UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DAS ZONAS NÃO
SATURADA E SATURADA DA FORMAÇÃO
ADAMANTINA, EM PRESIDENTE PRUDENTE,
ESTADO DE SÃO PAULO**

Manoel Carlos Toledo Franco de Godoy

Orientadora: Profa. Dra. Annkarin Aurélia Kimmelman e Silva

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1999

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DAS ZONAS NÃO SATURADA E
SATURADA DA FORMAÇÃO ADAMANTINA, EM PRESIDENTE
PRUDENTE, ESTADO DE SÃO PAULO**

MANOEL CARLOS TOLEDO FRANCO DE GODOY

Orientadora: Prof^a Dr^a Annkarin Aurélia Kimmelman e Silva

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof^a Dr^a Annkarin Aurélia K. e Silva

Examinadores: Prof. Dr. Luiz Roberto Cottas

Prof^a Dr^a Mária Szikszay

Prof. Dr. Osmar Sinelli

Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

[Handwritten signatures in blue ink over horizontal lines]

**SÃO PAULO
1999**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DAS ZONAS NÃO
SATURADA E SATURADA DA FORMAÇÃO
ADAMANTINA, EM PRESIDENTE PRUDENTE,
ESTADO DE SÃO PAULO**

Manoel Carlos Toledo Franco de Godoy

Orientadora: Profa. Dra. Annkarin Aurélia Kimmelman e Silva

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005030

SÃO PAULO
1999

Ao meu pai, João (in memoriam).

À minha mãe, Vera.

À minha esposa, Nelsi.

Aos meus filhos, Marina e Leonardo.

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta tese foi possível graças à colaboração de pessoas e instituições, a quem dirijo meus agradecimentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo apoio financeiro ao projeto da pesquisa, sem o qual esta não seria executada.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual Paulista - UNESP/ Campus de Presidente Prudente, na pessoa do ex-diretor, Prof. Dr. Alvanir de Figueiredo e do atual diretor, Prof. Dr. Messias Meneguette Júnior, pela cessão de uma área do campus para a execução da pesquisa e pela garantia do serviço prestado à pesquisa pelo Laboratório de Sedimentologia desta unidade da UNESP.

Ao Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas - CEPAS, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - IGUSP, pela sua colaboração com a pesquisa através de recursos técnicos fornecidos para o trabalho de campo da pesquisa e através do serviço do seu Laboratório de Hidroquímica.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, Unidade de Negócios do Baixo Paranapanema, na pessoa do Engº. João Francisco Herzmann Netto, Gerente de Controle Sanitário, pela sua colaboração na execução de análises químicas de água.

Ao Prof. Dr. Osny de Oliveira Bacchi, do Centro de Pesquisas Nucleares da Agricultura - CENA e ao Prof. Dr. Klaus Reichardt, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ, pela atenção que me concederam para a solução de questões relacionadas à Física de Solos.

Aos docentes da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual Paulista - UNESP/ Campus de Presidente Prudente: Prof. Dr. Homero Marques Gomes, Prof. Ms. Roberto Bernardo de Azevedo, Prof. Dr. Sílvio Rainho Teixeira, Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tomaselli, Prof. Dr. Angel Vilche Peña, do Departamento de Física, Química e Biologia, Prof. Dr. José Martin Suarez, Prof. Dr. Octavio Freire, Prof. Dr. Wolmar Aparecida Carvalho, do Departamento de Geografia e Prof. Dr. Sérgio Minoru Oikawa, do Departamento de

Matemática e Estatística, pela sua ajuda com relação a questões específicas aos campos de conhecimento de cada um deles.

Aos funcionários da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP/ Campus de Presidente Prudente: Maria Cristina Perusi, Pedro Gardim e Marilza De Stéfani Cardoso, pela sua particular consideração à minha pessoa e pela dedicação profissional com que prestaram sua colaboração.

Aos alunos e ex-alunos da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP/ Campus de Presidente Prudente: Darsio Cândido Batista, Adão Robson Elias, do Curso de Bacharelado em Geografia, pela sua ajuda em trabalhos de campo e Ítalo Tsuchyia, Frederic Gomes da Silva e Hostílio Maia de Paula Neto, do Curso de Engenharia Cartográfica, pela sua importante ajuda no serviço de campo e no cálculo de planilhas do levantamento topográfico.

À Prof^a. D^a. Annkarin Aurelia Kimmelman e Silva, minha orientadora no curso de pós-graduação, pela orientação, acompanhamento e apoio para a elaboração desta tese.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1. PESQUISAS EM HIDROGEOQUÍMICA ATRAVÉS DE EQUIPAMENTOS FIXOS.....	3
3.2. ASPECTOS DE HIDRODINÂMICA EM MEIOS POROSOS.....	7
3.3. ZONA NÃO SATURADA.....	8
3.4. FLUXO NA ZONA NÃO SATURADA.....	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	13
4.2. CLIMA REGIONAL.....	14
4.3. HIDROLOGIA.....	15
4.4. GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA	17
4.5. GEOLOGIA.....	19
4.5.1. Geologia Regional.....	19
4.5.2. Geologia Local.....	21
4.6. HIDROGEOLOGIA.....	23
4.7. ESCOLHA DA ÁREA PARA A INSTALAÇÃO DA ESTAÇÃO PILOTO.....	28
4.8. CONSTITUIÇÃO DA ESTAÇÃO PILOTO.....	34
4.9. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	37
4.9.1. Bases Cartográficas Utilizadas.....	39
4.9.2. Escolha do Local de Instalação dos Equipamentos.....	39
4.9.3. Levantamento Geológico e Pedológico de Detalhe.....	41
4.9.3.1. Amostragem de rochas e de solos.....	42
4.9.3.2. Zoneamento do substrato rochoso na zona não saturada.....	44
4.9.3.3. Caracterização pedológica do solo.....	45
4.9.4. Informações sobre a Hidrodinâmica da Zona Não Saturada.....	46
4.9.4.1. Dados da estação meteorológica.....	46

4.9.4.2. Medidas de potencial de água no solo: tensiômetros.....	48
4.9.4.3. Medidas de potencial de água no solo - blocos de gesso.....	51
4.9.4.4. Ensaio de infiltração.....	54
4.9.4.5. Determinações de laboratório - correlação umidade x potencial mátrico e curva de retenção.....	58
4.9.4.6. Medida do escoamento superficial.....	59
4.9.4.7. Classificação do meio poroso relacionada à condutividade hidráulica.....	62
4.9.5. Informações sobre a Hidrodinâmica da Zona Saturada.....	62
4.9.5.1. Dados climatológicos para a recarga.....	63
4.9.5.2. Medições do nível freático.....	64
4.9.6. Hidrogeoquímica.....	67
4.9.6.1. Coleta de amostras de água.....	69
A – Coleta da zona não saturada.....	69
B – Coleta do aquífero livre.....	71
C- Coleta junto às surgências.....	73
D - Coleta de água de chuva.....	73
4.6.9.2. Análises químicas.....	74
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
5.1. DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	76
5.2. RESULTADOS REFERENTES À LITOLOGIA E À PEDOLOGIA	78
5.3. PROPRIEDADE DO SOLO RELACIONADAS À ÁGUA.....	88
5.3.1. Capacidade de Retenção de Água	88
5.3.2. Resultados do Ensaio de Infiltração.....	88
5.3.3. Determinação da Condutividade Hidráulica.....	96
5.4. RESULTADOS REFERENTES A DADOS DE MONITORAMENTO.....	96
5.4.1. Resultados Referentes à Variação do Potencial de Água no Solo.....	96
A - Resultados dos tensiômetros.....	97
B - Resultados dos blocos de gesso.....	104
5.4. 2. Comportamento do Nível Freático.....	105
5.4.3. Resultados Referentes ao Escoamento Superficial.....	114
5.5. ZONEAMENTO REFERENTE À HIDRODINÂMICA.....	117
5.6. RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS.....	121

5.6.1. Apresentação dos Resultados.....	121
5.6.2. Alteração no Projeto de Monitoramento Hidrogeoquímico.....	122
5.6.3. Interpretação dos Resultados.....	123
5.6.3.1. Resultados de análise estatística.....	123
5.6.3.2. Resultados referentes à zona não saturada.....	126
5.6.3.3. Resultados das análises referentes ao aquífero freático	128
A –Condutividade elétrica, pH, CO_3^{2-} e HCO_3^-	128
B – Resultados referentes a possíveis contaminantes	132
C – Resultados Referentes a NO_3^-	133
D - Resultados Referentes a Cl^-	137
E - A Utilização dos íons Cl^- , Na^+ e NO_3^- na análise da recarga do aquífero livre.....	137
F - Resultados referentes aos teores de Na^+ na água do poço tubular.....	139
G - SO_4^{2-} - Interpretações referentes ao rejeito de laboratório.....	141
5.6.3.4. Resultados referentes à água da chuva e do açude.....	144
5.6. Zoneamento Hidrogeoquímico da Área Estudada.....	144
 6.CONCLUSÕES.....	 145
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 150

LISTA DE QUADROS

1	Arcabouço dos procedimentos adotados na pesquisa.....	38
2	Investigação preliminar para escolha do local de instalação dos equipamentos.....	40
3	Levantamentos geológico e pedológico de detalhe.....	41
4	Aspectos metodológicos da hidrodinâmica da zona não saturada.....	47
5	Aspectos metodológicos da hidrodinâmica da zona saturada.....	63
6	Propriedades e recursos técnicos relacionados à hidroquímica e utilizados na pesquisa.....	67
7	Descrição das amostras de solo e rocha.....	82
8	Características morfológicas do solo encontrado na trincheira T1.....	79
9	Características morfológicas do solo encontrado na trincheira T3.....	81
10	Identificação dos resultados selecionados para a aplicação de testes estatísticos.....	123

LISTA DE TABELAS

1	Resumo dos registros de temperatura e precipitação em Presidente Prudente de 1969 a 1995.....	15
2	Balanço hídrico seriado – Presidente Prudente – julho/96 a julho/98.....	76
3	Resultados de análise granulométrica e grau de cimentação - amostras de solo e rocha.....	80
4	Análise granulométrica e índices físicos do solo encontrado na trincheira T1.....	83
5	Análise química do solo encontrado na trincheira T1.....	84
6	Resultados de análise do solo por Ataque Sulfúrico – Trincheira 1.....	84
7	Retenção de água no solo – Trincheira T1.....	89
8	Ensaio de infiltração – estimativa de permeabilidade – 1ª etapa.....	90
9	Ensaio de infiltração - estimativa da permeabilidade - 2ª etapa.....	91
10	Ensaio de infiltração – Cálculo de umidade por massa	92
11	Ensaio de infiltração – Cálculo de umidade por volume.....	93
12	Ensaio de infiltração – Cálculo de umidade por volume – amostras indeformadas.....	94
13	Potencial do solo – tensiômetros – ano de 1996.....	98
14	Potencial do solo – tensiômetros – ano de 1997.....	99
15	Potencial do solo – tensiômetros – ano de 1998.....	100
16	Variação da umidade do solo na estação piloto – junho de 1997.....	102
17	Variação da umidade no solo da estação piloto – outubro de 1997.....	103
18	Potencial do solo – blocos de gesso.....	104
19	Variação do nível do aquífero livre.....	106
20	Variação da profundidade do topo aquífero livre – 1996.....	107
21	Variação da profundidade do topo aquífero livre – 1997.....	108
22	Variação da profundidade do topo aquífero livre – 1998.....	109
23	Medidas de escoamento superficial - 1997.....	114

24	Medidas de escoamento superficial – 1998.....	116
25	Números de medidas utilizados no teste estatístico referente aos dados de análises químicas.....	124
26	Resultados das análise química referente a amostras dos extratores de cápsula porosa.....	126
27	Teor de metais de extrato de solo e rocha.....	127
28	Valores de medidas de condutividade elétrica (200us).....	129
29	Resultados de determinação do Ph <i>in loco</i>	130
30	Resultados de análise química da água - CO_3^{2-} e HCO_3^-	131
31	Estimativa da quantidade de NO_3^- , Cl^- e Na^+ introduzidos no solo pelo vazamento de coletor de água residuária.....	132
32	Resultados de análises química de água - NO_3^- (mg/L).....	134
33	Resultados de análise química da água - Cl^- (mg/L).....	135
34	Resultados de análise química da água - Na^+ (mg/L).....	136
34	Variação dos teores de Na^+ , Cl^- , F^- e NO_3^- – poço PM02.....	138
36	Resultados de análise química - íon SO_4^{2-} (mg/L).....	142

LISTA DE FIGURAS

1	Estação de observação na Planície Alsaciana – plano de instrumentação.....	6
2	Estação de observação na Planície Alsaciana – equipamento básico de cada estação.....	6
3	Mapa de localização da área de estudo e principais vias de comunicação rodoviária.....	13
4	Localização da área da pesquisa em relação à rede hidrográfica e ao território municipal de Presidente Prudente.....	16
5	Esboço geológico da Bacia Sedimentar do Paraná no Estado de São Paulo.....	20
6	Distribuição das unidades do Grupo Bauru (Ks) no Estado de São Paulo	22
7	Perfil geológico do poço tubular instalado no <i>Campus</i> da FCT/UNESP.....	27
8	Localização da área da pesquisa em relação ao <i>Campus</i> da FCT/UNESP.....	29
9	Planta da Estação Piloto: localização dos tensiômetros, extratores de cápsula porosa e blocos de gesso.....	36
10	Exemplo de perfil de varredura do método GPR	40
11	Planta planialtimétrica da área pesquisada.....	43
12	Esquema de instalação de um tensiômetro de coluna de mercúrio.....	50
13	Ábaco utilizado para conversão de leituras do medidor Soilmoisture em valores de potencial mátrico.....	53
14	Esquema de duas técnicas adotadas para o ensaio de infiltração de água no solo.....	55
15	Esquema de canteiro de deflúvio superficial.....	59
16	Perfil esquemático de poço de monitoramento.....	65

17	Esquema de extrator de cápsula porosa.....	70
18	Balanço hídrico - método de Thorntwaite - 07/96 a 07/98.....	77
19	Planta da área delimitada por levantamento topográfico no campo.....	86
20	Curva de retenção de água - trincheira T1.....	89
21	Ensaio de infiltração – gráfico infiltração x tempo.....	91
22	Gráfico umidade x profundidade em tempos diferentes, durante e após a inundação.....	95
23	Potencial do solo – tensiômetros	98
24	Potencial do solo – tensiômetros – ano de 1997.....	99
25	Potencial do solo – tensiômetros – ano de 1998.....	100
26	Variação da profundidade do topo do aquífero livre – 1996.....	107
27	Variação da profundidade do topo do aquífero livre – 1997.....	108
28	Variação da profundidade do topo do aquífero livre – 1998.....	109
29	Esboço de mapa potenciométrico.....	112
30	Gráfico de relação chuva x deflúvio superficial - 1997.....	115
31	Gráfico de relação chuva x deflúvio superficial - 1998.....	116
32	Zoneamento do meio ambiente na área da pesquisa com base em características hidrodinâmicas, hidrogeoquímicas e de interferência antrópica.....	119
33	Perfil da encosta Oeste da área pesquisada – Hidrogeologia.....	120
34	Variação de teores de Na^+ , Cl^- , F^- e NO_3^- - poço PM02.....	138

LISTA DE FOTOS

1	Detalhe de perfil da zona não saturada – próximo ao <i>Campus</i> da FCT/UNESP.....	24
2	Vista de perfil da zona não saturada.....	24
3	Área do pomar – instalação de estufa.....	32
4	<i>Campus</i> da FCT/UNESP – açude.....	32
5	Depósito de lixo de laboratório	33
6	Detalhe de vazamento de coletor de água residuária.....	33
7	Bateria de tensiômetros e extratores de cápsula porosa.....	52
8	Medidor e blocos de gesso <i>Soilmoisture</i>	52
9	Área destinada ao ensaio de infiltração.....	61
10	Canteiro de deflúvio superficial em instalação.....	61
11	Detalhe de instalação de poço de monitoramento.....	66
12	Medição do nível freático – PM05.....	66
13	Extração de água do solo – bombas de vácuo <i>Pfeiffer</i>	72
14	Surgência desaterrada na trincheira T1.....	72
15	Trincheira T2 – horizonte Ap.....	87
16	Trincheira T3 – perfil de solo, com detalhe de ressudação d'água.....	87

RESUMO

A área estudada está localizada na porção oeste do Estado de São Paulo, em terreno formado por depósitos sedimentares da Formação Adamantina, Grupo Bauru, Cretáceo Superior.

Os objetivos do estudo foram o monitoramento, através de uma estação piloto, do comportamento hidrodinâmico e hidrogeoquímico das zonas não saturada e saturada.

Os resultados demonstraram que diversas variáveis devem ser consideradas nos processos estudados, inclusive as de natureza antrópica. A pesquisa mostrou também uma resposta de tempo muito curto do nível freático aos eventos de precipitação pluvial, assim como a heterogeneidade espacial do ponto de vista hidrogeoquímico, em razão das diferentes combinações de variáveis de natureza litológica, estrutural, pedológica, hidrológica, da vegetação e de formas de ocupação e uso do terreno.

ABSTRACT

The area under study is located in the western portion of the State of São Paulo and it is composed by cretaceous sedimentary deposits of the Adamantina Formation, Bauru Group.

The objective of the study was monitoring, by means of a pilot station, the hydrodynamical and hydrogeochemical behavior of the unsaturated and saturated zones of these deposits.

The results showed that several variables must be considered as involved in the processes under survey, including the anthropic ones.

The research also showed a short time response of the water table level to rain events and a spatial hydrogeochemical heterogeneity, because of different ways of combining variables which are involved, such as lithological and structural features, the behavior of the soils, as well the vegetation and the forms of land use.

1. INTRODUÇÃO

A zona não saturada, do ponto de vista hidrodinâmico e do comportamento geoquímico das águas entre o acontecimento da chuva e a infiltração definitiva no aquífero freático, vem sendo pesquisada mais intensamente pelos hidrogeólogos nas últimas duas décadas, com isto valorizando a função de estações-piloto, tanto em caráter de observação, como para fins experimentais. O presente estudo mostra a instalação de uma tal estação e um trabalho de monitoramento associado a ela, no Município de Presidente Prudente, no Estado de São Paulo, em domínios dos depósitos sedimentares do Grupo Bauru, especificamente em área de afloramento da Formação Adamantina, muito vulnerável à crescente contaminação por resíduos líquidos e sólidos, industriais e domiciliares.

A partir desta estação, foi estudado o comportamento hidrodinâmico e hidrogeoquímico da zona não saturada e da zona saturada em região de clima subtropical úmido, com solos sujeitos a reações biogeoquímicas intensas. Além do monitoramento do "background" durante um ano hidrológico, foi monitorada a composição química da água no solo e no subsolo, após ter acontecido a contaminação pelo rompimento de um coletor de água residuária, cuja existência era até então desconhecida.

Neste estudo, foram analisados em conjunto fatores do ambientes de natureza diversa, que interferem na hidrodinâmica e a hidrogeoquímica, para serem estabelecidas correlações entre eles e o comportamento da água subterrânea.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo são:

- 1- A concepção e a construção de uma estação-piloto (EP) para pesquisa de observação e pesquisa experimental das zonas não saturada e saturada da Formação Adamantina (Ks), com localização no Município de Presidente Prudente, Estado de São Paulo, utilizando-se os recursos mais modernos de que se dispõe para este fim;
- 2- Monitoramento do comportamento hidrodinâmico de um aquífero livre muito vulnerável, como o aquífero Adamantina;
- 3 - Monitoramento, para obtenção de dados de "background" hidrogeoquímico, durante um ano hidrológico, do comportamento químico e físico da água através da zona não saturada, desde a sua infiltração a partir das precipitações pluviais até a sua incorporação ao aquífero freático;
- 4 - Monitoramento dos comportamentos físico e químico de substâncias potencialmente tóxicas, que são introduzidas no terreno em estudo e estabelecimento de um padrão de contaminação da zona não saturada e do aquífero.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PESQUISAS EM HIDROGEOQUÍMICA ATRAVÉS DE EQUIPAMENTOS FIXOS

De acordo com a bibliografia disponível, tradicionalmente estações-piloto não são comumente empregadas em estudo da água subterrânea. As pesquisas executadas com equipamento fixo, concernentes à evolução de processos de hidrodinâmica e hidrogeoquímica nas zonas não saturada e saturada têm-se baseado no emprego de lisímetros e colunas muito mais freqüentemente do que em estações piloto. Os métodos associados a estes equipamentos são aplicados predominantemente a pesquisas experimentais.

