

# GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA CIDADE DE BAURU - SP, FACE AS CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS ESPECIAIS DA REGIÃO.

Nariaqui Cavaguti \*  
Flávio de Paula e Silva \*\*

## RESUMO

A cidade de Bauru, na parte central do Estado de São Paulo, apresenta o maior desenvolvimento urbano da região. Entretanto, conta com uma única fonte de água superficial: o Rio Batalha, que atende a metade da necessidade já operando em sua capacidade máxima segura. Desta forma, o sistema público de abastecimento, vai buscar a outra metade nos aquíferos subterrâneos através de 28 poços tubulares que bombeiam água do Sistema Aquífero Botucatu.

A hidrogeologia local apresenta características especiais, conseqüente do tectonismo originado durante a Reativação Wealdoniana, responsável pela reativação de falhas pré-cambrianas, de direção preferencial NE e NW, formando mosaicos adernados estruturados em "horsts" e "grabens". Na região, estes efeitos se fizeram presentes como decorrência do levantamento do Alto de Piratininga à SW da cidade. Os reflexos desta tectônica causaram o soerguimento das rochas mesozóicas do Grupo São Bento, expondo-as à erosão pré-Bauru. Tal situação gerou variações notáveis de espessura no Sistema Aquífero Botucatu (Formações Pirambóia e Botucatu) e conseqüentemente, nos seus parâmetros hidráulicos, além de causar o desaparecimento das rochas basálticas em algumas partes da cidade. O trabalho mostra as características hidráulicas e hidrogeológicas e a conseqüente forma segura de gestão desses recursos.

## 1. INTRODUÇÃO

A cidade de Bauru, localizada na área central do Estado de São Paulo, foi a que apresentou maior desenvolvimento urbano em toda a região de acordo com o censo-91, contando atualmente com 260.380 habitantes (em 1980, a população era de 186.664 habitantes). E, no ano 2.000 deverá contar com 320.000 habitantes.

Em 1980, o sistema público de abastecimento de água, atendeu 92% da população, produzindo diariamente 45.816 m<sup>3</sup>. Deste total, 74% (33.798 m<sup>3</sup>) resultou da captação de água superficial representado pelo Rio Batalha e, os restantes 26%, de água subterrânea. Em 1991, o sistema de abastecimento público de água atendeu 95% da população, produzindo e distribuindo 65.973 m<sup>3</sup> diariamente. Deste total, 51,3% (33.836 m<sup>3</sup>) foi captado do Rio Batalha e os restantes 48,7% (32.137 m<sup>3</sup>) de aquíferos subterrâneos, através de 28 poços tubulares, que exploram o Sistema Aquífero Botucatu (Formações Pirambóia e Botucatu).

Considerando que o Rio Batalha se constitui na única fonte superficial pelo fato dos demais cursos de água da região serem de porte muito pequeno e estarem altamente poluídos e que, o Rio Batalha já está sendo operado em sua capacidade máxima segura (35.000 m<sup>3</sup>/dia), concluímos que no ano 2.000, para atender a demanda de 95% da população (estimada em 320.000 habitantes), o sistema de abastecimento público de água deverá produzir e distribuir diariamente 81.077 m<sup>3</sup>, dos quais 46.077 m<sup>3</sup> (56,8%) deverá resultar da exploração do Sistema Aquífero Botucatu. Se acrescentarmos a demanda de água das principais indústrias (que também extraem água do Sistema Botucatu), teremos necessidade de incrementar mais 13.170 m<sup>3</sup>/dia. E, finalmente, se considerarmos poços de particulares na área urbana e rural (poços pouco profundos que captam água do Grupo Bauru), a necessidade sofrerá outro incremento de 10.000 m<sup>3</sup>/dia, aproximadamente.

Desta forma, concluímos que, no ano 2.000, os aquíferos subterrâneos deverão suprir uma demanda de

\* Faculdade de Engenharia e Tecnologia da UNESP-Bauru

\*\* Instituto de Pesquisas Tecnológicas - I.P.T./SP.

69.247 m<sup>3</sup>/dia. Estes dados, aliados às características hidrogeológicas específicas da área, demonstram a importância de um planejamento rigoroso na gestão dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Bauru.

## 2. GEOLOGIA

### 2.1. GENERALIDADES

Geologicamente, a cidade de Bauru está assentada diretamente no Grupo Bauru, no flanco nordeste do "horst" de Piratininga, responsável pelo afloramento de rochas permianas da Formação Estrada Nova (Membro Terezina) na vizinha cidade de Piratininga.

