

AVALIAÇÃO DA RECARGA DO AQUÍFERO FREÁTICO: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ-SP

Hélio Nóbile Diniz¹; Jair Santoro¹; Nathália Torras Correia²; Felipe Rodrigues Carbone² & Luciana Campos de Oliveira Sciotta²

RESUMO

Este trabalho apresenta uma estimativa da recarga do aquífero freático na bacia do rio Una, Município de Taubaté, como resultado de pesquisas em políticas públicas a fim de subsidiar o uso sustentável dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté. As principais atividades realizadas foram: determinação dos índices físicos e caracterização textural do perfil do solo, construção de piezômetros, monitoramento do nível d'água do aquífero freático e realização de balanço hídrico climatológico. Os ensaios de caracterização geotécnica realizados mostraram que o solo é bastante poroso, em torno de 53%, e com umidade natural de aproximadamente 30%. Análises granulométricas realizadas mostraram que, quanto maior a profundidade mais uniforme é a distribuição da textura dos sedimentos, desde finos, argilosos, até grossos, arenosos, com granodecrescência ascendente. Os métodos utilizados e as medidas obtidas permitiram calcular a descarga de água do aquífero freático nas fontes, sendo de 14,53 mm/dia no período mais chuvoso, e de 1,9 mm nos outros períodos do ano. Os resultados mostraram uma boa correlação entre valores do nível d'água medidos e esperados pelo balanço hídrico. A existência de coliformes fecais mostra que há infiltração de águas de fossas sépticas ou de esgotos doméstico.

ABSTRACT

This paper presents results related with the estimation of the phreatic aquifer recharge of Una watershed in Taubaté, SP. The goal of this study was to develop public politics for the sustainable use of superficial and ground water at the Department of Agrarian Sciences of the University of Taubaté. The main results of this study are: determination of the soil physical indices, the characterization of the textural profile, the construction of piezometers, the monitoring of the watertable, the determination of the hydric climatological balance, and the physic-chemical and bacteriological analyses of ground water. The geotechnical characterization showed that the soil is quite porous, with porosity circa 53%, and natural moisture of about 30%. Regarding the results of soil particle size measurements it was observed that the deeper into the soil, the more uniform is the sediments texture distribution, varying from fine loamy, to coarse sandy. Methods and results allowed to calculate the phreatic aquifer discharge of several springs, that varied from 14.5 mm/day in the rainy period to 1.9 mm/day in others periods. The existence of faecal coliforms in phreatic aquifer, showed that there are water infiltrated from septic cesspools or from the nearby Itaim river, contaminated by domestic sewage.

Palavras – chave: recarga, aquífero freático, balanço hídrico.

- 1) Pesquisador Científico do IG/SMA, Av. Miguel Stéfano, 3.900, CEP: 4301903 São Paulo. E-mail: heliodiniz1@yahoo.com.br.
- 2) Engenheiro(a) Ambiental do IG/SMA, Av. Miguel Stéfano, 3.900, CEP: 4301903 São Paulo. E-mail: nathytorras@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados de estudos desenvolvidos em uma área localizada na bacia hidrográfica do rio Una, afluente da margem direita do rio Paraíba do Sul, no município de Taubaté. O objetivo deste estudo foi desenvolver políticas públicas a fim de viabilizar o uso sustentável dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. As principais atividades realizadas foram: a determinação dos Índices Físicos do Solo, a caracterização textural do perfil do solo, a construção de piezômetros, o monitoramento do nível d'água do aquífero freático visando estabelecer uma série histórica de medidas piezométricas, a realização do balanço hídrico climatológico utilizando dados hidroclimáticos coletados no posto meteorológico da UNITAU/INMET para fins de comparação entre a disponibilidade de água e a água contida no perfil do solo, o lançamento das águas pluviais escoadas nos pátios e arruamentos em bacias de infiltração, a coleta e análise físico-química e bacteriológica das águas contidas no aquífero freático.

A área situa-se no bairro Itaim, no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, no município de Taubaté.

No município de Taubaté há uma elevada quantidade de precipitação hídrica, de modo que, em quase todos os meses do ano, excetuando o mês de agosto, há excedente hídrico. A média multianual de excedente hídrico, obtida no período 1993-2002, já descontando a água dos processos de evapotranspiração, situa-se em torno de 410,4 mm.

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 percolação das águas infiltradas provenientes do excedente hídrico. O escoamento superficial fica restrito às áreas impermeabilizadas pela ação antrópica, ou então, nas áreas onde ocorrem solos hidromórficos, constituídos por argilas orgânicas, como em alguns locais da várzea do rio Paraíba do Sul. Assim sendo, em Taubaté, os aquíferos recebem grande quantidade de recarga, todos os anos.

1.1. Contexto geológico regional

A bacia hidrográfica do rio Una está inserida, em parte sobre terrenos Pré-Cambrianos do Complexo Embu e, em parte sobre depósitos da Bacia Sedimentar de Taubaté. No local do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU ocorrem solos lateríticos desenvolvidos sobre os sedimentos terciários do Grupo Taubaté, até uma profundidade de 16 m.

A Bacia Sedimentar de Taubaté 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.

HASUI e PONÇANO (1978) elaboraram uma coluna estratigráfica para esta bacia reunindo no Grupo Taubaté, a Formação Tremembé e a Formação Caçapava, sendo esta designação também proposta por CARNEIRO *et al.* (1976) para os depósitos de canais e planícies de rios anastomosados na região de São José dos Campos e Caçapava.

FRANCO FILHO e SOUZA (1994), ao analisarem a exploração de água em São José dos Campos, reconhecem na Bacia Sedimentar de Taubaté duas unidades, a Formação Tremembé, na base, constituída por folhelhos com níveis pirobotuminosos e argilitos de cores verde acinzentadas, com intercalações centimétricas à decimétricas de arenitos, siltitos e brechas intraformacionais, originadas em ambiente lacustre. Na parte superior descrevem a Formação Caçapava, que é

constituída por sedimentos arenosos e siltosos, com intercalações pelíticas, nas cores cinza, amarelo e vermelho, originadas em ambiente fluvial.

1.2. Pedologia

Os solos do Município de Taubaté, seguindo as normas vigentes no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (OLIVEIRA *et al.*, 1999), são classificados considerando os três principais domínios estratigráficos que ocorrem na região: as rochas cristalinas (Complexo Embu), sedimentos terciários e sedimentos quaternários (Grupo Taubaté).

Nas áreas de ocorrência dos sedimentos quaternários, ao longo do rio Paraíba do Sul, os solos são classificados como Gleissolos Melânicos, com textura argilosa, e Neossolos Flúvicos, com textura média, intercalados por Organossolos, distróficos, sendo todos em relevo plano, de várzea. Segundo VERDADE e HUNGRIA (1966) os solos hidromórficos orgânicos, no vale do rio Paraíba do Sul, são encontrados na planície aluvial do rio e nas depressões junto aos córregos ou na parte inicial de pequenos cursos d'água.

A bacia hidrográfica do rio Una situa-se na região sul-sudeste do Município de Taubaté. Nesta região, nas áreas de ocorrência do Complexo Embu, o solo é classificado como argissolo vermelho-amarelo, podzólico, intercalado por argissolos vermelhos eutróficos, ambos com textura média argilosa, em relevo forte ondulado e montanhoso (início da Serra do Mar).

Nas áreas de ocorrência de sedimentos terciários do Grupo Taubaté, ocorrem os latossolos vermelho-amarelos, parte com variação Una, intercalados por argissolos vermelho-amarelos, latossólicos, ambos com textura argilosa, em relevo suave ondulado e plano (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

1.3. Hidrogeologia regional

No vale do rio Paraíba do Sul há dois sistemas aquíferos principais: o das coberturas sedimentares cenozóicas (Formações Caçapava e Tremembé, e sedimentos quaternários), 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.

As rochas cristalinas ígneas e metamórficas Pré-Cambrianas não formam um aquífero regional contínuo, mas apresentam localmente condições aquíferas através de falhas, fraturas e outras discontinuidades que permitem a circulação das águas subterrâneas e que possibilitam a sua exploração por poços tubulares profundos.

