

## CARTA HIDROGEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (BRASIL) NA ESCALA 1:1.000.000 - RESULTADOS PARCIAIS.

**José Eduardo Campos<sup>1</sup>; José Luiz Albuquerque Filho<sup>2</sup>; Geraldo Hideo Oda<sup>3</sup>;  
Mara Akie Iritani<sup>3</sup>; Mônica Mazzini Perrotta<sup>4</sup>; Ruy Edy Iglesias da Silveira<sup>5</sup> &  
Armando Teruo Takahashi<sup>4</sup>**

**Resumo** - O projeto da Carta Hidrogeológica do Estado de São Paulo tem por objetivo a representação cartográfica dos resultados obtidos nos “Estudos de Águas Subterrâneas” desenvolvidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE entre 1972 e 1982. Através de uma cooperação técnica entre o DAEE, IG/SMA, CPRM e IPT pretende-se concluí-lo em 2.000, com alguma atualização e adaptação em relação à sua concepção original. No presente trabalho busca-se ilustrar parte das atividades desenvolvidas, por meio de dois mapas temáticos referentes ao Sistema Aquífero Bauru que se estende por 100.000 km<sup>2</sup> na porção oeste do estado de São Paulo. O Mapa do Contorno Estrutural do Topo da Formação Serra Geral (base do Bauru) elaborado a partir de mais de 500 poços é apresentado procurando-se adaptar a superfície gerada às feições tectônicas/alinhamentos estruturais, originadas pela Reativação Wealdeniana ou Sul-Atlantiana. O Mapa da Superfície Potenciométrica, obtido a partir de mais de 800 poços, permitiu verificar e confirmar o padrão de drenagem e respectivas direções de fluxos subterrâneos já identificadas pelo DAEE para a região de Presidente Prudente e Marília, em 1979.

**Palavras-chave** - Aquífero Bauru, Formação Serra Geral.

<sup>1</sup> Geólogo, Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE, Rua Butantã, 185 Pinheiros, SP, Capital, Fone: 8149011, ramal 2175.

<sup>2</sup> Geólogo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, Av. prof. Almeida Prado, 532. Cidade Universitária-São Paulo, SP. CEP 05508-901. Fone: (0xx11) 37674648.

<sup>3</sup> Geólogo, Instituto Geológico-IG. Av. Miguel Stéfano, 3900 Água Funda, São Paulo, SP, CEP 04301-903. Fone: (0xx11) 5595-9994 ramal 2049.

<sup>4</sup> Geólogo, Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais . Rua Barata Ribeiro, 357 Bela Vista, São Paulo, SP, CEP 01308-000. Fone: (0xx11) 255 81 55 ramal 241.

## INTRODUÇÃO

A Constituição Paulista de 1989 estabeleceu que *as águas subterrâneas, reservas estratégicas para o desenvolvimento econômico-social e valiosas para o suprimento de água às populações, deverão ter programa permanente de conservação e proteção contra poluição e superexploração, com diretrizes em lei*. Esta mesma constituição determinou e foi instituída pela lei 7663/91 o “Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo”, no qual estão previstos os Planos Quadrienais de Recursos Hídricos. Nos Planos Quadrienais, por sua vez, está previsto um elenco de “Programas de Duração Continuada” cuja execução possibilitará o aprimoramento do conhecimento, da fiscalização e controle dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e a obtenção de índices crescentes de melhoria das condições de oferta hídrica nos aspectos quantitativos e qualitativos. Com este enfoque se desenvolve o projeto da Carta Hidrogeológica do Estado de São Paulo.

Em vários países os mapas hidrogeológicos têm se tornado uma indispensável ferramenta para o planejamento ambiental e para o estabelecimento de políticas de proteção. Podem, também, auxiliar na redução de custos de gerenciamento dos recursos hídricos, constituindo-se, portanto, em um importante elemento na economia global de um país. Do ponto de vista da aplicação das normas legais, proporcionam uma importante base técnica para as medidas administrativas e legais por parte dos órgãos competentes, contribuem para a conscientização pública sobre a importância das águas subterrâneas e, dependendo, é claro, das escalas, permitem melhorar o desempenho na perfuração de poços. Por fim, os custos de elaboração e impressão dos mapas hidrogeológicos são baixos em comparação aos custos de pesquisas geofísicas e perfuração de poços tubulares.

### 1. OBJETIVO

O projeto da Carta Hidrogeológica do Estado de São Paulo teve sua origem na década de 80, elaborado através de um documento interno proposto pelo geólogo Gerônimo Rocha do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. A concepção do projeto teve como objetivo a representação cartográfica, integrada e consolidada, dos resultados obtidos nos “Estudos de Águas Subterrâneas” desenvolvidos pelo DAEE entre 1972 e 1982. Com um extenso acervo técnico contendo diversos mapas temáticos, mais

---

<sup>5</sup> Engenheiro, Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. Rua Barata Ribeiro, 357 Bela Vista, São Paulo, SP, CEP 01308-000. Fone: (0xx11) 255 81 55 ramal 241.

de 15.000 poços cadastrados e outras informações, tornou-se necessária sua sistematização e integração.

