

HIDROGEOLOGIA DA REGIÃO DE LORENA - SP

Annkarin Aurélia Kimmelman e Silva¹ & João Carlos Simanke de Souza²

Resumo - O município de Lorena situa-se na porção leste do Estado de São Paulo e ocupa uma área de 416 km² abrangendo ao norte parte da Serra da Mantiqueira e ao sul a Serra do Mar, passando na parte central pelo vale do rio Paraíba do Sul. Visa dar divulgação a existência de mapas temáticos geológico e hidrogeológico em escala de 1:50.000 na região de Lorena, pretende contribuir para o conhecimento da hidrogeologia regional da Bacia Sedimentar de Taubaté na região estudada. Apresenta diretriz sobre as futuras perfurações de poços em função dos resultados e medições de parâmetros hidráulicos presentes na região de Lorena. O aquífero presente na área estudada é de alta potencialidade com capacidades específicas variando de 4 a 10 m³/h.m, medidos através de 21 poços operados pela Sabesp para abastecimento público. Foi constatado o rebaixamento de níveis - de 30 a 40 m - em área central do município de Lorena, decorrente do volume explorado ao longo dos últimos 25 anos, com tendência a aumentar com o uso.

Abstract - The municipality of Lorena, on East part of São Paulo State, with an area of 416 km², is surrounded by Mantiqueira Range at North and Mar Range to South. In the middle occurs the Paraíba river Valley. The generation of thematic maps from geology and hydrogeology with scale 1:50.000 will contribute to knowledge of regional hydrogeology from sedimentary Basin of Taubaté, with Tertiary age. Present guidelines about future drilling wells, considering database including hydrogeologic parameters at Lorena region. The interpretation and analysis from great number of technical and historical data will give a basement from decisions that take care the sustainable development from this important aquifer. The aquifer that occurs at this area has high potential with very good numbers of specific yield varying from 4 to 10 m³/h.m, measured from 21 wells operated by Sabesp for public supply. It was measured lowering from static level - from 30 to 40 m - in a central area from Lorena city, by overexploitation during the last 25 years, increasing a tendency caused by use.

¹ Professora Doutora – Pós Graduação USP – Rua Haddock Lobo, 1435 ap. 12 – cep 01414 - 003 SP - fone (11) 3081-1398

² Geólogo Dr.-Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Av.do Estado, 561 – cep 01107-900 SP - fone (11)3388 7362 - fax (11) 3388 7348 e-mail: jsimanke@sabesp.com.br

INTRODUÇÃO

Os corpos rochosos, mantos de alteração e camadas que possuem características que permitem uma estocagem por porosidade e condições de fluxo geradas pela permeabilidade, constituem os aquíferos presentes na área de estudo.

A necessidade de gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas é fruto de consenso nos meios acadêmicos que acabou sensibilizando os administradores e legisladores, refletindo-se na sociedade em geral, pois tanto a escassez quanto a abundância pedem uma atitude de respeito e consideração para um recurso natural finito e dotado de valor econômico. A gestão sustentável tornou-se tema atual devido ao aumento populacional urbano e a escassez de recursos hídricos, sejam superficiais ou subterrâneos, tanto do ponto de vista da quantidade quanto da qualidade. A área de estudo foi escolhida tendo como foco central o município de Lorena, considerado de porte médio, com população atual superior a 80.000 habitantes (IBGE, 2000), que possui um sistema de abastecimento público operado pela concessionária estadual – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.

A opção por água subterrânea adotada pelo município privilegia a economia do sistema com qualidade incomparável em relação à água superficial (o Rio Paraíba do Sul no trecho urbano está classificado como Classe IV dentro dos padrões da Resolução nº 20 do CONAMA). Tal classificação reflete o lançamento de efluentes e esgotos domésticos das muitas cidades existentes à montante, especialmente Guaratinguetá e Aparecida do Norte, muito próximas, com tempo de trânsito curto para sua diluição aliado à falta de tratamento sanitário adequado por parte das concessionárias municipais.

OBJETIVOS

A caracterização geológica e hidrogeológica em escala de 1:50.000, pretende contribuir localmente para o conhecimento da Bacia Sedimentar de Taubaté, em função dos resultados e medições de parâmetros hidráulicos dos poços presentes na região de Lorena – São Paulo.

A interpretação e análise de informações históricas foram utilizadas para o embasamento de decisões que assegurem o desenvolvimento sustentável do aquífero sedimentar presente na região, otimizando o uso racional dos recursos hídricos subterrâneos. Compila uma gama de informações hidrogeológicas importantes a serem consideradas na gestão integrada dos recursos superficiais e subterrâneos.

LOCALIZAÇÃO

O município de Lorena situa-se na porção leste do Estado de São Paulo e ocupa uma área de 416 km² abrangendo ao norte parte da Serra da Mantiqueira e ao sul a Serra do Mar, passando na parte central pelo vale do rio Paraíba do Sul. O foco da região estudada abrange parte da folha topográfica IBGE de Lorena (SF 23-Y-B-VI-2) e Campos de Cunha (SF 23-Z-A-IV-3).