### 2.2. ESTRATIGRAFIA

A coluna estratigráfica mesozóica da área compreende, da base para o topo: Formação Pirambóia, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e o Grupo Bauru (Formações Marília e Adamantina). Esta Província Hidrogeológica Mesozóica está limitada inferiormente pelo Membro Terezina de idade permiana.

#### 2.2.1. MEMBRO TEREZINA

O membro Terezina constitui-se no "embasamento impermeável" das formações mesozóicas sobrejacentes. É formada por uma seqüência de clásticos finos de tons esverdeados, arroxeados, acastanhados e acinzentados, representada por camadas de siltitos, argilitos e folhelhos, com frequente intercalações de camadas de calcários, às vezes oolíticos e de arenitos finos à muito finos, cinza esbranquiçados, evidenciando laminação "flaser", lenticular e ondulada.

Na área em estudo, ocorre somente em subsuperfície desde a cota 380 metros (no canto sudoeste) até a cota 10 metros (no canto oposto) (Figura 1), em distância inferior a 12Km.

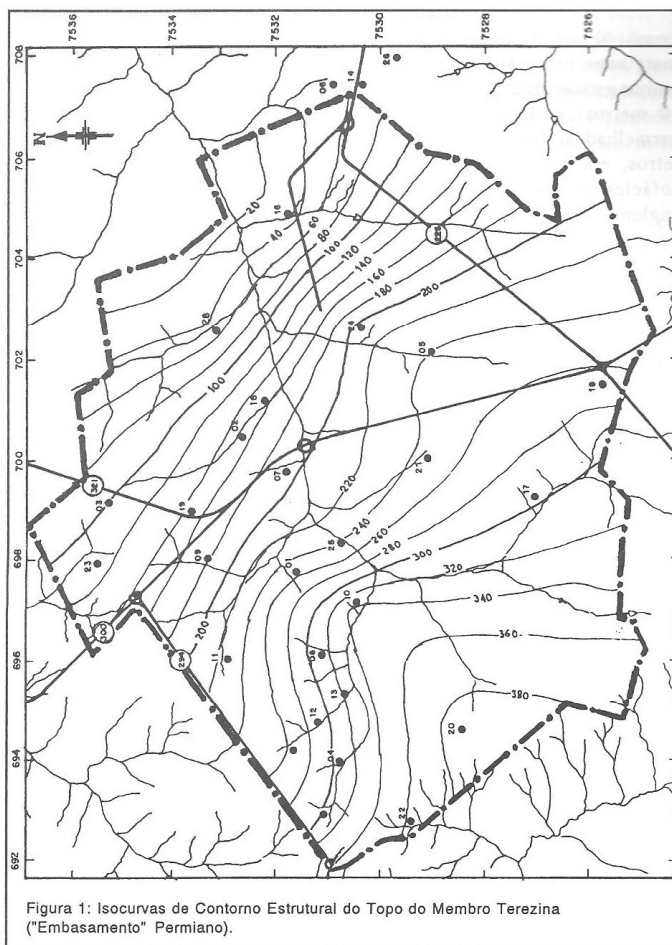


Figura 1: Isocurvas de Contorno Estrutural do Topo do Membro Terezina ("Embasamento" Permiano).

#### 2.2.2. FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

Esta formação aquífera, ocorre em subsuperfície em toda área, assentada diretamente no Membro Terezina. Sua espessura varia (na área urbana) de 60 a 200 metros, ficando adelgada no sentido sudoeste, onde o "embasamento" permiano encontra-se relativamente soerguido.

Constituída por uma seqüência predominantemente arenosa, com teor de argila crescente em direção à base e ocorrência local de arenitos grossos a conglomeráticos e presença de intercalações pouco espessas de lamitos avermelhados e esverdeados mais frequentes nas porções basais, permite, nos locais onde está integralmente preservado, a diferenciação de 4 fácies à saber (da base para o

topo): fácies de arenitos vermelhos argilosos (40 metros); fácies de arenitos amarelados (35 metros); fácies de arenitos grosseiros à conglomeráticos (50 metros) e, fácies de arenitos avermelhados, finos à grossos (75 metros, em média). Embutido na litofácies de arenitos grosseiros à conglomeráticos, estes autores, identificaram um “marco geofísico”, correspondente à uma camada de 2 metros de argilito, abaixo do qual, a espessura restante da Formação Pirambóia é de 70 a 80 metros. O reconhecimento das litofácies e do “marco” permite aos perfuradores de poços, uma **previsão segura da profundidade do “embasamento”** (Membro Terezina).