Com relação a estudos experimentais, trabalhos de especialistas em ciências do solo, interessados geralmente na questão de efeitos de um ou mais tipos de contaminantes no sistema água-solo-planta, vêm contribuindo significativamente para as pesquisas referentes à contaminação da água subterrânea. As discussões e conclusões apresentadas nestes trabalhos são muito diversificadas, sendo extensas em alguns deles, devido ao fato de estarem apoiadas em experimentos com associações variadas das substâncias introduzidas, em de natureza diversa e em variadas condições físicas e temporais de experimentação.

Procedimentos baseados no emprego de lisímetros ou colunas são muito semelhantes entre si, podendo, através deles, ser controladas as condições físicas e químicas de um experimento. Os lisímetros são expostos ao ar livre, enquanto as colunas são próprias de experimentos em ambiente fechado de laboratório. Nos primeiros, em geral o monitoramento é conduzido através de coleta de material lixiviado; no caso das colunas, é comum o emprego de técnicas de extração das substâncias que são objeto do estudo, com amostragem e trituração de solo ou de rocha. Devido à ampla referência bibliográfica a pesquisas executadas através destes equipamentos, algumas delas são aqui selecionadas, por apresentarem diferenças entre si quanto a objetivos e procedimentos.

BIZELL (1944), em estudo experimental nos Estados Unidos, empregou lisímetros para determinação de perdas, sob forma de lixiviação de nitrato, de fertilizante nitrogenado.

ALLISON (1955) resume resultados de experimentos com 157 lisímetros conduzidos em vários locais dos Estados Unidos, ressaltando o aspecto da perda de fertilizante. Neste caso, os experimentos são orientados para finalidades de caráter econômico, não sendo, portanto, identificados com a preocupação de conservação ambiental.

WAGENET, BIGGAR e NIELSEN (1977) estudaram, através de método de colunas, as transformações de fertilizantes à base de uréia durante um processo de lixiviação. Os experimentos foram desenvolvidos sob condições físicas e químicas controladas, em blocos cilíndricos de 7,62cm de diâmetro e comprimentos de 15, 23 ou 30 cm, de solo argilosilteoso, envolvidos por colunas de acrílico. Um dos objetivos desse estudo era o desenvolvimento de modelos matemáticos, aplicáveis aos processos de transformação de compostos nitrogenados em seu transporte através do solo.

VEENIS & BLEUTEN (1989) realizaram experimentos de contaminação de aquíferos rasos na Holanda, em colunas de 1 m de comprimento 0,21 m de diâmetro, onde usaram o material rochoso e a água do próprio aquífero. Observaram o comportamento de diferentes substâncias artificialmente introduzidas na amostra do aquífero. Um objetivo de modelagem foi incluído também na pesquisa.

OWENS (1990) apresenta o resultado de experimentos com uma série de 7 lisímetros, aplicados ao estudo do comportamento do nitrato em solos dos Appalaches do Norte. Nesses lisímetros, de 8,1 m² de área e 2,4 m de profundidade, instalados em 1971, foram testadas diferentes combinações de solo e rocha amostradas em monolitos, com diferentes combinações de cultura, de doses de adubação e de inclinações da superfície do monolito exposta às chuvas.

DOMERGUE & VÉDY (1992), pesquisadores de um centro de pesquisa em Pedologia em Lausanne - Suíça, ocupam-se particularmente com a questão da mobilidade de metais pesados no sistema solo-planta. Os estudos relatados por eles baseiam-se em métodos experimentais, que empregam lisímetros de diâmetro de 36 cm.

No tocante a pesquisas sobre água subterrânea executadas através de uma estação experimental, devem ser citados os trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na estação instalada no *Campus* da Universidade de São Paulo, na Cidade Universitária-

ria, em São Paulo - SP. SZIKSZAY *et al* (1986) associam a concepção desta estação à problemática da contaminação de aquíferos subterrâneos. Relacionam também a finalidade de seu funcionamento e a escolha do local de instalação à necessidade de estudo experimental em condições naturais, que propiciam “um monitoramento de todas as variações que ocorrem na zona não saturada, tanto do ponto de vista da dinâmica das águas, como da sua composição química”. Esta estação é equipada essencialmente com poços de monitoramento, extratores de água da zona não saturada e tensiômetros.

SZIKSZAY *et al* (1989) ressaltam o caráter pioneiro da investigação que esta unidade de caráter experimental possibilita e com a qual foi identificado o projeto de sua instalação.

O método de pesquisa que foi desenvolvido a partir do funcionamento desta estação experimental na cidade Universitária de São Paulo/SP serviu como padrão para os procedimentos adotados por ALEXANDRE (1995), em pesquisa aplicada à geoquímica de metais pesados provenientes de pesticidas agrícolas em Louveira/SP.

Com relação a redes de estações de observação e experimentais, MARTELAT *et al* (1991) apresentam resultados de vários anos de um projeto que integra 12 estações instaladas em área-teste de 2.500 ha na Bacia do Rio Ill na Alsácia. Os trabalhos de monitoramento desenvolvidos nestas estações constituem uma etapa preliminar de um projeto multidisciplinar, dentro de um programa de pesquisas referente a uma área muito mais ampla, com o objetivo de estudar a contaminação da água subterrânea por nitrato no Vale do Reno. Seus resultados estão sendo utilizados também para o desenvolvimento de modelos matemáticos. As Figuras 1 e 2 representam o plano de instrumentação adotado e o equipamento básico de cada estação. Do ponto de vista metodológico, devem ser destacadas duas características básicas desta pesquisa: a adoção da área-teste e a combinação das finalidades de monitoramento de observação e de experimentação para o aperfeiçoamento de métodos de pesquisa hidrogeológica.

Figura 1: Estação de observação na Planície Alsaciana - plano de instrumentação
(MARTELAT *et al*, 1991)

Figura 2: Estação de observação na Planície Alsaciana – equipamento básico de cada estação
(MARTELAT *et al*, 1991)

3.2. ASPECTOS DE HIDRODINÂMICA EM MEIOS POROSOS

A correlação entre características do meio poroso e a hidrodinâmica é um objeto de investigação comum a várias disciplinas, tendo adquirido importância na pesquisa hidrogeológica, assim como na Física de Solos, na Engenharia Aplicada à Irrigação, na Mecânica dos Solos e em estudos voltados à problemática da erosão.

CEDERGREN (1967), na Mecânica dos Solos, considerando a atuação de potenciais gravitacional e piezométrico e a dinâmica do fluxo da água e adotando a Lei de Darcy como fundamento, trata os processos de fluxo de água em meios porosos através de numerosas equações diferenciais parciais, cujo desenvolvimento embasa o tratamento teórico presente nos outros campos de pesquisa acima referidos.

VARGAS (1978) e MARIÑO & LUTHIN (1982), na "Mecânica dos Solos" também, enfocando a concepção de redes de linhas equipotenciais e linhas de fluxo, ressaltam a analogia da abordagem de fluxo d'água em meios porosos com o tratamento empregado em teorias referentes à condução de energia térmica e condução de energia elétrica.

Na Hidrogeologia, o tratamento teórico referido acima e o respectivo desenvolvimento de equações diferenciais é adotado no tocante à hidrodinâmica dos meios porosos (FETTER, 1994) e ao transporte de substâncias pela água subterrânea (FETTER, 1993).

Dentro da Física de Solos, LIBARDI (1995) e REICHARDT (1996), em sua abordagem da hidrodinâmica, integram a dinâmica das fases sólida, líquida e gasosa do solo com a atuação das plantas. Devido ao fato de considerarem a atuação dos seres vivos na dinâmica da água no solo, estes autores incluem a concepção de sistema em seu enfoque, considerando fundamental, neste tratamento, o potencial total da fase líquida. Adotam, como base teórica neste enfoque de "sistema", a termodinâmica e suas leis fundamentais. O desenvolvimento de equações é aplicado a fluxo da solução do solo em condição de saturação ou não, fluxo estável, fluxo transiente, assim como ao transporte de substâncias pela água percolante no meio poroso.

Na Física de Solos e na Hidrogeologia, adota-se, para designar como uma das propriedades hidráulicas do solo, o conceito de *condutividade hidráulica* (k), de preferência ao conceito de *permeabilidade* (K), mais utilizado na Mecânica dos Solos,

uma vez que a condutividade é calculada no intervalo de umidade medido entre a capacidade de campo e a saturação completa (LIBARDI, 1995).

O conceito de permeabilidade é adotado no cálculo da condutividade em condições de saturação total, a uma temperatura estabelecida como padrão (VARGAS, 1978).

Com relação ao potencial total da água no solo, de acordo com REICHARDT (1996), distinguem-se vários componentes, sendo representada a sua atuação, como diferentes variáveis de um sistema complexo em equilíbrio dinâmico, de maneira simplificada, através da seguinte equação:

$$\psi = \psi_p + \psi_g + \psi_{os} + \psi_m \quad (1)$$

onde:

ψ = potencial total da água do solo

ψ_p = componente de pressão da altura do corpo hídrico

ψ_g = componente gravitacional

ψ_{os} = componente osmótica, devida à atuação das plantas

ψ_m = componente matricial, correspondente a todos os trabalhos que envolvem a interação entre a matriz sólida do solo e a água

3.3. ZONA NÃO SATURADA

No ciclo hidrológico, uma parcela da água aportada pela chuva infiltra-se definitivamente no terreno, indo alimentar os aquíferos subterrâneos. O percurso de infiltração até a chamada zona saturada, isto é, até o nível freático, é condicionado a fatores de natureza do solo e da rocha, a fatores climáticos e a fatores biológicos.

Na classificação água de subsuperfície de acordo com a sua localização em zonas, distinguem-se basicamente a zona saturada e zona não saturada (GUYMONT, 1994). Esta última é conceituada como a camada da litosfera que jaz entre a superfície do terreno e o topo do aquífero livre. É chamada também de "zona de aeração". O ter-

mo “zona de aeração” implica o fato de que ar e água coexistem na zona não saturada.

A zona não saturada compreende a zona de raiz, a zona intermediária e a franja de capilaridade. A espessura da zona de raiz não é definida com precisão, podendo variar de poucos centímetros a uma dimensão de mais de 1 m. A atuação das raízes influi consideravelmente no comportamento hidrodinâmico do solo.

As espessuras da zona intermediária e da franja de capilaridade são muito variáveis, dependendo da localização da zona saturada e da textura do material constituinte do regolito ou da rocha.

Segundo FETTER (1993), os hidrogeólogos têm muito que aprender com os trabalhos dos cientistas do solo a respeito do transporte de contaminantes através da zona não saturada.

A zona não saturada representa a primeira e mais importante defesa natural contra a contaminação da água subterrânea, uma vez que se localiza numa posição estratégica entre a superfície e a zona saturada e corresponde a um ambiente que, do ponto de vista físico, químico e biológico, é geralmente mais efetivo na atenuação e na eliminação de contaminantes que a zona saturada.

Tanto o solo como a zona não saturada interferem nos mecanismos determinantes da recarga. A questão da recarga é fundamental na problemática da contaminação de aquíferos. Ela é controlada desde a superfície do terreno, importante em seu desenvolvimento as características de fluxo na zona não saturada. Um dos fatores condicionantes da recarga é a drenagem através do perfil do solo. Os processos que determinam esta drenagem estão relacionados à capacidade de campo. Esta é identificada como a capacidade de retenção de água do solo após a drenagem do seu excesso. Ela é variável de acordo com a categoria do solo, em função das características físicas e mineralógicas, variando no perfil do solo de acordo com as características de um ou mais horizontes. Em pesquisas aplicadas a variados fins, adota-se para a capacidade de campo, como referência básica, a quantidade retida sob um potencial mátrico de $-1/3$ Atm, aproximadamente -32.700 Pa ou -327 HPa (REICHARDT, 1988). Acima deste valor de potencial, a drenagem do solo é relativamente rápida; abaixo deste valor, a drenagem é reduzida abruptamente a uma taxa próxima do valor zero.

A capacidade de retenção de água de um solo pouco interfere na velocidade de fluxo, que depende essencialmente dos fatores próprios de sua condutividade. Esta, no entanto, é função da umidade do solo.

Para REICHARDT (1988), algumas determinações muito utilizadas em projetos de irrigação e particularmente adotadas na Física de Solos, como a capacidade de campo, devem ser incluídos em estudos sobre a recarga de aquíferos. Cálculos relacionados ao armazenamento de água no solo e ao balanço hídrico também devem integrar estes estudos.

No Reino Unido, um mapeamento geral de risco de contaminação da água subterrânea por nitrato adota a capacidade de campo como variável importante na avaliação dos fatores de risco (JONES & THOMASSON, 1990). A expressão básica utilizada nesta avaliação é:

$$XWR = R_w - P_{tw} \quad (2),$$

Sendo:

XWR = excesso de precipitação de inverno (mm)

R_w = precipitação total (mm) entre a data de retorno à capacidade de campo e a data do término desta condição

P_{tw} = evapotranspiração total (mm) no período de vigência da capacidade de campo

Nesse projeto foi desenvolvido o sistema de processamento de dados, denominado LANDIS (*Soil Survey's computerised land information system*), para a estimativa, em diferentes áreas dos territórios da Inglaterra e do País de Gales, de excesso de água no solo, o qual determina a drenagem em seu perfil.

Este sistema de cálculo de balanço hídrico é aplicado à avaliação da perda de fertilizante nitrogenado através da drenagem interna do solo. A lixiviação do nitrato significa um duplo prejuízo, pelo desperdício de fertilizante e pela contaminação da água subterrânea.

No cálculo de balanço hídrico, os resultados são indicativos da reposição da água no solo ou na zona saturada. É importante estabelecer uma distinção entre a reposição, a percolação e a redistribuição de água no solo.

O balanço hídrico climatológico possibilita uma orientação de avaliações sobre o excesso e deficiência hídrica, conseguindo-se ter uma noção da reposição de água, enquanto o balanço hídrico real, baseado em medições efetuadas no campo, auxilia o entendimento da distribuição de água no solo. A distribuição depende das condições de equilíbrio dinâmico do sistema solo-água-vegetação, podendo incluir, no seu cálculo, as variáveis referentes à atuação das plantas e a heterogeneidade textural ou estrutural. REICHARDT (1996) refere-se à redistribuição como um processo contínuo, que não apresenta interrupções abruptas ou níveis estáticos.

3.4. FLUXO NA ZONA NÃO SATURADA

O primeiro condicionador do percurso da água é o solo, entendido em seu conceito de acordo com a Pedologia. O comportamento hidrodinâmico de uma determinada classe de solo está relacionado às características que possibilitam a sua classificação e identificação, principalmente as de natureza morfológica. A bibliografia que trata das correlações entre as propriedades do solo e as suas propriedades hidrodinâmicas é relativamente vasta, sendo ressaltado, em pesquisas experimentais, a complexidade de fatores que devem ser considerados. Aqui é considerado apenas o que pode apresentar uma contribuição prática para a pesquisa realizada na EP, principalmente o que está relacionado a fluxos em meios heterogêneos e o fluxo preferencial.

Com relação à característica de heterogeneidade, ela deve ser considerada no tocante aos solos encontrados na Região Oeste do Estado de São Paulo. FREIRE *et al* (1991), em pesquisa referente à erodibilidade de solos nesta região, empregam uma escala em 5 graus, proposta por WISCHMEIER *et al* (1971) para a classificação dos solos quanto à condutividade hidráulica, incluindo-a como um dos elementos para a montagem de equações aplicadas a cálculos de índice de erodibilidade. Em estudo aplicado à problemática da erosão em áreas de cabeceiras ao redor da cidade de Bauru - SP, SALOMÃO (1994) destaca a influência da diferenciação marcante dos horizontes de solos podzólicos, assim como a sua continuidade lateral como um fator de

controle do fluxo de água sobre a hidrodinâmica através de seu perfil. Os horizontes "B", relativamente menos permeáveis que os horizontes sobrepostos, funcionam como barreira à infiltração da água e favorecem o fluxo lateral. Este comportamento de drenagem origina um fluxo que pode ser denominado de "subsuperficial".

Quanto ao fluxo preferencial, de acordo com MIYAZAKI (1993), é amplamente reconhecida a sua influência nos processos hidrológicos dos solos. O seu papel na hidroquímica e na contaminação da água subterrânea, dada a sua importância, tem sido tema específico de vários simpósios.

Dentre os componentes morfológicos do solo que favorecem o fluxo preferencial, são destacados os macroporos, as fendas e as biocavidades e.

De acordo com LUXMOORE & FERRAND (1993), no tocante ao papel dos poros, é importante distinguir ao menos duas escalas de fluxo preferencial. Em um caso, que é o da interligação de macroporos, a água move-se através de uma rede de cavidades, comumente bioporos, cujo diâmetro ou largura é maior que 1 mm; no outro caso, referido como interligação de mesoporos, a água flui através de redes de gretas e canais de diâmetro ou largura inferior a 1 mm, mas em dimensão que ainda possibilita a drenagem por influência do potencial de gravidade.

Poros que retêm água por tensão superficial abaixo da capacidade de campo são referidos como microporos, armazenando por tempo variável o que pode ser denominado "água velha" num terreno drenado. "Água nova" introduzida por eventos de precipitação geralmente apresenta composição química diferente da água que tem um determinado intervalo de tempo de residência no solo. Esta distinção pode ser usada para estimar as contribuições, para o fluxo preferencial, da água velha e da água nova.

Outras formas de fluxo preferencial são devidas à heterogeneidade na distribuição espacial dos poros interligados ou heterogeneidade associada à diferenciação dos horizontes no solo.

Deve ser ressaltado que, no aspecto do fluxo na zona não saturada, a bibliografia carece de uma visão integradora entre o solo como entidade pedológica, o regolito e o substrato de rocha de diferentes graus de intemperização.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área da pesquisa está situada no Município de Presidente Prudente, o qual está localizado na porção ocidental do Estado de São Paulo. A sede deste município dista aproximadamente 560 km, por rodovia, da capital do Estado (Figura 3). Por ferrovia, a distância é de 732 km. A via de comunicação mais utilizada entre a capital e Presidente Prudente é a Rodovia Marechal Castello Branco / SP-280, no trecho entre as Cidades de São Paulo e Ourinhos, de onde o trajeto continua pela Rodovia Raposo Tavares/SP-270.

Figura 3: Mapa de localização da área de estudo e principais vias de comunicação rodoviária

A população do Município, de acordo com o último censo demográfico, é de 177.236 habitantes (Fundação IBGE, 1997). A cidade de Presidente Prudente, a exemplo de outras cidades de porte médio do Oeste Paulista, constitui-se num pólo comercial e de atividades de serviços de variada natureza para um território que compreende a Região Administrativa 10 e parte da Região 11, com sede na Cidade de Marília no estado de São Paulo, além de municípios da porção Oeste do Estado do Mato Grosso e outros localizados na Região Norte do Estado do Paraná.

4. 2. CLIMA REGIONAL

Com relação ao clima vigente na região de Presidente Prudente, é adotada mais comumente a classificação climática de KOPPEN (1948), em combinação com a classificação proposta por MONTEIRO (1973) para o Estado de São Paulo, esta última sendo baseada em critério de distinção de zonas climáticas. De acordo com a primeira classificação, o tipo climático é "Awa" - tropical com estação chuvosa no verão e seca no inverno, onde a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio é superior a 18°C; de acordo com a segunda classificação, o clima da região é subtropical de continente, constituindo uma área de influência de massas de ar tropicais e polares, com dominância da massa de ar tropical marítima. O clima regional, classificado em princípio como "Aw", tropical quente e úmido, é perturbado pela circulação atmosférica regional, que confere um caráter de transição climática, caracterizado por variabilidade pluviométrica, com flutuações dos totais de chuvas devidas a características geográficas locais (SANT'ANNA & BARRIOS, 1992).

