

ESTUDO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS JACARÉ-GUAÇU E JACARÉ-PEPIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO.

Urandi Moreno Pires Corrêa¹

Resumo: O Sistema Aqüífero Botucatu constitui-se no principal manancial subterrâneo da área, sendo formado pelos arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia. O aquífero está limitado em sua base pelo terço inferior da Formação Pirambóia e por formações de idade paleozóicas, consideradas impermeáveis.

O Aqüífero Botucatu encontra-se recoberto em quase todo o perímetro externo das bacias estudadas, e em algumas áreas isoladas no interior das referidas bacias, pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral e/ou pelos arenitos da Formação Adamantina (Grupo Bauru), que constituem o Aqüífero Bauru-Basaltos, de características hidráulicas inferiores ao Aqüífero Botucatu.

A ocorrência de um derrame de rochas basálticas, intercalado nos arenitos a montante das bacias estudadas, provocou a formação de um aquífero suspenso sobre o Aqüífero Botucatu, denominado neste estudo de Aqüífero dos Arenitos Intercalares

Palavras-chave: aquífero Botucatu, Bacia do Paraná.

1. INTRODUÇÃO

¹ Prominas Brasil Equipamentos Ltda., Av. Dr. Alderico Vieira Perdigão, no. 1601, CEP 13572-060, SP, Tel.(016)2753111, Fax.(016)2753110, e-mail prominas@linkway.com.br

A área objeto deste estudo localiza-se na porção central do Estado de São Paulo, entre os paralelos 21° 30' e 22° 31' de latitude sul e os meridianos 47°30' e 49°00' de longitude oeste (Figura 1), nas proximidades da borda oriental da Bacia Sedimentar do Paraná. (Figura 2).

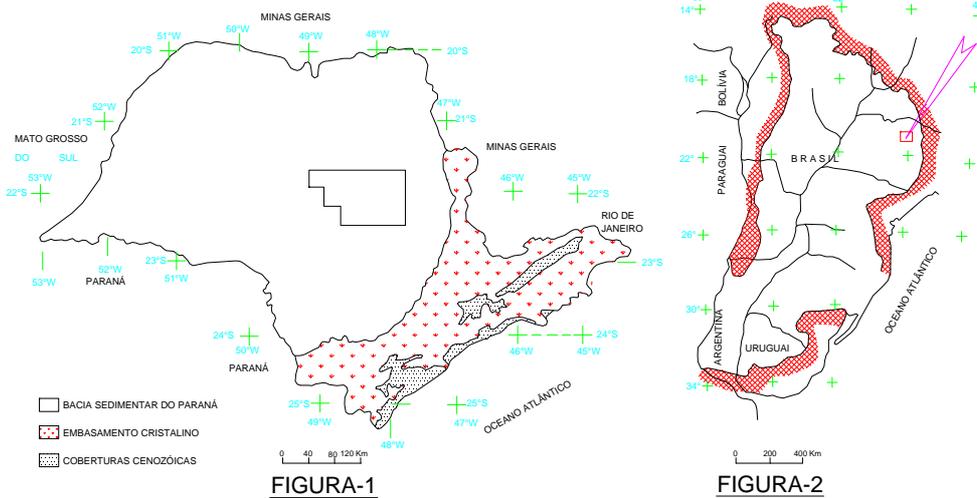


FIGURA 1. localização da área de estudo dentro da bacia sedimentar do Paraná (elaborado a partir de Melo, Stein & Almeida, 1982 e Gilboa, Melo & Mariano, 1976.

FIGURA 2. Bacia Sedimentar do Paraná.

As chuvas constituem a única forma de precipitação de águas meteóricas na área de domínio das bacias estudadas. Apresentam--se tais chuvas com maior variação na distribuição espacial que temporal, como indica o mapa de isoietas elaborados por MATOS (1987) (Figura 3). A partir da observação desse mapa pode-se notar uma distinção de valores entre as extremidades sudeste e noroeste das bacias, sendo a primeira mais chuvosa.