O contato superior pode ser com a formação Botucatu de maneira transicional (faixas B e C da figura 3) ou com o Grupo Bauru (Formação Marília) de modo discordante (faixa A da figura 3).

### 2.2.3. FORMAÇÃO BOTUCATU

Este excelente Aquífero é representado por um pacote de arenitos avermelhados finos à médios, bem selecionados, de origem eólica. Ocorre em subsuperfície na parte centro-nordeste (faixas B e C da figura 3). Apresenta espessura máxima constatada de 114 metros na parte nordeste da cidade, adelgçando-se para sudoeste até desaparecer completamente (faixa A da figura 3).

O contato superior pode ser abrupto com a Formação Serra Geral (faixa C) ou de maneira discordante com o Grupo Bauru (faixa B).

### 2.2.4. FORMAÇÃO SERRA GERAL

Esta formação é constituída por derrames de lavas basálticas, estando presente apenas na faixa C à nordeste da cidade, onde atinge espessura máxima superior a 200 metros, adelgçando-se para sudoeste, até seu desaparecimento total (Figuras 2 e 3). Na parte basal, apresenta interdigitamento com arenitos da Formação Botucatu. O contato superior ocorre com o Grupo Bauru, através de uma discordância.

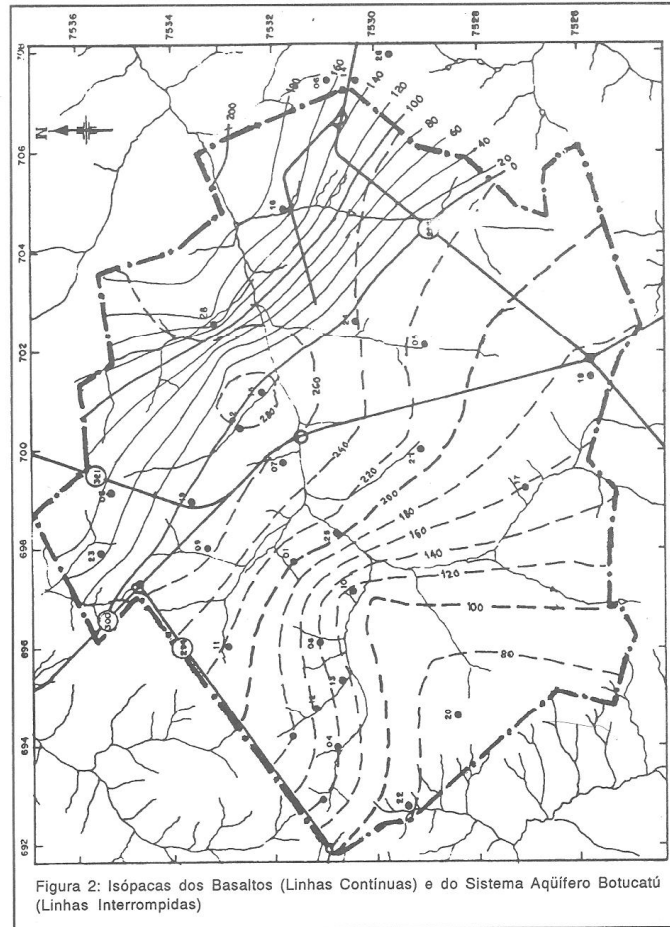


Figura 2: Isópacos dos Basaltos (Linhas Contínuas) e do Sistema Aquífero Botucatu (Linhas Interrompidas)

### 2.2.5. GRUPO BAURU

O Grupo Bauru, representado na área pelas formações Adamantina (inferior) e Marília (superior), recobre todas as formações mesozóicas já referidas, através de uma discordância erosiva e provavelmente angular. Apresenta uma seqüência basal lamítica, com cerca de 20 metros, de origem lacustre, encimada por arenitos finos a grossos, argilosos, avermelhados, com algumas intercalações de lamitos avermelhados. Apresenta espessura máxima nos pontos de cota topográfica mais elevada (espessura de quase 200 metros) e mínima nos pontos topograficamente mais baixos, valores em torno de 40 metros.