HISTÓRICO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Desde sua fundação a Vila de Lorena só contava com bica de água para o abastecimento da população. A bica se localizava na Rua Paraíba (atual Com. Bráulio), perto da ponte do rio, despejando-se de uma altura de cerca de dois metros sobre a Paraíba (usava-se sempre o feminino) e, apesar da população ser muito pequena, registrava sempre congestionamento de escravos e outros moradores enchendo as vasilhas e sempre brigando pela sua vez. Em 1.828, a Câmara Municipal resolveu abrir, como em Taubaté, um rego de um metro de largura por meio metro de profundidade, trazendo a água das vizinhanças de Santa Lucrecia e percorrendo a que hoje é Avenida Osvaldo Aranha. Sem nenhuma cobertura e atravessando ruas e quintais, o rego criava problemas permanentes. Ora porque extravasava na época das chuvas, ora quase sumindo nas secas, além de reclamações contra as constantes sujeiras, até animais mortos que moradores irresponsáveis nele lançavam. Para melhorar a situação, o Cel. Castro Lima propôs, e a Câmara aprovou, a construção de um chafariz que seria localizado no Largo do Imperial, trazendo líquido canalizado. A obra ficaria em dois contos de réis, com o projeto, a captação e o encanamento; o trabalho de alvenaria chegou a ser iniciado, mas com a mudança do quadro político nunca se completou, ficando o chafariz seco e servindo de galhofa para a rapaziada, com aplausos dos adultos, pois se pode imaginar o permanente desconforto das famílias (Evangelista, 2001). O problema só foi resolvido definitivamente quando Arnolfo Azevedo, então em seu primeiro mandato como deputado estadual, acompanhou as negociações com o governo paulista, tendo a Câmara conseguido um empréstimo de cem contos de réis, fazendo a desapropriação das nascentes de um líquido excelente na fazenda Fortaleza, nas encostas da Serra da Mantiqueira, em funcionamento até hoje, por incrível que pareça. São os mananciais Fortaleza e Posses até hoje contribuindo para o conforto da população de Lorena. A inauguração ocorreu no início de 1898 - há mais de um século - com grande festa popular, porque o antigo rego fora fechado em 1884, 14 anos antes, condenado pela Comissão de Salubridade Pública. A SABESP assumiu o sistema municipal em 1975, que contava com 6 poços e as duas captações de água de serra mencionadas, ocasião em que a população urbana oscilava em cerca de 45.000 habitantes, metade da atual.

CLIMA

Na região o tipo climático dominante é do tipo tropical úmido (IPT,1993) com as variações naturais decorrentes das mudanças de relevo e incidência das chuvas. Os altos da Serra da Mantiqueira ao norte da área e a borda da Serra do mar, ao Sul, representada na parte mais oriental pela Serra da Bocaina, são os dois setores em que é maior a pluviosidade. Os valores de precipitação para a área serrana ultrapassam os 1.700 mm anuais e os valores no vale, onde está encaixado o Rio Paraíba do Sul apresentam valores em torno de 1.200 mm anuais.

O clima presente nesta sub-bacia é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 20,8 ° C sendo que os resultados do Balanço Hídrico Regional apresenta médias anuais de temperatura em torno de 20° a 22° C, com precipitação média histórica de 1.445 mm, com um déficit hídrico de 66,1 mm no período seco, contrabalançado por um excedente hídrico de 426,3 mm no período chuvoso (ICF-Kayser & Logos,2002). As temperaturas médias mensais nos últimos 5 anos (1998-2003) para o Município de Lorena são:

Janeiro - 27,3 °C	Fevereiro - 27,3 °C	Março - 26,5 °C	Abril -24,5 °C
Maior - 22,3 °C	Junho - 20,8 °C	Julho - 20,5 °C	Agosto - 22 °C
Setembro - 23 °C	Outubro - 25,0 °C	Novembro - 25,5 °C	Dezembro - 26 °C

VEGETAÇÃO

Até meados do século XVIII, a maior parte da bacia do Paraíba do Sul era coberta por florestas. A Serra do Mar constituía um obstáculo à expansão da economia colonial. No final do século XVIII, a cafeicultura expandiu-se a partir das rotas de exploração de minérios, entre os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. As lavouras de café expandiram-se pelo Vale do Paraíba, destruindo sua vegetação natural. Hoje, as florestas naturais estão reduzidas a 11% do território da bacia e a destruição continua devido à exploração de madeira e lenha e por incêndios acidentais ou criminosos. Atualmente 67,6% do território da bacia destina-se a campo / pastagem, embora boa parte da região esteja degradada, com pouca atividade agropecuária. Entre 1985 e 1995, houve redução de 30% da população rural. Hoje, 96% da população concentra-se em área urbana (IBGE, 2000).

GEOLOGIA

A Bacia Sedimentar de Taubaté representa um belo exemplo de bacia do tipo *Rift* apresentando um embasamento muito compartimentado, caracterizado por inversões de

depocentros, que ora se associa a uma falha mestra na sua borda Sudeste, ora uma falha mestra na borda Noroeste, num típico padrão zig-zag (Fernandes, 1993).

Um dos quatro depocentros característico é onde se encontra o município de Lorena, objeto deste estudo, integrando o bloco Aparecida-Lorena, com sedimentação sin-tetônica. No início da evolução da Bacia, a sedimentação teve lugar no compartimento Aparecida-Lorena e em menor proporção no compartimento Quiririm-Taubaté, cujas características sísmicas sugerem um ambiente flúvio-lacustre (Fernandes, 1993). A Bacia de Taubaté, junto com as outras bacias do Sistema de Rifts da Serra do Mar - SRSM (Almeida, 1976), representam a expressão da evolução Cenozóica da região sul-sudeste do Brasil.

BACIA SEDIMENTAR DE TAUBATÉ

A Bacia de Taubaté constitui o registro mais extenso da sedimentação cenozóica continental na região sudeste do Brasil, apresentando também a maior espessura sedimentar. As espessuras admitidas para a Bacia de Taubaté variam de 500 metros (Hasui et al., 1978; Melo et al., 1983) a até 850 metros na porção próxima a Serra da Mantiqueira, na Sub-bacia de Roseira (Marques, 1990).

Riccomini propõe que a Bacia de Taubaté teria sua compartimentação regida por uma série de falhamentos com direções NE-SW, NW-SE e N-S, baseando-se em mapeamento geológico e análise de imagens de sensores remotos.

Fernandes e Chang (2003), utilizando a sísmica Petrobrás confirmaram a presença destes depocentros (Figura 1).