A confecção do mapa hidrogeológico, segundo sua proposta original, deve seguir as convenções internacionais elaboradas pela UNESCO (1970) e atualizada por Struckmeier & Margat (1995).

Atualmente, em cooperação com o IG/SMA, CPRM e IPT, esforços têm sido desenvolvidos para retomar e concluir o projeto ainda neste ano de 2.000, com alguma atualização e adaptação em relação à sua concepção original. Grande parte dos produtos, anteriormente gerados em papel, estão sendo recuperados e dispostos em formato digital.

O presente trabalho tem como objetivo a apresentação dos resultados parciais do Projeto Carta Hidrogeológica do Estado de São Paulo, representados pelo mapa do contorno estrutural do topo da formação Serra Geral e pelo mapa da superfície potenciométrica do sistema aquífero Bauru.

## **2. PRINCIPAIS ASPECTOS METODOLÓGICOS**

A base de pontos de informações hidrogeológicas consta de cerca de 15.000 poços cadastrados, nos quais procedeu-se a uma criteriosa seleção, por aquífero, escolhendo-se os de construção mais confiáveis em cada uma das 411 quadrículas planialtimétricas de escala 1:50.000 do Estado. Este processo resultou em um banco de 1600 poços selecionados, dentre os quais cerca de 500 foram perfurados com o acompanhamento do DAEE, contendo as informações mais completas e confiáveis. Neste banco de dados existem, também, poços construídos pela Petróleo Brasileiro S/A – Petrobrás, pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, pelo Instituto Geológico – IG e pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). O banco, em forma digital, conta também com mais cerca de 1500 poços correspondentes a poços selecionados exclusivamente para a Região Metropolitana de São Paulo.

O princípio metodológico básico que norteia a elaboração da Carta Hidrogeológica consiste no que se poderia chamar de “representação dinâmica” dos parâmetros, ou a geohidrodinâmica proposta por Margat (1975), de modo que, em lugar de informações geológicas, piezométricas e de poços, por exemplo, simplesmente justapostas, os sistemas aquíferos deveriam ser representados segundo o seu funcionamento hidráulico (áreas de recarga e descarga, condições de fluxo, dentre outros), de forma a servir para a construção de modelos de simulação.

Assim, o potencial explorável, e.g., pode ser representado pelo *Zoneamento da vazão explorável* para os aquíferos sedimentares e *gráficos de vazão provável* para os aquíferos cristalinos.

Rocha *et al.* (1981), a partir de 130 poços selecionados, elaboraram um Mapa do Zoneamento da Vazão Explorável do Aquífero Bauru, utilizando o método descrito a seguir.

A vazão teórica (Q) possível de ser extraída por poço é dada pela equação :

$$Q = \frac{0,375H_o \cdot 4\pi T}{\ln(2,25 \cdot Tt / r^2 S)} \quad \text{onde,}$$

Q = vazão (m<sup>3</sup>/h)

0,375H<sub>o</sub> = rebaixamento corrigido para as condições de aquífero livre (m);

H<sub>o</sub> = espessura saturada do aquífero (m);

T = coeficiente de transmissividade (m<sup>2</sup>/h)

S = coeficiente de armazenamento (adimensional);