O sentido dos fluxos subterrâneos é predominantemente efluente, isto é, do aquífero freático para os rios e córregos. Segundo DAEE (1977a, 1977b), a maior parte da região está sob condições freáticas e pouco confinadas, enquanto algumas áreas limitadas ficam sob pressão, formando raros aquíferos confinados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na área de pesquisa foram coletadas amostras em alguns pontos do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU e Fazenda Piloto da Faculdade de Agronomia, para determinação de parâmetros físicos do solo, tais como: massa específica dos grãos, massa específica natural e umidade natural. Com as amostras foram realizados ensaios granulométricos, mineralogia dos solos. No campo as amostras foram retiradas de profundidades entre 0,2 e 0,4 m, no talude situado na estrada que limita a parte sul do Departamento, nas posições topo, meio e base; foram coletadas amostras nas profundidades situadas entre 2 e 6 m (figura 1).

A construção de seis piezômetros, com profundidades variáveis entre 4,5 e 9,5 m, possibilitaram a coleta de amostras para caracterização geotécnica dos solos e, após serem revestidos com tubos de filtros, a medição diária dos níveis d'água do aquífero freático e a coleta de água para análises físico-químicas e bacteriológicas (figura 1).

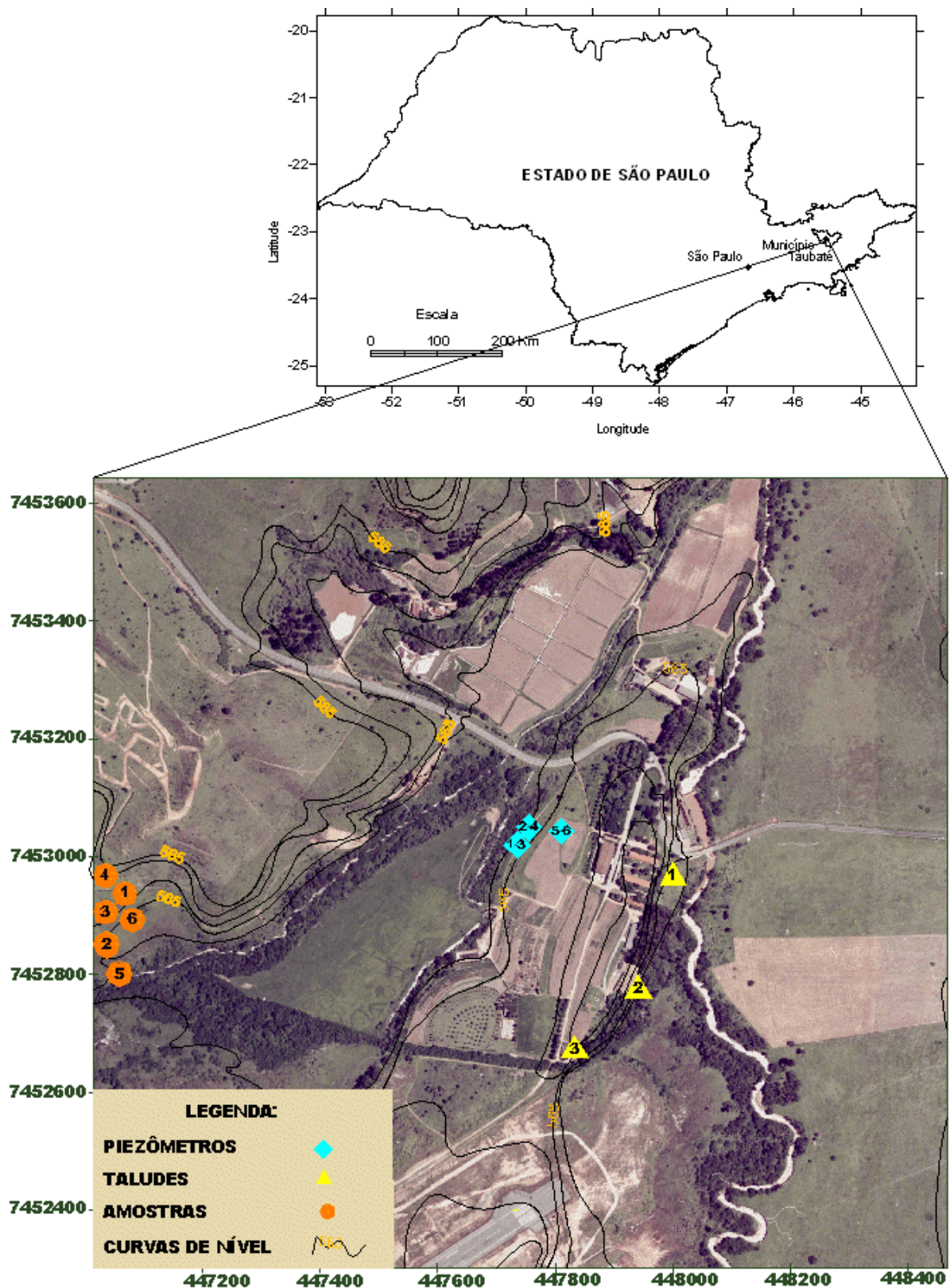


Figura 1. Mapa de localização dos pontos amostrados.

Os resultados dos ensaios de massa específica dos grãos, massa específica natural e umidade natural possibilitaram determinar Índices de vazios, Porosidade, Grau de saturação e Grau de aeração, através das fórmulas de correlação (1), (2), (3) e (4), conforme tabelas 1 e 2. Os ensaios granulométricos tiveram a finalidade de determinar a textura dos solos o que auxiliou a determinação do perfil geológico até a profundidade final dos piezômetros. Nos piezômetros

também foram realizados ensaios de bombeamento para determinação da condutividade hidráulica do aquífero freático.

As fórmulas de correlação utilizadas para determinação dos índices físicos do solo, foram as seguintes:

- Índice de Vazios:

$$e = \frac{\gamma_s (1 + w) - \gamma}{\gamma} \quad (1)$$

onde:

γ_s – massa específica dos sólidos; w – teor de umidade; γ – massa específica natural (seca);

- Porosidade:

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (2)$$

onde:

e – índice de vazios;

- Grau de Saturação:

$$Sr = \frac{\gamma_s \cdot w}{e \cdot \gamma_w} \quad (3)$$

onde:

γ_w – massa específica da água (1g/cm^3);

- Grau de aeração:

$$A = 1 - Sr \quad (4)$$

onde:

Sr – grau de saturação.

Segundo BUENO e VILAR (1984), STANCATI *et al.* (1981), os índices físicos são relações de massas e volumes entre as fases ar, água e sólidos, que servem para caracterizar as condições físicas naturais em que o solo se encontra.

2.1. Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico pode ser quantificado a partir da equação hidrológica, que se baseia na lei de conservação das massas (equação 5):

$$\text{Entradas d'água} = \text{Saídas} \pm \text{Mudanças no armazenamento.} \quad (5)$$

RUSHTON e WARD (1979) adotam a seguinte expressão para o balanço hídrico:

$$P = E + R + \Delta A \quad (6)$$

onde; P = precipitação, E = Evapotranspiração, R = escoamento superficial e ΔA = incrementos no armazenamento.

O balanço hídrico é a aplicação do princípio da conservação das massas (equação da continuidade) a uma certa região cujo volume é conhecido e definido por determinadas condições de contorno. Durante o período em que o balanço é realizado, a diferença entre o total das entradas e o total das saídas deve ser igual às mudanças de água do armazenamento. As medidas podem ser efetuadas em massa ou em volume, desde que a densidade da água seja constante.

No Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, pode-se estabelecer um balanço hídrico reescrevendo-se a equação (6) sob a forma: $R + \Delta A = P - E$, e admitindo-se que a condição $P - E$ represente o excedente hídrico (quando positiva) ou o déficit hídrico (quando negativa). Assim pode-se comparar a expressão $R + \Delta A$ com o excedente ou déficit hídrico calculado (segundo D'ANGIOLLELA e VASCONCELOS, 2002) em períodos considerados.

A diferença de armazenamento de água no solo ΔA , em um certo período, pode ser conhecido através da Porosidade (n) e Grau de Saturação (S_r) encontrada no solo, e definindo-se a Capacidade de Armazenamento (C_A) como sendo igual à diferença entre a porosidade (n) e a porosidade (n) \times quantidade de poros preenchidos com água (S_r), ou seja:

$$C_A = n - n \times S_r \quad (7)$$

Assim sendo, a Capacidade de Armazenamento é igual à porosidade (dada em porcentagem) menos o porcentual de poros já preenchidos com água.