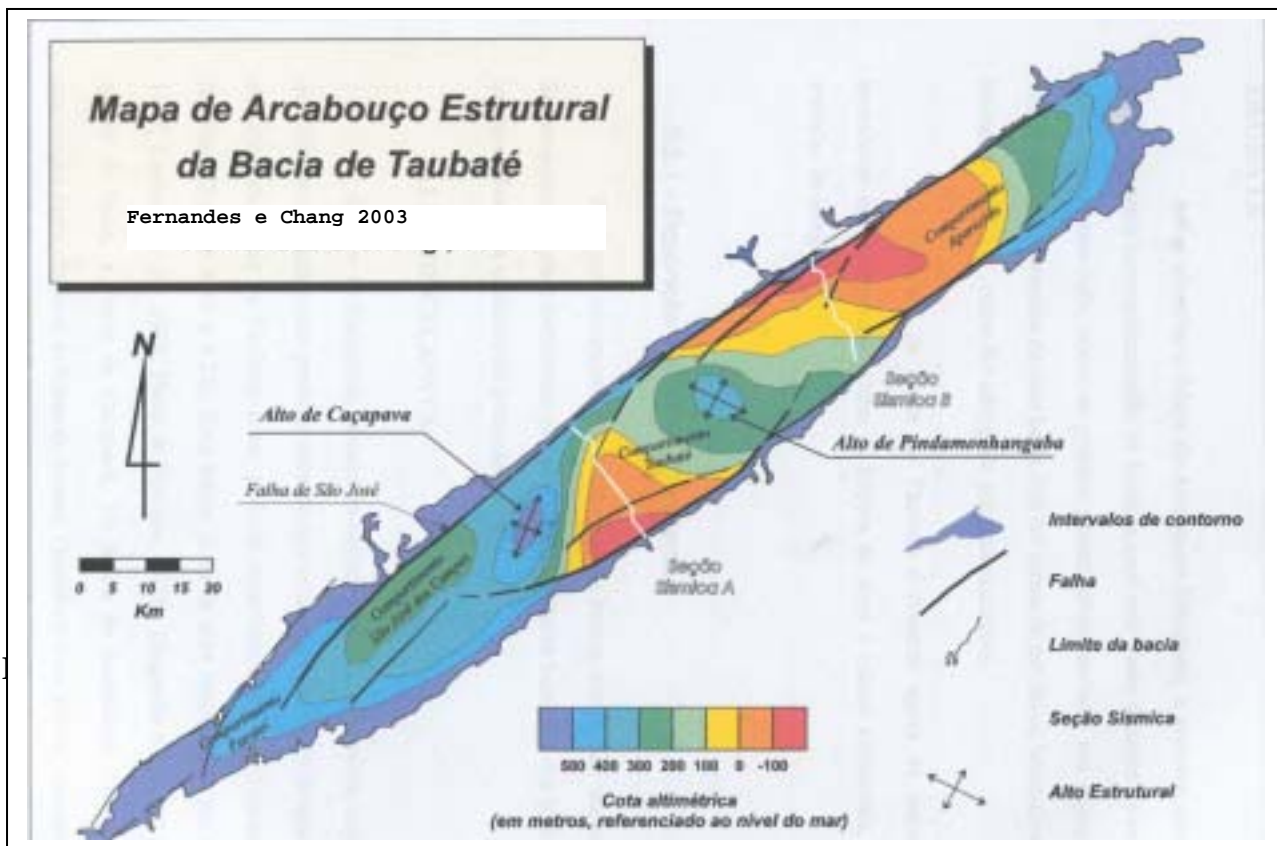


Figura 1 – Seções Sísmicas Petrobrás A E B

Com o recurso do software Surfer 8.0, utilizando as cotas reais do banco de dados Petrobrás/ANP, foi gerado uma imagem da Bacia de Taubaté completa (Figura 2), em destaque sinalizamos o depocentro de Lorena.

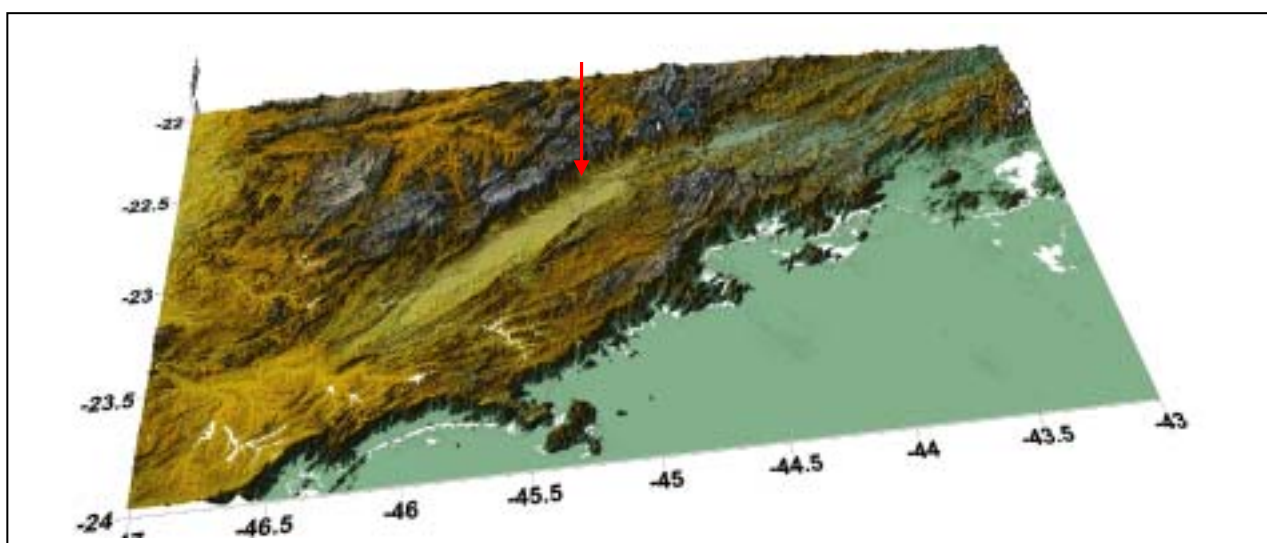


Figura 2 – Imagem da Bacia de Taubaté – Surfer 8.0 – Com Altimetria Real
(Fernandes, 2004 – Inédita)