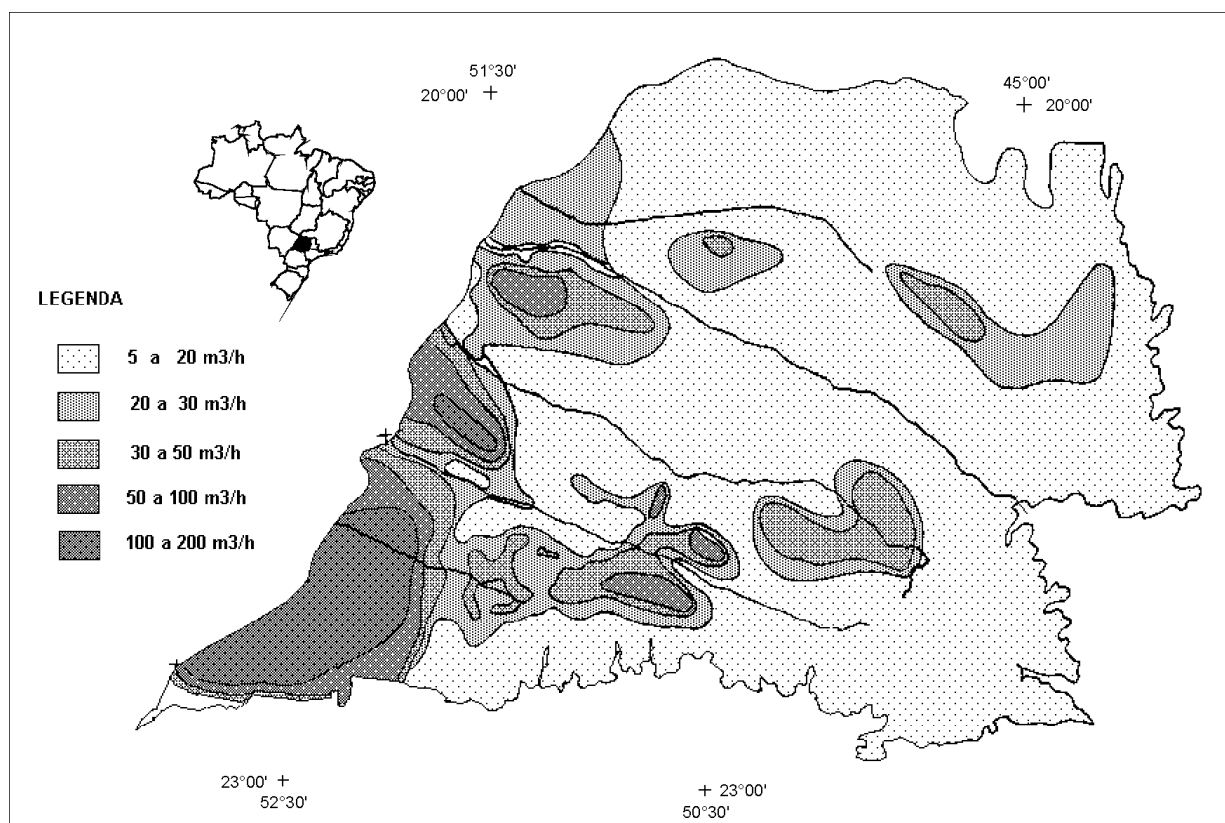
r = raio do poço (m);

t = tempo de bombeamento, fixado em 20 anos (17500 h).

Para a aplicação da equação foram adotadas, naquele estudo, as seguintes hipóteses simplificadoras :

1. O aquífero é predominantemente livre e a circulação da água subterrânea obedece aos requisitos da Lei de Darcy; e
2. O rebaixamento no poço, produzido pelo bombeamento é igual à metade da espessura saturada do pacote sedimentar.

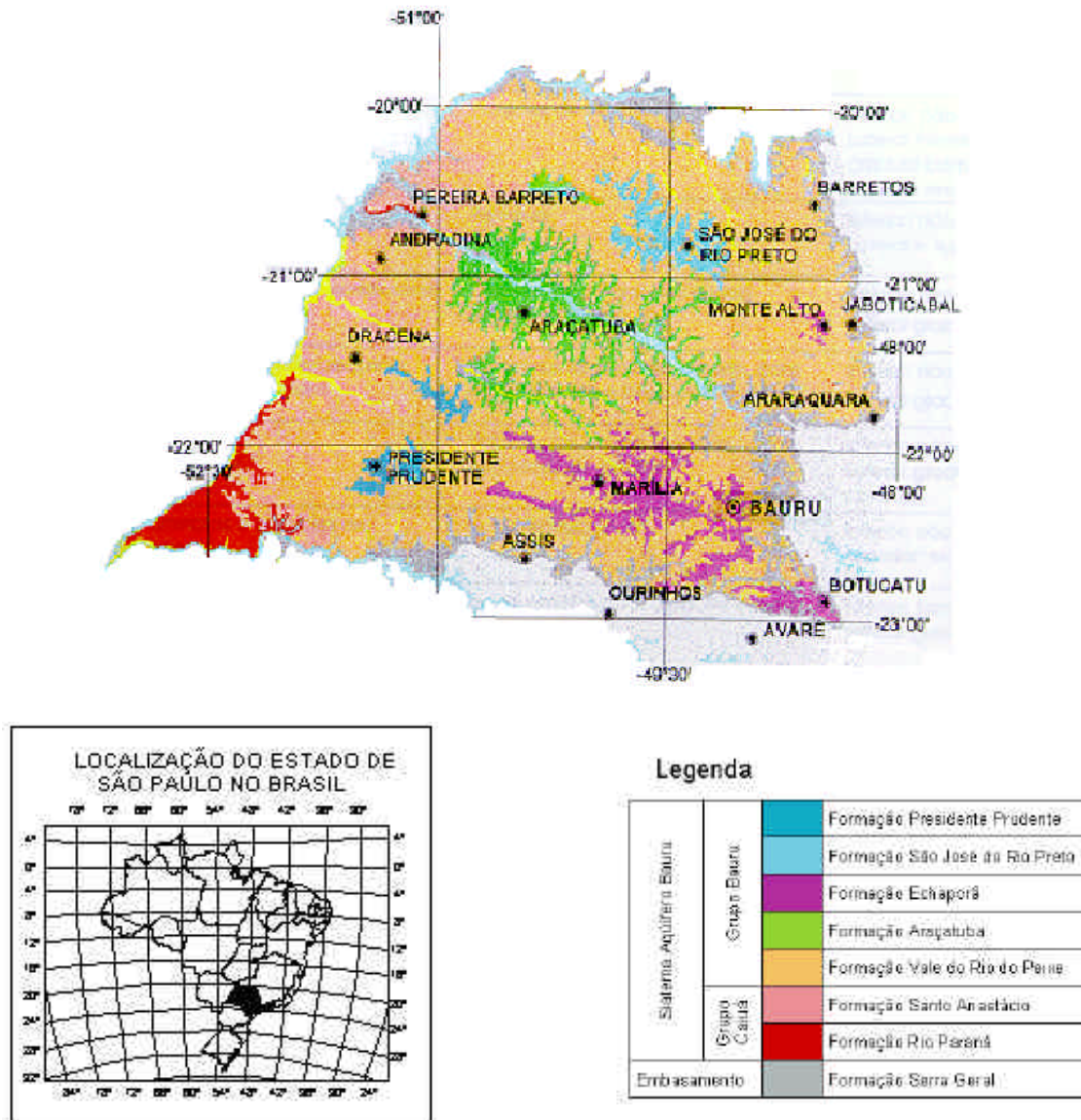
Com os valores das vazões teóricas obtidas através da equação acima foi elaborado o mapa do zoneamento das vazões exploráveis (figura1), utilizando-se como pontos de controle os valores de vazões obtidas em testes de bombeamento de longa duração.