Para um armazenamento unitário (A_U) considerando um volume de solo com 1 m de altura, 1 m de largura e 1 m de comprimento, temos:

$$A_U = 1 \text{ m}^3 \times C_A \quad (8)$$

C_A pode ser conhecido através da Porosidade e Grau de saturação que são parâmetros encontrados por fórmulas de correlação, através dos Índices físicos do solo.

Definindo-se a infiltração d'água no solo em um período chuvoso, como sendo $I = A_U \times (h_2 - h_1)$, onde h_2 é o nível d'água do solo após um período de tempo onde o nível d'água medido inicialmente era h_1 , temos que: $\Delta A = A_U \times (h_2 - h_1)$, ou seja, $R + I = P - E$, sendo I igual à altura da coluna d'água infiltrada no período considerado e R igual à lâmina d'água escoada.

$$\text{Ainda, } I + R = \text{infiltração} + \text{escoamento superficial} = \text{excedente hídrico} \quad (9)$$

Assim, conhecendo-se o excedente hídrico em um período chuvoso e medindo-se as diferenças de nível d'água do aquífero freático em piezômetros, pode-se comparar com a expressão $A_U \times (h_1 - h_2) = I$, que possibilitará o conhecimento da total infiltrado e do total escoado superficialmente.

Caso o valor encontrado para $A_U \times (h_1 - h_2)$ seja igual ao excedente hídrico, conclui-se que toda a água disponível na superfície infiltrou, ou seja, o excedente hídrico é igual à infiltração. Caso seja inferior ao excedente hídrico haverá uma parte desta água que escoou superficialmente e não infiltra, que, mesmo assim, ainda pode ser determinada através da expressão (8).

3. RESULTADOS

3.1. Ensaio de caracterização geotécnica dos solos

Os resultados dos ensaios geotécnicos realizados nas amostras de solo coletadas nos taludes e em outros locais da área, encontram-se nas tabelas 1 e 2. Utilizando-se 9 amostras coletadas nos taludes e 12 em outros locais, resultou em uma porosidade média de 53% e 30% de umidade natural.

3.2. Tipos texturais

As frações granulométricas das amostras de solo ensaiadas foram plotadas no Diagrama Trilinear de Solos proposto pelo USDA (United States Department of Agriculture) e adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), juntamente com a escala utilizada pelo mesmo Departamento (PREVEDELLO, 1996).

As áreas delimitadas no diagrama (figura 2) correspondem a uma certa classe textural ou proporção de areia, silte e argila, de tal forma que a projeção das coordenadas deste ponto nas escalas laterais, com auxílio das linhas oblíquas, permite conhecer a proporção de cada fração dessa classe. Lemo ou Franco foi o termo proposto para substituir "barro", que corresponde a "loam", em inglês, com o qual se designa uma mistura, em proporções variadas, de partículas de areia, silte e argila (CAPUTO, 1986).

Na tabela 3 são mostrados os resultados texturais das amostras que foram submetidas a ensaios granulométricos, obtidas nos piezômetros, nos taludes e nos pontos de amostragem dos solos do Departamento de Ciências Agrárias.

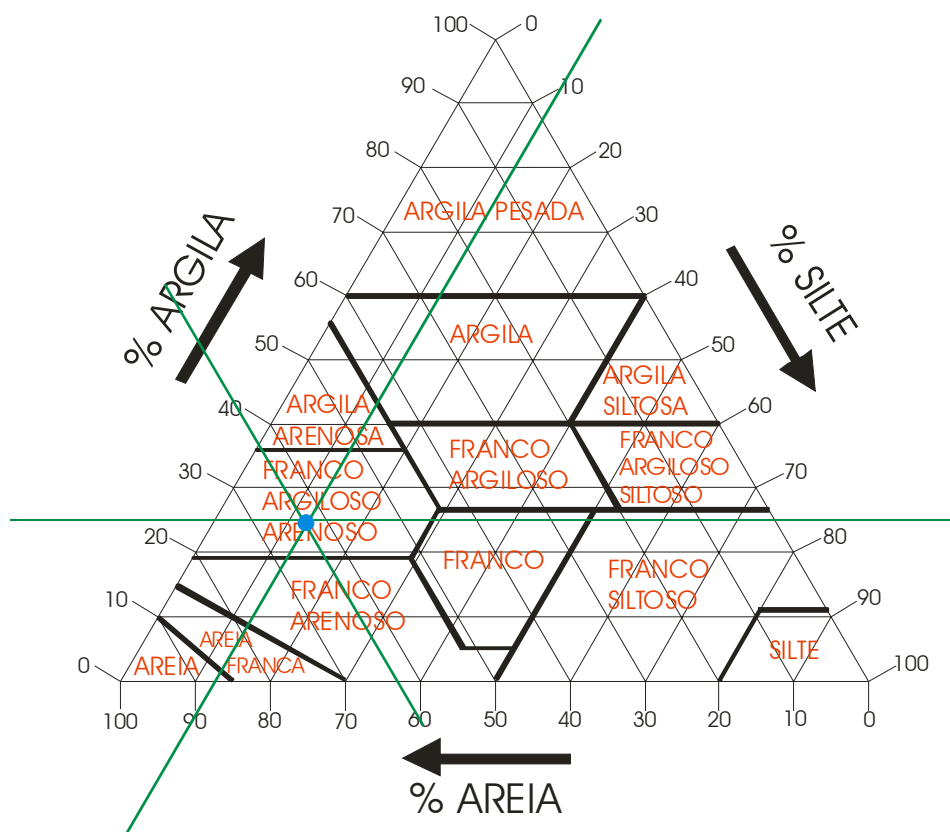


Figura 2. Representação da amostra do topo do talude 1, no Diagrama trilinear de solos.

Verifica-se pelo valores encontrados nos Diagramas trilineares de solos e discriminados na Tabela 3 que, para os locais dos piezômetros e de onde foram retiradas as amostras de solos, até a profundidade de 1 m, os solos do Departamento de Ciências Agrárias são Franco argilosos arenosos e, entre 1 e 2 m, são Franco argilosos, pois há um enriquecimento de argilominerais no horizonte inferior, provavelmente resultado da migração das argilas no perfil do solo e, abaixo de 2 m, encontram-se horizontes predominantemente arenosos, formados por solos Franco arenosos.

3.3. Mineralogia dos solos

Amostras de solo retiradas do piezômetro 1, foram submetidas à difração por raios X. O difratograma (figura 3) mostra a presença dos argilominerais caulinita e illita, sendo que, em relação aos minerais que constituem a fração grossa, areia e silte, o quartzo é predominante, ocorrendo também a gibsita como mineral secundário.

Os minerais presentes no solo indicam que o ambiente em questão desenvolveu-se em clima úmido e quente em função da presença da caulinita, formada pela alteração dos feldspatos, piroxênios e plagioclásios contidos nas rochas primárias (granitos e gnaisses, principalmente). Embora a illita também seja originada em clima úmido e quente, necessita de locais permanente saturados para a sua formação, sendo indicativa de um ambiente submerso em grande parte do tempo, tal como hoje ocorre com os pântanos, na margem do rio Paraíba do Sul.

Tabela 1. Resultados dos índices físicos calculados por correlação com os parâmetros obtidos nas amostras dos taludes (profundidade de 0 a 6 m).

Talude	Posição e profund.	Coord. UTM EW	Coord. UTM NS	Cota (m)	γ_s (g/cm ³)	w (%)	γ	e	n (%)	Sr (%)	A (%)
1	Topo – 2 m	447996	7452971	590	2,68	12,9	1,383	1,188	54,3	29,1	70,9
	Meio – 4 m				2,65	7,9	1,518	0,884	46,91	28,04	71,96
	Base – 6 m				2,64	9,6	1,449	0,999	49,99	25,35	74,65
2	Topo – 3 m	447938	7452776	591	2,64	5,7	1,449	0,862	46,3	17,46	82,54
	Meio – 4,5m				2,67	12,9	1,417	1,118	52,8	29,62	70,38
	Base – 6 m				2,65	11	1,429	1,058	51,41	27,55	72,45
3	Topo – 0,3m	447829	7452670	578	2,65	20	1,395	1,28	56,14	41,41	58,59
	Meio – 1,5m				2,67	17,3	1,278	1,451	59,2	31,84	68,16
	Base – 3 m				2,66	18,7	1,265	1,496	59,94	33,25	66,75
Média									53	29,3	70,7

Tabela 2. Resultado dos índices físicos calculados por correlação com os parâmetros obtidos nas amostras de campo da Faculdade de Agronomia da UNITAU (prof. 0 a 0,4 m).