COLETA DE DADOS

Para obter um detalhamento específico de Lorena, área com maior disponibilidade de dados, todos os poços foram locados e conferidos para georreferenciamento, utilizando um aparelho Garmin GPS 45 XL, e posteriormente plotados numa montagem de duas folhas IBGE (Figura 14), pois a área urbana de Lorena encontra-se no topo de uma folha e base de outra.

A partir dos dados obtidos foi possível extrapolar uma área maior, pois houve a permissão, em 2003, para uso do Relatório Interno IPT, 1993 sobre ocorrências minerais para construção civil, permitindo um redirecionamento e ampliação do estudo para âmbito regional. Foi utilizado o software de georreferenciamento ArcView 3.1 para possibilitar a geração de mapas temáticos em camadas sobre as folhas topográficas, que também foram vetorizadas e rasterizadas especificamente para este trabalho, criando símbolos dos poços e referências relevantes na área urbana, bem como identificando espacialmente as captações pelo sistema GIS.

Todas as referências foram digitalmente fotografadas, uma vez que o dispositivo *hot link* do ArcView permite acessar visualmente os símbolos constantes no mapa temático.

As etapas de campo consistiram em visitas aos poços, coleta de dados operacionais, análise da qualidade da água, tratamento dos dados e geração dos mapas temáticos de Geologia e Hidrogeologia.



Fig. 3

Figura 3 – Lorena - Montagem folhas topográficas IBGE – poços localados

GEOLOGIA

A geologia da área estudada é representada por vários tipos litológicos (IPT, 1993), nomeados a seguir:

Seqüência Vale do Paraíba - RvpFM : Sistema fluvial meandrante atual, composto por arenitos e argilitos, localmente com turfa, com idade Quaternária Recente;

Seqüência Vale do Paraíba - RvpLA : Sistema de leques aluviais, compostos por diamictitos e arenitos, com idade Quaternária Recente a Pleistocênica;

Seqüência Pindamonhangaba – MpFM - Sistema fluvial meandrante, composto por arenitos e argilitos com idade Terciária Miocênica;

Seqüência Taubaté – OstbL - Sistema lacustre, composto por argilitos com idade Terciária – Oligocênica Superior;

Seqüência Taubaté – OstbFM - Sistema fluvial meandrante, composto por arenitos e argilitos com idade Terciária – Oligocênica Superior;

Seqüência Taubaté – OstbLA - Sistema de leques aluviais, composto por diamictitos e arenitos grossos com idade Terciária – Oligocênica Superior;

Localmente deve ocorrer o Grupo Açungui – Complexo Embu (PseM): Migmatitos heterogêneos de estruturas variadas, predominando estromatitos de paleossoma xistoso, gnáissico ou anfíbolítico; migmatitos homogêneos variados predominando os de natureza homofânica, oftalmítica e facoidal, constituindo a base do sistema – optou-se por adotar como Embasamento Cristalino Indiviso, com idade Pré-Terciária.

COLETA DE DADOS

Para obter um detalhamento específico de Lorena, área com maior disponibilidade de dados, todos os poços foram locados e conferidos para georreferenciamento, utilizando um aparelho Garmin GPS 45 XL, e posteriormente plotados numa montagem de duas folhas IBGE (Figura 3), pois a área urbana de Lorena encontra-se no topo de uma folha e base de outra.

A partir dos dados obtidos foi possível extrapolar uma área maior, pois houve a permissão, em 2003, para uso do Relatório Interno IPT, 1993 sobre ocorrências minerais para construção civil, permitindo um redirecionamento e ampliação do estudo para âmbito regional. Foi utilizado o software de georreferenciamento ArcView 3.1 para possibilitar a geração de mapas temáticos em camadas sobre as folhas topográficas, que também foram vetorizadas e rasterizadas especificamente para este trabalho, criando símbolos dos poços e referências relevantes na área urbana, bem como identificando espacialmente as captações pelo sistema GIS.

Todas as referencias foram digitalmente fotografadas, uma vez que o dispositivo *hot link* do ArcView permite acessar visualmente os símbolos constantes no mapa temático. As etapas de campo consistiram em visitas aos poços, coleta de dados operacionais, análise da qualidade da água, tratamento dos dados e geração dos mapas temáticos de Geologia e Hidrogeologia.

AQUÍFEROS EM ROCHAS SEDIMENTARES

Os terrenos sedimentares formam o principal e melhor aquífero da região da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 2, aonde se insere a cidade de Lorena. O Sistema aquífero sedimentar do Vale do Paraíba do Sul (SASPS) é formado pelas rochas do Grupo Taubaté (Seqüência Taubaté, IPT 1993) e da Formação Pindamonhangaba (Riccomini, 1989) de idade terciária, além de sedimentos quaternários. É o mais intensamente explorado, sendo do tipo livre a semi-confinado, de porosidade primária e bastante heterogêneo. Também recebe a denominação de sistema aquífero Taubaté - SAST). O modelo de circulação regional aceito mostra que as águas das chuvas recarregam os aquíferos em toda a sua extensão não impermeabilizada (Figura 4). Outra importante recarga ocorre pelas fugas da rede pública de abastecimento de água e de coleta de esgoto.

