

Projeto piloto de recarga artificial na bacia do rio Una, Município de Taubaté

Hélio Nóbile Diniz ¹
Getulio Teixeira Batista ²
Jair Santoro ¹
Marcelo dos Santos Targa ²

¹Instituto Geologico do Estado de São Paulo
Av. Miguel Stefano, 3900 – 04301-903 – São Paulo – SP, Brasil
{heliodiniz, jsantoro}@igeologico.sp.gov.br

²Universidade de Taubaté
Estrada Municipal Dr.José Luiz Cembranelli, 5000 – 12080-010 – Taubaté – SP, Brasil
{getulio, mtarga}@unitau.br

Abstract. This paper describes the sedimentary aquifer artificial recharge experiment performed by deep wells and the rain water collect in roofs, in the municipality of Taubaté, SP.

Palavras-chave: hidrogeologia, aquífero sedimentar, Bacia de Taubaté, recarga artificial.

1.Introdução

Este projeto de recarga artificial de aquíferos foi implementado na bacia hidrográfica do rio Una, afluente da margem direita do rio Paraíba do Sul, no Município de Taubaté. Teve por finalidade desenvolver políticas públicas a fim de viabilizar o uso sustentável dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. As principais atividades do projeto foram: determinação dos índices físicos do solo, caracterização textural do perfil do solo, construção de poços tubulares profundos e piezômetros, utilização dos poços para extração de água subterrânea/recarga artificial dos aquíferos e ponto de observação, obtenção do perfil geológico detalhado por meio de testemunhos das sondagens, construção de calhas para captação das águas das chuvas no telhado da Fábrica de Alimentos do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, condução da água captada por meio de tubulações enterradas até o poço de injeção (poço de recarga), monitoramento do nível d'água do aquífero freático e dos aquíferos profundos com a finalidade de estabelecer uma série histórica de medidas piezométricas e potenciométricas, realização de balanço hídrico climatológico para fins de comparação entre a disponibilidade de água e a água contida no perfil do solo, lançamento das águas pluviais escoadas nos pátios e arruamentos em bacias de infiltração, coleta das águas precipitadas nas chuvas e contidas nos aquíferos freático e profundo para análises físico-química e bacteriológica.

O local do desenvolvimento do projeto é o Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, no bairro Itaim, Município de Taubaté. Esta área foi escolhida por razões logísticas, já que a Universidade de Taubaté é uma autarquia municipal vinculada à Prefeitura de Taubaté, que é a equipe parceira do projeto e, também, porque a área é favorável à captação das águas subterrâneas por meio de poços tubulares profundos, construção de barragens, piezômetros e poços de infiltração, além da captação de águas pluviais em telhados.

No Vale do Paraíba, onde está localizado o Município de Taubaté, o desenvolvimento industrial e o grande aumento populacional que ocorreu a partir da década de 1970, têm concorrido para uma crescente utilização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Em particular, as águas subterrâneas são a principal fonte de abastecimento público de várias cidades, entre elas São José dos Campos, Caçapava e Lorena. Basicamente, todo o parque

industrial existente ao longo do eixo da Rodovia Presidente Dutra é abastecido por fontes próprias por meio da captação das águas subterrâneas por poços tubulares profundos.

O rio Paraíba do Sul, é um rio efluente, isto é, o aquífero freático existente no solo e nos sedimentos quaternários da Bacia de Taubaté e/ou nas rochas intemperizadas do embasamento cristalino alimenta o seu fluxo de base, por meio da descarga nas fontes.

Mas, devido à grande demanda de águas subterrâneas exploradas por poços tubulares profundos, em muitos locais o rio Paraíba do Sul mudou de comportamento e passou a recarregar os aquíferos, graças ao potencial hidráulico negativo criado pelos rebaixamentos devidos ao forte bombeamento nos poços tubulares profundos e que abastecem grande parte das populações e das indústrias, destacando-se os Municípios de Jacareí, São José dos Campos e Lorena. Esta mudança de comportamento, de rio efluente para influente, já havia sido observado no estudo de águas subterrâneas realizado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 1977). Nos locais onde o rio Paraíba do Sul tornou-se influente, suas águas são parcialmente infiltradas e vem a recompor o abastecimento dos aquíferos intensamente explorados por meio de poços tubulares profundos.