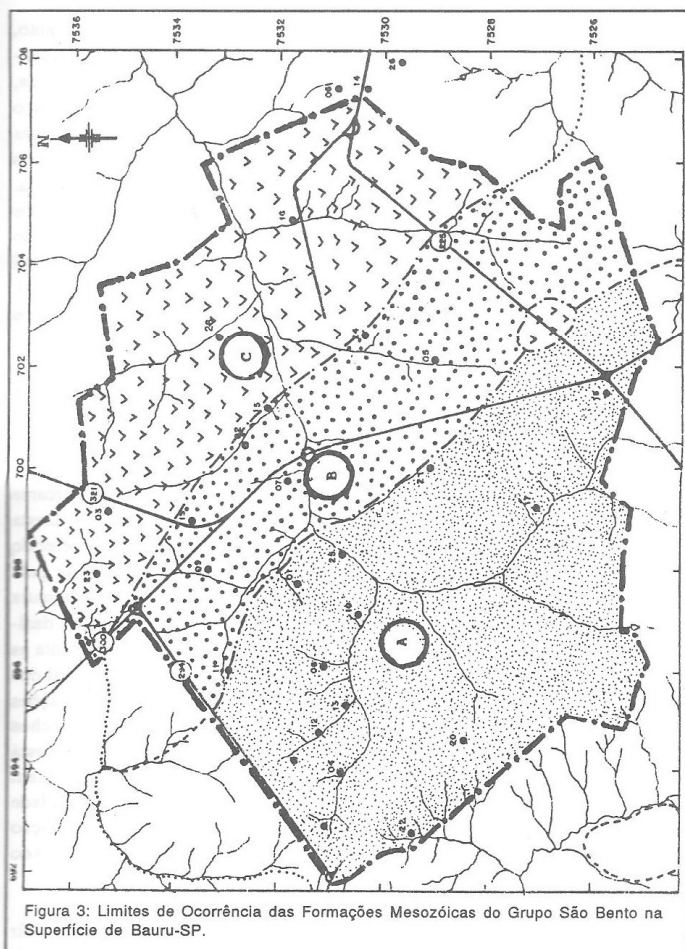


Figura 3: Limites de Ocorrência das Formações Mesozóicas do Grupo São Bento na Superfície de Bauru-SP.

### 2.3. TECTÔNICA E EVOLUÇÃO

A reativação Wealdoniana que atuou em toda Bacia do Paraná no mesozóico pré-Bauru, afetou de maneira marcante, toda área estudada, reativando falhas pré-cambrianas, gerando dois sistemas de falhas normais, com alto grau de mergulho e direções sudeste-noroeste e sudoeste-nordeste que “quebraram” o pré-Bauru num conjunto de “ladrilhos” de dimensões variadas, com adernamentos e rejeitos diferentes, formando mosaicos estruturados na forma de “horsts” e “grabens” próximo a Bauru, na cidade de Piratininga, à sudoeste de Bauru, elevou-se o Alto Estrutural de Piratininga. Esta tectônica pré-Bauru, soerguer o “embasamento” permiano (Membro Terezina) à cotas su-

periores a 380 metros na parte sudoeste, caindo gradativamente na direção nordeste até a cota 20 metros, numa distância inferior à 12Km. Conseqüentemente, as Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral também sofreram estes reflexos.

Posteriormente, ocorreu um período de intensa erosão em toda região, aplainando esta superfície irregular, gerando variações notáveis na espessura das Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, causando, até mesmo, o desaparecimento completo em alguns trechos, da Formação Botucatu e da Formação Serra Geral, como demonstram as figuras 2 e 3.

Sobre esta superfície aproximadamente regular, aconteceu a sedimentação do Grupo Bauru. Desta forma, a tectônica e evolução geológica da área, transferiu características hidrogeológicas especiais para o Sistema Aquífero Botucatu (Formações Pirambóia e Botucatu).

### 3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Os trabalhos pioneiros sobre hidrogeologia de Bauru foram executados pelo DAEE em 1976 através de uma sondagem experimental e por CAVAGUTI em 1981 através da tese de doutoramento intitulada “Geologia, Estruturas e Características Hidrogeológicas Mesozóicas da Região de Bauru - Estado de São Paulo”.

O **Grupo Bauru** com espessura média de 120 metros, representa um Aquífero de baixa qualidade pois apresenta coeficiente de permeabilidade muito variável de local para local, principalmente em função da textura e da cimentação. Seu valor médio é de 0,4 m/dia. A transmissibilidade média é da ordem de 50 m<sup>2</sup>/dia, variando desde 5 até 75 m<sup>2</sup>/dia. A capacidade específica oscila entre 0,1 e 2 e, somente num raro caso excepcional, poderá ser superior à 2.