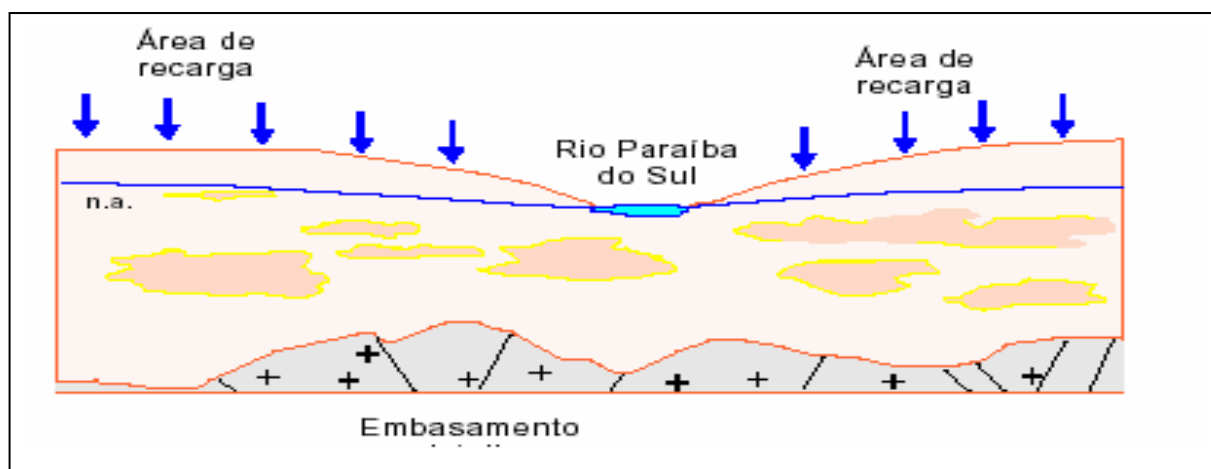


Figura 4 - Modelo de Circulação Regional (Icf-Kaiser & Logos, 2002).

Suas características hidrogeológicas estão intimamente relacionadas aos ambientes de deposição da bacia de Taubaté. Neste sentido, pode-se distinguir, regionalmente, duas unidades com diferentes comportamentos hidráulicos. A primeira, nas porções sudeste e noroeste da bacia, associada ao ambiente fluvial, com altas vazões em poços tubulares podendo superar a $200 \text{ m}^3/\text{h}$, com médias de $40 \text{ m}^3/\text{h}$, e transmissividades médias em torno de $100 \text{ m}^2/\text{dia}$. A segunda, na região entre Taubaté - Pindamonhangaba, no centro da bacia, está associada ao ambiente lacustre,

apresentando valores menores de vazão, da ordem de 20 a 30 m³/h, e transmissividades variando de 0 a 50 m²/dia (Iritani, 1998).

Segundo DAEE (1979), a porção sedimentar onde se localiza a cidade de São José dos Campos tem apresentado as melhores características hidrogeológicas da região para fins de captação. As capacidades específicas dos poços nesta porção mostram valores três vezes superiores à média de outros poços perfurados no vale do rio Paraíba do Sul.

Regionalmente, tanto os sedimentos do ambiente fluvial, como do ambiente lacustre formam um aquífero do tipo livre, localmente semiconfinado, e apresentando, na porção centro-oeste do vale, zona de artesianismo. A recarga do aquífero faz-se em toda a sua extensão e a área de descarga está associada ao rio Paraíba do sul, que representa o nível de base regional (fluxo efluente). As curvas equipotenciais acompanham os traços da topografia, descendo de ambos os lados das serras para o centro do vale. Os gradientes hidráulicos variam de 2 a 20 por mil, e são funções da topografia e da permeabilidade do material. Embora o rio Paraíba do Sul represente a zona de descarga regional do aquífero, seus afluentes comportam-se como áreas de descarga local, conferindo curtos tempos de trânsito às águas subterrâneas. É reconhecido, através da geometria do aquífero e pela composição química das águas, a presença de uma circulação regional de longo período, entretanto não existe, até o momento, nenhum trabalho que possa quantificar este movimento mais profundo (DAEE, 1979). De forma geral, o sistema aquífero sedimentar apresenta forma alongada (SW-NE) e tem duas áreas principais: a primeira encontra-se na porção sudoeste da região e inclui as regiões de Santa Isabel, Jacareí, São José dos Campos e Caçapava. A segunda área abrange a região de Lorena e Guaratinguetá na parte nordeste da bacia, estendendo-se até Cruzeiro na margem noroeste da bacia.

Entre as duas áreas, existe uma zona bastante extensa que inclui as regiões de Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba, na qual o subsolo está preenchido por sedimentos finos, argilitos e folhelhos, com poucas camadas arenosas. Essa região intermediária forma um aquífero pouco permeável.

Nas regiões aquíferas, pode-se ver que o conteúdo de material arenoso diminui com a profundidade e após dezenas até uma centena de metros de material mais arenosos, poços mostram geralmente uma predominância de material mais fino, e em conseqüência, menos permeável.

Essas diferenças litológicas são causadas por variações do ambiente de deposição. Neste sentido, a predominância da fácies lacustre é responsável pela ocorrência de preenchimento de material fino, formada por argilitos e folhelhos na região de Taubaté e Pindamonhangaba e nas partes mais profundas das regiões mais aquíferas. Uma das características marcantes, conseqüente dessas diferenciações litológicas, é a interdigitação entre camadas de diferentes permeabilidades.

A espessura total do aquífero varia entre 200 e 500 m no eixo da bacia, afinando-se para as margens e também para o noroeste, onde as camadas arenosas desaparecem em contato com os argilitos e folhelhos da região de Taubaté e Pindamonhangaba.

A área de Jacareí e São José dos Campos já dispõe de muitos poços perfurados, geralmente com profundidades de 150 a 200 m, e com vazões muito variáveis, comparativamente altas, podendo chegar a mais de 200 m³/h.