Os registros obtidos durante 25 anos de funcionamento da Estação Meteorológica do *Campus* da UNESP de Presidente Prudente podem ser resumidos nos índices apresentados abaixo na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo dos registros de temperatura e precipitação em Presidente Prudente de 1969 a 1995 - E.M./ FCT/UNESP

TEMPERATURA (°C)		
MÉDIA GERAL	MÉDIA DAS MÁXIMAS	MÉDIA DAS MÍNIMAS
23,1	28,9	18,2
PLUVIOSIDADE PRECIPITAÇÃO ANUAL ACUMULADA (mm)		
GERAL	MÁXIMA (1989)	MÍNIMA (1985)
1312,7	1802,4	841,9

4.3. HIDROLOGIA

O território municipal de Presidente Prudente é limitado a N pelo Rio do Peixe e a S e SW, pelo rio Santo Anastácio. Estes dois cursos d'água seguem paralelamente entre si, em direção aproximada de E-W, rumando para W, até a sua desembocadura no rio Paraná.

A área urbanizada de Presidente Prudente expande-se a partir do espigão divisor de águas destas duas bacias, avançando, a N, a NE e a E dentro da bacia do Rio do Peixe e pelo curso superior do Rio Mandaguari e a S, SW e W, dentro da bacia do Rio Santo Anastácio, pelas suas cabeceiras e pelo curso superior do Córrego do Limoeiro. Observa-se pela Figura 4 que o núcleo urbano é circundado por cabeceiras destes cursos d'água. A área de pesquisa está, portanto, em zonas de cabeceiras de bacias hidrográficas e de cursos superiores da rede fluvial.

Figura 4 : Localização da área da pesquisa em relação à rede hidrográfica e à malha urbana de Presidente Prudente – SP

Ao sul, a distância aproximada de 30 km do limite do município, localiza-se o rio Paranapanema, que segue também o rumo oeste até a sua foz no Rio Paraná.

4.4. GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA

Presidente Prudente localiza-se na região intermediária entre o Rios do Peixe e Paranapanema, na porção SW da extensa província geomorfológica denominada por ALMEIDA (1964) de Planalto Ocidental Paulista. Mais de 80% desta província é localizado em terrenos onde afloram as camadas do Grupo Bauru, com predominância da Formação Adamantina em área (IPT, 1981a). As feições de relevo mais características desta província são reproduzidas em toda a sua extensão, inclusive na região de Presidente Prudente, como se verifica no mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981b).

A Cidade de Presidente Prudente assenta-se sobre um espigão divisor das bacias das Bacias do Rio do Peixe a N, do Rio Santo Anastácio a S e a SW e do Rio Paranapanema a SE. No interior da bacia do Rio Santo Anastácio, onde se encontra a área da pesquisa, o relevo é caracterizado por interflúvios em colinas onduladas. Nas encostas são relativamente freqüentes as rupturas estruturais, marcadas pela presença de estratos areníticos superficiais ou de solos pouco desenvolvidos (CARVALHO *et al*, 1997). Relevo de colinas escalonadas refletem o comportamento diferenciado das camadas da Formação Adamantina em relação aos processos de erosão, distinguindo-se os arenitos mais compactos por sua maior resistência a estes processos.

As formas principais de relevo reconhecidas nesta bacia são comuns à área do Município de Presidente Prudente e áreas vizinhas. Nela predomina um relevo de colina alongada, de topo aplainado, com vertente em geral convexa e de declives inferiores a 6% nas vertentes dos vales. O relevo de morrotes e colinas escalonadas também são característicos desta região.

Quanto ao regolito, nestas áreas de relevo ondulado a fortemente ondulado, ele raramente apresenta mais do que 5 m de espessura. Os valores mais comuns de espessura que são observados variam entre 1,5 m e 4 m (GODOY, 1989). No terço médio das encostas é comum a ocorrência de regolito com menos de 1 m de espessura.

Do ponto de vista pedológico, de acordo com o levantamento semi-detalhado de solos da Bacia do Rio Santo Anastácio (CARVALHO *et al* , 1997), incluem a área da pesquisa está localizada na unidade classificada como "Pve4" - *PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO ABRÚPTICO EUTRÓFICO Tb A moderado textura areno-sa/média fase floresta tropical subperenifólia relevo ondulado* (CARVALHO *et al*, 1997). Trata-se de um terreno bem drenável, embora haja variação vertical na condutividade hidráulica, observando-se a presença de horizontes menos favoráveis à percolação de água. O mesmo levantamento associa a maioria dos solos enquadrados na categoria *Podzólico Vermelho-Amarelo e Podzólico Vermelho Escuro* ao relevo de colinas onduladas de níveis escalonados, com declividade de 6 a 10%, Em relevo ondulado a fortemente ondulado, com declividade de 8 a 20%, encontram-se os *solos litólicos*.

SUDO (1980), em estudo geomorfológico da Bacia do Alto Santo Anastácio, onde está localizada a área desta pesquisa, estuda a dinâmica do escoamento sub-superficial em solos podzólicos, atribuindo a causa deste processo de fluxo lateral ao contraste de condutividade hidráulica entre o horizonte eluvial e o horizonte B textural sotoposto. Este horizonte, por sua menor condutividade hidráulica, funciona como barreira moderadora do fluxo vertical.

Quanto à cobertura vegetal anterior ao desmatamento generalizado da região, apresentava características de *floresta tropical pluvial estacional e subperenifólia* (FRANCISCO, 1989), podendo ser entendida como uma cobertura de mata exuberante, muito dependente e altamente consumidora de água das chuvas, apresentando também o comportamento de adaptação sazonal, observável na perda parcial da folhagem. De acordo com FRANCISCO (1989), a remoção de cobertura de floresta tropical influi significativamente no comportamento hídrico do solo, alterando-o quanto à reposição, à redistribuição e à orientação do fluxo d'água. Uma das primeiras consequências do desmatamento é o aumento da drenagem no perfil do solo, provocando elevação do nível freático. Posteriormente, a ausência do regulador térmico representado pela floresta resulta em alterações dos processos associados ao ciclo de umedecimento e ressecamento do solo. Deste modo, quando ocorre o desmatamento, o solo desenvolvido sob matas densas é modificado em suas propriedades relacionadas à hidrodinâmica e em sua própria evolução.

4.5. GEOLOGIA

4.5.1. Geologia Regional

O mapeamento geológico em escala 1: 500.000, executado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, localiza a região de Presidente Prudente em domínios da Formação Adamantina, do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia Sedimentar do Paraná (IPT,1981). Em território paulista, a área de afloramento do Grupo Bauru é muito mais extensa do que as das outras unidades estratigráficas desta bacia (Figura 5).

Pela seqüência estratigráfica ainda atualmente considerada como a mais aceita, que é aquela adotada por ALMEIDA & MELO (1981), o Grupo Bauru é subdividido nas Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília.

A Formação Caiuá é constituída predominantemente por arenitos de coloração arroxeada, com marcante estratificação cruzada de grande porte, tangencial na base, de granulação fina a média e muito boa seleção ao longo da mesma lâmina ou estrato, com grãos arredondados a subarredondados.

A Formação Santo Anastácio é constituída principalmente de arenitos de cor marrom-avermelhados a arroxeados, de granulação fina a média, apresentando seleção regular a ruim em geral, com grãos arredondados a subarredondados e cobertos por película limonítica.

A Formação Adamantina caracteriza-se litologicamente pela ocorrência de bancos de arenito de granulação fina a muito fina, de cor róseo a castanho, com espessuras variáveis entre 2 e 20 metros e alternados com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho avermelhado a cinza castanho. Quanto à estrutura, as estratificações cruzadas são próprias dos estratos mais areníticos, ao passo que, nos termos lamíticos subordinados a eles, são mais comuns os bancos maciços ou dispostos em acamamento plano-paralelo, com a presença freqüente de marcas de onda e microestratificação cruzada.

A Formação Marília tem ocorrência restrita em comparação com as demais unidades do Grupo Bauru. É composta por arenitos de grosseiros a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis. Forma bancos cuja espessura varia predominantemente de 1 m a 2 m, apresentando estrutura maciça ou de acamamento incipiente, subparalelo e descontínuo. São característicos desta formação os nódulos carbonáticos e a freqüência de cimento carbonático.

Como se observa no mapa geológico (Figura 6), dentre as unidades do Grupo Bauru, a Formação Adamantina é de longe a mais extensa em afloramento no Estado de São Paulo.

4.5.2. Geologia Local

CAMPOS (1987), citando outros autores, considera que no território do Município de Presidente Prudente, a Formação Santo Anastácio se estende abaixo da Formação Adamantina, em concordância com a seqüência cronológica da coluna estratigráfica proposta no mapeamento executado pelo IPT. São reconhecidas também transições laterais, interdigitações e outras formas de deposição contemporânea das duas formações (FERNANDES, 1992).

De acordo com ALMEIDA *et al* (1981), no interflúvio entre os Rios do Peixe e Santo Anastácio, em áreas de relevo ondulado a fortemente ondulado, distingue-se uma subdivisão estratigráfica ou uma fácies da Formação Adamantina, designada como "Kav". Nesta subunidade, é observada a existência de uma gama ampla de estruturas sedimentares, assim como uma concentração maior de bancos de arenito compacto, ou seja, aqueles onde o teor do cimento carbonático é relativamente elevado.

Na área de estudo e adjacências, tal como na Região de Presidente Prudente em geral, o substrato rochoso é caracterizado por heterogeneidade litológica, com alternâncias de estratos areníticos e lamíticos. As Fotos 1 e 2 apresentam detalhes de afloramentos em locais situados no mesmo interflúvio onde é localizada a área da pesquisa.

PERUSI *et al* (1993), em determinações referentes à fração argilosa de lamitos e arenitos da Formação Adamantina na área de estudo, constata, nos diversos termos litológicos, predominantemente nos estratos lamíticos, a presença de argilomineiras de *grade* 2:1, sendo identificadas *montmorillonitas* com frequência, que, de acordo com ZUQUETTE & GANDOLFI (1987), atuam positivamente como filtro químico da água subterrânea, principalmente na retenção de metais pesados.

4.6. HIDROGEOLOGIA

Conforme o mapa hidrogeológico regional, editado pelo DAEE (1979), a Formação Adamantina, então identificada como parte média da unidade estratigráfica classificada ainda como "Formação Bauru", comporta-se como aquífero livre, sendo a recarga generalizada à toda a sua área de afloramento, determinando assim maior vulnerabilidade à contaminação.

GODOY (1989), através de mapeamento geotécnico da Região de Presidente Prudente, reconhece algumas características específicas da subunidade "Kav" da Formação Adamantina. A característica de cimentação, assim como a intercalação de estratos lamíticos e bancos de arenito, determina a alternância, no perfil do maciço rochoso, de zonas diferenciadas entre si quanto à condutividade hidráulica, conforme se constata comparativamente, na perfuração de poços tubulares, pela presença ou variação na vazão a diferentes profundidades. A alternância de estratos com diferentes comportamentos quanto a este parâmetro hidráulico resulta em vários níveis de saturação dentro do substrato rochoso. A configuração de aquíferos suspensos se reflete na ocorrência de zonas de ressudação e *surgências* d'água na superfície e também na existência de cabeceiras de nascentes localizadas em níveis diversificados.

Com relação ao nível freático, foi acompanhado, de 1984 até 1988, o comportamento da sua variação em mais de 40 poços rasos no Município de Presidente Prudente (GODOY, 1989). Estes registros foram acrescentados àqueles fornecidos por medições em poços de monitoramento no *Campus* da FCT/UNESP no estudo desen-

Foto 1: Zona não saturada -
detalhe em corte,
a cerca
de 700 m da EP

Foto 2: Vista de corte na zona não saturada – a cerca de 700 m da EP

volvida a partir da EP. Esse levantamento possibilitou o reconhecimento de padrões, válidos para grande parte do território do Município de Presidente Prudente e adjacências, referentes à profundidade da zona saturada: no setor de topo aplainado do interflúvio, o limite superior da zona permanentemente saturada encontra-se a profundidades entre 10 m e 15 m da superfície, registrando-se aqui a menor oscilação sazonal; no terreno de encosta os valores de profundidade estão entre 4 m e 10 m e no sopé da encosta ou nos fundos de vales variam entre 2 m e 5 m, com as maiores oscilações sazonais verificadas.

Foi constatado que nas áreas de topo aplainado, a oscilação sazonal do nível freático é relativamente pequena (GODOY, 1989). Foi observado também nestas áreas que, no ano de 1985, identificado como o de mais baixa pluviosidade nos últimos 25 anos (841,9 mm em Presidente Prudente, de acordo com os dados da Estação Meteorológica da FCT/UNESP), a consequência da escassez relativa de chuvas não foi significativa nestas zonas de topo, em contraste com o reflexo nítido de baixa de nível nas áreas de meia encosta e de fundos de vale, que atingiu valor de 4 m em alguns casos. Por estas constatações, infere-se que haja uma reserva de água de anos anteriores, que não entra propriamente no balanço anual de descarga e recarga. As informações assim obtidas revelam a existência de uma reserva permanente de água no aquífero livre. Esta reserva, embora sofra influência da recarga sazonal, determina um comportamento de uniformidade nesta localização do nível freático, uma vez que os valores de oscilação sazonal são em média menores que 0,8 m, raramente ultrapassando o intervalo de 1,1 m, que é pequeno em proporção às variações medidas nas áreas de terço inferior das encostas, como é mencionado acima. Devido à taxa de escoamento superficial, às características do maciço rochoso, ao fator da evaporação e a outros de natureza climática, a contribuição anual de recarga dos aquíferos aparentemente não interfere substancialmente na reserva existente nestas áreas de topo aplainado (GODOY, 1989).

Um fenômeno comum nas bacias hidrográficas do Oeste do Estado de São Paulo é o aparecimento de surgências pontuais de água, as quais em geral são devidas ao fluxo preferencial em zonas de fraturamento ou a fendas no substrato rochoso (GODOY, 1989). Os cortes artificiais nos locais destas surgências intersectam redes de fendas, donde brotam outras surgências.

Quanto à relação entre as unidades do Grupo Bauru na área analisada, de acordo com perfis litológicos de poços explorados pela SABESP S/A e a amostragem realizada em testemunhos de poços, os depósitos da Formação Adamantina predominam desde a superfície do terreno até a cota aproximada de 340 m, funcionando como aquífero freático (GODOY, 1997). Entre as cotas 280 m e 340 m, é localizada uma zona de transição entre esta formação e a Formação Santo Anastácio, sotoposta. Abaixo da cota 280 m, predomina esta última, que, no território do Município de Presidente Prudente, se comporta como aquífero semi-confinado e revela melhor desempenho para a exploração de água que a Formação Adamantina.

O poço tubular profundo instalado no *Campus* da FCT/UNESP, representado em perfil na Figura 7 e localizado pela Figura 11, caracteriza-se pelos seguintes dados técnicos:

- cota de boca: 439,30 m
- profundidade total: 198 m
- NE: 85 m
- ND: 133 m de profundidade
- vazão: 29 m³/h inicialmente e 21 m³/h atualmente.

No perfil geológico deste poço, é registrada a presença, crescente com a profundidade, de camadas da Formação Santo Anastácio, também do Grupo Bauru, em alternância com estratos da Formação Adamantina, a partir de 80 m de perfuração, com predominância a profundidades maiores que 140 m, indicando que grande parte da água explorada neste poço provém da Formação Santo Anastácio.

Figura 7 : Perfil geológico do poço tubular instalado no campus do FCT/UNESP

4.7. ESCOLHA DA ÁREA DE INSTALAÇÃO DA EP

O *Campus* da UNESP está localizado em setor parcialmente urbanizado do Município, a W do núcleo urbano mais antigo e à distância, pelas principais vias de comunicação, de aproximadamente 2,6 km do marco central da cidade.

A área do *Campus*, de 380.827,50 m², ocupa uma parte de um interflúvio, o qual mede cerca de 950 m de largura, estando limitado a NE pelo Córrego do Veado e a SW por um dos afluentes da margem esquerda do referido curso d'água. O Córrego do Veado está localizado na Bacia do Rio Santo Anastácio, em um dos setores de cabeceiras, correspondente ao trecho considerado como "Alto Santo Anastácio". Encontra-se

A área onde está instalada a EP foi selecionada de acordo com critérios de representatividade relativa à região no tocante aos aspectos geológicos e hidrogeológicos, à facilidade de acesso, à autorização dos responsáveis ou proprietários quanto ao uso para a finalidade de pesquisa e à possibilidade de coleta de informações sobre o meio físico.

A análise dos atributos reunidos pelas diferentes áreas favoreceu a escolha da área localizada no *Campus* da UNESP. Esta área apresenta Dentre as várias condições adequadas à instalação da EP nesta área, podem ser apontadas as seguintes:

- representação em folha topográfica em escala 1:2.000;
- localização dentro da área escolhida de um setor de pomar, de aproximadamente 2 ha de extensão, pouco aproveitado e protegido por cercas elevadas, apresentando um solo não descaracterizado pedologicamente pelo trato agrícola e de espessura variável entre 3 e 5 m.
- identificação, na área do *Campus*, do ponto de vista pedológico, de três classes de solos pelo menos, os quais são preliminarmente classificados dentro das categorias genéricas *podzólico vermelho amarelo-textura média*, *solo litólico* e *solo hidromórfico*;

ESCALA 1:7.500

LEGENDA

- — ÁREA DO CAMPUS
- — ÁREA INICIAL DA PESQUISA
- — ÁREA FINAL DA PESQUISA

Figura 8 : Localização da área da pesquisa em relação ao campus da FCT/UNESP

- espessura máxima de 14,5 m da zona não saturada, conforme dados de medidas em cacimbas e em fundações de edificações, tanto no *Campus* como em áreas circun-jacentes a ele;
- ocorrência, na área do *Campus*, de 2 zonas de ressudação de água, 2 locais de sur-gência, tendo sido conservadas 2 cacimbas dentre aquelas levantados anterior-mente, onde a variação do nível freático é sistematicamente medida desde o ano de 1994;
- condição de pronto acesso a qualquer dos laboratórios da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP;
- existência no *Campus* de estação meteorológica bem equipada e integrada à rede nacional de estações, em funcionamento desde 1969;

A partir da EP, a pesquisa foi estendida a uma área de encosta do setor W do Campus, a qual mede 220.540 m² de extensão. Na Figura 8 são representados os li-mites do *Campus* da FCT – UNESP e a área da pesquisa, a qual é representada par-ticularmente em planta planialtimétrica (Figura 11).

O pomar onde está instalada a EP é localizado na porção S da área do *Cam-pus*, em vertente da margem direita de um córrego afluente do córrego do Veado. Esta vertente apresenta perfil predominantemente convexo, com declives variados. Dentro da área do pomar, a declividade varia entre 3% e 5% na sua maior parte, chegando localmente a 9%.

A área escolhida é reservada há mais de 20 anos para ser ocupada restrita-mente com um pomar. Parte do equipamento instalado para a pesquisa, inclusive 3 poços de monitoramento, está fora do perímetro do pomar, a distâncias variáveis do local principal das instalações.

De 1975 a 1980, uma parte da área do pomar foi utilizada para cultivo de uva, onde houve aplicação de agrotóxicos . Atualmente este local é ocupado por uma es-

tufa para cultura de hortaliça, instalada em maio de 1996 e adubada regularmente com estrumes bovino e suíno.

O setor de pomar atualmente agrupa árvores de espécies variadas, as quais foram aqui plantadas há pelo menos 20 anos. Todo o cuidado de conservação do pomar resume-se à remoção periódica da vegetação rasteira que se alastra abundantemente por entre as árvores. Devido à predominância de espécies consideradas rústicas e de frutificação nitidamente sazonal, como mangueiras (*Mangifera indica*), limeiras (*Citrus bergamia*) e goiabeiras (*Psidium guayava*), a prática de irrigação ou adubação é dispensada neste pomar. Nos arredores da área do pomar, o terreno é ocupado por edificações, áreas pavimentadas, pequenos bosques ornamentais e amplos gramados, sendo estes últimos formados de grama *Batatais* (*Paspalum notatus*), nitidamente rústica. A irrigação é limitada aos jardins circundantes das edificações. Deve-se considerar que o terreno onde é locada a EP está livre da penetração de água que não seja a da chuva.