**Figura 1-** Zoneamento do Potencial explorável por poços, em m<sup>3</sup>/h, no sistema aquífero Bauru (Fonte Rocha *et. al.* 1981).

### 3 - RESULTADOS PARCIAIS

O Sistema Aquífero Bauru é formado pela seqüência sedimentar correspondente à Bacia Bauru e que na concepção de Fernandes (1998) compreende uma seqüência única (com rochas vulcânicas subordinadas) constituída por depósitos continentais essencialmente arenosos. Segundo o autor a seqüência é subdividida em dois grupos cronocorrelatos, Caiuá e Bauru (Figura 2), representativos de um mesmo ambiente, sob clima quente, semi-árido nas bordas e desértico para o interior da bacia. O Grupo Caiuá, em São Paulo, localiza-se no extremo oeste, junto à calha do rio Paraná e compreende os depósitos arenosos de *sand sea*, e de lençóis de areia e extradunas. O Grupo Bauru, ocorre em toda a porção oriental da área em questão e compreende os depósitos arenosos de sistema fluvial entrelaçado com lagos subordinados, e os leques aluviais rudáceos marginais da Formação Marília. As idades situam-se no intervalo Santoniano-Mastrichtiano.

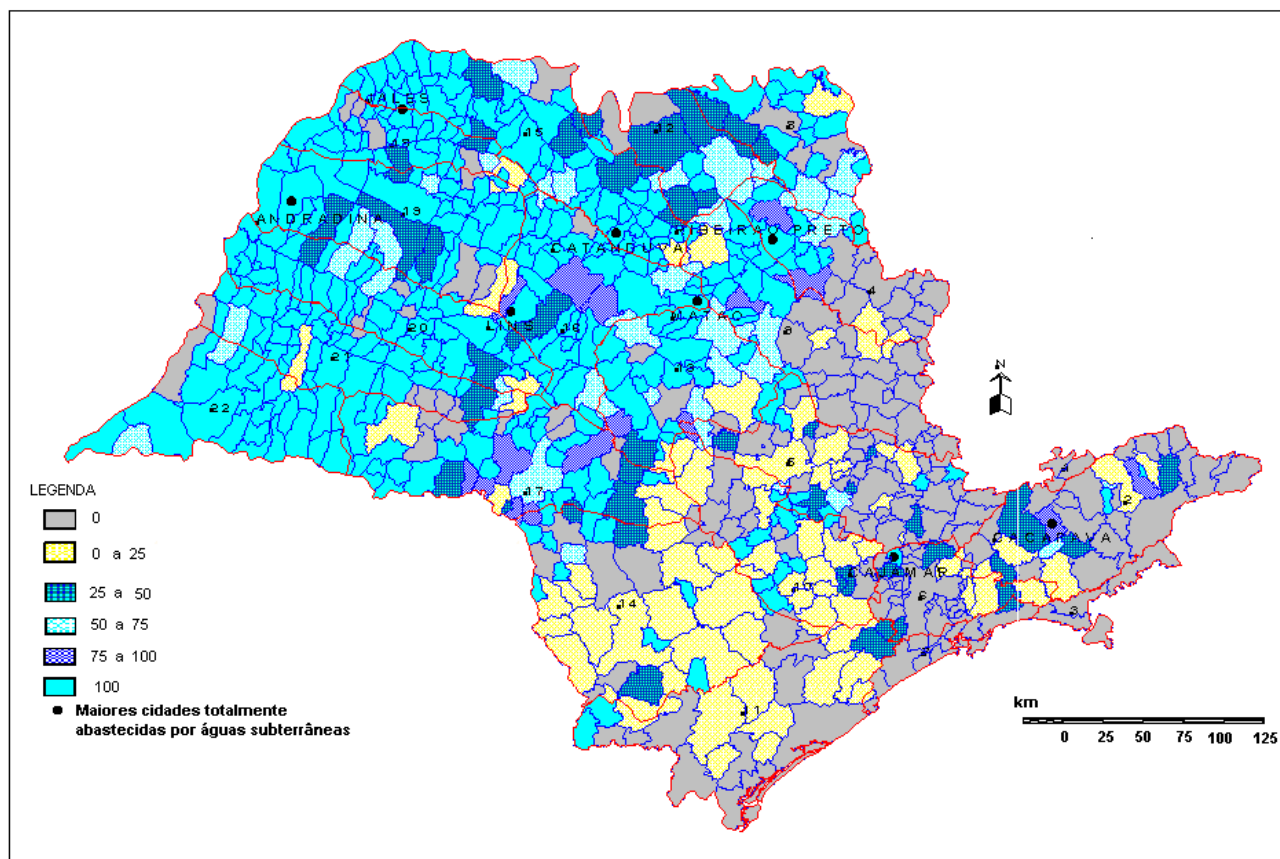