Na região de Lorena e Guaratinguetá, o aquífero pode chegar a espessuras de até 350 m a noroeste, no eixo da bacia. Todos os poços perfurados em Lorena não atingiram o embasamento, mesmo o mais fundo com 350 m. A espessura diminui para as margens da bacia e o aquífero a sudoeste está em contato com as camadas impermeáveis da fácies lacustre de Pindamonhangaba-Taubaté.

Apesar disso, existem poços que exploram lentes de areia dentro do pacote argiloso. As vazões obtidas são pequenas, em alguns poços chegando a alguns metros cúbicos por hora e em outros até 20 a 30 m³/h (DAEE, 1979).

Quanto às relações hidráulicas, a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos está condicionada ao conhecimento das características físicas e hidrodinâmicas dos aquíferos.

O sentido dos fluxos subterrâneos é predominantemente efluente, isto é, dos aquíferos para rios e córregos. Segundo DAEE (1979), de Jacareí até São José dos Campos, o fluxo é influente, devido à topografia que controla este fenômeno. A maior parte da região está sob condições freáticas ou poucos confinados, enquanto algumas áreas limitadas ficam sob pressão.

É importante assinalar, que nas vizinhanças do rio Paraíba e de seus afluentes, a taxa de fluxo de água subterrânea para o rio é desconhecida devido à falta de informações hidrológicas nessas áreas. Portanto, é bem possível que nos aluviões das proximidades, as transmissividades sejam mais altas e os gradientes mais suaves, facilitando o escoamento de água subterrânea aos rios. Uma vez ingressando no aquífero, as águas fluem em direção às drenagens superficiais, suas áreas de descarga.

HIDROGEOLOGIA

Sob o ponto de vista da interpretação dos dados elaboramos a Tabela 1 para comparar as transmissividades ocorrentes na área. Fica evidenciado que, mesmo havendo grandes variações, a parte construtiva dos poços exerce enorme influência sobre o resultado final dos poços. Isto porque não há justificativa para implementação de capacidades específicas em poços substitutos construídos em distâncias de 10/20 m em relação aos desativados; obviamente não há lógica geológica, por mais caprichosa que seja a natureza, para justificar incrementos de 50 a 100% de capacidade produtiva após um uso quase abusivo dos poços desativados, praticamente ao lado, durante décadas. O processo natural de descenso de nível, em função do bombeamento intensivo, é

o resultado mais normal e neste aspecto os diâmetros e materiais construtivos também têm papel relevante na obtenção dos resultados. Em todos os poços substitutos há queda do nível estático de cerca de 30 a 40 m ao longo dos últimos vinte anos. O projeto, executado segundo as normas técnicas vigentes, pode definir o sucesso do empreendimento, pois o poço deve permitir o bombeamento com a mínima perda de carga. Da mesma forma que, nas adutoras, deve ser respeitado o coeficiente de rugosidade das tubulações aplicadas. O poço é uma obra de engenharia geológica constituído da câmara de bombeamento, equivalente a uma adutora vertical, e a parte de admissão/coleta de água subterrânea, representada pelos filtros. Quando se bombeia um poço, um certo volume de água que se encontra disponível é prontamente retirado e o nível piezométrico das águas do aquífero começa a baixar nas imediações do poço bombeado. Esta baixa provoca um desequilíbrio da pressão hidrostática do sistema e, devido a isso, a água do aquífero começa a se escoar para o interior do poço. Mas como a viscosidade da água não é nula, seu movimento convergente para o poço se realiza com perdas de energia, as quais produzem uma queda de pressão ao longo das linhas de fluxo. Nestas condições, a superfície das águas subterrâneas se aprofunda adquirindo a forma de um cone de revolução de geratriz curvilínea, que se convencionou chamar de cone de depressão. Vimos que quando se bombeia um poço, cria-se um cone de rebaixamento que se propaga. Sabe-se que a extensão e forma do cone dependem somente das características hidrodinâmicas do aquífero e do tempo de bombeamento. Estas características são definidas pelos valores do coeficiente de transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S) - aquífero confinado — ou coeficiente de restituição m - aquífero livre (Souza, 2004).

Deve ser adequado o projeto à demanda, eliminando as perdas de carga decorrentes da construção do poço.

Tabela 1 – Valores Médios de T E S Pelo Método de Jacob.

Poço Local número	Transmissividade (m^2/dia)	S (adimensional)
9	416.13	1.63E-05
11	148.41	5.80E-06
12	41.83	1.63E-06
13	121.45	3.04E-06
14	366.14	1.43E-05
15	184.85	7.22E-06
16	103.24	4.03E-06
17	524.41	1.31E-05
18	167.23	6.53E-06
19	179.11	4.48E-06
20	326.3	8.16E-06
21	461.66	1.15E-05

CONCLUSÕES

A área estudada tem características bastante favoráveis para opção de abastecimento utilizando a água subterrânea, com alguma proteção natural contra atividades poluidoras.

Os dados coletados serviram de base para mapas temáticos (Souza, 2004), apresentando elementos de geologia e hidrogeologia que possibilitam as seguintes conclusões:

- a presença de sedimentos finos nas camadas superiores confere proteção natural relativamente segura ao aquífero sedimentar ocorrente em toda a área estudada, a partir de extrapolação dos domínios territoriais do município de Lorena, considerado como área piloto, cujos dados são confiáveis e foram acompanhados ao longo do tempo de pesquisa e nos registros históricos;
- a espessura de sedimentos presentes no depocentro de Lorena, extrapolada através dos estudos sísmicos e gravimétricos deve realmente atingir até 500/600 m, uma vez que, em nenhum dos 21 poços perfurados (o maior com 350 m de profundidade), foi atingido o embasamento;
- o aquífero presente na área estudada é de alta potencialidade com capacidades específicas variando de 4 a $10 m^3/h.m$;
- a vida útil dos poços oscila de 10 a 20 anos e é dependente tanto dos materiais aplicados quanto do regime de uso dos mesmos;