Ponto	Profund. (m)	Coord. UTM EW	Coord. UTM NS	Cota (m)	γ_s (g/cm ³)	w (%)	γ	e	n (%)	Sr (%)	A (%)
1	0,20	447040	7452930	580	2,79	15,71	1,47	1,20	54	37	63
2	0,20	446991	7452890	572	2,86	14,09	1,40	1,32	57	30	70
3	0,20	447027	7452914	577	2,68	16,45	1,57	0,99	50	45	55
4	0,20	447006	7452930	575	2,60	12,80	1,55	0,89	47	37	63
5	0,20	447059	7452801	567	2,64	16,01	1,40	1,20	54	35	65
6	0,20	447082	7452893	568	2,82	16,55	1,42	1,31	57	36	64
1	0,40	447040	7452930	580	2,93	17,38	1,50	1,30	56	39	61
2	0,40	446991	7452890	572	2,76	13,24	1,52	1,05	51	35	65
3	0,40	447027	7452914	577	2,69	14,81	1,56	0,98	49	41	59
4	0,40	447006	7452930	575	2,72	15,50	1,63	0,93	48	45	55
5	0,40	447059	7452801	567	2,78	14,30	1,58	1,01	50	39	61
6	0,40	447082	7452893	568	2,86	13,48	1,56	1,08	52	36	64

Tabela 3: Classificação textural das amostras submetidas a ensaios granulométricos.

Amostra	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação
Piezômetro 1 - 1m	49,2	17,66	33,13	Franco argilo arenoso
Piezômetro 1 - 2m	31,57	33,72	34,71	Franco argiloso
Piezômetro 1 - 3m	71,45	13,81	14,74	Franco arenoso
Piezômetro 1 - 4m	78,93	15,14	5,93	Areia franca
Piezômetro 1 - 4,3m	69,06	19,06	11,88	Franco arenoso
Piezômetro 2 - 1m	72,44	6,94	20,62	Franco argilo arenoso
Piezômetro 2 - 2m	36,71	31,93	31,39	Franco argiloso
Piezômetro 2 - 3m	77,25	18,95	3,8	Areia franca
Piezômetro 2 - 4m	77,06	15,39	7,55	Areia franca
Piezômetro 2 - 5m	79,61	15,68	4,71	Areia franca
Piezômetro 2 - 6m	79,28	14,9	5,82	Areia franca
Piezômetro 3 - 1m	50,38	12,97	36,65	Argila arenosa
Piezômetro 3 - 2m	37,24	31,6	31,16	Franco argiloso
Piezômetro 3 - 3m	80,4	12,7	6,9	Areia franca
Piezômetro 3 - 4m	76,89	15,06	8,05	Areia franca
Piezômetro 3 - 5m	78,75	13,67	7,59	Franco arenoso
Piezômetro 4 - 1m	48,44	11,91	39,65	Argila arenosa
Piezômetro 4 - 2m	40,92	28,53	30,55	Franco argiloso
Piezômetro 4 - 3m	76,49	18,45	5,06	Areia franca
Piezômetro 4 - 4m	79,86	16,18	3,96	Areia franca
Piezômetro 4 - 4,5m	73,68	17,83	8,49	Franco arenoso
Talude 1 - Base	75,07	13,12	11,81	Franco arenoso
Talude 1 - Meio	88,04	5,53	6,43	Areia franca
Talude 1 - Topo	63,02	10,98	26	Franco argilo arenoso
Talude 2 - Base	61,33	20,62	18,05	Franco arenoso
Talude 2 - Meio	57,68	21,69	20,63	Franco argilo arenoso
Talude 2 - Topo	86,51	6,53	6,96	Areia franca
Talude 3 - Base	47,46	21,56	30,98	Franco argilo arenoso
Talude 3 - Meio	43,54	11,64	44,82	argila
Talude 3 - Topo	48,58	12,6	38,83	Argila arenosa

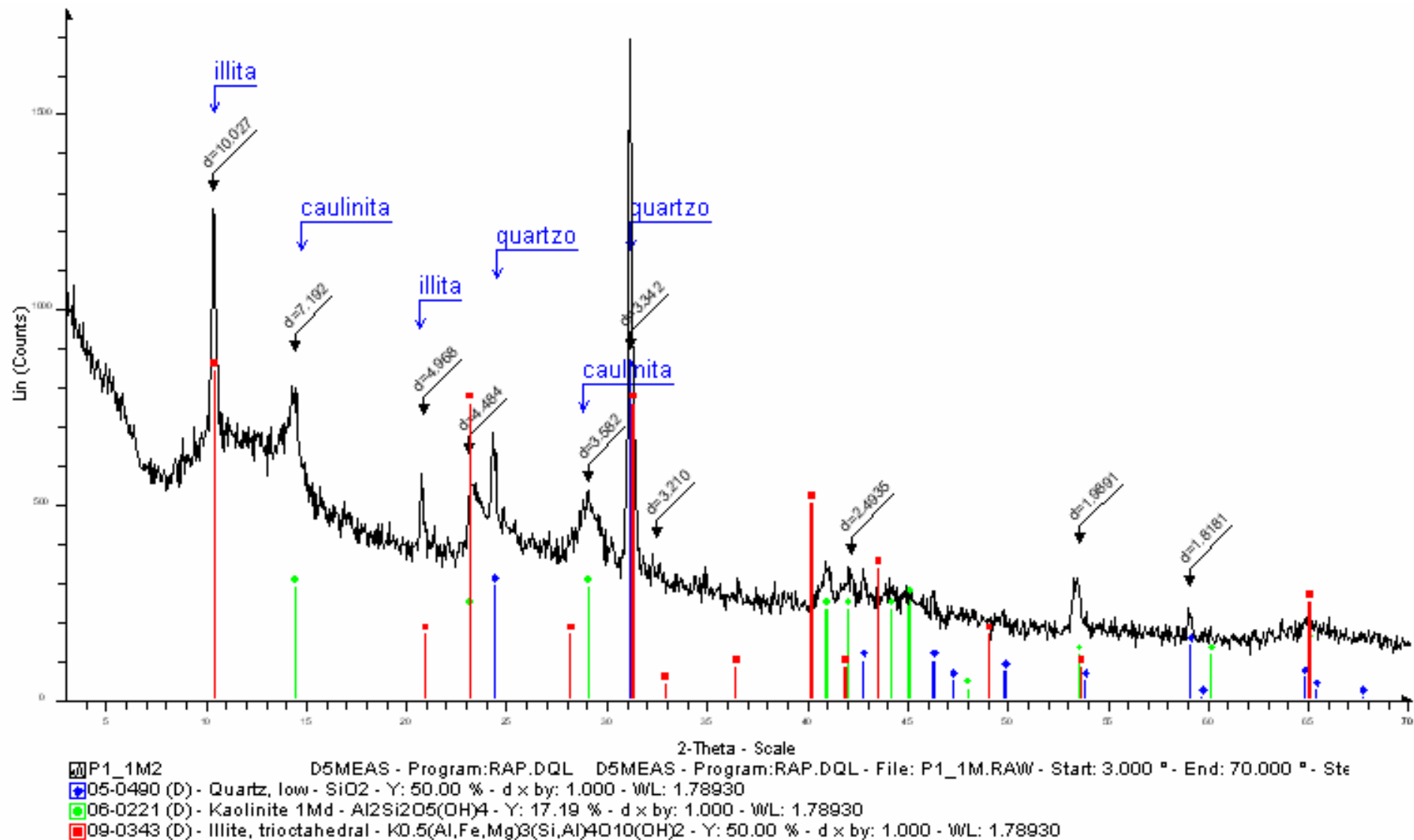


Figura 3. Gráfico obtido com o software EVA 2.0, da amostra 1 m do Piezômetro 1, contendo picos de difração dos minerais presentes.