Devido às características físicas dos solos sobrepostos aos sedimentos terciários do Grupo Taubaté, geralmente formados por latossolos vermelho-amarelos, profundos, muito porosos e permeáveis, existe uma tendência à infiltração das águas precipitadas. Nestes locais, o escoamento superficial fica restrito às áreas impermeabilizadas pela ação antrópica, ou então, nas áreas onde ocorrem solos hidromórficos, constituídos por argilas orgânicas, como nas várzeas do rio Paraíba do Sul. Assim sendo, os aquíferos recebem grande quantidade de recarga, todos os anos.

2. Objetivos

O projeto em Políticas Públicas teve como objetivos oferecer subsídios ao gerenciamento das águas subterrâneas do Município de Taubaté e vem consolidar uma parceria do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e a Prefeitura Municipal de Taubaté, com a colaboração do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté e Departamento de Ciências Agrárias. Participaram, também, a SABESP – Diretoria do Vale do Paraíba, o Instituto de Geociências da Universidade de Guarulhos e o Instituto de Geociências da Universidade de Campinas.

Estes subsídios tratam especificamente da retenção do excedente hídrico, da aplicação de métodos que promovam a infiltração das águas das chuvas nos solos ou diretamente nos aquíferos, por meio da injeção das águas captadas em telhados. São métodos que viabilizam a recarga dos aquíferos e diminuem o escoamento superficial, já que, este escoamento é responsável por erosão, transporte de sedimentos e assoreamentos dos corpos d'água, além de causador das enchentes nas planícies dos rios e ribeirões que percorrem o Município de Taubaté.

3. Geologia

No local do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, ocorre os sedimentos da Bacia de Taubaté, que faz parte de um conjunto de bacias tafrogênicas continentais, “o sistema de rifts da Serra do Mar”, de Almeida (1976) e, mais recentemente, de “Rift Continental do Sudeste do Brasil”, de Riccomini (1989). A origem desta bacia, está relacionada com a reativação de falhas transcorrentes E-NE do assoalho Pré-Cambriano, durante o processo de abertura do Atlântico Sul, ao longo das quais, segundo Coltrinari (1992), ocorreram deslizamentos gravitacionais e basculamento de blocos. Os compartimentos apresentam-se como grabens assimétricos, com basculamento ora para SE, ora para NW.

As espessuras admitidas para a Bacia de Taubaté (Hasui et al., 1978; Melo et al., 1986) variam até 850 m, sendo esta a profundidade máxima estimada para a porção próxima a Serra da Mantiqueira, na sub-bacia de Roseira.

4. Hidrogeologia da Bacia Sedimentar de Taubaté

Na UGRHI-2 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul) há dois sistemas aquíferos principais: o das coberturas sedimentares cenozóicas (sedimentos terciários e quartenários), e o das rochas cristalinas. Os terrenos sedimentares cenozóicos formam o principal e melhor aquífero da região. Suas características não são uniformes e variam segundo a litologia das formações sedimentares.

5. Material e métodos

Foram coletadas amostras para determinação de parâmetros físicos do solo em algumas áreas do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU e da Fazenda Piloto da Faculdade de Agronomia, no campo, e nos taludes situados junto à estrada que limita a parte sul do Departamento, nas posições topo, meio e base. Nestas amostras foram realizados ensaios granulométricos e determinação de índices físicos, assim como em amostras coletadas durante a perfuração de 6 piezômetros. Algumas amostras retiradas durante a perfuração dos piezômetros foram enviadas para análises mineralógicas no Departamento de Geociências e Ciências Exatas da UNESP de Rio Claro.