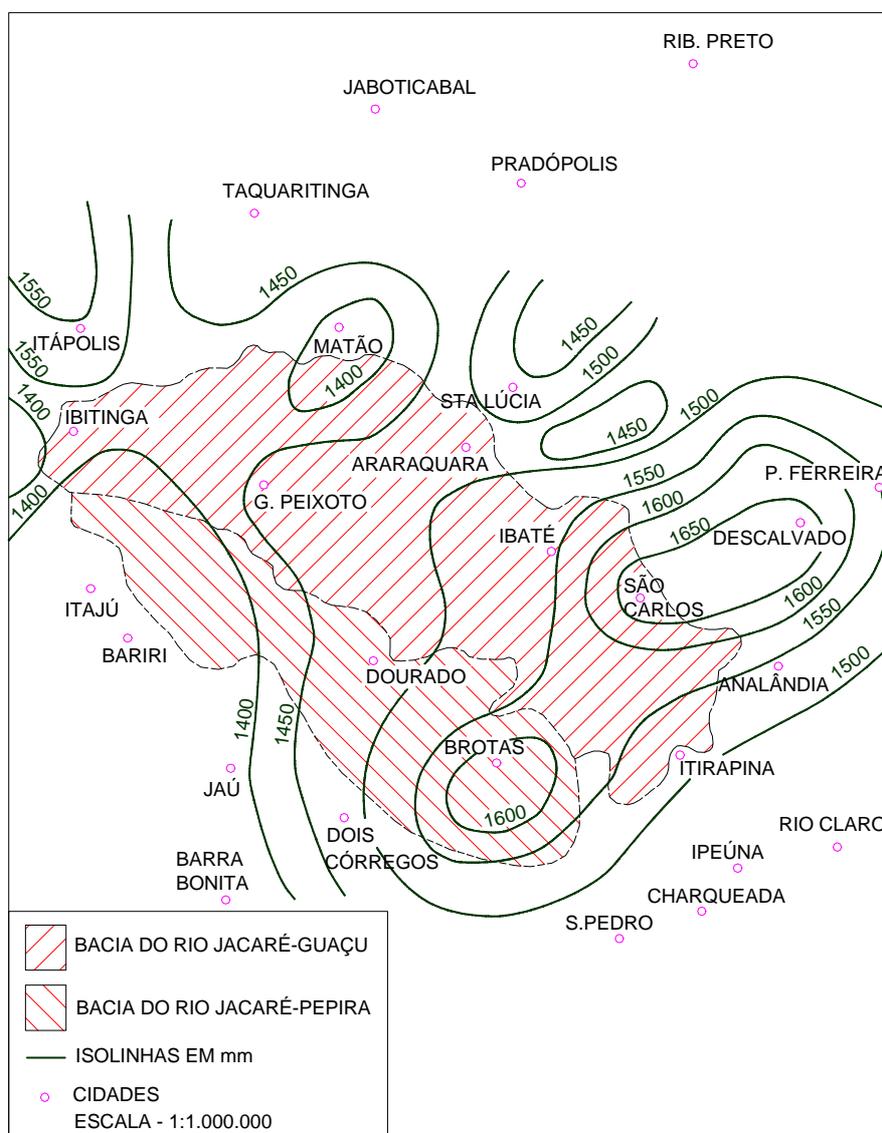


FIGURA. 3 Mapa de Isoietas (mm) das Bacias Hidrográficas dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, período de 1975 a 1984 (Matos, 1987).

A maior parte da superfície das bacias é ocupada por solos que podem ser classificados pedologicamente como arenosos, resultantes da ação das forças do intemperismo contra os arenitos da Formação Botucatu e Bauru, e que apresentam porosidade elevada. A cobertura vegetal original da área (cerrado) é indicativa das altas profundidades e do caráter arenoso-quartzoso dos solos.