3.4. Caracterização hidroclimática

A bacia hidrográfica representa um sistema fechado nas condições climáticas do sudeste brasileiro. A entrada 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.

Para o cálculo da disponibilidade de água nas camadas superficiais do solo e sua migração para o aquífero freático utiliza-se do balanço hídrico. O balanço hídrico climatológico, em Taubaté, foi calculado utilizando o método proposto por D'ANGIOLELLA e VASCONCELLOS (2002). Este método utiliza informações meteorológicas tais como: temperatura média, umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação e insolação. Através destes parâmetros proporciona o cálculo da evapotranspiração potencial e real. Com adição da capacidade de campo, o modelo também calcula o excedente (água disponível que vai percolar para o aquífero freático) ou a deficiência hídrica (água necessária para ser adicionada ao solo para evitar o murchamento das plantas).

Os dados hidroclimatológicos utilizados foram obtidos no Posto Meteorológico da Estação UNITAU/INMET nº 83784, do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, situado na Latitude 23° 02' S e Longitude 45° 31' W, na altitude de 577 metros.

Os resultados do balanço hídrico multianual utilizando dados históricos do Posto Meteorológico da Estação UNITAU/INMET nº 83784, obtido no período entre 1992 a 2003 (figura 4) mostra que há um grande excedente hídrico (com 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 (com média de 17,7 mm/ano).

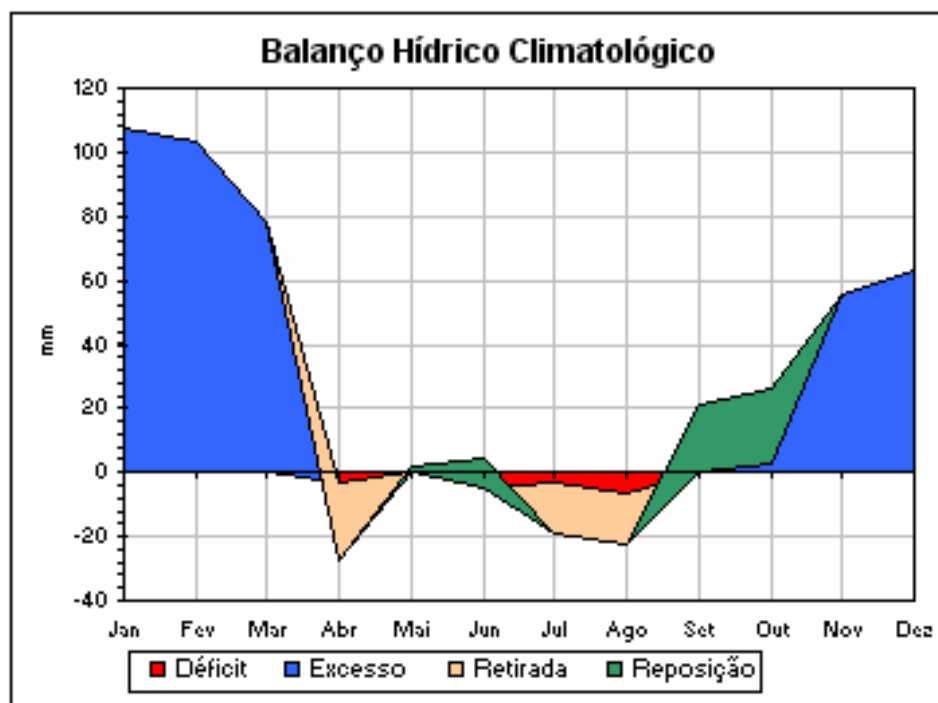


Figura 4. Balanço hídrico multianual, com os dados da Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, em Taubaté, no período 1992-2003.

A diferença entre o excedente e a deficiência hídrica resulta no total da água disponível no solo para a infiltração e percolação profunda, ou seja, caso não haja condições geológicas

favoráveis, ou de cobertura, para a total infiltração desta água, ela irá escoar superficialmente. Esta subtração (excedente menos deficiência) para Taubaté, no período 1993-2002, é de 392,7 mm/ano.

A construção de piezômetros proporcionou medidas diárias de níveis piezométricos do aquífero freático, obtidas desde novembro de 2005 até janeiro de 2007. Para comparar as oscilações do nível piezométrico do aquífero freático, com o aporte de água proveniente do excedente hídrico, e acompanhamento da recarga natural do aquífero freático, além do total infiltrado e a quantidade excedente que escoar superficialmente, optou-se por fazer balanços hídricos utilizando o método de Penman (PEREIRA *et al.*, 1997), totalizando 3 períodos consecutivos de 60 dias, cada um dividido em 12 frações de 5 dias, compreendendo o período de 16 de novembro de 2005 até 14 de janeiro de 2006, de 15 de janeiro de 2006 a 15 de março de 2006 (figura 5), e de 16 de março a 15 de maio de 2006.

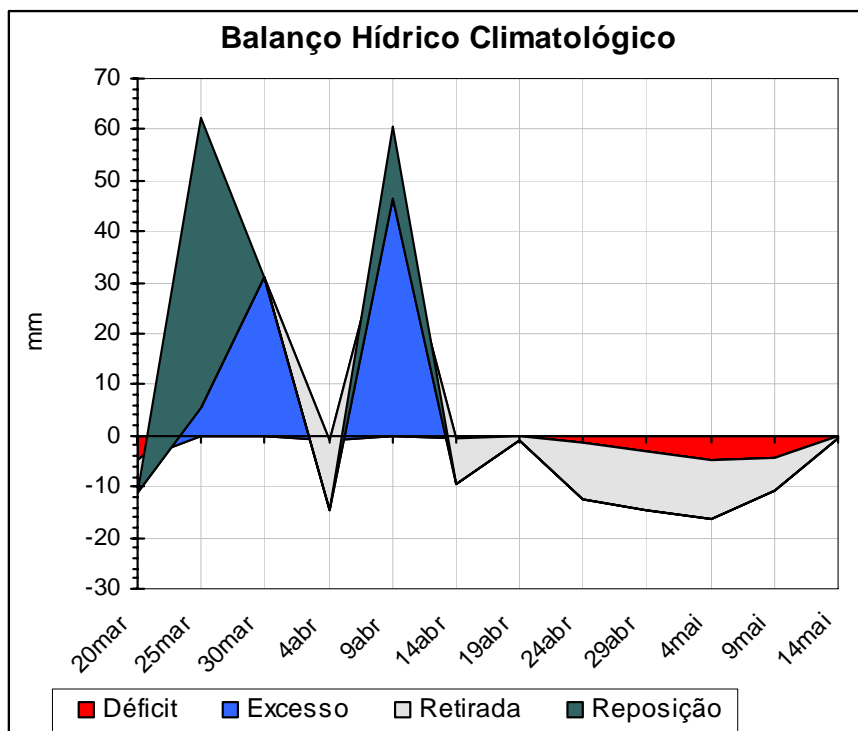


Figura 5. Balanço hídrico multianual, com os dados da Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, em Taubaté, no período 16mar-14mai2006.

A partir de maio sucede um período seco, e o espaçamento de tempo obrigatoriamente tem que ser maior para comportar períodos chuvosos, com excedente hídrico. Assim sendo, a partir de 16 de maio até 10 de novembro de 2006 procedeu-se a um balanço hídrico, com duração de 6 meses (180 dias) divididos em frações de 15 dias. Entre 11 de novembro de 2006 e 04 de janeiro de 2007, voltou-se a adotar um período de 60 dias consecutivos, divididos em frações de 5 dias, no cálculo do balanço hídrico, pois a partir de novembro inicia-se a época de chuvas.

3.5. Determinação da condutividade hidráulica do solo saturado

Um dos métodos utilizados para conhecer-se a capacidade de infiltração do solo é através da obtenção da Condutividade Hidráulica que é máxima quando este se encontra saturado.