Os resultados dos ensaios de Massa Específica dos Grãos, Massa Específica Natural e Umidade Natural foram utilizados, por meio de fórmulas de correlação, para determinação do Índice de Vazios, Porosidade, Grau de Saturação e Grau de Aeração. Os ensaios granulométricos que tem a finalidade de determinar a textura das amostras, foram utilizados em conjunto com as análises mineralógicas, para determinação do perfil geológico do solo.

Foram construídas calhas e rufos no prédio da Fábrica de Alimentos do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, conectados a tubulações enterradas, destinados à coleta e condução de água das chuvas para fins de recarga artificial de aquíferos, perfurados dois poços tubulares profundos e construídas pequenas barragens nas encostas das colinas, para favorecer a infiltração das águas precipitadas nos pátios e arruamentos.

A construção dos dois poços tubulares profundos teve diversas finalidades. Primeiramente, para conhecimento estratigráfico dos sedimentos da Bacia de Taubaté, no local do projeto, utilizando-se os testemunhos das sondagens, já que estas foram realizadas com barriletes amostradores que proporcionam a obtenção da coluna dos sedimentos perfurados. Em segundo lugar, a construção dos poços tubulares profundos permitiu o conhecimento das características hidrodinâmicas dos aquíferos perfurados, por meio da realização de testes de bombeamento, e possibilitaram a coleta de amostras de água para fins de caracterização físico-química dos aquíferos profundos, assim como o monitoramento dos níveis potenciométricos.

Um dos poços foi perfurado para a exploração das águas subterrâneas e recarga artificial de aquíferos, sendo que esta poderá vir a ser realizada por meio da injeção direta das águas captadas no telhado da Fábrica de Alimentos da Faculdade de Agronomia da Universidade de Taubaté, no aquífero sedimentar profundo.

A construção de dois poços tubulares profundos, situados próximos, no Departamento de Ciências Agrária da UNITAU também possibilitou a determinação da Transmissividade do aquífero sedimentar da Formação Tremembé e Coeficiente de Armazenamento pois, parte dos testes de vazão realizados foram desenvolvidos utilizando-se um como poço de bombeamento e outro, como poço de observação.

6. Captação e injeção das águas das chuvas

Para injeção de água no poço de recarga e que também é o poço de extração, optou-se pela captação advinda do telhado da Fábrica de Alimentos que está situada próximo da sede do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, a cerca de 35 m. Esta fábrica pertence ao Departamento e tem por finalidade subsidiar os cursos de Engenharia de Alimentos e de Nutrição que tiveram início no ano de 2005.

A opção por este tipo de captação, utilizando águas precipitadas na cobertura do prédio da Fábrica de Alimentos, deve-se principalmente ao fato do telhado desta ser bastante abaulado (**Figura 1**), com alto ângulo de escoamento, construído em chapas zincadas novas, características que diminuem muito a possibilidade de conter microorganismos ou materiais tóxicos que porventura venham a ser carreados pelas águas das chuvas, evitando-se, desta forma, a contaminação dos aquíferos onde estas águas são injetadas.



Figura 1. Foto da Fábrica de Alimentos da UNITAU e das sondas de perfuração dos poços.

Por proximidade, optou-se por construir o poço de extração/recarga junto à Fábrica de Alimentos, em posição topográfica que possibilitasse o carreamento das águas das chuvas, por gravidade, até uma caixa conectada com o poço evitando-se, desta maneira, gastos extras com bombeamentos e longos condutos para o transporte das águas captadas. O poço de recarga dos aquíferos foi construído em local plano, mas com cota dois metros abaixo do piso da Fábrica de Alimentos, na parte lateral desta, distante cerca de 15 metros.

A construção dos poços (de extração/recarga e auxiliar) foi realizada com sonda nacional rotativa a aço granulado pertencente ao Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente.

