natural anormal nessa região, em razão da provável contribuição de fontes cristalinas situadas nos limites setentrionais da bacia (Suguio 1981), reforçando a correspondência cronológica desta unidade com a Formação Uberaba, de ocorrência restrita ao Triângulo Mineiro.

Intercaladas na sucessão Adamantina são descritas rochas alcalinas, de composição semelhante às rochas analcímicas intrusivas de Jaboticabal, referidas por Barcha *et al.* (1984), cuja origem efusiva ou intrusiva ainda não foi definitivamente estabelecida.

Em termos paleoambientais, a unidade geofísica correspondente à Formação Adamantina compreende depósitos arenosos acanalados, com padrão granulométrico em *fining upward* e eventuais terminações em sedimentos pelíticos, compondo unidades cíclicas menores, sugestivos de sedimentação fluvial em canais meandantes. A sucessão, como um todo, mostra padrão de *coarsening upward* segmentado em ciclos maiores, indicativo de

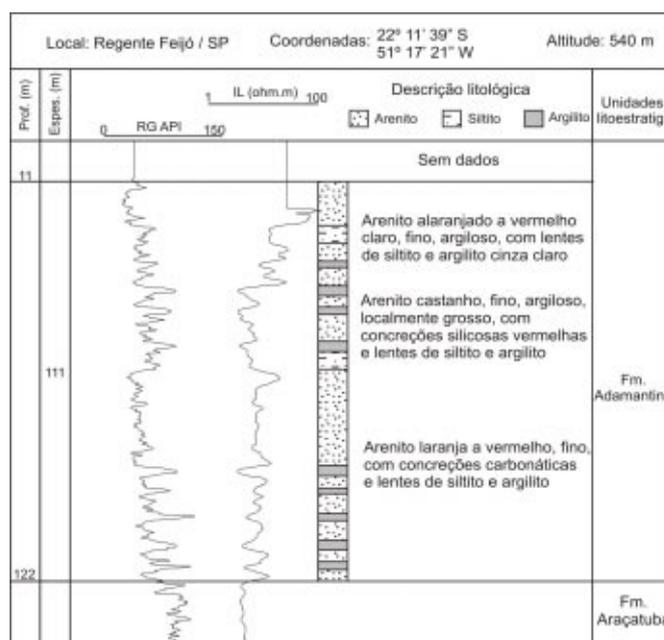


Figura 14 – Perfil de referência da Formação Adamantina (Paula e Silva *et al.* 2003).

progradação do sistema fluvial sobre nível de base lacustre, contribuindo com o processo de assoreamento da bacia. Este padrão de empilhamento observado nos perfis geofísicos pode representar depósitos associados a pequenos deltas, onde processos de progradação e regressão são controlados, respectivamente, pela retração e expansão de um sistema lacustre, em decorrência de variações climáticas e/ou tectônicas.

Em poços, a Formação Adamantina registrou maiores espessuras nas cidades de Mirassol (187 m), Catanduva (170 m) e Neves Paulista (150 m). A figura 14 apresenta o perfil de referência da Formação Adamantina.

Formação Marília A Formação Marília aflora somente na porção sudeste do compartimento centro-oriental (Fig. 7), tendo ocorrência restrita relativamente às demais formações do Grupo Bauru. A abundância de cimento calcífero em suas litologias propiciou um arcabouço resistente à erosão, responsável pela sustentação das escarpas dos planaltos de Marília, Garça e Echaporã. Esta sucessão sobrepõe-se à Formação Adamantina por meio de contato interdigitado a abrupto; seu limite superior é marcado pela superfície topográfica atual.

É composta predominantemente por arenitos grossos a conglomeráticos, com teor de matriz variável, maciços ou com acamamento incipiente, subparalelo e descontínuo, raras estratificações cruzadas de médio porte e raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcários, conforme definição de Soares *et al.* (1980).