**Figura 2:** Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo: Unidades Geológicas  
 Fonte: adaptado de Fernandes, 1998

O Sistema Aquífero Bauru estende-se por uma área de 100.000 km<sup>2</sup> no Estado de São Paulo (a extensão total na Bacia do Paraná corresponde a 370.000 km<sup>2</sup>) e, com espessuras médias em torno de 100-150 metros, forma um dos mais importantes aquíferos em São Paulo, quando se considera o enorme aproveitamento de suas águas subterrâneas no interior paulista. Sua reserva explotável é estimada em 130 m<sup>3</sup>/s e deve contribuir com, pelo menos, 30% da demanda total, cerca de 20 m<sup>3</sup>/s, de água subterrânea (CRH/CORHI, no prelo), utilizada no abastecimento público de pequenas e médias cidades. Com efeito, no mapa da figura 3, elaborado pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo-CETESB, em 1997, verifica-se que a maioria dos municípios que se abastecem parcial ou totalmente através de águas



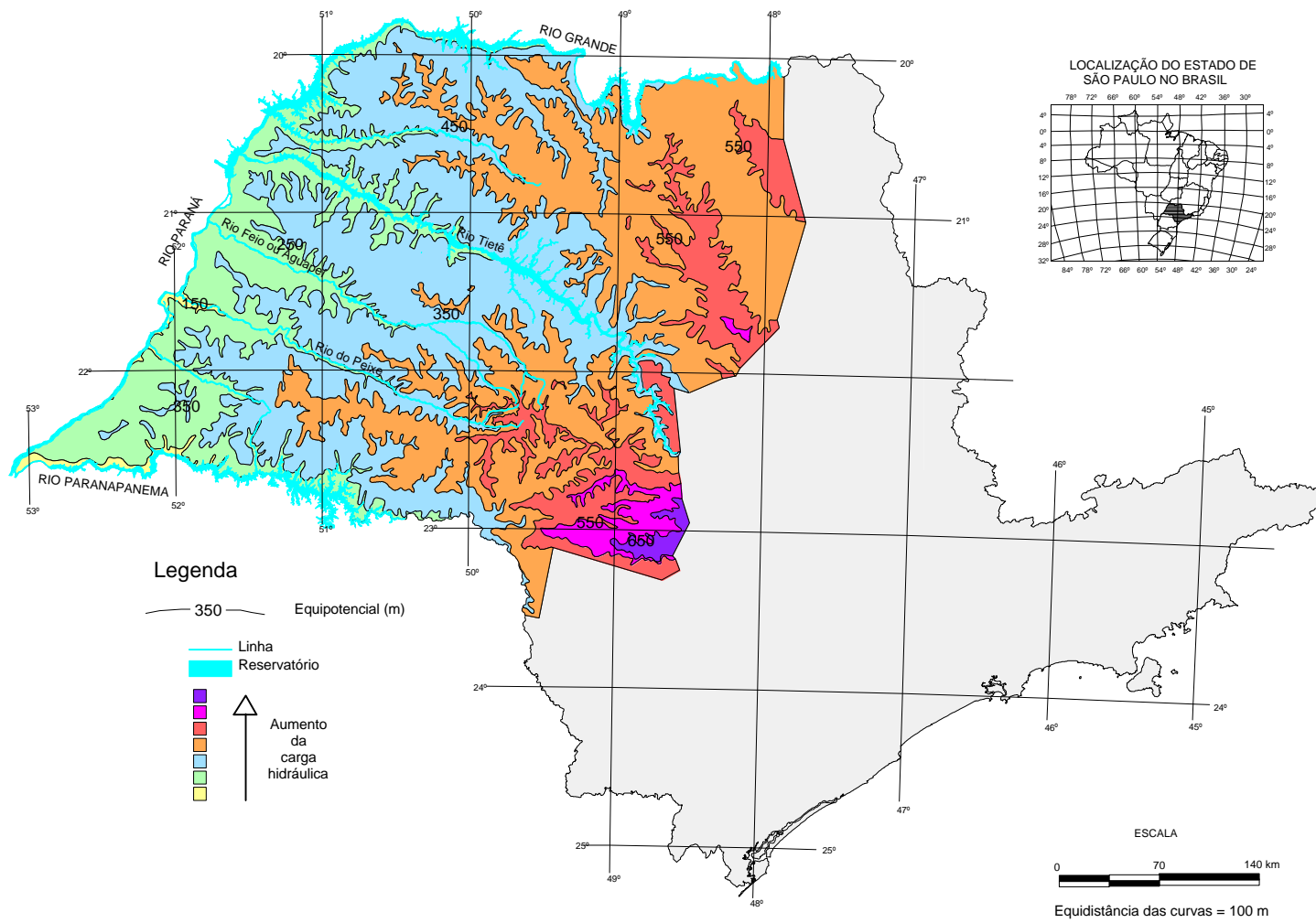
subterrâneas, situa-se na área de ocorrência do aquífero Bauru. Convém apenas lembrar que, uma parcela daquela demanda é completada pelas extrações de águas subterrâneas dos aquíferos Serra Geral (basaltos), em sua área aflorante e o Guarani confinado.