Existem vários métodos para a determinação da Condutividade Hidráulica (K) de um solo, e entre estes está a realização de ensaios de infiltração ou de bombeamento no aquífero freático. No caso do aquífero freático no local do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, onde foram instalados piezômetros aos pares, optou-se por realizar um teste infiltrando-se água em um piezômetro, e mediu-se a subida de nível no seu par, ao lado. Assim sendo, utilizou-se os piezômetros 5 e 6, com profundidades de 9,4 m para a determinação da Condutividade Hidráulica do solo saturado. A distância entre os dois piezômetros é de 0,68 m.

Os dados do teste de infiltração (com duração de 4 hs) estão discriminados na tabela 4. O gráfico com a interpretação do teste é mostrado na figura 6.

Tabela 4. Teste de infiltração realizado em 11/05/2006 nos piezômetros 5 e 6.

HORA	TEMPO (min)	NÍVEL (m)	RECUPERAÇÃO (m)	VAZÃO (m ³ /h)
08:10	0	8,58	0	
	1	8,46	0,120	1,012
	2	8,28	0,300	1,012
	4	8,00	0,580	1,012
	5	7,86	0,720	1,012
	10	7,57	1,010	1,012
	20	7,22	1,360	1,012
	30	7,01	1,570	1,012
	60	6,93	1,650	1,012
	120	6,87	1,710	1,012
	180	6,84	1,740	1,012
13:10	240	6,80	1,78	1,012

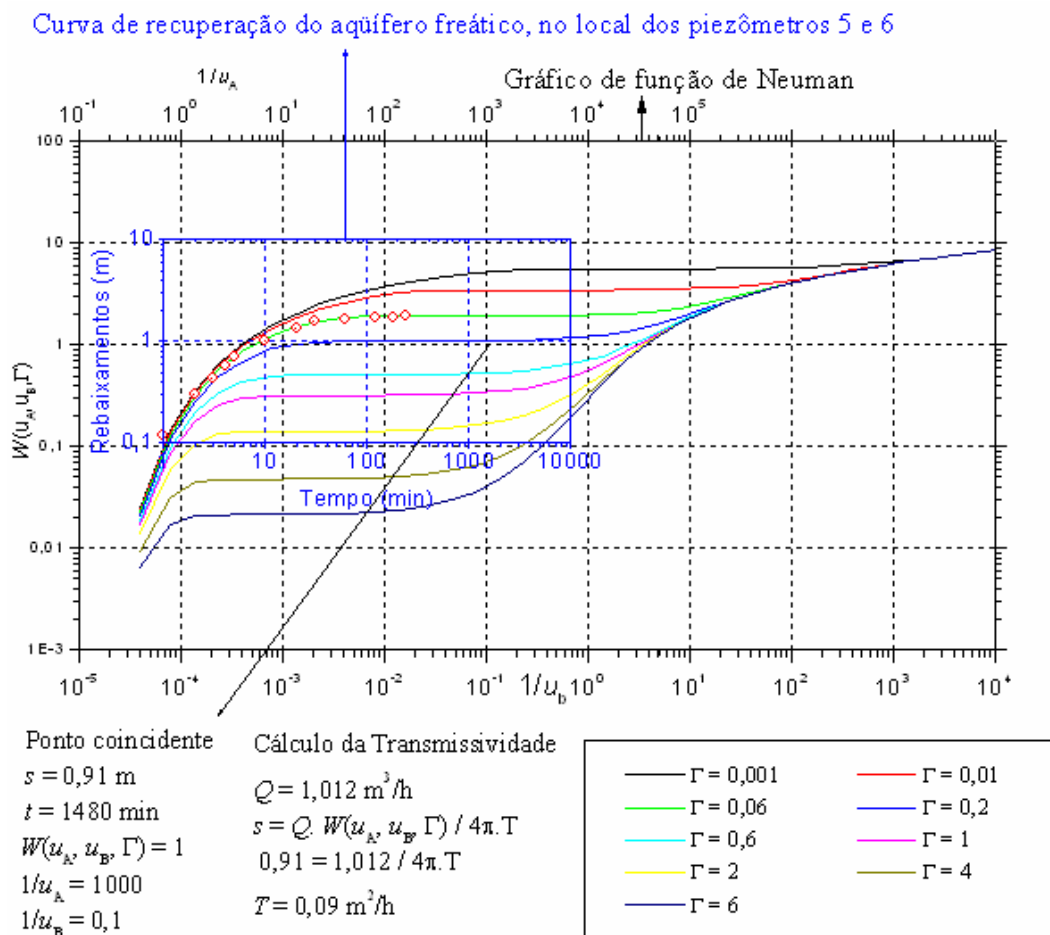


Figura 6. Método da superposição da família de curvas de Neuman com os dados de rebaixamento \times tempo, obtido no teste de infiltração realizado nos piezômetros 5 e 6 para determinação da Transmissividade do aquífero freático, no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU.

Com o ensaio de infiltração obteve-se uma Transmissividade (T) de $0,09 \text{ m}^2/\text{h}$ e, sabendo-se que $K = T/b$, onde b é a espessura saturada do intervalo ensaiado, antes do início da infiltração. No caso, igual à diferença entre a profundidade do piezômetro e o nível d'água ($9,40 \text{ m} - 8,58 \text{ m} = 0,82 \text{ m}$).

Assim, $K = 0,09/0,82 = 0,11$ m/h ou 2,64 m/dia, um valor bastante elevado já que a Condutividade Hidráulica em areias limpas é de 1 m/dia. Com este valor de Condutividade Hidráulica (2,64 m/dia) o solo tem capacidade para infiltrar praticamente toda água precipitada nas chuvas, mesmo as de maior intensidade.

4. DISCUSSÃO

Para os índices físicos calculados por correlação nas amostras retiradas dos taludes, em diversas profundidades, variáveis entre 0,3 m e 6 m, obteve-se a média de 53% de porosidade, 29,3% de saturação e 70,7% de aeração. Verifica-se que estes resultados são bastante coerentes com os resultados obtidos em amostras de solos retiradas em diversos outros pontos do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, nas profundidades de 0,2 e 0,4 m, já que, conforme pode ser verificado nas tabelas 1 e 2, os valores de porosidade variaram entre 47 e 57%, a saturação entre 30 e 45% e a aeração entre 55 e 70%.

Estes valores médios encontrados, Porosidade (n) igual a 53% e Grau de Saturação (S_r) igual a 29,3%, foram utilizados para determinar-se a Capacidade de Armazenamento (C_a) e o Armazenamento Unitário (A_U), conforme observa-se abaixo.

De acordo com a equação (7): $C_A = 0,53 - 0,53 \times 0,293 = 0,375$.

Substituindo na equação (8) temos: $A_U = 0,375$ m³. Assim, para cada 0,375 m de lâmina d'água infiltrada obter-se-á 1 m de subida do nível d'água do aquífero freático.

Os resultados dos excedentes hídricos obtidos através do balanço hídrico, no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, foram divididos pelo valor encontrado para o Armazenamento Unitário, e comparado com as medidas diárias de variações dos níveis d'água nos piezômetros para o conhecimento da recarga do aquífero freático na área do estudo, e, também, as taxas de descarga nas fontes que vão alimentar o fluxo de base do ribeirão Itaim.

4.1. Avaliação da recarga natural

Como foi visto anteriormente, baseado nos índices físicos, para cada 0,375 m de lâmina d'água infiltrada tem-se 1 m de subida do nível d'água do aquífero freático.

Sabendo-se o excesso de água disponível no perfil do solo através do cálculo do balanço hídrico e conhecendo as variações do nível d'água do aquífero freático, medidas nos piezômetros, por comparação, pode-se estimar a recarga natural e saber como ela ocorre em função das chuvas.

Observou-se que, no piezômetro 1, nenhuma medida do nível d'água foi inferior ao Datum 3,46 m abaixo do nível do solo. Assim, o gráfico da figura 7 foi realizado adotando-se o Datum - 3,46 m abaixo do solo, no local do piezômetro 1, como nível zero. Assim, para que as oscilações do nível d'água fossem sempre positivas em relação ao Datum, todas as medidas históricas do nível d'água obtidas foram subtraídas de 3,46 m. O gráfico da variação do nível d'água, no tempo (em vermelho), disposto junto com o gráfico das precipitações (em verde), mostra que, após o início do período chuvoso, a partir de novembro de 2005, o nível d'água do aquífero freático sobe continuamente e rapidamente, atingindo um máximo no dia 18 de fevereiro de 2006. Após esta data há um período de recessão curto e com forte abatimento do nível, que dura até 8 de março de 2006.