Para captação da água das chuvas na Fábrica de Alimentos da UNITAU foi necessário a instalação de um sistema de calhas e condução para tubulações de 4" de diâmetro. Estas tubulações possuem ângulo de 60°, negativo, são de PVC de esgoto branco, em número de 6 em cada lado da Fábrica, e vão até o calçamento onde, foram construídas derivações de 4" até uma tubulação mestra, enterrada, de 6" de diâmetro, também em PVC de esgoto branco. Para conexão dos tubos foram adquiridas reduções de 4" para 6", cotovelos e joelhos de 4" e 6".

Ambos os tubos mestres de 6", enterrados em cada lado da Fábrica de Alimentos, foram interligados por meio de um "T" que deriva para um tubo de 6", terminando em uma caixa de alvenaria de distribuição, com saídas em 4" para a área de cultivo (descarte das águas), poço

de recarga e, caixa d'água enterrada, com capacidade para 15,4 m³, construída para armazenar a água da chuva que não é injetada no poço de recarga artificial.

Antes de chegar à caixa d'água, a linha do tubo de 6" recebe um cavalete onde foi instalado um hidrômetro proporcional de 3/4 de polegada, para leitura dos volumes que passam pela linha principal de recarga artificial. A caixa d'água é conectada ao poço de recarga por meio de um tubo de 4" em PVC marrom, já que este possui maior resistência que o PVC branco.

A captação de água das chuvas envolve uma área total de telhado da Fábrica de Alimentos de 27,54 m por 17,86 m (491,86 m²).

Considerando que no período 2003-2006 as chuvas máximas totalizaram 65 mm/dia, o volume máximo de água disponibilizado pelo telhado acima citado é de 32 m³/dia, para este período de recorrência.

Na **Figura 2** é mostrada a planta do sistema de recarga e localização dos poços na área do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU.

7. Discussão dos resultados

7.1. Perfuração dos poços

Foram projetados dois poços tubulares profundos, sendo que o primeiro foi construído no local de coordenadas UTM 447,798 km EW e 7453,025 km NS. Este poço está sendo utilizado para exploração das águas subterrâneas (extração, uso em irrigação) e para injeção de águas pluviais (recarga artificial).

Próximo do poço de extração, a cerca de 13,2 m, foi construído o poço auxiliar, no local de coordenadas UTM 447,799 km EW e 7453,028 km NS.

7.2. Caracterização hidrogeológica

Medidas históricas do nível d'água do aquífero freático realizadas em 6 piezômetros construídos aos pares (para serem utilizados um para injeção de água e outro efetuar as medidas de subida de nível, possibilitando o cálculo da Condutividade Hidráulica do solo), sendo 2 localizados em uma encosta e 4 na base de uma colina tabular, mostraram que as variações da altura da água (medidas obtidas in situ) tem uma correspondente variação da água infiltrada, obtida por meio do balanço hídrico realizado nos mesmos períodos.

Os métodos utilizados e os resultados obtidos permitiram calcular a descarga de água do aquífero freático nas fontes, sendo de 14,53 mm/dia nos períodos chuvosos e de 1,85 mm, nos demais períodos do ano. Em relação aos piezômetros 1, 2, 3, e 4, o nível d'água não desceu abaixo de -3,46 m. Considerando este datum, quando o aquífero freático possui carga hidráulica acima de 0,6 m haverá descarga de 14,53 mm/dia e, quando a carga hidráulica for inferior a 0,6 m, a descarga nas fontes será de 1,85 mm/dia.