**Figura 3** - Porcentagem de uso das águas subterrâneas no abastecimento público.  
(Fonte: CETESB 1997, modificado)

### 3.1 - SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA.

O Mapa da Superfície Potenciométrica do Sistema Aquífero Bauru foi traçado na escala 1:250.000 a partir de dados do nível estático relativos aos mais de 800 poços disponíveis, com apoio de cartas planialtimétricas na mesma escala. Reduzido para a escala 1:500.000 teve, para facilitar a apresentação neste trabalho, a simplificação das isolinhas, adotando-se o distanciamento entre elas de 100 metros (Figura 4).



**Figura 4 – Mapa da Superfície Potenciométrica do Sistema Aquífero Bauru.**



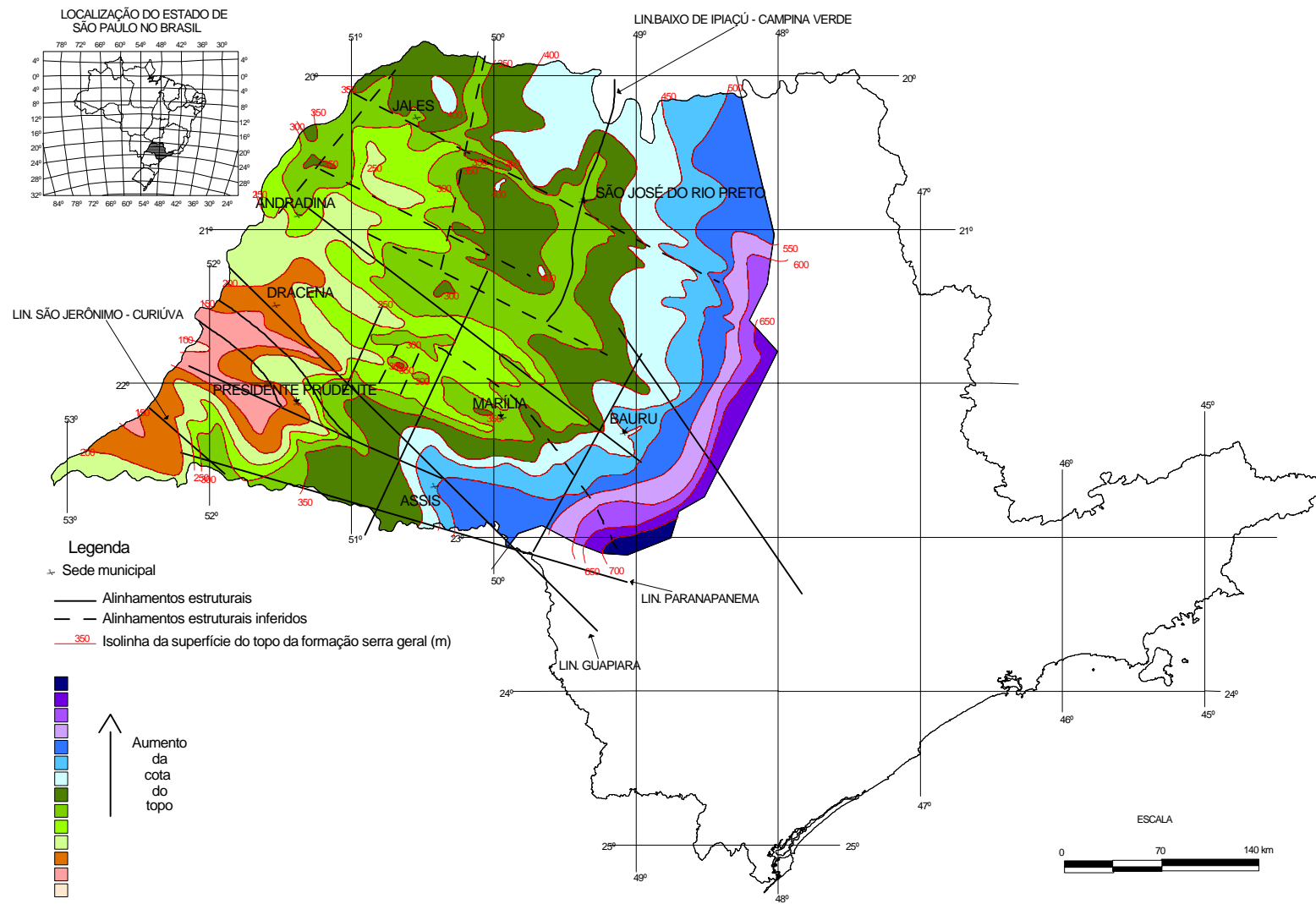
O padrão observado para as equipotenciais mostra comportamento típico de aquíferos livres, com clara concordância entre a morfologia do relevo desenvolvido nos terrenos dos grupos Bauru e Caiuá, isto é : as isolinhas, em geral, têm alongamentos paralelos ao canal principal, o rio Tietê, e as direções de fluxo desenvolvem-se do aquífero para os rios, não sendo possível, ainda, precisar as velocidades dos fluxos no mapa. A distribuição das equipotenciais mostra que as regiões topograficamente mais elevadas atuam como área de recarga e as drenagens como áreas de descarga.