Outros componentes devidos à interferência antrópica na área da encosta onde se localiza a EP foram praticadas entre agosto de 1995 e agosto de 1996, consistindo em:

- um açude, de cerca de 80 m de comprimento, a jusante da área do pomar, onde a superfície interna de contato com a água recebeu tratamento de impermeabilização ;
- terraceamento nos terços médio e inferior da encosta;
- repovoamento da vegetação nativa, com plantios de mudas de espécies muito variadas, com aplicação de adubo NPK .

Das intervenções antrópicas mais recentemente praticadas no *Campus* o terraceamento é particularmente prejudicial aos os trabalhos da pesquisa, por ter encoberto afloramentos rochosos e ter soterrado surgências.

Foto 3: Área do pomar – estufa para hortaliças

Foto 4: Encosta W do Campus da FCT/UNESP - açude

Foto 5: Depósito de lixo do Laboratório de Sedimentologia – FCT/UNESP

Foto 6: Detalhe do vazamento de coletor de água residuária

Ainda com referência ao uso da área de pesquisa, foi utilizada, de 1985 até 1991, uma fossa de 3 m de profundidade para disposição de resíduos tóxicos provenientes de análises químicas de solos, efetuadas no Laboratório de Sedimentologia da FCT/UNESP. Esta fossa está localizada no trecho de encosta intermediário entre a área do pomar e o local do açude recentemente construído. O rejeito aí depositado contém restos de substâncias empregadas na execução das análises, tais como:

dicromato de potássio 1N, ácido sulfúrico concentrado, ácido fosfórico, difenilamina a 1% dissolvida em ácido sulfúrico e sulfato ferroso amoniacal 0,4N.

A borra proveniente das análises de 3.000 amostras de solo, com volume de aproximadamente 250 ml para cada amostra, constituiu-se predominantemente de matéria orgânica impregnada com os reagentes mencionados acima e tratada, para neutralização da acidez, com cal virgem

Detalhes dos componentes do meio ambiente acima referidos são focalizados nas Fotos 3, 4, 5 e 6.

4.8. CONSTITUIÇÃO DA EP

Na EP propriamente dita, está concentrada grande parte dos aparelhos em funcionamento (Figura 9).

O equipamento fixo da constitui-se basicamente de poços de monitoramento, extratores de água da zona não saturada, medidores do potencial mátrico do solo e sistema de medição do escoamento superficial.

Foram instalados 7 poços de monitoramento, com as seguintes profundidades:

PM01 – 14,5 m

PM02 - 14,5 m

PM03 - 13,3 m

PM04 - 11,6 m

PM05 - 6,60m

PM06 - 7,70m

PM07 - 8,50m

Extratores de água da zona não saturada ou lisímetros de sucção, dotados de cápsulas porosas, foram instalados primeiramente na área onde se encontra a maior parte dos equipamentos da pesquisa, às seguintes profundidades:

0,20m ; 0,50m ; 1,00m ; 1,50m ; 2,00m ; 2,50m ; 3,00m ;
4,00m 5,00m ; 6,00m ; 8,00m ; 10,00m ; 12,00m e 13,00m.

Uma segunda série de lisímetros de sucção foi instalada nas proximidades da estufa de hortaliças, em área onde havia um parreiral. As cápsulas estão às seguintes profundidades:

0,20m, 0,50m, 0,90m, 1,50m e 2,50m

Uma série de 7 tensiômetros de marca APAGER, com medidor de mercúrio foi instalada às seguintes profundidades de medição:

0,2 m ; 0,5 m ; 1 m; 1,5 m ; 2 m ; 2,5 m e 3 m.

Na EP , também estão instalados 6 blocos de gesso *Soilmoisture*, a profundidades de 0,2 m, 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 3 m e 4,7 m, cuja variação na resistência elétrica é lida num medidor de resistência elétrica, portátil, modelo 5910-A da *Soilmoisture*, especificamente desenvolvido para esta finalidade de medida de potencial mátrico.

LEGENDA

- Blocos de gesso
- Tensiometro
- × Cerca
- ⊕ Poço de Monitoramento
- ⊙ Extrator de água com capsula porosa

LOCALIZAÇÃO NA AREA DO POMAR FCT/UNESP

Figura 9

PLANTA DA ESTAÇÃO PILOTO: LOCALIZAÇÃO DOS TENSIOMETROS E EXTRATORES DE ÁGUA COM CAPSULAS POROSAS E BLOCOS DE GESSO.

ESCALA: 1/500

LOCAL:
POMAR DO CAMPUS DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNESP/PRES. PRUDENTE – S.P.

Junto à E P é instalado um canteiro de deflúvio superficial (CDS). Trata-se de equipamento destinado a medir, a cada evento de precipitação, a parcela de água da chuva que atinge a superfície do terreno e escoar por ela. A área que recebe a precipitação pluvial mede 25 m x 2 m.

A pesquisa contou com o apoio de uma estação meteorológica integrada à rede nacional de estações. Ela é constituída de 5 ambientes, que totalizam 36 aparelhos, localizados de acordo com os critérios adotados pela WMO (Organização Meteorológica Mundial), conforme suas funções. Os ambientes estão assim equipados:

Abrigo meteorológico: termômetros de bulbo seco e bulbo úmido, termógrafo, termo-hidrógrafo, evaporígrafo de Piché .

Bateria de geotermômetros: termômetros de medição de temperatura do solo em relva seca, relva natural e solo nu.

Instrumentos localizados no interior do escritório central: barógrafo, barômetro de mercúrio, anemógrafo, heliógrafo e piranógrafo.

Tanque classe A: anemômetro, termômetro e micrômetro.

Aparelhos dispersos: aspergígrafo, pluviômetro, pluviógrafo, orvalhógrafo e evapotranspirômetro.

4.9. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O método é orientado na execução de uma pesquisa de caráter experimental, com base no funcionamento de uma EP. Com esta proposição, o estudo é desdobrado em diferentes etapas, as quais estão apresentadas no Quadro 1.

A instalação dos equipamentos foi iniciada a 14/04/96. As primeiras medições consideradas válidas para o trabalho de monitoramento foram iniciadas a 13/06/96, consistindo em leituras das colunas de mercúrio dos tensiômetros

Quadro 1: Arcabouço dos procedimentos adotados na pesquisa

ESCOLHA DA ÁREA DA PES- QUISA E DO LOCAL DA ESTAÇÃO	Escolha da área da pesquisa Coleta de informações preliminares Escolha do local para a Estação Piloto	
COLETA DE DADOS A PARTIR DA ESTAÇÃO PILOTO	NATUREZA DOS DADOS	Forma de utilização e estado atual do terreno. Particularidades geológicas, pedológicas da área de estudo e adjacências. Hidrodinâmica da zona não saturada Hidrodinâmica da zona saturada Hidrogeoquímica: "background" hidroquímico, lixiviação e retenção do contaminante
RESULTADOS DA PESQUISA: TABULAÇÃO DE DADOS	Tabelas e gráficos referentes a dados litológicos e pedológicos. Perfis do solo e do solo-substrato rochoso. Tabulação de dados de monitoramento. Gráficos referentes à hidrodinâmica e à hidrogeoquímica.	
INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO	Análise e interpretação de dados referentes a propriedades do meio poroso Interpretação de dados referentes à hidrodinâmica das zonas saturada e não saturada Correlação da hidrodinâmica e características do solo e do substrato rochoso Aplicação da estatística aos resultados referentes às características químicas da água amostrada nas zonas saturada e não saturadas Discussão sobre mecanismos de retenção e lixiviação do contaminante Zoneamento referente à hidrodinâmica em planta e em perfil	
CONCLUSÕES	Sobre os resultados da pesquisa de acordo com seus objetivos Sobre os métodos empregados na pesquisa	

4.9.1. Bases Cartográficas Utilizadas

As bases cartográficas utilizadas foram as seguintes:

- folhas topográficas em escala 1:10.000 e 1:2.000, datadas de 1977, confeccionadas pela TERRAFOTO S.A. para o Departamento de Águas e Esgoto - DAE, de Presidente Prudente;
- folha topográfica em escala 1:2.500, confeccionada pelo Departamento de Cartografia da FCT em 1995, referente à área de propriedade da UNESP, com informações gráficas detalhadas

A integração dos dados possibilita uma análise e avaliação da hidrodinâmica e hidrogeoquímica das zonas não saturada e saturada na área medida em levantamento topográfico no local, com extensão de 32.686,00 m² (Figura 19). A partir deste levantamento, foi traçado um perfil desta área, com direção 87° 43' 56" NE - SW.

4.9.2. Escolha do Local de Instalação dos Equipamentos

Trata-se de uma etapa de investigação preliminar, destinada a verificar as condições mais adequadas para a instalação do conjunto principal de aparelhos e a localização do canteiro de escoamento superficial. Consistiu na coleta de informações referentes à profundidade do regolito e à eventual existência de entulhos ocultos, objetos enterrados de modo geral, assim como cavidades no interior do solo cuja dimensão possa comprometer o desenvolvimento da pesquisa. O Quadro 2 associa as informações e os meios de investigação relativos a esta etapa preliminar da pesquisa.

Quadro 2: Investigação preliminar para escolha do local de instalação dos equipamentos

NATUREZA DA INFORMAÇÃO	RECURSOS DE INVESTIGAÇÃO
Profundidade do regolito	Perfurações a trado Investigação com método geofísico: <i>Ground Penetrating Radar - GPR</i>
Cavidades de raízes mortas e locas de animais	
Entulhos não aparentes e objetos enterrados	
Cavidades de erosão subterrânea ("piping")	

A técnica Ground Penetrating Radar (GPR) emprega um equipamento de investigação eletromagnética, baseada no princípio da propagação de uma onda eletromagnética em um meio qualquer (PORSANI, 1999). Pequenos pulsos de energia eletromagnética são aplicados ao terreno através de antenas que operam em frequências que podem variar de 10 a 1000 Mhz. O sinal transmitido penetra no solo e no substrato rochoso, sendo refletido em horizontes refletivos que, por sua vez, dependem de suas propriedades elétricas. A Figura 10 exemplifica um perfil do terreno obtido através do emprego desta técnica, onde são identificados objetos enterrados.

Figura 10: Exemplo de perfil de varredura do método GPR
(MARQUES, 1998)

4.9.3. Levantamento Geológico e Pedológico de Detalhe

O Quadro 3 resume o que constitui esta etapa da pesquisa.

Quadro 3: Levantamentos geológico e pedológico de detalhe.

NATUREZA DA INFORMAÇÃO	RECURSOS DE INFORMAÇÃO	TIPO DE EQUIPAMENTO E LABORATÓRIO
Zoneamento do solo, de regolito e do maciço rochoso na zona não saturada e parte da zona saturada	Localização da zona saturada Descrição de amostras de regolito e do maciço rochoso	Poços de monitoramento Laboratório de Sedimentologia e Pedologia - FCT/UNESP
	Análise granulométrica e determinação do grau de cimentação	
Caracterização pedológica do solo	Descrição morfológica e amostragem do solo	Laboratório de Sedimentologia e Pedologia - FCT/UNESP
	Análise de rotina do solo	Laboratório de Solos da ESALQ/USP
	Análise com ataque sulfúrico para determinação de K_i e K_r	Laboratório de Solos da ESALQ/USP

No tocante ao zoneamento em perfil do terreno da área pesquisada, devido ao fato de a zona não saturada atingir, em profundidade, o interior do substrato rochoso, é necessária uma caracterização tanto do material inconsolidado de cobertura quanto de parte do substrato rochoso. A necessidade de combinação de zonas de solo e de rocha num mesmo perfil, assim como a característica de descontinuidade vertical tanto numa zona como na outra, oferecem uma dificuldade inicial no tocante à uniformização de procedimentos. As classificações adotadas em análises morfológicas e a definição de propriedades na Pedologia diferem em geral daquelas empregadas na Sedimentologia. No tocante ao solo, um dos aspectos mais importantes a serem considerados é a *textura*, referindo-se ela à distribuição granulométrica. De acordo com CUSTODIO & LLAMAS (1990), não existe um padrão universal de escala e denomina-

ções para esta propriedade, considerando mais aceitável a classificação aprovada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA. Para as pesquisas em Sedimentologia, no Brasil é adotada principalmente a classificação granulométrica de Wentworth (SUGUIO, 1980). No presente estudo, optou-se pela análise granulométrica baseada em escala aplicada à Pedologia, por já ter sido incorporada à rotina de serviços do Laboratório de Sedimentologia da FCT/UNESP.

A determinação do grau de cimentação é incluída nesta etapa, importando mais para a caracterização do material do substrato rochoso do que para o da cobertura de solo. A identificação de zonas diferenciadas, que caracterizam descontinuidades no substrato rochoso e a compartimentação adotada na representação de perfis servem como referência para as observações de hidrodinâmica a serem efetuadas. Quanto a outras propriedades, os critérios relativos a algumas delas, como densidade, porosidade, capacidade de retenção, podem ser aplicados tanto aos solos como ao substrato rochoso. Por razões de ordem prática e de orientação da pesquisa, elas foram analisadas apenas para os solos.

4.9.3.1. Amostragem de rochas e de solos

A amostragem de rocha e de solo foi orientada para contribuir com informações necessárias para a análise e avaliação de fatores litológicos e pedológicos relacionados à hidrodinâmica e à hidroquímica, principalmente da zona não saturada.

Para a rocha, foi adotado o critério de variação litológica, cada amostra correspondendo a uma zona ou estrato diferenciado.

O conjunto de amostras em cada local de coleta constitui todo o material retirado na perfuração de um poço ou de uma escavação destinada à instalação de equipamento ou o material referente a todo um canal aberto na parede de uma trincheira. Representa assim continuamente todo o perfil de solo ou de rocha amostrado. Procede-se então a uma trituração e à quarteação de cada amostra destinada às análises físicas e químicas.

FIGURA 11

PLANTA PLANIALTIMÉTRICA DA ÁREA PESQUISADA

4.9.3.2. Zoneamento do substrato rochoso na zona não saturada

O zoneamento do solo e do substrato rochoso é de preferência representado em forma de perfil geral da área pesquisada, figurando-se a disposição dos horizontes pedológicos e a alternância de estratos mais e menos compactos do arenito associado a lamitos. As rupturas constatadas no perfil da encosta devem corresponder a pelo menos 3 níveis de estratos formados por rocha relativamente mais compacta. Para a determinação do nível tanto destes estratos como de estratos relativamente menos permeáveis, as perfurações referentes aos poços de monitoramento foram complementadas com amostragem e a coleta de dados relativos à resistência da escavação.

A avaliação por grau de compactidade, importante na identificação de barreiras à percolação, seguiu o critério de classificação comparativa por propriedade mecânica. O recurso adotado para a classificação foi a resistência relativa à escavação.

Quanto à propriedade da cimentação, distinguem-se os cimentos em carbonático e ferruginoso, podendo ser incluído o cimento argiloso nos termos mais areníticos. Para a determinação do cimento total, emprega-se o ataque por ácido clorídrico, em concentração 1 HCl: 3 H₂O por massa. Como a compactação depende fundamentalmente do cimento carbonático, a sua determinação em porcentagem depende de procedimento executado em porções separadas de cada amostra: queima a 900°C da amostra seca e triturada; remoção de óxidos e hidróxidos de ferro; queima do material de textura argilosa a 900°C; determinação de teor de argilominerais e óxidos e hidróxidos através de curvas de perdas por queima apresentadas por BISH & DUFFY (1990); cálculo da perda de carbonatos por calcinação e conversão CO₂ : Ca CO₃.

4.9.3.3. Caracterização pedológica do solo

A utilidade da identificação do solo reside no fato de que as propriedades do solo relacionadas à hidrodinâmica e à hidroquímica dependem das propriedades-chave para a classificação pedológica. O solo, como os demais componentes de um

ambiente, apresenta particularidades de comportamento em relação a várias propriedades, conforme o local onde está sendo realizada uma pesquisa.

A identificação de um determinado solo é feita através da sua classificação pedológica. Os solos são identificados por meio de uma caracterização quanto a algumas propriedades.

O perfil do solo foi descrito em 4 trincheiras, assim localizadas: junto às instalações da EP (T1); próximo ao poço PM04 (T2); próximo a uma das surgências e a distância de 5 m a montante de uma das rupturas de declive (T3); em ruptura de declive, junto a outra surgência (T4).

No Laboratório de Sedimentologia da FCT/UNESP, foram realizadas determinações referentes às seguintes propriedades:

- análise granulométrica para classificação textural;
- massa específica do solo, equivalendo ao que é denominado também “densidade aparente”;
- massa específica de sólidos;
- umidade;
- porosidade.

No Laboratório de Análises de Solo, do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ, foram efetuadas análises de macronutrientes e determinação de índices de fertilidade e análises com ataque sulfúrico para determinação dos índices Kr e Ki. Os índices Ki e Kr estão relacionados ao grau e ao tipo de evolução que sofreu o solo (VIEIRA,1988). Estes índices são calculados simplifcadamente por estas fórmulas:

$$K_i = 1,7(\%SiO_2 / \%Al_2O_3) \quad (3) \text{ e}$$

$$K_r = 1,7[\%SiO_2 / (\%Al_2O_3 + 0,6375X \%Fe_2O_3)] \quad (4)$$

4.9.4. Informações sobre a Hidrodinâmica da Zona Não Saturada

No Quadro 4 são resumidas as relações entre propriedades e recursos de investigação referentes a este aspecto.

Além da interdependência de características morfológicas e mineralógicas dos meios porosos e suas propriedades hídricas, a interrelação destas propriedades com fatores climáticos tem de ser considerada em qualquer estudo hidrogeológico. Os gráficos referentes aos dados dos tensiômetros reúnem informações sobre a pluviosidade e a variação do potencial mátrico do solo, indicando a influência do comportamento das chuvas sobre a umidade do solo a diferentes profundidades, assim como dos intervalos temporais de resposta do solo ao evento de precipitação.

4.9.4.1. Dados da estação meteorológica

Pode ser estabelecida uma relação de variações climáticas, de eventos de precipitação muito abundante e eventos de estiagem com o armazenamento de água no solo. Deve ser analisada, a várias profundidades, a característica da resposta do sistema solo-água em termos de armazenamento, de potencial mátrico e de avanço da frente de molhamento, a episódios de precipitação e a períodos de estiagem. É admitida uma resposta variável quanto a intervalo de tempo destes componentes do sistema, devendo aparecer também uma defasagem diversificada da oscilação do nível freático conforme o local de medição e conforme seja a distribuição das chuvas durante o ano hidrológico.

Quanto aos dados colhidos na estação meteorológica da FCT/UNESP, foram coletados e tabulados os registros referentes aos anos de 1996, 1997 e 1998, dos seguintes elementos meteorológicos:

- temperaturas atmosféricas máximas, mínimas e médias,
- umidade relativa do ar,
- pluviosidade,
- evaporação da água.