- o projeto e a construção dos poços com metodologia cuidadosa, com cuidados especiais com os fluidos e análise qualitativas (perfilagens elétricas), escolha adequada dos materiais aplicáveis (tubos e filtros), obedecendo às normas ABNT, são fundamentais para obtenção de resultados compatíveis com os parâmetros hidrogeológicos apresentados;
- há rebaixamento de níveis – de 30 a 40 m - em área central do município de Lorena, decorrente do volume explorado ao longo dos últimos 25 anos, com tendência a aumentar com o uso;
- deve ser estabelecido regime máximo de 18 a 20 horas de funcionamento para os poços do sistema de abastecimento público, controlando e monitorando as interferências, visando preservação do recurso hídrico subterrâneo.

RECOMENDAÇÕES

O programa Arcview 3.1 demonstra ser um instrumento relevante para decisão e escolha de novas áreas para perfurações e pode também ser usado pelos gestores municipais para efetiva proteção dos mananciais, tanto de superfície quanto subterrâneos.

A elaboração e melhoria dos Planos Diretores Municipais das cidades abrangidas pela área de estudo, através da consulta aos mapas hidrogeológico e geológico, deverão tornar-se importante ferramenta gerencial para locação de novos loteamentos, disposição de resíduos sólidos e novos empreendimentos, entre outros.

A observância de regime exploratório adequado, com tempo para recarga e recuperação dos reservatórios subterrâneos deve ser estudado complementarmente.

Não é recomendado o regime intensivo de 24 h/dia, sob pena de induzir ao colapso construtivo dos poços, diminuindo sua vida útil, reduzindo a ótima relação custo/benefício oferecido pela opção que representa a água subterrânea.

A perfuração de poços, obra de engenharia geológica, precedida de projeto compatível e técnica construtiva responsável representa a única garantia para obter os parâmetros hidráulicos e hidrogeológicos aqui apresentados.

O volume de água subterrânea extraída atualmente dobrou em relação ao tempo da assunção do sistema, fruto do crescimento vegetativo do município e a crescente urbanização com suas confortáveis impermeabilizações exigidas pelos cidadãos. Toda a parte central do vale do Paraíba, na região estudada é favorável à captação de água subterrânea, em virtude do depocentro identificado, apesar das variações faciológicas presentes.

Certamente o fenômeno se repete nas demais cidades ocorrentes na área, servindo de exemplo e alerta para as autoridades municipais.

Para monitorar a qualidade da água subterrânea e prevenir que uma contaminação chegue ao poço de abastecimento, sugere-se a construção de poços na denominada Zona de Transporte ou área de recarga presumida, utilizando a modelagem matemática para auxiliar a sua locação na direção do caminamento de partículas advindas das fontes potenciais de contaminação identificadas.

Além disso, o órgão ambiental responsável deve continuar a exigir medidas preventivas contra a contaminação por parte das atividades que apresentam risco à qualidade da água subterrânea, como, por exemplo, testes de estanqueidade nas áreas com tanques de combustíveis.

As mudanças das taxas de bombeamento e a inclusão de novos poços, principalmente de grande vazão (superior a 1000 m³/dia) deveriam ser simuladas com modelagem matemática, o que permitiria também sua utilização como ferramenta para o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos, avaliando os impactos na superfície potenciométrica causada por novos poços ou pelo desligamento de poços existentes.

Isto permite avaliar formas de minimizar o cone de rebaixamento existente na região da zona urbana de Lorena causado pela concentração de poços de grande vazão.

O desenvolvimento econômico e social do Estado continua aumentando as demandas de água para abastecimento urbano, industrial e para irrigação. Sendo as disponibilidades hídricas limitadas, acentuam-se cada vez mais os conflitos entre usuários e cresce a importância social e econômica das águas subterrâneas, cujo uso prioritário deverá ser o abastecimento humano.

A unidade de gerenciamento de recursos hídricos 1 e 2 abordada neste estudo, carece de conhecimento hidrogeológico disponível para uso e proteção das águas subterrâneas contra os agentes de poluição, seja de origem doméstica, industrial ou agrícola, tanto no meio urbano quanto rural. Esse diagnóstico parcial é considerado apenas um primeiro passo para identificação de demandas e investimentos correspondentes no tema Água Subterrânea. Por isso, é urgente e necessário que se realize uma melhoria no inventário dos poços pelo órgão gestor, para imprimir confiabilidade ao banco de dados, e que se efetuem estudos hidrogeológicos complementares.

Nesse caso recomenda-se a integração das informações dos vários órgãos institucionais, pois ao longo deste trabalho percebemos grandes esforços dispersos pelos vários órgãos estaduais e municipais, muitos deles com custos superpostos. Os mapas temáticos podem ser a base para avaliar as condições potenciais para formação de bancos de água, com avaliação do sistema de fluxos subterrâneos - local, intermediário e regional – para desenvolvimento do modelo de simulação do tipo Regional Aquifer System Analysis (RASA) ou similar, amplamente utilizado em países desenvolvidos, para estabelecer a inter-relação águas superficiais e subterrâneas caracterizando a função potencial de reator físico-bio-geoquímico do subsolo até para águas de reuso.

No aspecto construtivo as perfurações devem seguir as normas existentes (somos pródigos em boa legislação), devendo ser seguidas as Normas NBR 12.212/92, NBR 12.244/92 e NBR

13.608/96 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. A observância destes preceitos técnicos torna-se importante quando se constata que isto pode prolongar a vida média útil dos poços, que está situada na faixa de 15 a 20 anos, até menos, tempo mais do que suficiente para amortização e lucratividade do investimento, mas que pode ser melhorada com a escolha adequada de materiais e sua correta aplicação.