Os divisores de águas superficiais coincidem, grosso modo com os divisores de águas subterrâneas, conforme já fora demonstrado pelo DAEE (1979). Este padrão de drenagem pode ser classificado como *conseqüente* segundo Suguio & Bigarella (1979), onde a declividade do terreno coincide com o mergulho regional das camadas geológicas.

### **3.2 - CONTORNO ESTRUTURAL DO TOPO DA FORMAÇÃO SERRA GERAL (BASE DO BAURU).**

Originalmente, o Mapa da Superfície do Topo da Formação Serra Geral foi construído na escala 1:250.000 a partir das cotas obtidas em mais de 500 poços tubulares profundos, apoiados em mapas geológicos e topográficos. Em seguida foi ajustado, simplificado e reduzido para a escala 1:500.000 e, por fim, outra redução para 1:1.000.000, sem alterações.

Admite-se a ocorrência de compartimentações e basculamentos de blocos originados pela reativação de falhamentos profundos no transcorrer da Reativação Wealdeniana ou Evento Sul-Atlântico descrito por Zalán et al (1990) como *evento tectônico ocorrido entre o Neojurássico e o Eoceno, englobando todo o tectonismo, magmatismo, formação da bacia e sedimentação relacionados com a separação entre a América do Sul e a África*. Para melhor caracterizar as isolinhas da superfície do topo da Formação Serra Geral sob o ponto de vista estrutural foram traçadas as feições dos elementos estruturais correspondentes, sobre o mapa citado, com base, principalmente, em Ferreira *et al.* (1981), Fulfaro *et al.* (1982), Zalán *et al.* (1990) e França & Potter (1991), conforme pode ser verificado na Figura 5.



**FIGURA 5** –Mapa do Contorno Estrutural do Topo da Formação Serra Geral.

O resultado obtido mostra que existe justaposição de vários alinhamentos estruturais conhecidos, como Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, do Rio Tietê, às isolinhas de cota do topo da Formação Serra Geral. Observando, preliminarmente, o mapa, nota-se que na região de Presidente Prudente parece ter havido predominância de movimentos horizontais; já próximo a Araçatuba, Andradina e Fernandópolis, as feições resultantes sugerem ter havido basculamentos de blocos, por predominância de movimentações verticais. Isto, entretanto, deverá ser detalhado por meio de estudos específicos que fogem ao escopo deste trabalho. Pela bibliografia consultada, a superfície dos basaltos é praticamente plana, com mergulho relativamente suave para o centro da bacia. Os desníveis são pouco expressivos e os rejeitos verticais são da ordem de 50 a 100 metros (Zalán *et al* 1990; Fernandes 1998), provocados, certamente, pelos falhamentos mencionados.