Quadro 4 : Aspectos metodológicos da hidrodinâmica da zona não saturada

NATUREZA DAS INVESTIGAÇÕES	RECURSOS TÉCNICOS	EQUIPAMENTO DE CAMPO E LABORATÓRIOS
REPOSIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO BALANÇO HÍDRICO	<ul style="list-style-type: none"> - Dados climatológicos: -Medições diárias, cálculos semanais, mensais e anuais de precipitação; temperatura atmosférica e do solo; cálculo de evapotranspiração real 	Estação Meteorológica da FCT/UNESP Pluviômetros na área da EP
DEFLÚVIO E INFILTRAÇÃO REDISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO: CAPACIDADE DE CAMPO, VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO	<ul style="list-style-type: none"> -Ensaio de infiltração -Medições de escoamento superficial - Medições de potencial do solo - Medições de umidade no solo - Construção de curvas de retenção referente aos horizontes A, B e C; 	<ul style="list-style-type: none"> - Tensiômetros -Blocos de gesso -Canteiro de deflúvio superficial - Área de inundação Laboratório de Física de Solos - CENA/USP
VARIAÇÕES DO POTENCIAL DO SOLO NO SEU PERFIL	<ul style="list-style-type: none"> - Zoneamento do perfil do solo e do substrato rochoso e suas correlações com a hidrodinâmica 	Tensiômetros, blocos de gesso Laboratório de Sedimentologia da FCT/UNESP
PROPRIEDADES FÍSICAS DO MEIO POROSO: DENSIDADE, POROSIDADE, RETENÇÃO DE ÁGUA PELO SOLO.	<ul style="list-style-type: none"> - Análises de rotina de pedologia; - Construção de curvas de retenção referente aos horizontes A, B e C 	Laboratório de Sedimentologia - FCT/UNESP Laboratório de Física de Solos - CENA/USP
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO	<ul style="list-style-type: none"> - Determinação no campo da condutividade em estado saturado; - Ensaio de infiltração; - Análise da distribuição granulométrica e do grau de cimentação da rocha; - Determinação indireta segundo WISCHMEYER <i>et al</i> (1971) 	Laboratório de Sedimentologia - FCT/UNESP

O tratamento dos dados incluiu inicialmente o cálculo de evapotranspiração real e a construção de gráficos de balanço hídrico climatológico pelo método de Thontwaithe, conforme é explicado em TUBELIS & NASCIMENTO (1979).

4.9.4.2. Medidas de potencial de água no solo: tensiômetros

Um tensiômetro consiste num tubo, com uma cápsula porosa na extremidade colocada em contato com o solo onde devem ser medidos os valores da carga de sucção (REICHARDT, 1996). Esse tubo, permanentemente mantido preenchido com água, é ligado a um manômetro. Na pesquisa realizada, são empregados tensiômetros dotados de colunas de mercúrio para a medição, conforme é ilustrado na Figura 12.

Se o solo estiver parcialmente seco, a água é deslocada para fora da cápsula, significando que o potencial da água no interior do tubo é maior que o potencial da água no ponto em que a cápsula está localizada. Dessa forma, a pressão da água no ponto onde está a cápsula é negativa, ou seja, representa um meio com deficiência de água. A pressão no local da cápsula, em termos de carga hidráulica, em tensiômetros de mercúrio, é calculada a partir da fórmula:

$$h = -12,6H + h_1 + h_2 \quad (5),$$

onde

h = potencial mátrico (cm de água),

H = altura da coluna de mercúrio (cm)

h_1 = desnível da cuba de mercúrio em relação à superfície do terreno

h_2 = profundidade da cápsula porosa em relação à superfície do terreno

Os tensiômetros instalados área pesquisada (Fotos 7 e 8), de marca APAGER, são fabricados de modo que, por compensação nas dimensões e alturas de instalação, reduzem o cálculo do potencial mátrico à expressão:

$$h = -12,6H \text{ (6)}$$

Sendo adotado um determinado valor do potencial do solo como uma das referências para se identificar a condição de capacidade de campo, os valores de potencial mátrico registrados a várias profundidades devem ser comparados a este valor. Dados de leituras dos tensiômetros, por exemplo, ganham importância à medida que sejam analisados com base neste parâmetro de referência.

Na pesquisa, as medições referentes aos tensiômetros foram efetuadas diariamente, às 10:00 h.

Dispondo-se de meio para converter os valores de potencial mátrico em dados de umidade correspondente no solo, a medição diária dos tensiômetros apresenta uma utilidade a mais, que consiste na determinação da variação diária do armazenamento de água no solo a diferentes profundidades. Dispondo-se de informações quantitativas desta variação, é possível analisar o comportamento do solo quanto à redistribuição e à drenagem. Representando-se através do seu perfil as variações no avanço da frente de molhamento, pode-se localizar zonas de fluxo preferencial, zonas de retardamento da drenagem, obtendo-se também dados mais realistas sobre o valor de potencial mátrico e de umidade correspondentes à condição de capacidade de campo, à medida que os valores obtidos apontam uma estabilização, tendendo à variação mínima.

Para esta análise do comportamento hídrico do solo com base em leituras diárias, foram selecionadas as leituras de tensiômetros referentes a determinados períodos, devido à dificuldade de tratar o conjunto de dados registrados diariamente durante o desenvolvimento da pesquisa.

Deste modo, foram escolhidos períodos correspondentes a eventos de chuva concentrada, intercalados com períodos de estiagem de mais de 5 a 10 dias.

Figura 12 : Esquema do tensiometro com medidor de mercúrio.

4.9.4.3. Medidas de potencial de água no solo - blocos de gesso

CUSTODIO & LLAMAS (1986), no Capítulo 6.3 - vol. I, referente à água no solo, inclui a investigação por meio dos blocos, que são envolvidos em material absorvente da umidade, entre os métodos geofísicos, porque relacionam o grau de umidade do meio poroso à resistividade elétrica, a qual é medida através duma ponte de Wheatstone.

Estes sensores são conhecidos tradicionalmente como "blocos de Bouyoucos", por terem sido propostos inicialmente por C. J. Bouyoucos e A. H. Mick (FOWLER & LOPUSHINSKI, 1989). São largamente usados na agricultura, para monitoramento do grau de umidade no solo.

Dentre os raros autores que tratam deste tema muito específico, TOLLNER & MOSS (1985), em referência direta a blocos de gesso, apontam a necessidade de rotação semestral deles no solo. SATRYIO *et al* (1990) ressaltam as dificuldades na obtenção de medidas confiáveis de umidade tanto com blocos de gesso quanto através de tensiômetros; no entanto, considera os primeiros como mais confiáveis e práticos do que estes últimos. RUPRECHT & SCHOFIELD (1992), através de pesquisa sobre solos da Austrália, reforçam a idéia de que, para a obtenção de dados confiáveis, os blocos funcionam melhor que os tensiômetros, mas não têm a eficiência da sonda de nêutrons.

A principal vantagem a ser apontada no uso deste tipo de equipamento, tanto para fins de pesquisa aplicada à irrigação, como a estudos de contaminação de água subterrânea, é o seu custo relativamente baixo. Outro aspecto positivo dos blocos de gesso é a sua capacidade de boa resolução no intervalo de potencial matricial entre - 0,06 MPa e - 1,5 Mpa (aproximadamente de - 0,60 atm a -15 atm), sendo estes limites muito mais abrangentes do que o intervalo de medição alcançado com tensiômetros (FOWLER & LOPUCHINSKI, 1989).

No momento de medição, os blocos são conectados, um de cada vez, a este medidor. Os blocos são pré-calibrados, de modo que os valores apresentados pelo medidor sejam convertidos em valores de tensão. Na utilização dos blocos e medidor

Foto 7: Bateria de tensiômetros e extratores de cápsula porosa

Foto 8: Medidor de potencial mátrico e blocos *Soilmoisture*

Soilmoisture, (Foto 8), a conversão de valores de leitura em valores de potencial mátrico é realizada por meio de um ábaco (Figura 13).

Figura 13 : Ábaco para conversão da leitura do medidor de unidade em valor de pressão (SOILMOISTURE, 1996)

O emprego deste equipamento complementa a utilização de tensiômetros. Uma vez construída a curva *potencial mátrico X umidade* para uma determinada classe de solo, o teor de umidade é estimado com dados do gráfico assim confeccionado.

Em caso de não se dispor dos dados da curva *potencial mátrico X umidade*, os blocos apresentam uma vantagem em relação aos tensiômetros, que é o da relativa facilidade de serem calibrados no campo ou em laboratório para a conversão de valores de resistência elétrica em valores referentes a umidade, assim propiciando, de modo prático, a construção de curvas *resistência elétrica x umidade*.

A determinação dos valores de tensão matricial com base nas leituras do medidor *Soilmoisture* é feita através de uma curva de calibração previamente construída e válida para os blocos fornecidos pelo fabricante (Figura 13).

4.9.4.4. Ensaio de infiltração

O estudo da infiltração vertical é classicamente feito inundando-se a superfície do solo com uma lâmina de água de 2 a 10 cm de altura e mantendo-se esta lâmina por adição contínua de água. Esta altura reduzida confere à água um potencial ligeiramente positivo, mas que, na prática, é considerado nulo, considerando-se a infiltração como sendo de potencial nulo.

No campo, um dos meios para se proceder à inundação (Figura 14) consiste em isolar uma área de 9 a 100 m² por meio de "diques"; outro procedimento emprega dois cilindros concêntricos (30 e 60 cm de diâmetro, aproximadamente), que são encravados no solo e preenchidos de água.

Entende-se por medida da infiltração a medida da velocidade com a qual a água penetra no solo. Ela é denominada de velocidade de infiltração v_i . Sua definição é idêntica à definição de fluxo de água q , da equação de Darcy, sendo então o volume de água (cm³) infiltrado por unidade de área (cm²) no intervalo de tempo (seg), em termos de cm/s. Dependendo da aplicação do ensaio, outras unidades podem ser adotadas, como mm/seg, cm/h, m/seg ou m/dia.

Figura 14 : Esquema duas técnicas adotadas para ensaio de infiltração
(REICHARDT ,1990)

Se o nível de água dentro de um cilindro utilizado para medir v_i é dado pela altura H_1 no instante t_1 e H_2 em t_2 , tem-se:

$$v_i = (H_1 - H_2) / (t_2 - t_1) \quad (7)$$

Observa-se que v_i é grande no início da infiltração e vai diminuindo com o tempo. Verifica-se que, num intervalo de tempo, variável conforme as propriedades do solo, a velocidade de infiltração se estabiliza, assumindo valor constante, denominado infiltração básica (K_0).

Como já foi referido, v_i é o próprio q da equação de Darcy, podendo ser expresso como:

$$v_i = K(\theta) \text{ grad } \psi \quad (8)$$

Uma vez estando saturado o perfil do solo, o potencial mátrico é nulo, podendo na prática ser desprezada a atuação do potencial de pressão, restringindo-se então o potencial ao componente gravitacional, resultando o gradiente $\psi = 1$.

Pelo fato de a condutividade $K(0)$ em estado de saturação total corresponder ao índice de condutividade hidráulica, esta propriedade pode ser avaliada pelo menos no horizonte menos profundo do solo.

Uma das aplicações do ensaio de infiltração é a localização de zonas menos permeáveis no perfil de solo, que funcionam como barreira temporária à percolação e contribuem para a existência de fluxo lateral. Em pesquisa realizada em área de erosão acelerada no Município de Bauru/SP, SALOMÃO (1994) empregou este ensaio para a caracterização de impedimento vertical no horizonte B textural de solo identificado dentro da categoria dos podzólicos. A inundação realizada através de um infiltrômetro e o emprego de corante possibilitou o reconhecimento nítido desta barreira.

Na pesquisa realizada, optou-se por dimensionar a área de inundação a um quadrado de 2 m x 2 m. As finalidades do ensaio eram:

- estimar a condutividade hidráulica do horizonte eluvial ("A") e dos horizontes "B" do solo;
- identificar barreiras ao fluxo vertical da água e a tendência ao escoamento lateral dentro do solo.

Para estas finalidades, optou-se por manter a inundação em lâmina d'água de apenas 3 cm de altura por um período de no mínimo 10 horas.

No procedimento adotado, foi introduzida a amostragem através de 6 furos localizados dentro da área inundada e 2 furos distantes de 0,6 m, no sentido do declive do terreno, de um dos seus limites (Foto 9). Os furos são revestidos com tubos de PVC em toda a sua profundidade, permanecendo aberta a extremidade inferior deste revestimento.

As profundidades dos 6 furos locados na área a ser inundada são:

0,2 m, 0,4 m, 0,6 m, 0,8 m, 1 m e 1,5 m.

As profundidades dos furos externos à área a ser inundada são:

0,6 m e 1 m.

A amostragem nos furos foi realizada ao término da perfuração, no decorrer e depois do ensaio de inundação e no dia seguinte ao da inundação. Utilizou-se a retirada de amostras com o uso intercalado de trado de 5 cm e 7,5 cm de diâmetro, para evitar diferenças maiores que 5 cm de níveis de amostra num mesmo furo.

A etapa final do experimento consistiu na abertura de uma trincheira de 2 m de comprimento, 1 m de largura e 1,80 m de profundidade, localizada de modo a garantir a melhor correspondência possível de posição com a amostragem efetuada nos furos. Uma terceira etapa de amostragem foi cumprida através da coleta de amostras indeformadas na trincheira, com intervalos de 0,20 m de profundidades das amostras.

O total de unidades de amostragem foi de 58, das quais 20 são indeformadas. Destas últimas, 6 procederam de zonas de solo adjacente a raízes.

Foi aplicado o método gravimétrico para determinação de umidade e de sua variação ao longo e após o decorrer do ensaio de inundação.

Para se analisar o avanço da frente de molhamento, os valores de umidade por volume foram primeiramente calculados com base na coleta de amostras indeformadas, que foi efetuada no terceiro dia do ensaio. Os valores de massa específica dos sólidos (ρ_s), massa específica do solo (ρ), porosidade do solo (α) e umidade em volume (θ), referentes a cada uma das unidades de amostragem foram calculados de acordo com estas fórmulas:

$$\rho_s = m_s/V_s \text{ (g/cm}^3\text{)} \text{ (9), sendo}$$

m_s = massa de sólidos e

V_s = volume de sólidos

$$\rho = m_s/V \text{ (g/cm}^3\text{)} \text{ (10) , sendo}$$

V = volume do solo;

$$\alpha = (V - V_s)/V \text{ (cm}^3/\text{cm}^3) \text{ (11), sendo}$$

V = volume do solo na amostra indeformada

$$\theta\% = (V_a/V) \cdot 100 \text{ (12), sendo}$$

V_a = volume de água contida no solo.

A determinação da umidade por volume a partir das amostras deformadas foi possibilitada por cálculos de conversão, segundo as fórmulas :

$$V_{\text{sol}} = M_s/\rho_{\text{sol}} \quad (13)$$

$$\text{e } V = V_{\text{sol}}/\alpha \quad (14)$$

Uma vez encerrado o ensaio de infiltração e a última amostragem, os perfurações utilizadas para amostragem de solo foram reservadas para a execução de ensaios de condutividade hidráulica. O procedimento incluiu o aprofundamento dos furos por mais 0,5 m ou mais abaixo do revestimento, procedendo-se também à uniformização do diâmetro nesse trecho final. O procedimento escolhido para esses ensaios é o de infiltração em perfurações, conforme orientação da ABGE (1996). Infelizmente estes ensaios não puderam ser efetivados, devido à dificuldade de manter o solo em estado de saturação de água.

4.9.4.5. Determinações de laboratório - correlação umidade x potencial mátrico e curva de retenção

A curva de retenção relaciona o potencial do solo com a umidade (LIBARDI, 1995). O solo, em amostra indeformada e com um volume conhecido, é

saturado e submetido a pressões de valores estabelecidos de acordo com uma escala ascendente. A aplicação de uma determinada carga é suficiente para neutralizar o potencial de retenção do solo pressão até um grau que se traduz na umidade mantida por este solo. A cada valor de carga aplicada, corresponde um valor de umidade. Plotando - se os diferentes valores de umidade e de carga aplicada, constrói - se a curva característica de um determinado horizonte de um solo.

Na pesquisa realizada, as amostras escolhidas para esta finalidade foram 6, referentes a 3 dos horizontes mais característicos do perfil descrito na Trincheira 1. As determinações foram efetuadas através do método da *Câmara de Richards* no Laboratório de Física de Solos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP, em Piracicaba/SP.

4.9.4.6. Medida do escoamento superficial

A medição do escoamento superficial é realizada por meio de um canteiro por onde somente pode escoar a água da chuva que atinge a superfície da área previamente delimitada (Figura 15).

Figura 15 : Esquema de canteiro de deflúvio superficial
(REICHARDT, 1990)

Havendo declividade diferente de zero na superfície do terreno, teoricamente pode haver escoamento superficial. Para medida do deflúvio superficial, pode ser

adotada a unidade de milímetro, que é empregada para medição do armazenamento de água pelo solo, da pluviosidade, da infiltração acumulada, da evapotranspiração e da absorção de água pelas raízes. Por conveniência, os valores são convertidos em unidades de litro, uma vez que 1 mm de precipitação medido no pluviômetro significa 1L/m^2 de chuva que atinge a superfície do terreno. Em princípio, a medição é simples, se for medido o volume V de água que escoou e saiu de uma área de dimensões conhecidas.

A área A é delimitada por meio de "diques" (tábua, alvenaria, folha metálica ou mesmo solo) e, na parte inferior, deve ser instalado um dispositivo para a coleta do volume V de água saída da área assim isolada.

O canteiro de escoamento superficial que foi instalado na E P mede 25 m por 2 m (Foto 9), com o seu comprimento orientado na direção de maior declive do terreno. É dotado de vertedouro, conduto de água e 2 tambores para coleta e medição de volume de água. Ao longo do canteiro, uma série de 12 pluviômetros, apropriados à coleta de chuva interceptada, mede a precipitação local.

A precipitação restrita à parcela é calculada com base a média das medidas dos pluviômetros. Multiplicando-se este valor médio pela área da parcela isolada, obtém-se o valor da precipitação que atinge nesta área. A parcela que escoou é coletada num primeiro tambor até a altura máxima de 28 cm. Em caso de ser ultrapassado este limite de altura, o excesso de água coletada neste primeiro tambor escoou por 7 saídas, sendo apenas uma delas dotada de comunicação com o segundo tambor. O total da parcela de escoamento é calculado pela seguinte expressão:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot (H_1 + 7H_2) \quad (15),$$

sendo:

V = volume da água que escoou superficialmente (em l)

R = raio dos tambores (de 17 cm ou 1,7 dm na área da pesquisa),

H_1 = altura medida no primeiro tambor (em cm e em dm) e

H_2 = altura medida no segundo tambor (em cm e em dm)

Foto 9: Área destinada ao ensaio de infiltração

Foto 10: Canteiro de deflúvio superficial em instalação

4.9.4.7. Classificação do meio poroso relacionada à condutividade hidráulica

Existem diferentes proposições de classificação de solo com referência à condutividade hidráulica de acordo com as propriedades morfológicas e de classificação da rocha pela distribuição granulométrica e pelo grau de compactação natural. Dentre as classificações mais práticas, está a de WISCHMEIER *et al* (1971), que é a adotada na presente pesquisa. Esta escala estabelece correlações entre a condutividade hidráulica e a propriedade de estrutura do solo, de acordo com critérios qualitativos. Uma vez que esta é uma propriedade-chave na classificação pedológica, a cada categoria de solo pode ser atribuído um dos valores estabelecidos na escala. No caso de classe de solo bem diferenciada verticalmente, como a dos podzólicos, identificada na área de estudo, esta classificação é aplicada a cada horizonte do solo.

Em ordem decrescente, a condutividade hidráulica é função de:

- a) estrutura
- b) massa específica seca
- c) textura

Dentro da escala de dependência da estrutura, os extremos de maior e menor influência correspondem, respectivamente ao tipo laminar e ao granular bem definido, grãos relativamente grandes e bem arredondados. No caso de horizontes iluviais de solos podzólicos, geralmente a estrutura de prismas grandes e bem angulares dificulta a drenagem pelo perfil.

4.9.5. Informações sobre a Hidrodinâmica da Zona Saturada

No Quadro 5 estão resumidas as relações entre dados necessários e recursos de investigação no tocante a este aspecto.

Quadro 5: Aspectos metodológicos da hidrodinâmica da zona saturada

NATUREZA DA INFORMAÇÃO	INFORMAÇÕES UTILIZADAS	RECURSOS DE INVESTIGAÇÃO
ARACTERÍSTICAS DE RECARGA	<ul style="list-style-type: none"> -Dados de precipitação pluvial - Medições do nível do aquífero livre - Drenagem na zona não saturada -Ensaio de infiltração -Medições de deflúvio - Correlação precipitação pluvial x oscilação do nível freático 	Estação Meteorológica da FCT/UNESP <ul style="list-style-type: none"> - Pluviômetros na área da EP - Medidor de nível <i>d'água Altronic</i> - Tensiômetros
NTAÇÃO DO FLUXO D'ÁGUA	<ul style="list-style-type: none"> - Superfície potenciométrica - Localização de descontinuidades e possíveis barreiras - Traçadores químicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Poços de monitoramento - Cacimbas Laboratório de Sedimentologia - FCT/UNESP
VELOCIDADE DO FLUXO D'ÁGUA	<ul style="list-style-type: none"> - Traçadores químicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Laboratório de Hidroquímica - CAS/IGUSP - Laboratório de Análises Químicas da CETESB

4. 9.5.1. Dados climatológicos para a recarga

O balanço hídrico é importante em avaliações referentes à recarga de aquíferos. O balanço hídrico trata do excesso ou a escassez de água no solo ou mais propriamente a taxa de infiltração da água pluvial. O balanço hídrico real exige cálculos de infiltração com base em dados da hidrodinâmica do solo e cálculos referentes à atuação das plantas, sendo mais preciso que o balanço climatológico.