O **Sistema Aquífero Botucatu**, constituído pelas Formações Pirambóia e Botucatu por serem estas conside-

radas como um meio hidráulico único, apresenta transmissividade bastante variável (desde 32 até 539 m<sup>2</sup>/dia). Embora pela própria definição deste parâmetro, fosse esperada uma relação linear com a espessura saturada do pacote sedimentar, tal correlação não mostrou consistência. Com relação às vazões específicas, estas apresentam uma certa correlação linear com a transmissividade, com valores desde 1 até 18 m<sup>3</sup>/h/m.

Um condicionante geológico positivo e bastante importante que influencia nos parâmetros hidráulicos dos poços e que é de difícil previsão em qualquer projeto de captação, é a ocorrência de extensos corpos arenosos, com espessura média superior a 20 metros, de alta permeabilidade, embutidos na seqüência Pirambóia, geneticamente correspondente às fácies de canais fluviais. Apresentam características de permoporosidade superiores às dos arenitos da Formação Botucatu. Este fato explica as altas vazões específicas obtidas em alguns poços que atravessaram apenas a Formação Pirambóia.

Conforme visto anteriormente, a atividade do tectonismo pré-Bauru seguida pela fase de intensa erosão dos blocos soerguidos para posterior sedimentação do Grupo Bauru, transmitiu características peculiares na área. Assim, em determinados trechos (faixa A da figura 3), o Sistema Aquífero Botucatu pode estar representado apenas pela Formação Pirambóia. Em outros (faixa B da figura 3), pelas Formações Pirambóia e Botucatu e, em outros ainda (faixa C da figura 3) por ambas formações, sobrepostas pela Formação Serra Geral, estando neste caso, totalmente preservado.

A espessura do Sistema Aquífero Botucatu é, portanto variável, sendo delgada na parte sudoeste e maior na parte nordeste (variando desde valores inferiores a 80 metros até valores superiores a 380 metros).

Na área de Bauru, não se pode aplicar o conceito de que as características hidráulicas da Formação Botucatu são melhores que às da Formação Pirambóia, em virtude da ocorrência de corpos arenosos de elevada permeabilidade embutidos na Formação Pirambóia.

#### 4. POTENCIALIDADE E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Como a cidade de Bauru é a que apresenta maior desenvolvimento urbano na região, a demanda de água para

abastecimento da população será cada vez maior. Entretanto, como possui uma única fonte de água superficial, representada pelo Rio Batalha e cuja água já está sendo captada, tratada e distribuída em sua capacidade máxima e segura, o conhecimento da potencialidade e a gestão correta e segura dos recursos hídricos subterrâneos torna-se cada vez mais importante. Esta importância torna-se mais evidente ainda, se observarmos que a perfuração indiscriminada de poços por particulares tem causado um aproveitamento não otimizado do Sistema Aquífero Botucatu, tendo rebaixado o nível piezométrico deste sistema, da cota 482 metros em 1980, segundo CAVAGUTI para a cota média de 454 metros em 1991.

Geologicamente, a cidade de Bauru está localizada numa área particularmente anômala, conseqüente dos folhamentos ocorridos no pré-Bauru pela atividade tectônica mesozóica da Reativação Waldeniana e intensa fase erosiva posterior (pré-Bauru) que condicionaram de maneira marcante o potencial hídrico do Sistema Aquífero Botucatu. Desta forma, em determinados trechos, como na faixa A, o referido sistema Aquífero está representado exclusivamente pela formação Pirambóia com variações grandes na espessura (soerguimento das formações pré-Bauru de maneira desigual e erosão da parte soerguida); em outros, apresenta as Formações Pirambóia e Botucatu, com ausência total dos basaltos da Formação Serra Geral (faixa B), com variações consideráveis de espessura. Finalmente, existem trechos (faixa C) em que o sistema Aquífero em questão está totalmente preservado, com a presença dos basaltos. Além disto, a presença de corpos arenosos de alta permeabilidade com espessuras médias de 20 a 30 metros na Formação Pirambóia afetam também as características hidrológicas do sistema.