A unidade geofísica correspondente à Formação Marília, em subsuperfície, apresenta característicos formatos lineares e serrilhados das curvas de raios gama e resistividade, indicando a ocorrência de depósitos predominantemente arenosos, com delgadas intercalações de material pelítico e baixo conteúdo argiloso. Eventualmente pode revelar, em trechos localizados, padrões sutis de *fining upward* e de *coarsening upward*, visualizados prin-

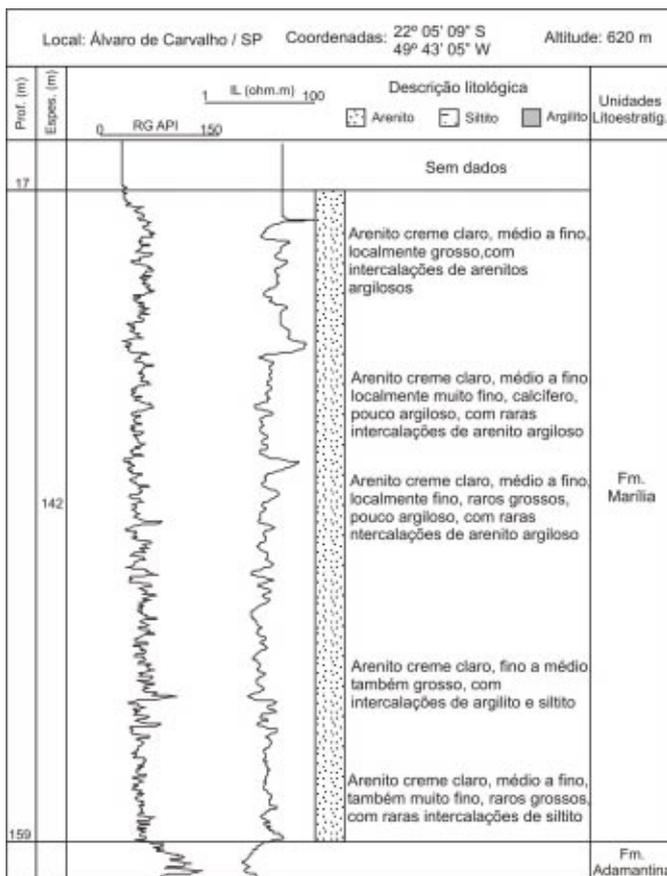


Figura 15 – Perfil de referência da Formação Marília (Paula e Silva *et al.* 2003).

principalmente pela curva do perfil de resistividade. Calcários ou arenitos carbonáticos podem ser identificados pela intensidade dos valores de resistividade do perfil indução; contudo, não são muito frequentes.

Outra característica marcante desta unidade geofísica, a exemplo do que ocorre na Formação Adamantina, é a tendência de diminuição da argilosidade ou, em outras palavras, da prevalência de depósitos progressivamente mais arenosos em direção ao topo da sucessão, indicativos de assoreamento do sítio deposicional. Em termos paleoambientais, as características dos perfis geofísicos se harmonizam com as inferências de um ambiente deposicional em leque aluvial, sugeridas pela maioria dos autores que estudaram esta formação (por exemplo, Suguio *et al.* 1977, Soares *et al.* 1980, Barcelos & Suguio 1987, Fernandes 1998).

Em subsuperfície, a unidade atribuída à Formação Marília possui espessuras máximas constatadas em perfurações de poços de 233 m na cidade de Lupércio, 201 m em Marília, 192 m em Álvaro de Carvalho e 185 m em Quintana. A figura 15 apresenta o perfil de referência desta unidade.

RELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS DO GRUPO BAURU As relações entre as unidades litoestratigráficas cretáceas suprabasálticas nos diferentes compartimentos geológicos da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, engendradas através da correlação de perfis geofísicos, estão representadas na figura 16.