A interpretação dos testes de vazão realizados nos poços de extração/recarga e auxiliar mostram que, no local, o aquífero da Formação Tremembé, é do tipo confinado, com Transmissividade média em torno de 8 m²/h e Coeficiente de Armazenamento de 0,0002. Com estes dados aplicados na equação de Cooper e Jacob (1946), ou seja, fazendo: $r = 7'' = 0,18$ m, $t = 2$ anos de bombeamento = 2×365 dias $\times 24$ horas = 17520 h, obtem-se:

$$s = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2,25Tt}{r^2 S}\right) \Rightarrow s = \frac{2,3 \cdot 120}{4\pi \cdot 8} \log\left(\frac{2,25 \cdot 8 \cdot 17520}{(0,18)^2 \cdot 0,0002}\right) \Rightarrow s = 29,3 \text{ m} \quad (1)$$

O rebaixamento obtido na **Expressão 1**, de 29,3 m para uma vazão de 120 m³/h, mostra um aquífero com alta produtividade e, na região de Taubaté, não é conhecido algum outro poço

que possa fornecer tal vazão para um rebaixamento relativamente pequeno, o que mostra a importância desta pesquisa no conhecimento hidrogeológico da região, o que favorecerá o melhor uso dos recursos hídricos subterrâneos.