Esses fatos demonstram que as condições de infiltração das águas pluviais são boas, garantindo um bom aproveitamento para recarga dos aquíferos existentes na área.

2. HIDROGEOLOGIA

Na área estudada, destacam-se três unidades aquíferas de ocorrência regional, a saber:

- **Aquífero Botucatu**: representado pelos arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia, constitui-se de uma unidade aquífera de porosidade primária intersticial, predominando condições livres na maior parte da área; condições confinadas e semi-confinadas ocorrem nas porções limítrofes das bacias estudadas. Desse aquífero é aproveitada a maior parte da água subterrânea produzida na região.

A ocorrência de um derrame de rochas basálticas, intercalado nos arenitos a montante das bacias estudadas, provocou a formação de um aquífero suspenso sobre o Aquífero Botucatu, denominado de **Aquífero dos Arenitos Intercalares**.

- **Aquífero Serra Geral**: sobreposto ao anterior e intermediário na seqüência, encontra-se representado pelos basaltos da Formação Serra Geral; unidade aquífera constituída por camadas com porosidade predominantemente secundária (por fraturamento), apresentando-se litologicamente homogênea e hidraulicamente anisotrópica, com circulação em meio fraturado; é um aquífero em condições livres em toda a área estudada;

- **Aquífero Bauru**: representado pela Formação Adamantina, constituindo-se no aquífero superior da seqüência, formado por camadas de porosidade primária intersticial na qual ocorrem condições livres.

O comportamento hidrológico dos aquíferos existentes está condicionado à existência de uma estrutura geológica na área. Segundo SOARES (1974 e 1978, apud. IPT, 1981) o **Alto Estrutural do rio Jacaré-Guaçu e do rio Jacaré-Pepira**, tendo, porém, mais ligado a si o primeiro, é um anticlinal com eixo mergulhado no sentido N50W, representada pelo alongamento da faixa de afloramento das unidades mesozóicas. Determina no mapa geológico(Mapa 1), a anomalia da faixa de afloramento mais proeminente na área estudada: a grande penetração da faixa de afloramento dos arenitos Pirambóia e Botucatu para NW, de Rio Claro em direção a Ibitinga. A Formação Pirambóia tem sua espessura reduzida de 270 m na área de São Pedro, para 120 m em Itirapina. Pouca espessura do conjunto de derrames e freqüentes contatos diretos da Formação Botucatu com o Grupo Bauru são vistos na face norte da serra de Itaquerí, Brotas e Bocaina, e na face sul da serra de São Carlos, na serra de Dourado, etc., estando associados com este arqueamento. A Figura 4 ilustra o arqueamento regional

gerado como conseqüência da formação desse alto estrutural, e o conseqüente trabalho erosivo dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira.