Do ponto de vista da hidrogeologia, presume-se que as zonas de falhas de direção NE, não preenchidas por diques de diabásio, (Ferreira *et al*. 1981; Zalán *et al*. 1990) venham a constituir-se em zonas aquíferas mais favoráveis à exploração de águas subterrâneas que as de direção NW, preenchidas. De acordo com DAEE (1979), poços situados sobre os lineamentos fotogeológicos, apresentavam vazões específicas superiores aos situados fora deles. Segundo Celligoi e Duarte (1994) na região de Londrina (Paraná – Br), poços na Formação Serra Geral, situados nas proximidades de fraturas de direção E-W apresentam vazão e capacidade específica significativamente superiores às direções NW e NE. Mapeamentos hidrogeológicos em escalas maiores devem atentar para este detalhe.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os resultados parciais de caráter preliminar foram considerados bastante satisfatórios, visto permitir mostrar com clareza a concordância da superfície potenciométrica do sistema aquífero Bauru com a morfologia dos terrenos dos grupos Bauru e Caiuá e, por conseguinte a coincidência, grosso modo, entre os divisores de águas subterrâneas e os de águas superficiais. Da mesma forma permitiu verificar a justaposição dos alinhamentos estruturais à superfície do topo da formação Serra Geral e a provável correlação da produtividade dos poços segundo essas direções.

Assim, uma vez estabelecidos os limites de *contorno*, como o contato geológico, e a superfície da base do Aquífero Bauru, mais a superfície potenciométrica e os parâmetros hidrodinâmicos (T e S, revisados ou calculados a partir de novos testes de bombeamento), pretende-se elaborar uma versão mais atualizada do zoneamento das

vazões exploráveis, conforme o método já descrito, concluindo a etapa correspondente ao Sistema Aquífero Bauru, dentro do projeto.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de externar nossos sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Antônio R. Saad da Universidade de Guarulhos, Guarulhos (SP), pelas valiosas discussões referentes ao Mapa do Contorno Estrutural da Formação Serra Geral e ao Fís. Mário Otávio Costa do Laboratório de Cartografia Geotécnica do IPT, pela colaboração na confecção das figuras.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P.E. (1997). Hidrogeology of the Mercosul Aquifer System in the Paraná and Chaco Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget Aquifer System, USA. *Hidrogeology Journal* (1999) 7 : pags. 317-336
- CELLIGOI, A. & DUARTE, U. 1994. Conotação hidrogeológica dos lineamentos estruturais EW na região de Londrina – PR. *In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 8, Recife, 1994. *Anais* : 288-297.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. (1998). Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo. 1997/CETESB, São Paulo, 1998, 106 p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA-DAEE (1979). Estudo de águas subterrâneas, Regiões Administrativas 10 e 11, Presidente Prudente e Marília, 3v. São Paulo, 1979 (Atlas).
- FERNANDES, L.A. (1998). Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo. 1998. 215 (?) paginas.
- FERREIRA, F. J. F. (1982). Alinhamentos Estruturais Magnéticos da região centro-oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectônico. *In : Geologia da Bacia do Paraná. Reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos. Boletim Paulipetro*, Consórcio CESP-IPT. São Paulo. 1982
- FERREIRA, F. J. F. ; MORAES, R.A.V.; FERRARI, M.P.; VIANNA, R.B. (1981). Contribuição ao estudo do Alinhamento Estrutural de Guapiara. *In : SIMPOSIO*

- REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., Curitiba. 1991. Atas. Curitiba., SBG, v. 1 pg. 226-240.
- FRANÇA, A. B. & POTTER, P.E. (1991). Stratigraphy and reservoir potential of glacial deposits of the Itararé Group (Carboniferous-Permian) , Paraná Basin, Brazil. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin v. 75, n.º 1 (january 1991) p. 62-85, 18 figs., 3 tables.
- FULFARO, V.J.; SAAD, A.R., SANTOS,M.V.; VIANNA, R.B. (1982). Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências , v. 12.pags. 590-610.
- ROCHA, G R. et al (1981), Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do aquífero Bauru. in 1º Encontro de Geologia e Hidrogeologia. “O Grupo Bauru no Estado de São Paulo” São Paulo,. Publicação Especial ABAS/SBG. 1982, pags.37 a 55.
- SÃO PAULO. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. COMITÊ COORDENADOR DO PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do estado de São Paulo / Conselho Estadual de Recursos Hídricos , Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos, no prelo.
- STRUCKMEIER, WILHELM F & MARGAT, J. (1995). Hidrogeological maps : a guide and a standard legend. International Association of Hydrogeologists. - Hannover : Heise, 1995 ( International contributions to hydrogeology; vol. 17).
- SUGUIO, K. & BIGARELLA, J.J. (1979). Ambiente Fluvial. *In* : Ambientes de Sedimentação: Sua interpretação e importância. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná & Associação de Defesa e Educação Ambiental-ADEA, 1979, 183 pags.
- ZALÁN, P.V. ; CONCEIÇÃO,J.CJ.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T. (1990). Bacia do Paraná. In : Raja Gabaglia, G. P. & Milani, E.J. 1990. *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares..* PETROBRÁS. Rio de janeiro. P. 135 – 168.