Nesta concepção, a acumulação do Grupo Bauru se deu em

três fases principais de deposição, separadas por superfícies de discordância regionais, aqui denominadas S1 e S2. Sobre o pavimento basáltico, desnivelado por processos tectônicos e erosivos, depositam-se os sedimentos clásticos da sucessão mais antiga, representada pelas formações Caiuá e Pirapozinho, em um sistema fluvial endorreico, com rios meandantes alcançando corpos lacustres rasos que atuavam como nível de base. Após esta primeira fase deposicional, a bacia entra em processo de *by-pass*, não permitindo a fixação de novos depósitos. Gera-se, então, a discordância regional S1 que representa um hiato temporal e provavelmente erosivo, encerrando a primeira fase de sedimentação.

Na segunda fase de sedimentação, as condições endorreicas persistem e o sítio deposicional se expande para receber os sedimentos preponderantemente arenosos da Formação Santo Anastácio, transportados por rios entrelaçados com variações locais para meandrante. Ao final, novo ciclo erosivo se instala e a bacia entra novamente em processo de *by-pass*.

Na terceira fase, o sítio deposicional se expande ao máximo, formando um complexo flúvio-lacustre representado pelas formações Birigüi, Araçatuba e Adamantina, que progressivamente conduz ao assoreamento de toda a bacia. Toda essa evolução culmina com a intensificação da aridez climática, alçamento das bordas e deposição dos leques aluviais da Formação Marília, quando então, no início do Terciário, a bacia perde definitivamente seu caráter subsidente.

CONCLUSÕES Os estudos realizados, com base nos perfis de poços, permitiram distinguir unidades geofísicas características e

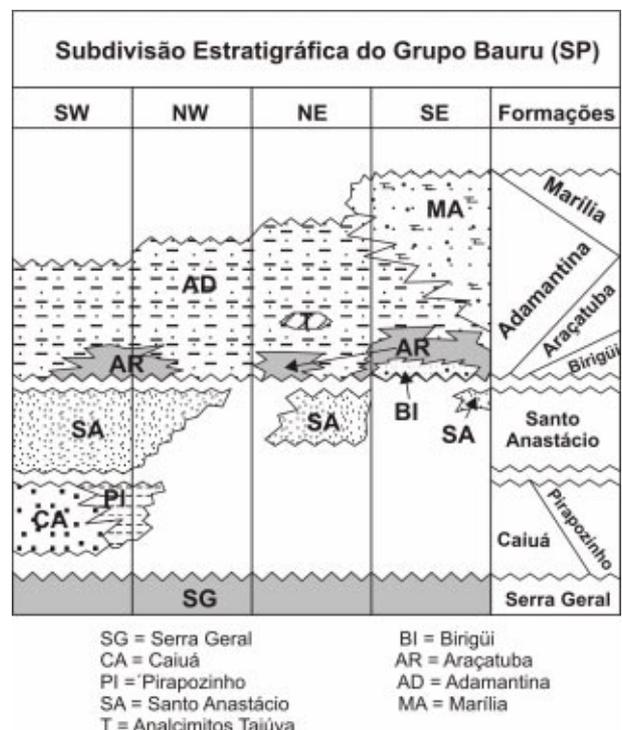


Figura 16 – Relações estratigráficas entre as formações cretáceas suprabasálticas nos diferentes compartimentos do Estado de São Paulo. Modificado de Paula e Silva (2003).

correlacioná-las às unidades litoestratigráficas formais atribuídas ao Grupo Bauru (formações Caiuá, Santo Anastácio, Araçatuba, Adamantina e Marília), além de identificar e de caracterizar duas novas unidades de ocorrência exclusiva em subsuperfície (formações Pirapozinho e Birigüi). Conforme ficou demonstrado pela análise das inter-relações observadas nos diferentes compartimentos moldados no embasamento basáltico, as unidades litoestratigráficas cretáceas da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo, estão enfeixadas por superfícies correlativas representando discordâncias regionais. Neste estudo, foram reconhecidas duas destas superfícies, aqui designadas S1 e S2.