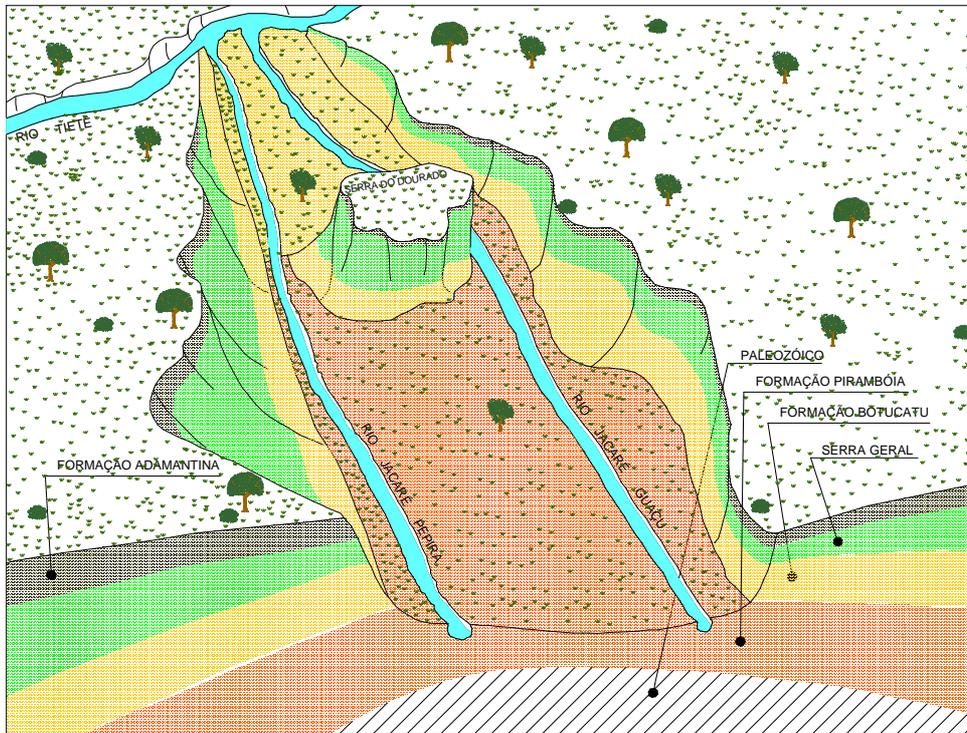


FIGURA 4. Modelo de arqueamento regional dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira.

3. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DO AQÜÍFERO BOTUCATU NAS BACIAS DOS RIOS JACARÉ-GUAÇU E JACARÉ-PEPIRA

De acordo aos mapas de isópacas e de contorno estrutural das formações Botucatu e Pirambóia (Mapas 2, 3, 4 e 5), e ao mapa piezométrico do Aqüífero Botucatu (Mapa 6), o aqüífero se apresenta como uma camada de pequeno mergulho SE-NW, com espessuras saturadas, variando de 150 a 250 m. Admitindo-se um valor estimativo de 50 m, que corresponderia à porção inferior da Formação Pirambóia, considerada como um aquitardo na bibliografia consultada, a espessura saturada do aqüífero se reduziria a 100-200 m. No caso dos arenitos intercalares (Mapas 4, 5 e 7) existentes a montante de ambas as bacias dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, e que constituem um aqüífero local, as espessuras saturadas variam entre 50 a 100 m, atingindo valores extremos de 150 m a NE de São Carlos, onde se encontram hidraulicamente confinados e totalmente saturados.

As rochas sedimentares que constituem o Aqüífero Botucatu abrangem toda a área das bacias estudadas (7.270 km²), estando parcialmente cobertas por derrames basálticos em seus limites. Os arenitos intercalares, ocorrem em uma área limitada das bacias abrangendo uma superfície de aproximadamente 900 km².

3.1. CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS

3.1.1. CAPACIDADE ESPECÍFICA(Q/S)

Dos 218 poços do Aqüífero Botucatu cadastrados na área de estudo, 128 deles (59%) possuem dados de capacidade específica. A Figura 5 apresenta o histograma de freqüência dos valores de vazão específica.

Como se pode notar, os valores abrangem uma amplitude bastante grande, de 0,04 até 15,22 m³/h/m, com o desvio padrão de 2,38 igualando o valor da média. A Figura 5 permite verificar ainda, somando-se a porcentagem relativa de cada intervalo de freqüência, que 72,4% dos dados de capacidade específica são inferiores a 3 m³/h/m, e que 58,3% desses dados são inferiores a 2 m³/h/m.