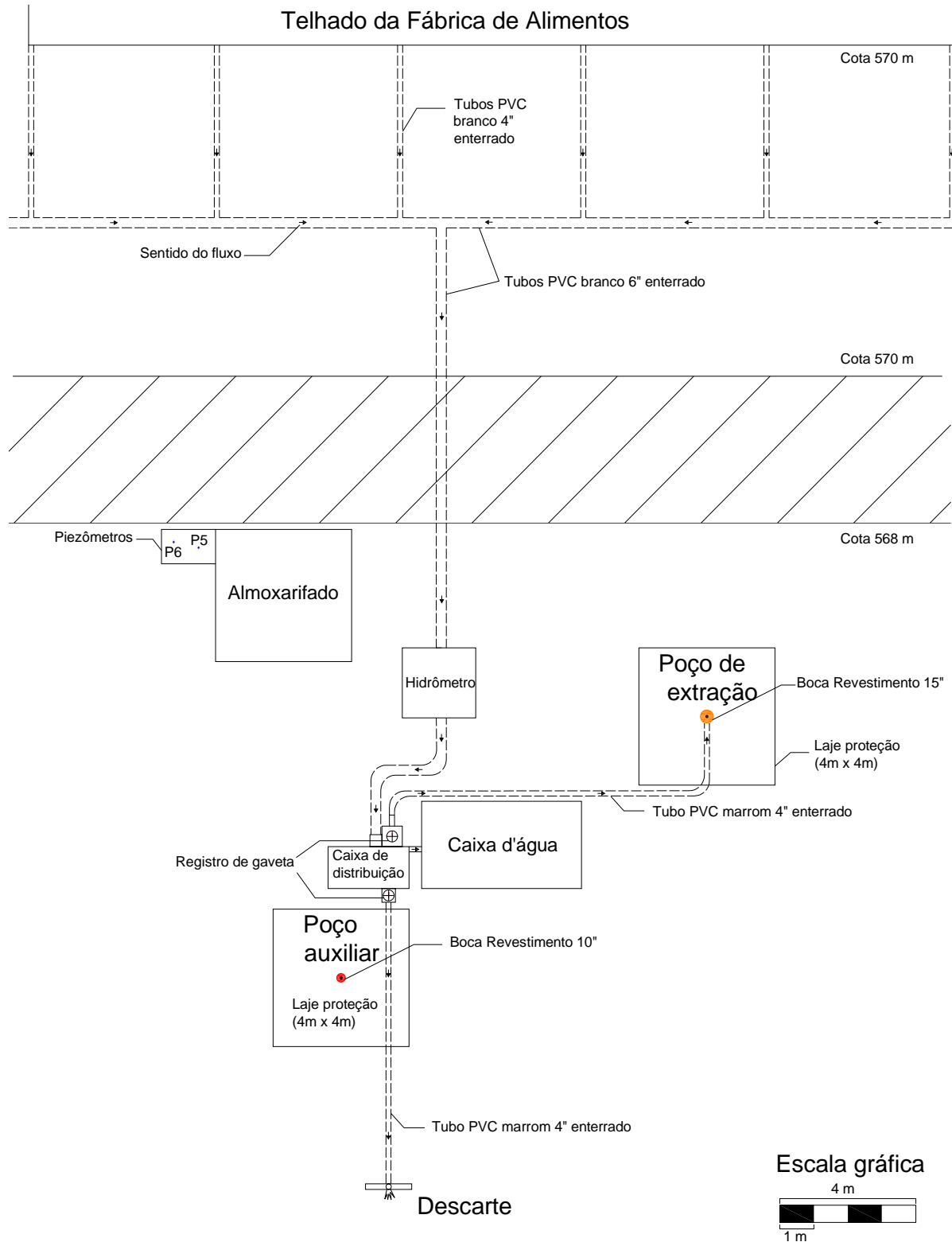


Figura 2. Planta do projeto de recarga artificial no Dep. de Ciências Agrárias da UNITAU.

Os parâmetros hidrogeológicos obtidos até o presente, nos sedimentos terciários da Formação Tremembé, do Grupo Taubaté, na bacia do rio Una, demonstraram que a recarga artificial poderá vir a ser aplicada no local, após atender ao disposto na legislação vigente. O poço de extração, construído pelo Instituto Geológico para pesquisas sobre recarga artificial de aquíferos estará sendo disponibilizado ao Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU para uso em irrigação após o término do projeto e, o aparato para captação e injeção de águas captadas em telhados encontra-se concluso. Assim sendo, após a concessão da outorga do uso da água para irrigação, será solicitada a outorga para a recarga artificial, que servirá como modelo para os aquíferos sedimentares do sudeste brasileiro.

7.3. Caracterização hidroclimática

A bacia hidrográfica representa um sistema fechado nas condições climáticas do sudeste brasileiro. As entradas de água advém das precipitações. As saídas d'água do sistema são devidas à evapotranspiração e descarga nas fontes que abastecem o fluxo de base do rio principal. Como o aquífero freático está saturado e em equilíbrio com as águas superficiais, já que normalmente há excedente hídrico, não devem ocorrer mudanças de armazenamento para uma série histórica de medidas multianual, podendo ocorrer pequenas mudanças somente durante o ano hidrológico, em relação aos períodos de máxima e mínima pluviosidade. Nestes períodos, as mudanças de armazenamento da água do aquífero freático são devidas ao acréscimo de água proveniente do fluxo vertical que percola o perfil do solo ou, ao decréscimo devido às descargas nas fontes.

Os resultados do balanço hídrico multianual utilizando dados históricos do Posto Meteorológico da UNITAU/INMET, no período entre 1992 a 2003, mostram que há um grande excedente hídrico (em média de 410,4 mm/ano) que ocorre nos meses de novembro a março. A deficiência hídrica ocorre nos meses de abril, junho e julho (em média de 17,7 mm/ano).

7.4. Caracterização pedológica e geológico/geotécnica

Na área de pesquisa ocorrem latossolos vermelho-amarelos (conhecidos como variação Una), constituídos principalmente pelos argilo-minerais caulinita e illita, e grãos de quartzo. A espessura deste solo, no local, desenvolvido sobre sedimentos terciários da Formação Tremembé, varia entre 10 e 20 m, com as menores espessuras no talvegue e planícies de inundação do ribeirão Itaim e rio Una e, as maiores, nos topos das colinas tabulares.

Os ensaios geotécnicos realizados no laboratório de solos do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, no laboratório de solos da Alphageos e de sedimentologia do Instituto Geológico do Estado de São Paulo, em amostras coletadas na área do Departamento de Ciências Agrárias para conhecimento dos Índices físicos, mostraram que este solo é bastante poroso, em torno de 53%, e com umidade natural de aproximadamente 30%. Com estes parâmetros, a cada 0,375 m de infiltração de água no solo, há um metro na correspondente elevação da coluna de água do aquífero freático.