Traçando-se a reta média neste período curto (figura 7), obtém-se um coeficiente angular de 38,75 mm/dia que corresponde a 14,53 mm/dia de queda da altura da lâmina d'água contida no aquífero freático (igual a 38,75 multiplicado por 0,375), conforme descrito anteriormente. Este é o valor da taxa de descarga de água armazenada no aquífero freático, nas fontes onde há exudação, no período considerado, quando o potencial hidráulico é alto, maior que 0,6 m acima do Datum 3,46. Esta taxa mostra que a descarga média da água do aquífero freático nas fontes (para esta altura de potencial hidráulico) é de 1 m³/dia para cada 68 m² do terreno. Enquanto há infiltração de água das chuvas, até 23/4/2006, o nível d'água se mantém praticamente constante, ou seja, a perda de água nas fontes se iguala à água infiltrada proveniente das precipitações.

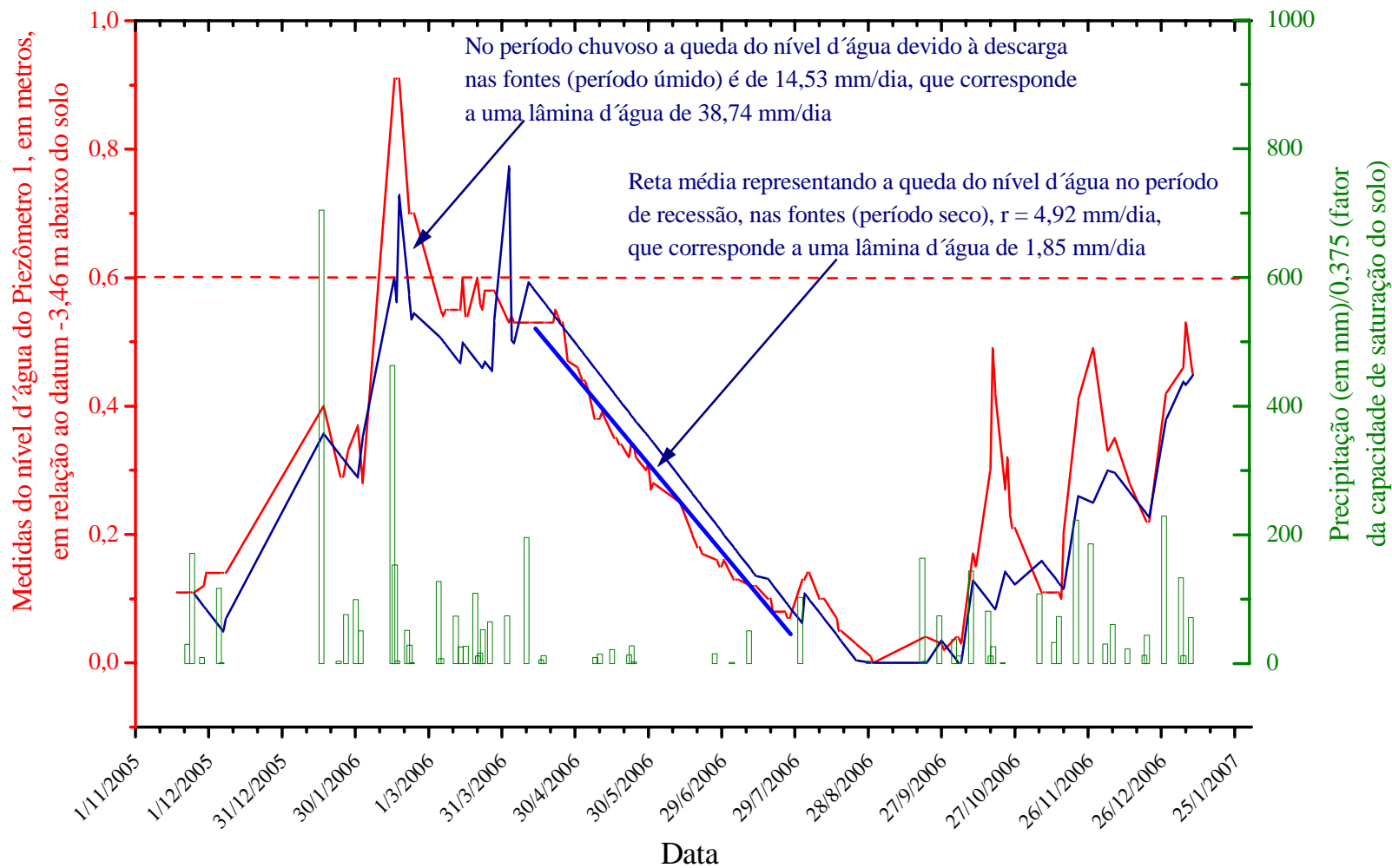


Figura 7. Gráfico das medidas do nível d'água no Piezômetro 1 (em vermelho), precipitação (em verde) e alturas equivalentes do nível d'água considerando os dados do balanço hídrico (em azul escuro), no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, no período 1nov2005-25jan2007.

De 23/04/2006 a 27/07/2006 ocorre um longo período de recessão. Traçando-se a reta média neste período (quando as medidas são inferiores ao potencial hidráulico de 0,6 m acima do Datum 3,46 m), obtém-se o coeficiente angular igual a 4,92 mm/dia. Considerando que, para cada 0,375 m de lâmina d'água infiltrada ocorre 1 m de subida do nível d'água, resulta em 1,85 mm/dia de taxa de recessão da lâmina d'água no aquífero freático, em média (igual a 4,92 multiplicado por 0,375). Esta é a taxa de descarga da água armazenada no aquífero freático, nas fontes de exudação, durante o período seco. Esta taxa mostra que a descarga média da água do aquífero freático nas fontes, neste período, é de 1 m³/dia por cada área de 540 m² do terreno.

O gráfico em linha (azul escuro) da figura 7 representa as medidas equivalentes de excedente hídrico no perfil do solo. Quanto estes pontos estão acima do nível d'água, conclui-se que há escoamento superficial (igual à diferença entre o ponto considerado, em azul escuro, e o ponto situado abaixo, na vertical, na curva do nível d'água, em vermelho, dividido pelo fator 0,375 m).

Nos períodos situados entre 12 de outubro e 5 de novembro, e entre 16 de novembro e 15 de dezembro de 2006, o nível d'água do aquífero freático sobe mais do que há água disponível no balanço hídrico. Verifica-se que, é justamente nestes períodos (final do período seco e início do período chuvoso), quando há germinação das culturas, há recarga artificial involuntária devido ao lançamento, por aspersão, da água bombeada do ribeirão Itaim nas plantações experimentais da Faculdade de Agronomia, situadas a montante da área onde estão instalados os piezômetros.

Como este é um fator de recarga efêmero, a subida do nível d'água é rápida assim como o seu descenso.

4.2. Contaminação das águas do aquífero freático

Os resultados das análises bacteriológicas são preocupantes na área (tabela 5), pois no piezômetro 4 foram encontrados índices elevados da bactéria *Escherichia Coli*, um coliforme fecal. A presença de bactérias fecais no piezômetro 4, a 4,5 m de profundidade, indica que o aquífero freático é muito vulnerável na região, pois o solo possui alta porosidade (53%, em média), e horizontes predominantemente franco-arenosos, com pouca argila para adsorver ou absorver poluentes e/ou bactérias que migram facilmente até o aquífero freático juntamente com a água que percola o solo advinda das chuvas ou, do ribeirão Itaim, bombeada para irrigar as culturas existentes na Faculdade de Agronomia da UNITAU, durante o período de germinação.

Metais como o chumbo e bário, também estão presentes, e os seus pesos atômicos elevados mostram que somente podem estar sendo transportados como parte da massa coloidal. O teor de dureza mostra que também existem, nesta massa, carbonatos de cálcio. A maior parte do ferro encontrado provavelmente encontra-se no estado coloidal.

A presença de bactérias (coliformes fecais) indica que estas são transportadas junto com os colóides e sobrevivem no solo até a profundidade de 4,5 m, ao menos, já que o piezômetro 4 atinge esta profundidade.