A superfície S1 marca o limite superior de ocorrência das formações Caiuá e Pirapozinho e delimita a sucessão sedimentar depositada no intervalo de tempo entre o final do vulcanismo Serra Geral e o evento erosivo regional, anterior à deposição da sucessão Santo Anastácio. A superfície S2 marca o limite superior de ocorrência da Formação Santo Anastácio e delimita a sucessão sedimentar depositada no intervalo de tempo entre o final do ciclo

erosivo, que atingiu as formações Caiuá e Pirapozinho, e o final do ciclo erosivo seguinte, englobando toda sucessão Santo Anastácio. As demais formações do Grupo Bauru (Birigüi, Araçatuba, Adamantina e Marília) são delimitadas, na base, pela superfície S2 ou pelos derrames Serra Geral e, no topo, pela superfície de erosão atual.

A aplicação de critérios de correlação e interpretação, baseados em superfícies de discordância regionais, permitiu estabelecer as relações litoestratigráficas de subsuperfície entre as unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru, no Estado de São Paulo.

Agradecimentos Os autores agradecem ao Laboratório de Estudo de Bacias – LEBAC, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Rio Claro, e à Fundunesp, pelo suporte técnico e financeiro para elaboração deste artigo. Também agradecem aos revisores da RBG pelas sugestões oportunamente apresentadas no manuscrito.

Referências

- Arid F. M. 1966. A Formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo. *Geociências*, **1**: 1-126.
- Barcelos J. H. & Suguio K. 1987. Correlação e extensão das unidades estratigráficas do Grupo Bauru definidas em território paulista, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. *In*: SBG, Simp. Regional de Geologia, 6, Rio Claro, *Atas*, p. 313-321.
- Barcha S. F. 1980. *Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na Região norte-ocidental do Estado de São Paulo*. Tese Livre Docência, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José do Rio Preto. 209 p.
- Barcha S. F., Ellert N., Valarelli J. V. & Boni N. R. 1984. Intrusão alcalina de Jaboticabal, SP. *Revista Geociências*, **3**: 21-38.
- Batezelli A., Perinotto J. A. J., Etchebehere M. L. C., Fúlfaro V. J. & Saad A. R. 1999. Redefinição litoestratigráfica da unidade Araçatuba e da sua extensão regional na Bacia Bauru, Estado de São Paulo, Brasil. *In*: SBG, Simp. Cretáceo do Brasil, 5, Simpósio Cretácico de America del Sur, 1, Serra Negra, *Boletim*, p. 195-200.
- Castro J., Dias-Brito D., Musacchio E. A., Suárez J. M., Maranhão M. S. A. & Rodrigues R. 1999. Arcabouço estratigráfico do Grupo Bauru no oeste paulista. *In*: SBG, Simp. Cretáceo do Brasil, 5, Simp. Cretácico de America del Sur, 1, Serra Negra. *Boletim*, p. 509-515.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1990. Plano estadual de recursos hídricos: Primeiro plano do Estado. Síntese. São Paulo. 97 p.
- Dias-Brito D., Musacchio E. A., Castro J. C., Maranhão M. S. A. S., Suárez J. M. & Rodrigues R. 2001. Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo no Brasil, concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos. *Revue Paléobiol.*, **20** (1): 245-304.
- Etchebehere M. L. C., Saad A. R., Tadeo J. S. A. & Hellmeister JR. Z. 1991. Moldes de cristais salinos no Grupo Bauru, Estado de São Paulo: implicações econômicas e paleoclimáticas. *Geociências*, **10**: 101-117.
- Fernandes L. A. 1992. *A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 129 p.
- Fernandes L. A. & Coimbra A. M. 1994. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. *Revista Brasileira de Geociências*, **24** (3): 164-176.
- Fernandes L. A. 1998. *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo. 216 p.
- Fernandes L. A. & Coimbra A. M. 2000. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, **30** (4): 717-728.
- Fúlfaro V. J. & Barcelos J. H. 1992. A tectônica pós-deposicional e a reconstituição paleogeográfica: o exemplo no Grupo Bauru. *In*: SBG, Simp. Bacias Cretácicas Brasileiras, 2, Rio Claro. *Resumos expandidos*, p. 132-133.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo, IPT, v.1 e v.2.
- Mezzalira S. 1974. Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do arenito Bauru. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, **51**: 162 p.
- Miall A. D. 1982. Analysis of fluvial depositional systems. *In*: American Association of Petroleum Geologists Fall Education Conference.
- Paula e Silva F., Bianchi Neto C., Ricaldi A. E. M. & Sapio A. J. 1994. Estudo estratigráfico do Grupo Bauru na região de Presidente Prudente com base em perfis geofísicos de poços para água. *Revista Geociências*, **13** (1): 63-82.
- Paula e Silva F. & Cavaguti N. 1994. Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozóico na Cidade de Bauru - SP. *Revista Geociências*, **13** (1): 83-99.
- Paula e Silva F., Saad A. R., Perinotto J. A. J. & Fúlfaro V. J. 1999. Arquitetura deposicional do Grupo Bauru (Ks) na região sudoeste do Estado de São Paulo. *In*: SBG, Simp. Cretáceo do Brasil, 5, Simp. Cretácico de America del Sur, 1, Serra Negra, *Boletim*, p. 45-49.
- Paula e Silva F., Kiang, C. H. & Caetano-Chang M. R. 2002. Caracterização das unidades neocretáceas da Bacia do Paraná na região de São José