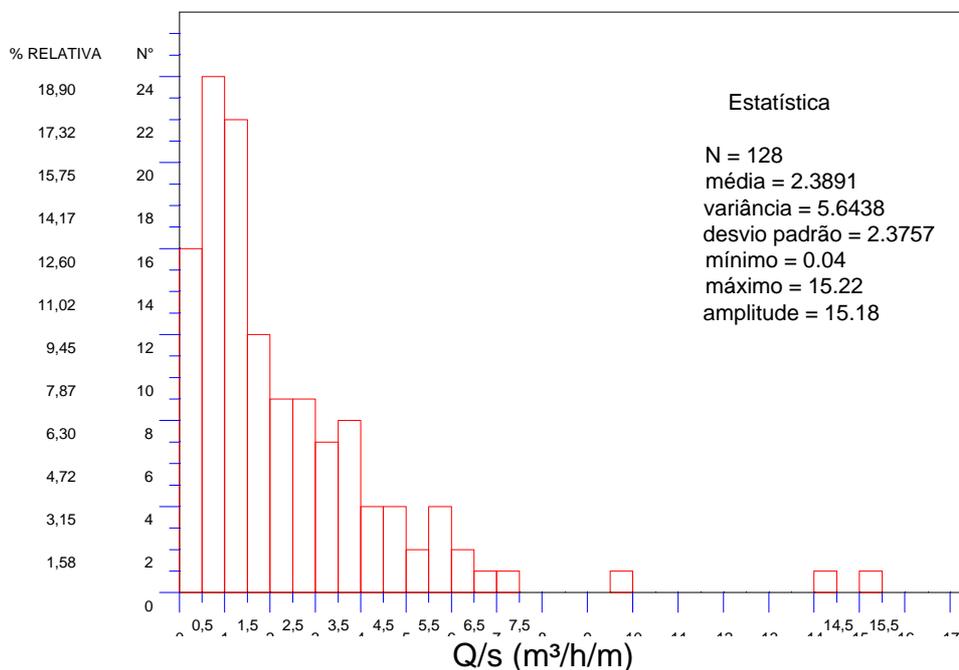


FIGURA 5. Histograma de freqüência dos valores de capacidades específicas do aqüífero Botucatu.

O comportamento espacial dos valores de capacidade específica é apresentado no Mapa 8. As isolinhas revelam uma área com valores bastante elevados de capacidade específica, entre São Carlos e Ibaté, indicando um possível aumento local dos valores de

transmissividade do aquífero, devido a um provável espessamento local do Aquífero. Como regra geral, a capacidade específica do Aquífero Botucatu aumenta do centro da área de estudo em direção aos seus limites externos, onde se torna hidráulicamente confinado sob os derrames basálticos superiores da Formação Serra Geral.

Os valores mais baixos de capacidade específica são verificados à jusante das bacias estudadas, entre os rios Jacaré--Pepira e Jacaré-Guaçu. Nesta área, devido ao efeito de arqueamento do Alto Estrutural do Jacaré-Guaçu, ocorre uma redução da espessura da Formação Botucatu, com conseqüentes efeitos no Aquífero Botucatu. Valores baixos de capacidade específica também são verificados na frente da cuesta externa (Analândia - Descalvado), próximos aos limites da Formação Pirambóia. Neste setor aflora o terço inferior desta Formação de caráter mais argiloso e propriedades hidráulicas inferiores ao restante do Aquífero Botucatu. Alguns poços perfurados nos altos das cuestas também apresentam valores reduzidos, tendo como causa provável um possível processo de silicificação local do Aquífero Botucatu.

Com relação aos arenitos intercalares, os valores de capacidade específica observados abrangem uma amplitude mais reduzida, de 0,07 a 6,0 m³/h/m, e o desvio padrão de 2,21, ultrapassando o valor da média. Dos dados apresentados, 69% são inferiores a 2,0 m³/h/m e 58,6% são inferiores a 1,5 m³/h/m, devido provavelmente à pequena espessura saturada. O Mapa 9 apresenta o comportamento espacial dos valores de capacidade específica para os arenitos, intercalares. Valores elevados são observados na região de São Carlos, onde ocorre a máxima espessura do aquífero, associada ao seu confinamento hidráulico sob os derrames de basaltos superiores. Valores baixos são observados próximos às cuestas onde ocorrem processos de silicificação dos arenitos e nas direções em que se verifica uma redução de espessura dos arenitos intercalares. O valor elevado da capacidade específica dos arenitos intercalares próximos a Itirapina, apesar da reduzida espessura desses sedimentos no local, decorre possivelmente de uma influência local do Aquífero Botucatu (Formação Pirambóia) subjacente que, formando um aquífero conjunto de maior espessura, provoca um aumento local dos valores de transmissividade