Embora a área do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU tenha sido utilizada para fins agrícolas há bastante tempo, e de forma metódica há pelo menos 30 anos, não há vestígios de agrotóxicos ou desinfetantes nas águas do aquífero freático. Da mesma forma, existe uma pista para pouso e decolagem de helicópteros e aviões do Exército Brasileiro, em uma área vizinha ao Departamento de Ciências Agrárias, na Base Aérea da Aviação do Exército (BAVEX) e, mesmo assim, apesar do uso freqüente de hidrocarbonetos (combustíveis) e solventes, não há vestígios de orgânicos nas águas subterrâneas do aquífero freático. Estes fatos mostram que, embora as camadas de solo que contém o aquífero freático sejam bastante porosas e permeáveis, permitindo inclusive a sobrevivência de bactérias, elas tem um poder depurativo bastante efetivo quanto aos pesticidas, adubos, solventes e hidrocarbonetos.

Tabela 5. Resultados das análises químicas e bacteriológicas realizadas pela SABESP, de São José dos Campos, em amostras coletadas em 26/04/2006.

Parâmetros	Unidades	Limite de Detecção	Limite Portaria 518/2004	Piezômetros=profundidades (m)				
				P1=4,0	P2=6,0	P3=5,4	P4=4,5	P5=9,4
Alumínio	mg/L	0,02	0,2	0,02	<0,02	0,03	<0,02	0,11
Amônia	mg/L	0,02	1,5	0,12	0,12	0,09	0,15	0,13
Antimonio	mg/L	0,003	0,005	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Arsênico	mg/L	0,005	0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Bário	mg/L	0,05	0,7	0,65	0,38	0,68	1,21	0,2
Cádmio	mg/L	0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cianeto	mg/L	0,03	0,07	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	<0,03
Chumbo	mg/L	0,005	0,01	0,274	0,116	0,222	0,745	0,076
Cloreto	mg/L	1	250	23,01	<1	11,88	<1	<1
Cobre	mg/L	0,05	2	0,06	<0,05	0,07	0,18	0,22
Cond. Especifica	µS/cm	0,1		109,9	24,2	51,5	16	15,5
Cor Aparente	UC	5	15	3000	1250	1750	5000	500
Cromo Total	mg/L	0,005	0,05	0,053	0,027	0,059	0,15	0,031
Escherichia Coli	NMP/100ml	1	0	<1	<1	<1	25	<1
Ferro	mg/L	0,05	0,3	105,56	42,78	103	211,6	25,18
Fluoreto	mg/L	0,2	1,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Manganês	mg/L	0,05	0,1	2,46	1,24	2,24	7,64	0,83
Mercurio	mg/L	0,0002	0,001	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Monocloramina	mg/L	0,06	3	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Nitrato	mg/L	0,05	10	0,92	1,2	1,22	0,6	0,7
Nitrito	mg/L	0,01	1	0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
pH	pH			4,9	5,3	5,1	5,4	5,7
Selênio	mg/L	0,005	0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Sódio	mg/L	0,05	200	4,75	2,06	1,5	1,25	0,64
Sulfato	mg/L	2	250	6,4	3,15	2,21	26,58	2,22
Sulfeto	mg/L	0,03	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Surfactantes	mg/L	0,03	0,5	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Turbidez	NTU	0,1	5	1840	780	1280	4010	318
Zinco	mg/L	0,05	5	0,175	0,162	0,269	0,42	0,272
Solidos Totais Dis.	mg/L	1	1000	56	11	24	7	7
Temp.da Amostra	°C			24	24	24	24	24

A quantidade de sólidos totais dissolvidos (variando entre 7 e 56 mg/L) indica que os elementos dissolvidos em estado iônico, perfazem uma pequena quantidade, havendo uma massa predominante de elementos em estado coloidal.

5. CONCLUSÕES

Na área da bacia do rio Una, onde está localizada o Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, ocorrem latossolos vermelho-amarelos (conhecidos como variação Una), constituídos, principalmente, pelos argilo-minerais caulinita e illita, e grãos de quartzo. A espessura deste solo, coluvionar, 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.

Ensaio geotécnicos realizados em amostras coletadas na área do Departamento de Ciências Agrárias, 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, 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, haverá um metro de correspondente elevação da coluna de água do aquífero freático. Neste trabalho, esta capacidade de armazenar água por m³ de solo, foi definida como sendo o Armazenamento Unitário do Solo.

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 reais) tem uma correspondente variação da água infiltrada, obtida através do balanço hídrico realizado no mesmo período.

Os métodos utilizados e os resultados obtidos permitiram calcular a descarga de água do aquífero freático nas fontes, sendo de 14,53 mm/dia no período chuvoso (entre 8 de fevereiro e 3 de março de 2006), e de 1,85 mm nos outros 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 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 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.

6. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, F.F.M. (1976). *"The system of continental rifts bordering the Santos Basin. Brazil, Rio de Janeiro"*. Anais Academia Brasileira de Ciências, n.48 (Supl.), pp.15-26.

BUENO, B.S.; VILAR, O.M. (1984). *Mecânica dos Solos*. Escola de Engenharia de São Carlos/Departamento de Geotecnia, Publicação 004/85, São Carlos, 131 p.

CAPUTO, H.P. (1986). *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 5ª Ed., Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, v.1, 219p.

CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F.D. (1976). *"Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos"* in Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, Ouro Preto, 1976, v.4, pp.247-256.

COLTRINARI, L. (1992). *"Geomorfologia e dinâmica quaternária no sudeste do Brasil"*. Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP, São Paulo, 6, pp.7-16.

DAEE (1977a). *Estudo de águas subterrâneas: Região Administrativa 3 – S.J. dos Campos e faixa litorânea*. Enco/DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo, 1, 112 p. (texto).

DAEE (1977b). *Estudo de águas subterrâneas: Região Administrativa 3, S.J. dos Campos e faixa litorânea*. Enco/DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo, 5, 160 p. (mapas e tabelas).

D'ANGIOLELLA, G.L.B.; VASCONCELLOS, V.L.D. (2002). *"Cálculo do balanço hídrico climatológico com diferentes métodos para estimativa da evapotranspiração potencial, em planilhas Excel™"* in Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu, Setembro/2002. Trabalho em CD-ROM.

- FRANCO FILHO, F.W.B.; SOUZA, J.C.S. (1994). “*Exploração de água subterrânea em São José dos Campos – efeitos observados ao longo do tempo*” in Anais do VIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS/DNPM/CPRM, Recife, dez. 1994, 1, pp.113-123.
- HASUI, Y.; GIMENEZ, A.F.; MELO, M.S. (1978). “*Sobre as bacias tafrogênicas do sudeste brasileiro*” in Anais do XXX Congresso Brasileiro Geologia, SBG, Recife, 1978, 1, pp.382-392.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W. (1978). “*Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté*” in XXX Congresso Brasileiro Geologia, SBG, Recife, 1978, 1, pp.368-381.
- MELO, M. S.; CAETANO, S.L.V.; COIMBRA, A.M.. (1986). “*Tectônica e sedimentação nas áreas das bacias de São Paulo e Taubaté*” in Anais do XXXIV. Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, Goiânia, 1, pp.321-336
- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; FILHO, B.C. (1999). *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida*. IAC (Instituto Agronômico de Campinas) – Embrapa Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), Campinas, 64 p., mapa.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA; N.A.; SEDIYAMA, G.C. (1997). *Evapo(transpi)ração*. FEALQ, Piracicaba, 183 p.
- PREVEDELLO, C. L. (1996). *Física do solo com problemas resolvidos*. C.L.Prevedello, Curitiba, 446 p.
- RICCOMINI, C. (1989). *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 256 p.
- RUSHTON, K. R.; WARD, C. (1979). “*The Estimation of Ground Water Recharge*”. Journal of Hidrology, Washington, 40, pp.49-65.
- STANCATI, G.; NOGUEIRA, J.B.; VILAR, O.M. (1981). *Ensaio de laboratório em mecânica dos solos*. EESC – USO, Publicação 004/87, São Carlos, 208 p. il.
- VERDADE, F. C.; HUNGRIA, L.S. (1966). “*Estudo genético da Bacia Orgânica do Vale do Paraíba*”. Revista Bragantia, Campinas, 25 (16), pp.189-202.