Havendo condições de drenagem no perfil do solo e por toda a zona não saturada, devido ao excedente de água de infiltração, haverá condições para a recarga periódica. A variação do nível do aquífero livre depende do balanço hídrico anual, pelo qual se avalia a influência das variações sazonais de precipitação sobre a recarga. Sob este aspecto, o comportamento da pluviosidade é uma característica importante, como tem sido reconhecido em numerosos estudos sobre a correlação entre a chuva acumulada e a oscilação do nível freático.

4.9.5.2. Medições do nível freático

A oscilação do nível freático foi medida em 7 poços de monitoramento e 2 cacimbas. Nos anos de 1994 e 1995, medições foram efetuadas em 3 cacimbas do *Campus* da FCT/UNESP e 2 outras nas suas redondezas. Posteriormente, as cacimbas C1 e C2 foram incluídas no monitoramento próprio da pesquisa.

A instalação dos poços foi efetuada de acordo com as recomendações da CETESB (1986). Os poços foram perfurados com trado manual e trépano. Neles são instalados tubos de PVC, cujos diâmetros externos medem 8 cm nos poços PM01, PM02 e PM03, PM06 e PM07 e 5,5cm nos poços PM04 e PM05, com um trecho final de 1,50 m ranhurado e envolvido por uma tela de *nylon*. O espaço livre entre os tubos e as paredes do furo é preenchido, na zona de filtragem da água, por um pré-filtro de areia lavada e acima desta, por material removido na perfuração e por um colar de bentonita.

Com um medidor *Altronic*, em cada ponto de monitoramento, foi medida periodicamente a profundidade do topo da zona saturada. Os valores de profundidade foram convertidos em valores de nível. As Fotos 11 e 12 referem-se à instalação dos poços de monitoramento e a operação de medição.

O poço PM02 foi instalado dentro da EP. Próximo a esta foram locados os poços PM01, PM03 e PM04. Os poços PM05 e PM06 foram instalados a meia-encosta e o poço PM07, no terço inferior da encosta, conforme se confere nas Figuras 11 e 19.

Uma das finalidades da instalação de 7 unidades de medição do nível da zona saturada é conhecer o seu comportamento espacial através do terreno de uma encosta onde foi realizada a pesquisa. Deste modo, são colhidas informações básicas sobre a variação do seu nível através de um período de vários meses, a atuação da recarga e o condicionamento da água subterrânea a fatores de natureza estrutural ou litológica. Com os dados dos poços e cacimbas monitorados e as informações prévias de cacimbas dentro da área do *Campus* e das redondezas, foram traçadas curvas representativas do nível freático médio da área pesquisada, resultando em esboço de mapa potenciométrico.

Figura 16 : Perfil esquemático de poço de monitoramento (CETESB, 1986)

Foto 11: Detalhe da instalação de um poço de monitoramento

Foto 12: Medição do nível
freático – PM05

4.9.6. Hidrogeoquímica

O Quadro 6 relaciona os dados necessários e os procedimentos que são adotados nas investigações referentes a eles.

Quadro 6: Propriedades e recursos técnicos relacionados à hidrogeoquímica e utilizados na pesquisa

NATUREZA DOS DADOS	TÉCNICAS	EQUIPAMENTOS E LABORATÓRIOS
BACKGROUND HIDROGEOQUÍMICO LIXIVIAÇÃO E RETENÇÃO DE CONTAMINANTES (adsorção, complexação, etc.)	- Monitoramento com coleta mensal de amostras das zonas saturadas e insaturadas e do aquífero explotado através de poço tubular, - Coleta de água da chuva	- Poços de monitoramento - Coletores de água - Extratores de cápsulas porosas
	- Análises químicas da água amostrada	Laboratório de análises químicas do CAS/IGUSP
	- Análise química de solo e de rocha da zona não saturada	Laboratório de Sedimentologia da FCT/UNESP Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia do IGCE/UNESP

Distinguem-se duas etapas no monitoramento: uma referente à hidroquímica durante um período em que não é introduzido o contaminante escolhido (estudo do "background") e outra referente ao seu comportamento após a sua introdução.

No caso do presente estudo, a introdução do contaminante foi acidental, tendo acontecido já no andamento dos trabalhos de investigação.

Houve rompimento, a 24/04/97, de um coletor de água residuária, enterrado no solo a 0,46 m de profundidade e localizado a montante e a uma distância de 12 m aproximadamente da EP. Os reparos dos danos foram providenciados somente a 19/05/97, estendendo-se, portanto, o vazamento por 26 dias. Este coletor, pelo que se deduz de sua localização, reúne as águas servidas de 2 prédios discentes que, durante a semana letiva, podem ser freqüentados por 1.380 alunos em caso de comparecimento total. De acordo com os dados da diretoria de serviços do *Campus*, estima-se o lançamento médio por dia de esgoto, a partir destas instalações, em uma quantidade variável entre 6m³ e 12 m³ no período letivo. Por estas informações, depreende-se que foram introduzidos no solo, sem escoamento superficial e com percolação imediata dentro dele, pelo menos 156 m³ ou 156.000 l de água residuária, portadora de N, F, Cl, P e F em solução. Por estes valores admitidos com moderação, o efeito em volume de água desse vazamento, se comparado com parâmetros de precipitação em uma área de 10 m x 20m, equivale a de uma chuva continuada de 780 l/m² ou de 780 mm, o que correspondende, na zona climática de Presidente Prudente, a mais da metade do valor médio de precipitação acumulada por ano, no período de 1969 a 1996.

Registrou-se outro acidente de vazamento no mesmo local a 23/03/98, tendo sido a sua duração de 20 dias. Adotando-se os termos de cálculo do vazamento anterior, o efeito de acréscimo de água é comparável ao de uma precipitação continuada de 600 mm numa área de 10 m x 20 m.

Outro acidente que ocorreu com instalações hidráulicas da FCT/UNESP foi um vazamento de conduto de água destinada ao abastecimento do *Campus*, a cerca de 14,30m de uma cacimba, designada como "C2" no programa de monitoramento. Esta adutora, foi rompida às 10,30h do dia 16/05/97, tendo, água já cloretada e fluoreta jorrado continuamente e com vazão regular de pelo menos 10 m³/h, para um rego de terra nua, por um intervalo de tempo de mais de 6 horas, alcançando o máximo de infiltração possível no solo nas condições climáticas desse dia.

4.9.6.1. Coleta de amostras de água

Na coleta mensal de água, foram empregados frascos e garrafas de polietileno, todos estes utensílios lavados previamente com detergente, ácido e água destilada.

Antes de se proceder à amostragem no campo, o material utilizado para as coletas de águas de chuva e dos poços também foi lavado com a água a ser amostrada. Este procedimento não foi adotado em relação à coleta através dos extratores de cápsulas porosas, devido ao volume de água obtido, o qual foi muito reduzido em todas as oportunidades de coleta.

A conservação das amostras após as coletas obedeceu a normas adotadas pela CETESB (1988), nas quais se recomenda a divisão da amostra, imediatamente após a coleta, em três partes, uma delas a ser mantida sob congelamento e as outras duas, com o pH baixado a 2 pela adição, respectivamente, de H_2SO_4 e HNO_3 concentrados.

A – Coleta da zona não saturada

Para a extração da água da zona não saturada, é necessário que as cápsulas porosas sejam mantidas sob vácuo durante determinado período de tempo. Assim, o potencial no interior do tubo torna-se menor que o potencial do solo, o que provoca o deslocamento da água para uma câmara coletora do extrator. Lacrados, para não se desfazer o vácuo estabelecido no seu interior, os extratores assim permanecem por 24 horas, quando então se procede às coletas de água.

Para a retirada da água acumulada no interior das cápsulas, utilizou-se um frasco *kitasato*, submetido a vácuo, conectado às cápsulas através de mangueira pela qual a água pode subir. A coleta de água de cápsulas localizadas a mais de 6,0 m de profundidade exigiu a injeção de ar comprimido nos extratores.

Figura 17 : Esquema do extrator de cápsula porosa

Devido a dificuldades de coleta, alguns recursos foram introduzidos no procedimento de amostragem, a fim de se garantir a sua eficiência. Esses recursos foram:

- 1) uso de uma bomba marca *Pfeiffer*, com capacidade de 3m³/h e produção de vácuo mecânico, que varia entre 10⁻¹ a 10⁻³ torr (13,33 a 0,13 Pa);
- 2) adaptação à bomba de vácuo de conexões e mangueiras próprias para as condições de alto vácuo;
- 3) experimentos com período de bombeamento de 1, 2 e 3 horas na retirada do ar dos extratores;
- 4) testes, na operação de extração da água, de sucção da bomba com entrada controlada de ar para condensar a água pulverizada (operação de “ballast”);
- 5) testes com bomba manual;
- 6) testes de bombeamento com umedecimento prévio da cápsula;
- 7) verificação em cada extrator da manutenção da condição de vácuo, após a operação de retirada do ar;
- 8) experimentos com a operação conjunta de 2 bombas de vácuo para a retirada do ar.
- 9) proteção com “mulching” (cobertura de palha úmida) contra a evaporação, após a introdução da condição de vácuo.

B – Coleta do aquífero livre

Quanto à coleta de água dos poços de monitoramento, inicialmente foi adotada a providência de esgotar repetidamente, durante dois meses, os poços de monitoramento. Esse cuidado prévio teve dois objetivos: a eliminação de influências de contaminação da água utilizada na perfuração, a qual foi relativamente abundante e de procedência estranha ao aquífero em estudo; a redução da turbidez, devida a operações de instalação do poço, na água afluente a este.

A cacimba C2 foi incluída no programa de coleta de amostras. A cacimba C1 não foi utilizada para a amostragem, por problema de impurezas no seu interior.

Foto 13: Extração de água do solo
bomba *Pfeiffer*

Foto 14: Trincheira T3 -
surgência
desaterrada

O procedimento de amostragem, de preferência efetuada mensalmente, incluiu o esgotamento dos poços, que foi antecipado à coleta em intervalo de tempo necessário à recuperação do nível estático da água.

Quanto à amostragem do poço tubular, as coletas foram efetuadas em oportunidades em que o poço estava em pleno funcionamento, seguindo também um programa de coleta mensal.

C- Coleta junto às surgências

Foi efetuada apenas a coleta junto a uma delas, uma vez que junto às demais a interferência de obras de construção do açude e obras de terraceamento impossibilitaram qualquer tipo de captação. Para se proceder à amostragem na surgência menos prejudicada por essas intervenções, foi necessário expô-la novamente através de escavação de uma trincheira de mais de 15 m de extensão.

D - Coleta de água de chuva

As amostras foram coletadas durante ou imediatamente após eventos de precipitação, de preferência em dois locais diferentes, um deles na EP e sujeito à interceptação pela copa de uma árvore e outro localizado a uma distância de 20 metros pelo menos de qualquer árvore ou qualquer outro obstáculo à chegada livre da água à superfície do terreno. Como coletores, foram empregados recipientes de alumínio, previamente lavados.

4.9.6.2. Análises químicas

As determinações efetuadas imediatamente após a coleta consistiram em:

- pH, com o peagâmetro *Micronal B375*, do Laboratório de Sedimentologia da FCT/UNESP.
- condutividade elétrica, com o condutivímetro *Micronal B331*, do Laboratório de Sedimentologia da FCT/UNESP.
- dosagens de CO_3^{2-} e HCO_3^- , por titulometria, de acordo com o procedimento recomendado pela A.P.H.A. (1982), com emprego de solução 0,002 N de HCl, *fenolftaleína* e *alaranjado de metila*.

Análises referentes aos ânions F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} foram realizadas através de processo de cromatografia líquida, no aparelho *DIONEX 2010i*. Para a determinação dos cátions Na^+ e K^+ , foi empregado o processo de fotometria de chama desenvolvido no fotômetro *B 262 da Micronal* e para os cátions Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cromo total, Mn^{2+} , Ni^{2+} , Ba^{2+} , Al^{3+} , Sr^{2+} . Para os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} utilizou-se o método de espectrofotometria, com o equipamento para análise de absorção atômica *CG AA7000 BC*. Todas as análises destes íons foram efetuadas no Laboratório de Hidroquímica do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CAS/IGUSP.

Nos laboratórios de análises químicas da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP e da CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Básico, foram determinados os teores de N amoniacal e N total de 1 amostra colhida no tubulação de esgoto rompido e 2 amostras do açude.

Análises destinadas à verificação do teor de metais retidos no meio poroso da zona não saturada foram efetuadas em amostras do solo e do substrato rochoso. Para esta finalidade, foram selecionadas as amostras referentes a:

- horizontes de solo delimitados na trincheira nº. 3;

- horizontes identificados no solo removido para a instalação de lisímetros de sucção em área próxima da estufa e anteriormente ocupada por um parreiral;
- material retirado para a instalação do poço de monitoramento PM01;
- material removido para a instalação do poço de monitoramento localizado poucos metros a jusante da fossa de lixo do laboratório (PM05);
- estratos que, pelo cimento da rocha ou pelo conteúdo de argila, representam barreira potencial ao transporte de contaminantes.

A exemplo do procedimento adotado para amostras destinadas a análises granulométricas, a trituração e a quarteação foram incluídas no preparo das amostras.

As análises foram realizadas pelo Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP, Rio Claro/SP. O procedimento de análise incluiu a separação de 100 g do material de cada amostra, a secagem a 110° C, o preparo do extrato aquoso através do banho e repouso do material durante 24 h com água deionizada. As determinações foram realizadas pelo método de ICP-AES.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DADOS CLIMATOLÓGICOS

Além da utilização de dados de precipitação diária como variáveis importantes na análise da hidrodinâmica das zonas não saturada e saturada, as informações colhidas junto à estação meteorológica foram empregadas nos cálculos de balanço hídrico referentes ao período que se estendeu de junho de 1996 a junho de 1998 (Tabela 2, Figura 18).

Tabela 2: Balanço hídrico seriado – Presidente Prudente-SP – julho/96 a julho/98

ANO	MES	P	ETP	P-ETP	N AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	JUL 96	2,8	52,8	-50,0	-95,7	38,4	-24,9	27,7	25,1	0,0 27,7
	AGO 96	26,0	87,5	-61,5	-157,2	20,8	-17,6	43,6	43,9	0,0 43,6
	SET 96	87,4	85,6	1,8	-149,1	22,5	1,8	85,6	0,0	0,0 87,4
	OUT 96	163,0	120,0	43,0	-42,3	65,5	43,0	120,0	0,0	0,0 163,0
	NOV 96	189,8	127,3	62,5	0,0	100,0	34,5	127,3	0,0	28,0 161,8
	DEZ 96	260,4	141,9	118,5	0,0	100,0	0,0	141,9	0,0	118,5 141,9
1997	JAN 97	201,7	132,0	69,7	0,0	100,0	0,0	132,0	0,0	69,7 132,0
	FEV 97	241,1	124,0	117,1	0,0	100,0	0,0	124,0	0,0	117,1 124,0
	MAR 97	184,6	124,5	60,1	0,0	100,0	0,0	124,5	0,0	60,1 124,5
	ABR 97	101,2	89,1	12,1	0,0	100,0	0,0	89,1	0,0	12,1 89,1
	MAI 97	67,6	66,8	0,8	0,0	100,0	0,0	66,8	0,0	0,8 66,8
	JUN 97	3,8	42,6	-38,8	-38,8	67,8	-32,2	36,0	6,7	0,0 36,0
1997	JUL 97	2,8	67,3	-64,5	-103,4	35,6	-32,2	35,0	32,3	0,0 35,0
	AGO 97	26,0	80,9	-54,9	-158,3	20,5	-15,0	41,0	39,9	0,0 41,0
	SET 97	87,4	114,8	-27,4	-185,7	15,6	-4,9	92,3	22,5	0,0 92,3
	OUT 97	163,0	123,0	40,0	-58,6	55,7	40,0	123,0	0,0	0,0 163,0
	NOV 97	189,8	133,9	55,9	0,0	100,0	44,3	133,9	0,0	11,5 178,3
	DEZ 97	260,4	161,8	98,6	0,0	100,0	0,0	161,8	0,0	98,6 161,8
1998	JAN 98	156,8	177,8	-21,0	-21,0	81,1	-18,9	175,7	2,0	0,0 175,7
	FEV 98	88,9	130,5	-41,6	-62,6	53,5	-27,6	116,5	14,0	0,0 116,5
	MAR 98	340,0	133,2	206,8	0,0	100,0	46,5	133,2	0,0	160,3 179,7
	ABR 98	155,4	92,5	62,9	0,0	100,0	0,0	92,5	0,0	62,9 92,5
	MAI 98	86,2	59,0	27,2	0,0	100,0	0,0	59,0	0,0	27,2 59,0
	JUN 98	6,4	50,1	-43,7	-43,7	64,6	-35,4	41,8	8,3	0,0 41,8
	JUL 98	7,2	67,5	-60,3	-104,1	35,3	-29,3	36,5	31,1	0,0 36,5

6,7

DÉFICIT

11,5

EXCESSO

Figura 18: Balanço hídrico - Método de Thornthwaite -07/96 a 07/98

De acordo com este gráfico, a distribuição sazonal de excesso, reposição, deficiência e retirada de água do solo, no período considerado, apresenta comportamento semelhante àquele traduzido no gráfico referente ao período de 1969-1995, elaborado na Estação Meteorológica da UNESP de Presidente Prudente. A discordância entre os dois consiste na maior quantidade excedente nos anos de 1996, 1997 e 1998 e na localização do pico de excesso no ano de 1998, que ocorre em março e abril, em discordância com a maior elevação observada em média, que se dá em janeiro e dezembro.

5.2. RESULTADOS REFERENTES À LITOLOGIA E À PEDOLOGIA

Ao longo do córrego cuja bacia drena o setor SW do *Campus* e do Córrego do Veado, onde é inferida uma zona de falha, são identificados alinhamentos tectônicos (GODOY, 1989). A sua localização pode contribuir para a explicação do aparecimento freqüente de surgências de água no setor inferior de vertentes associadas a este córrego.

Na área pesquisada, o mapeamento geológico de detalhe localizou uma feição característica da Região de Presidente, que é o afloramento de camadas mais compactas de arenito, siltito ou lamito indiferenciado (Figura 11).

Observa-se também uma feição comum na região, configurada no aparecimento difuso do freático, onde a água poreja em escarpa de rocha alterada. Esta feição de surgência discreta mas relativamente extensa é mapeada como *zona de res-sudação* por SUDO (1980).

Quanto ao escoamento subterrâneo em direção aos fundos de vale, na área de estudo ele é condicionado às orientações dos declives do terreno, com uma disposição preferencial em três faces de vertente: duas voltadas ao córrego do Veado a N e a NE e uma, a SW, voltada a um afluente deste córrego (GODOY, 1997).

A fim de ser analisada e avaliada a influência das diferenciações em perfil do regolito e do substrato rochoso, foram reunidos os resultados da descrição de amostras de solo e rocha amostrados nos poços de monitoramento (Quadro 7) e 3, os dados obtidos com referência às propriedades de distribuição granulométrica, porcentagem de cimento carbonático e compactidade (Tabela 3).

Para a análise granulométrica, optou-se pela classificação adotada para solos, dada a dificuldade prática de introduzir o fracionamento do silte na rotina do Laboratório. Na tabela não estão incluídos os resultados referentes ao fracionamento da areia, que apontam a predominância bem distinta de areia muito fina e fina.