Quanto ao controle operacional, verificamos a necessidade de monitoramento constante, destacando-se dois aspectos principais:

- monitoramento da quantidade e qualidade das águas subterrâneas extraídas e seus respectivos usos, especialmente o prioritário (humano);
- monitoramento das fontes de poluição.

A prioridade dessas ações deverá considerar que há utilização autônoma das águas subterrâneas para consumo humano, lado a lado com a proliferação de fontes de poluição, tais como disposição pouco adequada do lixo doméstico, carências de saneamento básico, e, sobretudo, falta de tratamento dos esgotos coletados e ocupação desordenada do meio físico, tanto urbano quanto rural.

Sugerimos definir as condições para implantação de perímetros de proteção de poços e áreas de controle de fontes de poluição e estabelecer as condições de inserção das águas subterrâneas e subsolo nos Planos de Bacia, observando a Resolução nº 22 de 24/06/2002, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **ABNT** – Norma Brasileira **NBR 12.212** de abril de 1992 – Projeto de Poço para Captação de Águas Subterrâneas – 5 p. – RJ.
- [2] **ABNT** – Norma Brasileira **NBR 12.244** de abril de 1992 – Construção de Poço para Captação de Águas Subterrâneas – 5 p. – RJ.
- [3] **ABNT** – Norma Brasileira **NBR 13.604** de maio de 1996 – Filtros e Tubos de Revestimento em PVC para Poços Tubulares Profundos – 8 p. – RJ.
- [4] **ALMEIDA, F. F. M. - 1976** - The system of continental rift bordering the Santos Basin, Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 48 (supl.):15-26.- Rio de Janeiro.
- [5] **ARC VIEW GIS 3.1** – Environmental Systems Research Institute ESRI – Desktop for Geographic Information System 1998 - California – USA
- [6] **CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – Resolução 22** de 24 de junho de 2002 publicada no DOU em 4 de julho de 2002 – Inserção das águas subterrâneas nos Planos de Bacia – 2 p. – Brasília – DF.

- [7] **CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE Resolução 20** de 18/06/1986 publicada no DOU em 30/07/1986. – Classificação das Águas Doces, Salobras e Salinas do Território Nacional – 23 p. – Brasília – DF.
- [8] **DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1979.** Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa 2. Santos, 3 vol. - São Paulo.
- [9] **EVANGELISTA, J. G., 2001** – Retalhos Históricos de Lorena – Coleção Lorenense – Volume V – 184 p. – São Paulo.
- [10] **FERNANDES, F. L. - 1993** – Arcabouço Estrutural e evolução da Bacia de Taubaté –SP - Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto – 147 pp. – Ouro Preto - MG
- [11] **FERNANDES, F. L. - 2004** – Imagem do Arcabouço Estrutural da Bacia de Taubaté –SP – figuras geradas em Surfer 8.0 transmitidas via internet – Rio de Janeiro
- [12] **FERNANDES, F. L. & CHANG, H. K. 2003.** Modelagem Gravimétrica da Bacia de Taubaté - Vale do Rio Paraíba do Sul, leste do estado de São Paulo. SBGf. Revol. Bras. Geofísica (no prelo).
- [13] **HASUI, Y. & PONÇANO, W. L. - 1978** - Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté. 30º Cong. Bras. Geol., Anais, SBG. 1:26-381. – Recife – PE.
- [14] **IBGE, 2000** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Censo 2.000 – dados disponíveis na internet .
- [15] **ICF- KAISER & LOGOS – 2002** - Relatório Zero UGRHI 1 e 2 - dados disponíveis na Internet.
- [16] **INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS - 1978** - Geologia da região administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da região administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo. Monografia nº 1 -78p. - São Paulo.
- [17] **INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS - 1981** - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, 1:500.000, Nota explicativa. São Paulo, IPT. 126p. (Série Monografia nº 6). – São Paulo.
- [18] **INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS - 1993** – Relatório Técnico 31.25 - Compatibilização da Produção de Insumos Minerais para Construção Civil e o Meio Ambiente no Vale do Paraíba, SP. 203 p. - São Paulo.
- [19] **IRITANI, M. A. 1998** – Modelação matemática tridimensional para proteção das captações de água subterrânea – Tese de Doutorado – Inst. Geociências – USP – 200 pg. – São Paulo.
- [20] **MARQUES, A. - 1990** - Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, São Paulo, Brasil. Bol. Geoc. Petrobrás, 4(3):253-262. - Rio de Janeiro.

- [21] **MELO, M. S., COIMBRA, A M. - 1983** - Estudos geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários da área de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro, SP). São Paulo, DMGA-IPT 2 volumes, (IPT rel. interno nº17.737). – São Paulo.
- [22] **RICCOMINI, C. - 1989** - O Rift Continental do Sudeste Brasileiro. São Paulo. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da USP) 256 p. – São Paulo.
- [23] **RICCOMINI, C.; MELO, M. S.; ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R.; MIOTO, J. A.; HASUI, Y. - 1983** - Sobre a ocorrência de um derrame de ankaramito na Bacia de Volta Redonda (RJ) e sua importância na datação das bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. 4º Simpósio Regional Geologia, São Paulo. Boletim Resumos, SBG-SP, p. 23-24. – São Paulo.
- [24] **SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2002.** Controle Operacional do Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto de Lorena. Relatório Interno, 25 p. - Lorena - SP.
- [25] **SOUZA, J.C.S., 2004** – Captação de água subterrânea – Cap.5 em Tsutyia, M.T. Abastecimento de Água – Dep.Eng.Hidráulica Escola Politécnica da USP –2004 – São Paulo.
- [26] **SOUZA, J.C.S., 2004** – Estudo Hidrogeológico da Região de Lorena - SP – Dissertação de Doutorado – inédita - USP –2004 – São Paulo.