7.5. Qualidade das águas subterrâneas

A existência de coliformes fecais no piezômetro 4, mostra que há infiltrações de águas provenientes de fossas sépticas ou contaminadas por esgoto doméstico, provenientes do ribeirão Itaim. Os teores de bário e chumbo encontrados em pequenas quantidades, são elementos nocivos à saúde, e de origem natural. O pH das amostras de água do aquífero freático é ácido (4,9) e indica águas de circulação rápida. O causador deste pH baixo é o gás carbônico contido na atmosfera e dissolvido nas águas das chuvas infiltradas, onde se dissocia

em bicarbonato e ácido carbônico. O pequeno tempo de residência destas águas do aquífero freático não permite a reação com os carbonatos sedimentares que poderiam aumentar o pH. A alcalinidade encontrada, no caso, é bastante baixa.

8. Conclusões

Os estudos realizados até o momento mostraram que a recarga artificial do Aquífero Sedimentar Taubaté (aquífero confinado) na bacia do rio Una, com águas provenientes das chuvas é factível, e poderá ser implementada após o Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU cadastrar o poço de extração/recarga no DAAE e receber a outorga do uso da água para irrigação. Isto possibilitará a solicitação do uso do poço também para recarga artificial de forma a atender ao disposto na legislação vigente no Estado de São Paulo, pois o artigo nº 43 do Decreto no 32.955 de 7/2/1991, estabelece que: “A recarga artificial dependerá de autorização do DAAE, condicionada à realização de estudos que comprovem a sua conveniência técnica, econômica e sanitária e a preservação da qualidade das águas subterrâneas”.

O projeto possibilitou o retorno das atividades em perfuração de poços tubulares profundos, pelo Instituto Geológico do Estado de São Paulo, para atendimento de interesses públicos de abastecimento d'água. Ao longo das décadas de 1940 até 1990, o Instituto perfurou cerca de 450 poços no Estado de São Paulo, principalmente para atender demandas das prefeituras municipais, órgãos públicos, indústrias e agricultura. Há cerca de 15 anos esta atividade básica do Instituto Geológico, importante para o desenvolvimento regional e das atividades de pesquisa geológicas/hidrogeológicas, estavam paralisadas e agora, a viabilidade dela passa a ser reconhecida.

A recarga artificial dos aquíferos profundos ainda não havia sido realizada, de forma sistemática, em qualquer outro lugar do Brasil e a sua possibilidade e viabilidade, diante do uso racional e sustentável dos recursos hídricos, estão sendo demonstradas neste projeto embora ainda haja muito preconceito quanto à sua aplicação no Estado de São Paulo, motivado pelo desconhecimento dos benefícios desta modalidade na preservação dos recursos hídricos subterrâneos.

9. Referências bibliográficas

- Almeida, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 48 (Supl.), p.15-26, 1976.
- Coltrinari, L. Geomorfologia e dinâmica quaternária no sudeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**, n. 6, p.7-16, 1992.
- Cooper Jr., H.H.; Jacob, C.E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. **American Geophysics Union Transaction**, n. 27, p.526-534, 1946.
- DAAE. 1977. Estudo de águas subterrâneas: Região Administrativa 3 – S.J. dos Campos e faixa litorânea. São Paulo: DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA/Enco, 1977. v. 1, 112 p (texto).
- Hasui, Y.; Gimenez, A.F.; Melo, M.S. Sobre as bacias tafrogênicas do sudeste brasileiro. In: Congresso Brasileiro Geologia, 30., 1978, Recife. **Anais...Recife: SBG**, 1978, v. 1, p.382-392.
- Melo, M. S., Caetano, S. L. V., Coimbra, A. M. Tectônica e sedimentação nas áreas das bacias de São Paulo e Taubaté. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34., 1986, Goiânia. **Anais...**, Goiânia: SBG, 1986, v. 1, p.321-336.
- Riccomini, C. O Rift continental do sudeste do Brasil. 1989. 256 p. Tese (Doutoramento) - Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 1989.