3.1.2. TRANSMISSIVIDADE

Com o objetivo de obter valores dos coeficientes de transmissividade (T) do Aquífero Botucatu foram interpretados registros de ensaios de recuperação de nível executados em poços perfurados por diversas empresas privadas de perfuração que

atuam na área. Para amenizar problemas decorrentes da escassez e má distribuição dos dados de transmissividade, tentativa foi feita no sentido de completar o quadro desses valores, estabelecendo-se a relação matemática entre o coeficiente de transmissividade (T) obtidos e a capacidade específica (Q/s), dos mesmos poços.

Obteve-se assim a relação entre T e Q/s para o Aqüífero Botucatu na área de estudo, expressa pela equação: $T = 10 + 28,125 \times Q/s$.

Esta relação foi então aplicada a outros 29 poços perfurados no Aqüífero Botucatu, com dados de Q/s confiáveis e características construtivas adequadas, sendo 25 poços totalmente penetrantes no aqüífero e 04 poços apenas parcialmente penetrantes, porém com valores dos coeficientes de transmissividade resultante da correlação próximos aos valores padrões da área. Estes novos dados de coeficientes de transmissividade obtidos por correlação, somados aos dados anteriores, obtidos em ensaios de recuperação, permitiram a construção de um histograma de freqüências, apresentado na Figura 6.

Nota-se que os valores abrangem uma grande amplitude, de 17,03 a 662,98 m²/dia, com média de 118,22 m²/dia, sendo elevado o desvio padrão de 113,54, quase ultrapassando o valor da média.

Os valores de transmissividade até 200m²/dia representam 89,4% dos dados disponíveis, e até 100m²/dia, 53,3%.

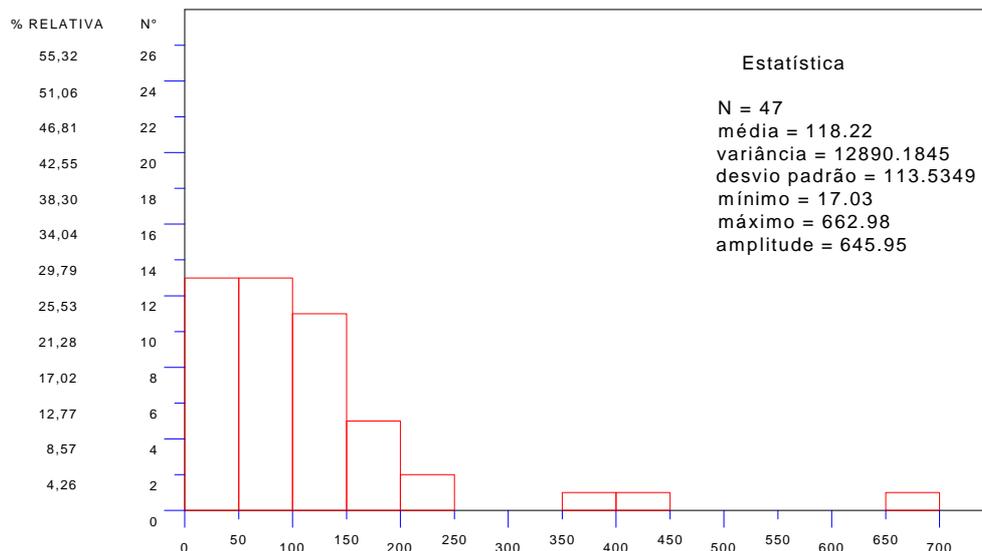


FIGURA 6. Histograma de freqüência dos valores dos coeficientes de transmissividade (T) obtidos através de ensaios de recuperação e calculados através da relação T x Q/s.