Considerando todos estes aspectos, podemos dividir a área do trabalho em 3 faixas de potencial hídrico subterrâneo bem distinto para a adequada gestão destes recursos:

- **Faixa A** - caracterizada pela ocorrência exclusiva da Formação Pirambóia, está localizada na porção sudoeste. A Formação Pirambóia apresenta espessura mínima de 70 metros no extremo sudoeste, tornando-se gradativamente mais espessa em direção nordeste, até atingir o valor máximo de 230 metros. Apresenta coeficiente de permeabilidade médio de 2,5 m/dia, transmissividade variando de 175 a 425m<sup>2</sup>/dia e vazão específica de 4 a 10 m<sup>3</sup>/h/m. Para penetração total no Aquífero (atingir o topo do Membro Terezina), os poços perfurados nesta faixa terão profundidade de 200 a 330 metros (na cota 560 metros), com valor mínimo de 155 m na cota 525 e máximo de 400m na cota 630 metros. A vazão média destes poços será de

100 à 250 m<sup>3</sup>/h. A perfuração será em sedimentos podendo, ocasionalmente, ser encontrado algum diabásio em qualquer nível dentro da Formação Pirambóia.

- **Faixa B** - caracterizada pela ocorrência das Formações Pirambóia e Botucatu, com espessura variando entre 190 e 290 metros (crescimento na direção nordeste). Este sistema Aquífero apresenta coeficiente de permeabilidade médio de 2,5 m/dia, transmissividade variando de 425 a 625 m<sup>2</sup>/dia e vazão específica de 10 a 16 m<sup>3</sup>/h/m. Para penetração total no sistema, os poços deverão ter profundidade de 320 a 410 metros (na cota 560 metros) com valor mínimo de 260 m (na cota 500 metros) e máximo de 460 metros (na cota 610 metros). A vazão destes poços será 250 a 350 m<sup>3</sup>/h. A perfuração será em sedimentos, podendo ocasionalmente ser encontrado corpo intrusivo diabásico em qualquer nível do sistema.
- **Faixa C** - caracterizada pela ocorrência integral das Formações Pirambóia e Botucatu, sobreposta pelos basaltos da Formação Serra Geral. O sistema Aquífero apresenta o mesmo valor de permeabilidade, transmissividade superior a 675 m<sup>2</sup>/dia e vazão específica que pode superar a 16 m<sup>3</sup>/h/m. Para penetração total no sistema, os poços deverão ter profundidade de 360 a 540 m (na cota 560 metros) com limites oscilando entre 300m (na cota 500 metros) e 580 m (na cota 600 metros). A vazão média destes poços será superior à 350 m<sup>3</sup>/h. A perfuração cortará sedimentos e basaltos. A espessura dos basaltos variará entre 1 e 210 metros. Ocasionalmente poderão ser encontrados corpos diabásicos no sistema Aquífero cuja espessura oscilará entre 220 e 290 metros.

O sistema de abastecimento público de água deverá operar no Sistema Aquífero Botucatu, o mesmo acontecendo com as indústrias. Nos Distritos Industriais, é recomendável a formação de consórcio para a perfuração adequada de apenas 2 poços, suficiente para atender a demanda das indústrias instaladas.

Particulares e a área rural deverá captar água do Grupo Bauru que apresenta espessura média de 120 metros (limites de 10 a 190 metros), coeficiente de permeabilidade médio de 0,4 m/dia, transmissividade entre 5 e 75 m<sup>2</sup>/dia e vazão específica de 0,1 a 2 m<sup>3</sup>/h/m. A vazão média será inferior a 20 m<sup>3</sup>/h, sendo o nível freático médio encontrado na cota 530 metros.

Acreditamos que estas informações, aliadas às técni-

cas adequadas de perfuração, operação e manutenção dos poços, possibilitará a gestão otimizada dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Bauru - SP.

## BIBLIOGRAFIA

- CAVAGUTI, N. - 1981 - Geologia, Estruturas e Características Hidrogeológicas Mesozóicas da região de Bauru - Estado de São Paulo - USC, 169p., Bauru.
- FÚLGARO, V.J.; GAMA JR., E.G. & SOARES, P.C. - 1980 - Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. Relatório Paulipetro, RT-008/80.
- SILVA, F.P. & PASSERINI, R.J. - 1986 - O Emprego de Fluido de Perfuração Levemente Inibitivo em Poços de Água Subterrânea. 4º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, p. 343-352.
- SILVEIRA, E.L.; GALEMBECK, O. & MARIANO, I.B. - 1984 - Comparação de Resultados Hidrodinâmicos de Poços Perfurados com Fluido à Base de Bentonita e Polímeros Orgânicos. 3º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Anais 2, Fortaleza.