- do Rio Preto (SP) com base na análise de perfis geofísicos e suas implicações estratigráficas. *In: Simp. Cretáceo do Brasil, 6, Simp. Cretáceo de America del Sur, 2, São Pedro, Boletim*, p. 345-349.
- Paula e Silva F. 2003. *Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro. 166 p.
- Paula e Silva F., Chang H. K. & Caetano-Chang M. R. 2003. Perfis de referência do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. *Revista Geociências, 22* (especial): 21-32.
- Reading H. G. 1986. *Sedimentary environments and facies*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, second edition. 615 p.
- Riccomini C., Gimenez A. F., Stein D. P., Almeida F. F. M., Pires Neto A. G., Dehira L. K., Melo M. S., Braga T. O. & Ponçano W. L. 1981. Características da porção basal da Formação Caiuá no noroeste do Paraná. *In: SBG, Simp. Regional de Geologia, 3, Curitiba, Atas*, p. 25-33.
- Saad A. R. C., Campanha V.A., Cabral JR. M., Etchebehere M.L.C., Puleghini Filho P., Motta J.F.M. & Paula e Silva F. 1988. Cenários do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. *In: SBG, Congres. Brasil. Geologia, 35, Belém, Anais*, p. 894-904.
- Soares P. C. 1981. Estratigrafia das formações jurássico-cretáceas na Bacia do Paraná . Brasil. *In: Volkheimer, W. & Musacchio, E.A. (eds.) Cuencas Sedimentarias del Jurássico y Cretácico de América del Sur, 1: p. 275-304.*
- Soares P. C., Landim P. M. B., Fúlfaro V. J. & Sobreiro Neto A. F. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências, 10* (3): 177-185.
- Suguió K. 1981. Fatores paleoambientais e paleoclimáticos e subdivisão estratigráfica do Grupo Bauru. *In: SBG, Mesa redonda: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e regiões adjacentes, São Paulo, Atas*, p. 15-26.
- Suguió K., Fúlfaro V. J., Amaral G. & Guidorzi L. A. 1977. Comportamentos estratigráfico e estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo. *In: Simp. Regional de Geologia, 1, São Paulo, Atas*, p.231-247.

Manuscrito A 1488

Recebido em 2 de março de 2004

Revisão dos autores em 15 de dezembro de 2004

Revisão aceita em 20 de dezembro de 2004