O Mapa 10 apresenta o comportamento espacial dos valores de transmissividade. Os maiores valores dos coeficientes de transmissividade, acima de 100 m²/dia são

observados nos limites da área estudada, onde o aquífero se encontra hidráulicamente confinado. Na serra de São Carlos, entre esta cidade e Ibaté, além do confinamento, ocorre também um aumento de espessura do aquífero que proporciona um forte aumento de sua transmissividade. No restante, a transmissividade diminui no centro da área de estudo, nas proximidades das cuestas e na frente da cuesta externa, próximo a Analândia-Descalvado, de maneira análoga aos valores de capacidade específica, e pelas mesmas razões já expostas ao tratar-se das características e comportamento destes últimos.

Soma-se a estas razões também, o fato de que nessas áreas, o aquífero encontra-se hidráulicamente livre, o que lhe confere valores de transmissividade mais reduzidos.

No tocante aos arenitos intercalares, somente dois valores de transmissividade puderam ser obtidos por meio de ensaios de bombeamento: 123,78 e 128,00 m²/dia. Assim sendo, nenhuma análise mais pormenorizada deste aquífero local, quanto à sua transmissividade, pôde ser realizado neste estudo.

3.2.ÁREAS DE RECARGA E ESCOAMENTO NATURAL DO AQUÍFERO

Observando-se o setor leste do mapa piezométrico (Mapa 6) podem-se identificar várias áreas preferenciais de recarga do Aquífero Botucatu. Caracteristicamente livre na área de estudo, o aquífero apresenta coincidências entre os divisores de águas subterrâneas e superficiais, a montante das bacias dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, evidenciando dessa maneira, a influência do relevo e da inclinação das camadas geológicas sobre a superfície piezométrica

Essas áreas preferenciais de recarga são a seguir, nominalmente identificadas e tem citadas suas cargas hidráulicas com relação ao nível do mar.

- Área de Itirapina à estação ferroviária de Campo Alegre(FEPASA-S.A.)- 725 m;
- Área entre a serra do Cuscuzeiro e São Carlos - 775 m;
- Área de São Carlos - 775 m;
- Área de Ibaté - 800 m;

No setor oeste do Mapa 6, uma limitada área de recarga se dispõe ao redor da cidade de Bocaina, como um núcleo de menor carga hidráulica (550 m), como consequência de um alto estrutural existente naquela área (Mapas 3 e 5).

Comparando-se o mapa piezométrico (Mapa 6) com o mapa plani-altimétrico da região, pode-se notar que as áreas preferenciais de recarga ocorrem em áreas de topografia elevada, tais como a serra de São Carlos, serra do Cuscuzeiro e serra de

Santana. Finalmente, pela observação conjunta do mapa piezométrico (Mapa 6) e do mapa de isoietas (Figura 3) pode-se notar a coincidência entre as áreas preferenciais de recarga e as zonas de maior pluviosidade anual. Assim, conclui-se que as áreas de recarga encontram-se definidas graças à ocorrência conjunta de uma alta taxa de alimentação do aquífero (pela pluviosidade elevada associada a solos muito permeáveis), aos gradientes topográficos existentes e à direção de inclinação das camadas geológicas.

3.3. DIREÇÕES DE FLUXO:

O mapa piezométrico elaborado (Mapa 6) revela uma tendência regional de fluxo subterrâneo de leste para oeste, em direção à calha do Rio Tietê, e secundariamente em direção aos vales dos principais rios (Rio Jacaré-Guaçu e rio Jacaré-Pepira). Esses vales, cuja influência sobre o aquífero diminui de leste para oeste, constituem-se em verdadeiros drenos que aduzem as águas subterrâneas até a calha do rio Tietê. Essa configuração faz então coincidir, os interflúvios com os divisores de águas subterrâneas, evidenciando-se, como já exposto, a influência do relevo sobre o padrão regional de fluxo subterrâneo. Para oeste da área de estudo, os escoamentos se fazem quase que unicamente para a calha do rio Tietê. A ausência de vales importantes inibe o surgimento de divisores nítidos das águas subterrâneas.