As descrições das características do material amostrado, embora não disponham de dados quantitativos, foram suficientes para se descartar a possibilidade de estabelecer correlações litológicas em perfil. Isto significa que não foi encontrada, na área da pesquisa, a continuidade lateral, aparentemente existente em alguns afloramentos localizados nas redondezas da área, conforme é ilustrado nas Fotos 1 e 2.

Quadro 7 : Descrição das amostras dos poços de monitoramento

PROF. (m)	NÍVEL(m)	DESCRIÇÃO
POÇO: PM02		
0-4,90	438,62	Solo
4,90-6,50	433,72	Lamito pardo
6,50-7,40	432,12	Arenito rosado, argiloso, friável
7,40-9,00	431,22	Arenito rosado bem claro, friável
9,00-10,00	429,62	Arenito rosado variando para argiloso novamente
10,00-11,00	428,62	Lamito compacto, cor chocolate, lâminas brancas
11,00-13,00	427,62	Arenito fino a médio, alaranjado, friável, poroso
POÇO: PM03		
0-4,20	436,55	Solo
4,20-5,90	432,35	Arenito argiloso avermelhado, nódulos ferruginosos
5,90-6,10	430,65	Arenito rosado, friável, poroso
6,10-6,40	430,45	Arenito fino, vermelho, friável, poroso, passando a mais compacto e nitidamente laminado
6,40-8,60	430,15	Arenito rosado, friável, passando a argiloso e compacto
8,60-9,40	427,95	Arenito argiloso, pardo avermelhado
9,40-12,00	427,15	Arenito rosado, fino a médio, friável, com estratos mais argilosos
12,00-12,60	424,65	Lamito chocolate
POÇO: PM04		
0-2,30	435,80	Solo
1,90-4,50	433,50	Arenito rosado, friável
4,50-5,50	431,30	Arenito vermelho, friável
5,50-6,60	430,30	Arenito rosado claro, friável, passando a mais compacto
6,60-8,80	429,20	Arenito rosado claro, friável
8,80-10,00	427,00	Arenito médio, muito poroso
10,00-10,90	425,80	Arenito médio, argiloso
10,90-11,40	424,90	Lamito marrom avermelhado, com impregnação de carbonato
POÇO: PM05		
0-1,90	428,40	Solo
1,90-2,10	426,50	Solo com nódulos ferruginosos
2,10-3,50	426,30	Arenito avermelhado, friável
3,50-4,10	424,90	Lamito variegado
4,10-5,60	424,30	Arenito chocolate, friável
5,60-6,40	422,80	Arenito variegado, relativamente mais compacto
POÇO: PM06		
0-0,40	418,24	Solo
0,40-0,90	417,84	Arenito muito alterado, amarelo a variegado, muito friável
0,90-6,50	417,34	Arenito alaranjado, muito friável
6,50-7,50	411,74	Arenito vermelho claro, friável, muito úmido
POÇO: PM07		
0-0,20	412,21	Solo
0,20-0,40	412,01	Lamito chocolate
0,40-0,50	411,81	Arenito creme
0,50-0,90	411,71	Arenito vermelho claro, mais compacto
0,90-4,00	411,31	Arenito vermelho claro, friável
4,00-4,70	408,21	Arenito vermelho claro, compacto
4,70-6,00	407,51	Arenito vermelho claro, friável
6,00-6,70	406,21	Arenito vermelho, compacto
6,70-8,00	405,51	Arenito vermelho, friável

Tabela 3 : Resultados de análise granulométrica e grau de cimentação - amostras de solo e rocha

LOCAL	PROF. (m)	AREIA %	SILTE %	ARGILA %	CIME c/ HCl	NTD (%) calcina- do	CLASSI- FICAÇÃO	CONDI- ÇÃO DE BARREIRA
PAR- REI- RAL	0,20-0,50	64,65	14,35	21,00	ND	ND	SOLO	
	0,50-0,90	62,66	16,04	21,30	ND	ND	SOLO	Hor.B
	0,90-1,10	63,56	11,94	24,50	ND	ND	SOLO	Hor.Bt
	1,10-1,50	64,44	14,36	21,20	ND	ND	SOLO	Hor. Bt
	1,50-2,00	63,14	15,66	21,20	ND	ND	SOLO	Hor.BC
	2,00-2,50	53,92	28,28	17,80	ND	ND	SOLO	Hor.C
PM02	3,00-4,00	58,50	19,90	21,60	ND	ND	ARENITO	Compacto
	5 -6,00	56,12	23,68	20,60	ND	ND		
	8,00-9,00	78,42	14,08	7,50	ND	ND	ARENITO	
	10-11,00	38,61	36,49	24,90	ND	ND	LAMITO	Compacto
	11 -12,00	77,47	14,93	7,60	ND	ND	ARENITO	
	12 - 13,00	92,32	6,48	1,20	ND	ND	ARENITO	
PM03	4,00	60,83	16,97	22,20	ND	ND	ARENITO	
	6,30-6,70	63,06	31,24	5,70	ND	ND	ARENITO	Compacto
	7,00	77,84	16,56	5,60	ND	ND	ARENITO	
	8,00	70,14	19,86	10,00	ND	ND	ARENITO	
	9,00	60,08	31,22	8,70	ND	ND		
	12-12,60	68,53	22,87	8,60	ND	ND	ARENITO	
PM04	6,00-6,50	56,62	32,98	10,40	10 , 56	7 , 93	LAMITO	Compacto
	11-11,40	50,70	33,12	16,18	ND	ND	LAMITO	
PM05	0-0,20	64,72	10,28	25,00	ND	ND	ARENITO	
	0,20-0,50	59,43	14,57	26,00	ND	ND	LAMITO	
	2,00	62,66	18,54	18,80	ND	ND		
	3,00	71,26	12,04	16,70	ND	ND	ARENITO	Compacto
	4,00-4,20	48,89	34,21	16,90	ND	ND	LAMITO	
	5,60-6,40	43,83	43,87	12,30	ND	ND	LAMITO	Compacto
SURGÊN- CIA	BASE	44,93	42,17	12,90	ND	ND	LAMITO	Compacto
POÇO TUBU- LAR	16,00				5 , 55	2 , 58	ARENITO	Compacto
	20,00	57,97	27,50	14,53	5 , 20	3 , 18	LAMITO	Compacto
	21,00	28,04	42,02	21,94	18 , 12	8 , 27	LAMITO	Compacto

Quadro 8 : Características morfológicas do solo encontrado na trincheira T1

<p>Ap - 0-35cm; desuniforme, vermelho escuro acinzentado (10R 3/2, úmido); areia franca; estrutura maciça, que se desfaz em grãos simples e às vezes blocos pequenos a médios; consistência (úmida) friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; muito poroso; locas biológicas abundantes/ raízes fasciculadas abundantes, carvão em camada continua de 10 a 25 ; transição (limite) clara, amplamente ondulado.</p>
<p>AB - 35 a 55cm; vermelho (2,5 YR 4/6, úmido); areia franca; maciça, que se desfaz em fraca média blocos subangulares e granular; muito friável, ligeiramente plástico, não pegajoso; poros muito pequenos, porosidade baixa; raízes fasciculadas médias abundantes; transição abrupta e plana.</p>
<p>B1t - 55 a 92 cm; vermelho (2,5YR 4/6, úmido); franco argilo arenoso (textura média); (estrutura prismática), fraca pequena e média, que se rompe em blocos subangulares médios e pequenos e fracos; cerosidade abundante e muito fraca; macroporosidade muito abundante e locas de raízes carbonizadas muito abundantes; friável (úmida), muito plástico e muito pegajoso; raízes fasciculadas médias a grossas abundantes; transição difusa e plana.</p>
<p>B2t - 92 a 110 cm; bruno avermelhado escuro (10YR 4/4, úmido); franco argilo arenoso (textura média); moderada média; blocos subangulares (prismática, que se desfaz em blocos médios irregulares, cerosidade abundante e fraca (filmes de argila abundantes mas muito fracos); friável (úmida), muito plástico e muito pegajoso; raízes fasciculadas médias a grossas abundantes; transição difusa e plana.</p>
<p>BC - 110 a 135 cm; vermelho fraco (10R 4/4, úmido); franco argilo arenoso (média); maciça, que se desfaz em fraca pequena e média blocos subangulares; cerosidade ausente; macroporosidade comum, locas de raízes preenchidas com material iluvial; (úmido) firme, muito plástico, pegajoso; difusa e plana.</p>
<p>C - 135 cm para mais; vermelho (10R 4/6, úmido); franco arenoso; maciça, que se desfaz em fraca pequena e média blocos subangulares; macroporosidade visível; friável; plástico, pegajoso.</p>
<p>Observações: carvão esparsa no perfil até a profundidade de 140cm; raízes fasciculadas médias a grossas até a profundidade de 130cm.</p>

Quadro 9 : Características morfológicas do solo encontrado na trincheira T3

<p>A - 0-23cm; vermelho escuro acinzentado (2,5YR 4/8, úmido), manchas raras; arenoso; maciço, friável ; não plástico e não pegajoso; raízes fasciculadas finas e abundantes; transição clara, amplamente ondulado.</p>
<p>BA - 23 a 45cm; vermelho (5 YR 4/3, úmido); 5 YR 5/8, com manchas comuns pequenas e sa; areia franca; prismática, em prismas pequenos; friável, ligeiramente plástico e pegajoso.</p>
<p>Bt - 45 a 60 cm; vermelho amarelo (5YR 5/8, úmido) com manchas muito comuns cor de ferrugem ao longo de cavidades de raízes; argila barrenta; prismática, pequena e forte; plástico e pegajoso; nódulos lateríticos.</p>
<p>BCf - 60 a 85 cm; vermelho amarelo (5YR 5/8, úmido), marchetado, com manchas abundantes; argila; nódulos lateríticos em mais de 70% da massa; muito plástico e muito pegajoso; raízes fasciculadas médias a grossas abundantes; transição difusa e plana.</p>
<p>Cg -85 a 90 cm</p>
<p>Observações:- em BA há a presença de argilominerais variados, com indicações de proporção elevada de argila complexa (2:1), verificando-se também o fenômeno da tixotropia;</p> <p>BCf, localizado entre 60 e 85cm de profundidade, significa B plintico, isto é, apresentando plintita;</p> <p>Cg, entre 85 e 90 cm, é hidromorfizado, apresentando muita umidade;</p> <p>no limite entre o horizonte C e a rocha semi-alterada, observa-se o fenômeno de escoamento subsuperficial (Foto)</p>

Os resultados específicos à caracterização pedológica estão apresentados nas Tabelas 4 , 5 e 6, em forma de dados de massa específica, variação granulométrica, pH, capacidade de troca catiônica (T), teor de bases trocáveis, teor de matéria orgânica e índices K_r e K_i .

Das descrições morfológicas de 4 perfis de solo, correspondentes a 4 trincheiras, aqui são apresentadas aquelas relativas às trincheiras T1 (Quadro 8) e T3 .

Tabela 4 : Análise granulométrica e índices físicos do solo encontrado na trincheira T1

Amostra	A_G 1,0 - 0,5 mm	A_M 0,5 - 0,25 mm	A_F 0,25 - 0,10 mm	A_{MF} 0,10 - 0,05 mm	Areia Total	Silte 0,05 - 0,002 mm	Argila < 0,002 mm	ρ_s	ρ	α
	%	%	%	%	%	%	%	G/cm ³	G/cm ³	%
Ap	0,10	1,00	19,80	54,90	80,20	8,80	10,90	2,63	1,46	44,48
AB	-	1,90	14,70	63,30	79,90	10,30	9,80	2,62	1,45	44,65
B1t	-	1,10	13,80	51,00	65,90	9,40	24,70	2,58	1,56	39,53
B2t	-	1,00	11,40	50,60	63,00	8,80	28,20	2,53	1,58	37,54
BC	-	0,60	13,00	50,40	64,00	10,75	25,25	2,62	1,45	44,65
C	-	0,70	12,00	53,00	65,70	10,05	24,25	2,64	1,39	47,34

ρ = massa específica do solo coletado em amostra indeformada, contendo umidade

ρ_s = massa específica das partículas que formam a fase sólida ou do solo seco

α = porosidade = volume total de vazios em proporção ao volume do solo

Classificação pela textura:

Ap e AB = Franco arenoso

Restante = franco argilo arenoso

Tabela 5 : Análise química do solo encontrado na trincheira T1

Amostra	pH (CaCl ₂)	M.O. %	P (Ug/cm ³)	K	Ca meq	Mg /	H+Al cm ³	SB	T	V
Ap	4,9	1,0	3	0,20	1,5	0,4	1,8	2,1	3,7	54
A1	4,8	1,2	3	0,29	1,7	0,3	1,8	2,3	4,1	56
A3	4,7	0,9	2	0,22	1,2	0,2	1,5	1,6	3,1	52
B1	4,7	1,0	1	0,25	6,5	0,7	2,0	7,5	9,5	79
B2	5,0	1,1	1	0,18	7,0	0,6	1,8	7,8	9,6	81
B3	4,9	1,1	2	0,11	2,8	1,2	2,0	4,1	6,1	67
C	5,0	0,7	2	0,09	1,0	1,0	1,8	2,1	3,9	54

Tabela 6 : Resultados de Análise do solo por Ataque Sulfúrico - Perfil 1/Trincheira 1

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO		
Amostra	%					Ki	Kr
B1	6,90	4,79	0,59	0,88	0,02	2,45	2,27
B2	8,86	6,41	0,81	1,02	0,01	2,35	2,17
B3	7,58	6,54	0,56	1,02	0,02	1,97	1,87

Quanto à identificação do solo do ponto de vista pedológico e de acordo com as mais atualizadas normas de classificação no Brasil (EMBRAPA, 1988), os resultados de análises morfológicas, químicas de rotina e análise por ataque sulfúrico confirmam a existência neste local de propriedades que caracterizam um solo da classe "Pv_e4" - *PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO ABRÚPTICO EUTRÓFICO Tb A moderado textura arenosa/média fase floresta tropical subperenifólia relevo ondulado*.

Com esta identificação, é confirmada a inclusão deste solo na unidade de mapeamento definida no levantamento semi-detalhado (CARVALHO *et al*, 1997), a qual se estende por este setor da bacia do Córrego do Veado.

A existência de horizonte "B" textural é considerada uma condição favorável ao escoamento subsuperficial de água em ocasiões em que o armazenamento neste horizonte atinge o estado de saturação.

Foi aberta uma segunda trincheira, indicada como T2, com metade do seu comprimento de 2,00 m dentro da área de inundação do ensaio de infiltração, prolongando-se por mais 1,00 m a jusante desta área (Foto 15). A sua largura e a profundidade medem 1,10 m e 1,80 m respectivamente. O solo reconhecido neste segundo perfil é uma extensão do solo analisado em T1, diferenciando-se deste pela maior espessura (45 cm) do horizonte Ap e pela presença de raízes mais espessas no horizonte AB.

Uma terceira trincheira, designada como T3 e localizada entre as cotas 422 e 425 m, desobstruiu uma surgência, que o terraceamento havia soterrado (Foto 16). A base desta trincheira corresponde a uma ruptura do perfil da encosta, onde afloram estratos de lamito compacto, que funcionam como controle estrutural da surgência. A descrição apresentada no Quadro 9 possibilita classificar o solo deste local como *podzólico*, embora a sua espessura seja muito menor do que a do solo correspondente às trincheiras T1 e T2.

Numa quarta trincheira, designada como T4 e localizada em setor da encosta onde a declividade atinge 45%, identifica-se um solo litólico típico.

Algumas de suas propriedades devem ser consideradas do ponto de vista do comportamento como filtro químico ou bioquímico de substâncias poluentes. A sua capacidade de troca catiônica (T) mostra-se de baixa a média para o solo amostrado na trincheira T1, com valores predominantes no intervalo de 5 a 10 meq/100cm³. De acordo com ZUQUETTE & GANDOLFI (1987), estes valores correspondem a uma eficiência limitada do solo como filtro químico para determinadas substâncias. No entanto, contribuem para atenuar a contaminação da zona saturada de água, especialmente no tocante a metais. Estes valores estão dentro do intervalo daqueles determinados para os solos da Bacia do Santo Anastácio (CARVALHO *et al*, 1997), onde não se registra nenhum valor elevado (> 15 meq/100cm³).

Diagrama esquemático da área de estudo, mostrando a 'ÁREA DA PLANTA' (área sombreada) e o 'CAMPUS DA UNESP' (área com edifícios retangulares).

LEGENDA 1		LEGENDA 2	
1 – COMPONENTES DO CAMPUS		2 – EQUIPAMENTOS E LOCAIS DE INTERESSE DA PESQUISA
<p>– POSTE DE ILUMINAÇÃO</p> <p>– ESTUFA</p> <p>– EDIFICAÇÃO</p> <p>– CERCA</p> <p>– AÇUDE</p> <p>– ÁRVORE</p>		<p>– PONTO DE VAZAMENTO DO ESGOTO</p> <p>– FOSSA DE LIXO DE LABORATÓRIO</p> <p>– ÁREA DE ENSAIO DE INFILTRAÇÃO</p> <p>– TRINCHEIRA</p> <p>– INSTALAÇÕES DE LISÍMETROS DE SUÇÃO</p> <p>– CANTEIRO DE DEFLÚVIO SUPERFICIAL</p> <p>– PM01 – POÇO DE MONITORAMENTO</p> <p>– ESTAÇÃO PILOTO</p>

$$\text{ÁREA} = 32.646,00 \text{ m}^2$$

Foto 15: Trincheira T2 – horizonte Ap

Foto 16: Trincheira T3 – perfil do
solo, com detalhe
da ressudação
d'água

5.3. PROPRIEDADES DO SOLO RELACIONADAS À ÁGUA

53.1. Capacidade de Retenção de Água

Resultados referentes a esta propriedade para o solo amostrado na trincheira T1 estão resumidos na Tabela 7 e na Figura 20. Observa-se uma diferença destes dados em relação aos valores obtidos anteriormente para um solo *podzólico vermelho escuro eutrófico* Pee, considerado como típico, de acordo com CARVALHO *et al* (1996). Verifica-se, no entanto, uma semelhança, entre eles, no padrão de variação da umidade de acordo com a pressão aplicada.

No solo amostrado, a retenção de água é relativamente maior no horizonte B2t e menor no horizonte Ap, encontrando-se valores intermediários para o horizonte C.

Este gráfico é usado para cálculos de valores de umidade correspondentes às medidas de potencial mátrico obtidas através dos tensiômetros.

5.3.2. Resultados do Ensaio de Infiltração

As Tabelas 8, 9 e 10 e as Figuras 21 e 22 resumem a evolução da infiltração da água nos diferentes horizontes do solo.

Distingue-se uma primeira etapa do ensaio, referente ao tempo decorrido entre 7:38 h e 8:20 h, quando foi interrompida a operação de manutenção do nível estabelecido da lâmina de água. Foi constatada a existência de sorvedouro junto a dois cantos da área isolada para a inundação, devido à presença de cavidades de raízes mortas entre 20 e 25cm de profundidade, ou seja, pouco abaixo do limite inferior da barragem de madeira utilizada para isolar a área de inundação. O valor de K variou de $6,93 \cdot 10^{-3}$ cm/s a $5,21 \cdot 10^{-3}$ cm/s.

Calculando-se o balanço de água pela diferença do volume de água utilizada e os valores obtidos com referência ao acréscimo de água no solo, verifica-se uma fuga de água de 374,87L, que é a soma de perda através das cavidades e do efeito de bordadura. Dada a magnitude do valor de fuga de água, a parcela correspondente ao efeito de bordadura é muito reduzida. Deduz-se que mais de 300L de água foi desviada pelas cavidades.

Tabela 7 Retenção de água no solo -
Trincheira T1

PRESSÃO	UMIDADE (%)		
(m)	A _P	B2	C
0	41,29	42,66	47,63
1	19,72	26,3	24,94
3	12,77	21,2	16,27
10	13,34	19,07	14,81
50	7,7	18,51	14,65
150	7,71	15,41	11,04

Figura 2C : Curva de retenção de água - trincheira T1

Na retomada do ensaio, a inundação foi mantida das 10:08h até as 14:20h, quando foi encerrado o ensaio, devido ao acontecimento de fuga de água novamente. Um terceiro sorvedouro apareceu, de modo concentrado, em cavidade de raiz morta. Devido a este contratempo, considera-se válida de infiltração até 13:23h, quando foi tomada a penúltima medida de adição de água. O valor de condutividade hidráulica no horizonte superficial variou de $1,12 \cdot 10^{-3}$ a $2,38 \cdot 10^{-4}$. A oscilação de valores verificada nas 2 últimas medidas consideradas válidas revela a influência da atuação do sorvedouro (Figura 21).