A pequena área de recarga existente em Bocaina, por sua vez, divide em dois o fluxo subterrâneo proveniente do vale do rio Jacaré-Pepira, dirigindo-o a SW e NW. Finalmente, pela observação do Mapa 6, entre Araraquara e Ibitinga, nota-se a ocorrência de um fluxo lateral subterrâneo de norte para sul, em direção ao vale do Rio Jacaré-Guaçu.

Como já exposto anteriormente, os arenitos intercalares apresentam-se como um aquífero suspenso em relação ao Aquífero Botucatu, este último constituído localmente pela Formação Pirambóia. Apresentam em sua área de ocorrência níveis piezométricos superiores (750 a 800 m) quando comparados aos níveis piezométricos do Aquífero Botucatu (650 a 750 m), o que também indicaria uma recarga vertical deste último através dos derrames de basaltos inferiores, ou diretamente quando estes não ocorrem.

Observando o mapa piezométrico (Mapa 7), nota-se uma nítida área de recarga a leste de São Carlos. Observa-se ainda neste mesmo mapa que as direções de fluxo também encontram-se condicionadas pela topografia, movendo-se das bordas da cuesta externa em direção ao interior das bacias. As isopiezas dos arenitos intercalares, em sua parte aflorante, encontram-se modeladas às bacias dos principais ribeirões, a saber,

ribeirão da Onça, Itaquerí e Feijão. As linhas de fluxo dirigem-se em direção a esses ribeirões comprovando sua alimentação pela águas subterrâneas que circulam nos arenitos intercalares.

Em sua área de confinamento hidráulico, sob a serra de São Carlos, as linhas de fluxo subterrâneo nos arenitos intercalares movem-se em direção às suas zonas de afloramento, nas bacias dos rios Jacaré-Guaçu, ao sul, e Mogi-Guaçu, a norte e nordeste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA F.F.M. - 1987 - "Síntese sobre a Tectônica da Bacia do Rio Paraná" - Conferência de abertura do 3o. Simp. Reg. de Geologia, Núcleo São Paulo da SBG - IPT. São Paulo (SP).
- ANDRADE, S.M.; SOARES, P.G. - 1971 - "Geologia de Semi-detelhe do Centro-Leste do Estado de São Paulo". Ponta Grossa, Petrobrás (Relatório Interno, DESUL, 407).
- CORRÊA, U. M. P. - 1995 – “ Estudo das Águas Subterrâneas das Bacias hidrográficas dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira no Estado de São Paulo” – Dissertação de Mestrado – EESC-USP.
- GILBOA, Y.; MELO, F.; MARIANO, I.B. - 1976 - "The Botucatu Aquifer of South America. Model of an Untapped Continental Aquifer". *Jornal of Hydrology*, New York, 29 (1): 165-179.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1981 - "Mapa Geológico do Estado de São Paulo". Escala 1:500.000, São Paulo.
- MATOS, I.S. - 1987 - "Aplicação de um Modelo de Balanço Hídrico na Bacia do Rio Jacaré-Guaçu". Dissertação de Mestrado, EESC-USP, 189p.
- MELO, M.S.; STEIN, D.P.; ALMEIDA, M.A. - 1982 - "Aspectos Litoestratigráficos do Grupo Bauru - 10. Encontro de Geologia e Hidrologia: O Grupo Bauru no Estado de São Paulo". São Paulo, SBG, Publicação no. 09-ABAS.
- REBOUÇAS, A.C. - 1976 - "Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Paraná". Tese de Livre Docência. Inst. Geoc. USP, São Paulo-SP.