Tabela 8: Ensaio de infiltração - estimativa de permeabilidade 1a. etapa

TAMBOR	Σ TEMPO (min)	TEMPO (s)	Σ TEMPO (s)	ΣQ (l)	Q (cm ³)	ΣQ (cm ³)	A (cm ²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0	0	0	39528,76	
1	12	720	720	197,19	197194,31	197194,3	39528,76	6,93E-03
2	27	900	1620	390,82	193630,55	390824,9	39528,76	5,44E-03
3	42	900	2520	576,14	185315,13	576140	39528,76	5,21E-03

Pela análise dos valores de umidade relativos aos vários níveis de medição, distinguem-se 2 zonas, uma delas localizada abaixo da profundidade de 105 cm e outra sobreposta a ela. Na zona superior, houve aumento temporário ou crescente de umidade; na zona inferior, com exceção de um valor relativo à profundidade de 100 cm, alcançada no dia seguinte ao da inundação, não se verifica aumento de umidade. Tendo sido mantida, a todos as profundidades consideradas, uma taxa de umidade maior que a correspondente à capacidade de campo, a condição básica de drenagem persistiu através de todo o perfil analisado. A interpretação dos dados colhidos nos 3 dias de duração do ensaio possibilita a identificação de uma barreira à percolação no horizonte B2 textural.

Tabela 9: Ensaio de infiltração - retomada
estimativa da permeabilidade $K(0)$

HORÁRIO (h)	TEMPO (s)	Q (cm ³)	A (cm ²)	K (cm/s)
9,23		0	39528,76	
9,30	420	18650,89	39528,76	1,12E-03
12,05	9300	167711,30	39528,76	4,56E-04
12,43	2280	20335,46	39528,76	2,26E-04
13,23	2400	22570,43	39528,76	2,38E-04

Figura 21: Ensaio de infiltração - Gráfico infiltração x tempo

Tabela 10: Ensaio de infiltração - cálculo de umidade por massa

AM.	FURO	PROF. (cm)	DIA	HORA (h)	Va (cm ³)	M _{sol} (g)	U	U %	U-CC %
1	1	20-25	1°	13,30	6,96	38,31	0,18	18,17	9,05
2	2	40-45	1°	13,33	12,3	65,97	0,19	18,57	9,05
3	3	60-65	1°	13,38	6,73	42,15	0,16	15,97	
4	4	80-85	1°	13,45	7,83	58,7	0,13	13,34	
5	5	100-105	1°	14,00	8,55	68,24	0,13	12,53	14,96
6	6	150-155	1°	14,20	2,95	29,24	0,10	10,09	
7	7	60-65	1°	14,40	9,33	54,51	0,17	17,12	
8	8	100-105	1°	14,50	8,77	61,96	0,14	14,15	12,93
			1°	7,38					
	1	20-25	2°	10,08		SATURADO			9,05
9	2	40-45	2°	10,08	8,69	41,35	0,21	21,02	9,05
10	3	60-65	2°	10,09	6,24	39,04	0,16	15,98	
11	4	80-85	2°	10,10	6,11	52,14	0,12	11,72	
12	5	100-105	2°	10,12	3,63	37,14	0,10	9,77	14,96
13	6	150-155	2°	10,13	3,71	38,81	0,10	9,56	12,93
	1	20-25	2°	11,35		SATURADO			9,05
14	2	40-45	2°	11,35	16,1	60,37	0,27	26,70	9,05
15	3	60-65	2°	11,37	6,29	38,25	0,16	16,44	
16	4	80-85	2°	11,38	7,48	67,04	0,11	11,16	
17	5	100-105	2°	11,38	7,26	68,25	0,11	10,64	14,96
18	6	150-155	2°	11,40	3,5	34,3	0,10	10,20	12,93
	1	20-25	2°	14,30		SATURADO			9,05
19	2	40-45	2°	14,30	16,34	58,37	0,28	27,99	9,05
20	3	60-65	2°	14,31	14,28	58,17	0,25	24,55	
21	4	80-85	2°	14,32	5,30	25,52	0,21	20,77	
22	5	100-105	2°	14,33	2,77	27,22	0,10	10,18	14,96
23	6	150-155	2°	14,34	1,47	14,82	0,10	9,92	12,93
	1	20-25	2°	16,35		SATURADO			9,05
24	2	40-45	2°	16,35	12,55	48,44	0,26	25,91	
25	3	60-65	2°	16,36	13,3	53,87	0,25	24,67	
26	4	80-85	2°	16,37	16,1	61,98	0,26	26,04	
27	5	100-105	2°	16,38	3,9	38,91	0,10	10,02	14,96
28	6	150-155	2°	16,39	5,54	53,76	0,10	10,31	12,93
29	7	60-65	2°	16,41	3,45	22,68	0,15	15,21	
30	8	100-105	2°	16,42	3,28	28,6	0,11	11,47	14,96
31	1	20-25	3°	8,05	18,1	72,68	0,25	24,96	9,05
32	2	40-45	3°	8,06	4,44	17,85	0,25	24,87	
33	3	60-65	3°	8,07	7,21	29,72	0,24	24,26	
34	4	80-85	3°	8,08	10,8	46,16	0,23	23,40	
35	5	100-105	3°	8,09	1,91	19,53	0,10	9,78	14,96
36	6	150-155	3°	8,10	2,42	21,89	0,11	11,06	12,93
37	7	60-65	3°	8,12	2,39	20,83	0,11	11,47	
38	8	100-105	3°	8,13	4,57	28,2	0,16	16,21	14,96

U= UMIDADE
POR MASSA

U-CC UMIDADE
DA CAPA-
CIDADE
DE CAMPO

FORA
DA ÁREA
DE INUN-
DAÇÃO

UMIDADE
ACIMA DA
UMIDADE DE
CAPACIDADE
DE CAMPO

Tabela 11: Ensaio de infiltração - cálculo de umidade por volume - amostras deformadas

AM.	FURO	PROF. (cm)	DIA	HORA (h)	M _{becker} (g)	Mb+tara (g)	Ms+tara (g)	ρ_{sol} g/cm ³	Va (cm ³)	α	α (%)	M _{sol} (g)	Vb (cm ³)	θ %
1	1	20-25	1°	13,30	54,56	99,83	92,87	2,63	6,96	0,476	47,6	38,31	27,8	25,04
2	2	40-45	1°	13,33	51,12	129,34	117,09	2,62	12,3	0,488	48,8	65,97	49,18	24,91
3	3	60-65	1°	13,38	35,16	84,04	77,31	2,6	6,73	0,453	45,3	42,15	29,64	22,71
4	4	80-85	1°	13,45	56,76	123,29	115,46	2,6	7,83	0,479	47,9	58,7	43,33	18,07
5	5	100-105	1°	14,00	46,02	122,81	114,26	2,6	8,55	0,464	46,4	68,24	48,97	17,46
6	6	150-155	1°	14,20	35,33	67,52	64,57	2,64	2,95	0,541	54,1	29,24	24,13	12,23
7	7	60-65	1°	14,40	53,76	117,6	108,27	2,6	9,33	0,486	48,6	54,51	39,26	23,76
8	8	100-105	1°	14,50	46,69	117,42	108,65	2,64	8,77	0,557	55,7	61,96	52,98	16,55
			1°	7,38	INÍCIO DA INUNDAÇÃO									
			1°	INTERRUPÇÃO DAS	8,25h ÀS 9,23h									
	1	20-25	2°	10,08	SATURADO									47,60
9	2	40-45	2°	10,08	37,3	87,34	78,65	2,62	8,69	0,488	48,8	41,35	30,83	28,19
10	3	60-65	2°	10,09	46,4	91,68	85,44	2,6	6,24	0,453	45,3	39,04	27,45	22,73
11	4	80-85	2°	10,10	44,41	102,66	96,55	2,6	6,11	0,479	47,9	52,14	38,49	15,87
12	5	100-105	2°	10,12	33,46	74,23	70,6	2,6	3,63	0,464	46,4	37,14	26,65	13,62
13	6	150-155	2°	10,13	57,55	100,07	96,36	2,64	3,71	0,541	54,1	38,81	32,03	11,58
	1	20-25	2°	11,35	SATURADO									47,60
14	2	40-45	2°	11,35	52,66	129,15	113,03	2,62	16,1	0,488	48,8	60,37	45	35,82
15	3	60-65	2°	11,37	33,94	78,48	72,19	2,6	6,29	0,453	45,3	38,25	26,89	23,39
16	4	80-85	2°	11,38	56,86	131,38	123,9	2,6	7,48	0,479	47,9	67,04	49,49	15,11
17	5	100-105	2°	11,38	46,69	122,2	114,94	2,6	7,26	0,464	46,4	68,25	48,97	14,82
18	6	150-155	2°	11,40	37,73	75,53	72,03	2,64	3,5	0,541	54,1	34,3	28,31	12,36
			2°	14,20	FIM DA INUNDAÇÃO									
	1	20-25	2°	14,30	SATURADO									47,60
19	2	40-45	2°	14,30	67,38	142,09	125,75	2,62	16,34	0,49	48,80	58,37	43,51	37,55
20	3	60-65	2°	14,31	44,73	117,18	102,90	2,60	14,28	0,45	45,30	58,17	40,90	34,91
21	4	80-85	2°	14,32	34,87	65,69	60,39	2,60	5,30	0,48	47,90	25,52	18,84	28,13
22	5	100-105	2°	14,33	52,22	82,21	79,44	2,60	2,77	0,46	46,40	27,22	19,53	14,18
23	6	150-155	2°	14,34	49,54	65,83	64,36	2,64	1,47	0,54	54,10	14,82	12,23	12,02
	1	20-25	2°	16,35	SATURADO									47,60
24	2	40-45	2°	16,35	29,79	90,78	78,23	2,62	12,55	0,49	48,80	48,44	36,11	34,75
25	3	60-65	2°	16,36	48,43	115,59	102,3	2,6	13,3	0,453	45,3	53,87	37,88	35,09
26	4	80-85	2°	16,37	57,49	135,61	119,47	2,6	16,1	0,479	47,9	61,98	45,76	35,27
27	5	100-105	2°	16,38	36,49	79,3	75,4	2,6	3,9	0,464	46,4	38,91	27,92	13,97
28	6	150-155	2°	16,39	50,78	110,08	104,54	2,64	5,54	0,541	54,1	53,76	44,37	12,49
29	7	60-65	2°	16,41	50	76,13	72,66	2,6	3,45	0,486	48,6	22,68	18,34	21,12
30	8	100-105	2°	16,42	37,79	69,67	66,39	2,64	3,28	0,557	55,7	28,6	24,45	13,41
31	1	20-25	3°	8,05	48,3	139,12	120,98	2,63	18,1	0,476	47,6	72,68	52,74	34,40
32	2	40-45	3°	8,06	59,46	81,75	77,31	2,62	4,44	0,488	48,8	17,85	13,31	33,37
33	3	60-65	3°	8,07	63,7	100,63	93,42	2,6	7,21	0,453	45,3	29,72	20,9	34,50
34	4	80-85	3°	8,08	52,88	109,84	99,04	2,6	10,8	0,479	47,9	46,16	34,08	31,69
35	5	100-105	3°	8,09	55,99	77,43	75,52	2,6	1,91	0,464	46,4	19,53	14,01	13,63
36	6	150-155	3°	8,10	45,92	70,23	67,81	2,64	2,42	0,541	54,1	21,89	18,06	13,40
37	7	60-65	3°	8,12	53,76	76,98	74,59	2,6	2,39	0,486	48,6	20,83	15	16,93
38	8	100-105	3°	8,13	46,69	79,48	74,89	2,64	4,57	0,557	55,7	28,2	24,11	18,95

Tabela 12: Ensaio de infiltração - cálculo de umidade - amostras indeformadas

Am.	DIA	HORA	TRINCHEIRA	M _{becker}	M _{anel}	V _{anel}	Mb+tara	Ms+tara	ρ_s	mb	ms	Vsol	α	α	θ
		(h)	PROF.(cm)	(g)	(g)	cm ³	(g)	(g)	g/cm ³	(g)	(g)	cm ³		%	%
39	3°	9,1	I:20	68,44	27,6	52,05	156,25	140,13	2,63	87,81	71,69	27,259	0,48	47,63	30,97
40	3°	9,13	I:40	64,06	27,6	52,05	150,43	133,89	2,62	86,37	69,83	26,653	0,49	48,79	31,78
41	3°	9,2	I: 60	65,07	29,06	52,05	155,04	139,06	2,6	89,97	73,99	28,458	0,45	45,33	30,70
42	3°	9,2	I: 80	77,15	29,06	52,05	162,56	147,72	2,6	85,41	70,57	27,142	0,48	47,85	28,51
43	3°	10,35	I: 100	63,72	27,6	52,05	147,39	136,29	2,6	83,67	72,57	27,912	0,46	46,38	21,33
44	3°	11,2	I: 120	66,81	27,6	52,05	144,09	136,57	2,62	77,28	69,76	26,626	0,49	48,85	14,45
45	3°	11,2	I:160	80,87	27,6	52,05	150,22	144	2,64	69,35	63,13	23,913	0,54	54,06	11,95
46	3°	14,15	E: 20	113,12	27,6	52,05	184,65	174	2,63	71,53	60,88	23,148	0,56	55,53	20,46
47	3°	14,2	E: 40	106,95	27,6	52,05	190,99	176,72	2,62	84,04	69,77	26,63	0,49	48,84	27,42
48	3°	14,23	E: 60	68,14	27,6	52,05	152,5	140,43	2,6	84,36	72,29	27,804	0,47	46,58	23,19
49	3°	14,26	E: 80	73,95	27,6	52,05	145,86	138,4	2,6	71,91	64,45	24,788	0,52	52,38	14,33
50	3°	14,31	E: 100	93,83	27,6	52,05	161,33	155,38	2,6	67,5	61,55	23,673	0,55	54,52	11,43
51	3°	14,34	E: 120	54,51	27,6	52,05	128,31	119,68	2,62	73,8	65,17	24,874	0,52	52,21	16,58
52	3°	14,4	E: 160	52,05	27,6	52,05	119,09	112,87	2,64	67,04	60,82	23,038	0,56	55,74	11,95
53	3°	14,45	RAIZ-48	66,56	27,6	52,05	149,52	135,23	2,6	82,96	68,67	26,412	0,49	49,26	27,45
54	3°	14,49	RAIZ-48	56,68	27,6	52,05	140,92	124,63	2,3	84,24	67,95	26,135	0,50	49,79	31,30
55	3°	14,52	RAIZ-61,5	66,1	27,6	52,05	140,99	133,6	2,6	74,89	67,5	25,962	0,50	50,12	14,20
56	3°	14,59	RAIZ-70,5		27,6	52,05	118,4	101,59	2,6	90,8	73,99	28,458	0,45	45,33	32,30
57	3°	15,03	RAIZ-61,5	66,1	28,72	51,18	103,61	96,08	2,6	74,89	67,36	25,908	0,49	49,38	14,71
58	3°	15,05	RAIZ-77		28,72	51,18	106,19	99,04	2,6	77,47	70,32	27,046	0,47	47,15	13,97

I=TRINCHEIRA 2 - ÁREA INUNDADA
E= TRINCHEIRA 2 - A JUSANTE DA ÁREA INUNDADA

M_{BECKER}= TARA DO COPO DE BECKER
M_{ANEL}= TARA DO ANEL DE AMOSTRAGEM
V_{ANEL}= VOLUME INTERNO DO ANEL

Mb= MASSA DE SÓLIDOS + MASSA DE ÁGUA CONTIDA
Ms= MASSA DE SOLO SECO
 ρ_s = MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS
 α = POROSIDADE
 θ = UMIDADE EM VOLUME (cm³/cm³)

CONCENTRAÇÃO DE UMIDADE

Figura 22: Gráfico umidade X profundidade em tempos diferentes durante e após a inundação.

Trata-se de uma barreira moderadora da percolação. O fluxo é retardado, mas não impedido de todo. Em período de 5 dias em solo arenoso e de 1 semana em solo argiloso, conforme o grau de umidade do solo, a drenagem devida a um evento de precipitação ultrapassa esta barreira e atinge o limite inferior do perfil, que em geral é considerado até 2 m de profundidade (REICHARDT, 1988).

Para se constatar a existência de escoamento subsuperficial, foi analisada a evolução dos valores de umidade relativos ao setor da trincheira localizado a jusante da área inundada, referidos na Tabela 12 pela letra "E". Não se distingue, em análise de correlação de diferentes profundidades, um contraste entre a umidade medida anteriormente à introdução da água para o ensaio e a umidade medida posteriormente ao ensaio. Deduz-se que não houve condição de quantidade suficiente de água introduzida no solo, de declive do limite entre horizontes e de tempo de redistribuição de água, para se verificar a ocorrência deste fenômeno.

5.3.3. Determinação da Condutividade Hidráulica

A dificuldade de saturar o solo por todo o perfil, devido à perda de água por cavidades de raízes, foi um obstáculo decisivo à execução de ensaios para determinação da condutividade hidráulica. No ensaio de infiltração, obteve-se um resultado que pode ser representativo, com restrições, da condutividade hidráulica do horizonte superficial.

Para uma interpretação comparativa, foi adotada a classificação proposta por WISCHMEIER *et al* (1971), sendo então diferenciados os horizontes do solo podzólico identificado nas trincheiras 1 e 2, em ordem decrescente de condutividade, conforme é abaixo apresentado :

- 1°.) horizonte Ap
- 2°.) horizonte AB
- 3°.) horizonte C
- 4°.) horizonte BC
- 5°.) horizonte B1t
- 6°.) horizonte B2t

5.4. RESULTADOS REFERENTES A DADOS DE MONITORAMENTO

5.4.1. Resultados Referentes à Variação do Potencial de Água no Solo

Nas tabelas referentes a dados obtidos através dos tensiômetros e dos blocos de gesso, a notação adotada para valores de potencial mátrico é a do Sistema Internacional de Unidades, onde se recomenda a apresentação de medida em *Pascal* (Pa) e derivados. No caso presente, opta-se pela unidade de *Hectopascal* (Hpa), por possibilitar que sejam compatibilizadas, em gráficos, as escalas das variáveis referentes ao potencial do solo e à precipitação total por semana.

A - Resultados dos tensiômetros

A análise dos resultados (Tabelas 13, 14 e 15 e dos gráficos correspondentes (Figuras 23, 24 e 25), onde estão combinados valores obtidos COM os tensiômetros a diferentes profundidades do solo e os registros de precipitação, aponta um comportamento irregular do potencial mátrico no período de monitoramento considerado.

O ano de 1996 apresenta uma variação sazonal que se desvia menos do que é considerado característica desta zona climática, onde o período de agosto a setembro é o de clímax da estiagem, da insolação e da evaporação, tendo sido nesse ano registrado uma antecipação para junho do período de estiagem acentuada. Para o mesmo ano de 1996, no entanto, foi sendo constatado nos valores potencial mátrico, com indicação da correspondente variação de umidade, um comportamento de resposta rápida à profundidade de 0,20m, a eventos de precipitação de duração de alguns dias e um comportamento de relativa estabilização do potencial mátrico e da umidade a mais de 1 m de profundidade nas mesmas ocasiões desses eventos.

No ano de 1997, de 22 de maio a 29 de junho, a pluviosidade foi excepcional, como se confere em tabela do Anexo 2, registrando-se a precipitação de 238,7 mm no mês de junho. As medidas de potencial mátrico indicaram resposta rápida a 0,20 m de profundidade, mas também uma extensão da influência da pluviosidade muito elevada a profundidades superiores a 1 m.

Os resultados de potencial mátrico do solo, obtidos através dos tensiômetros em 1996, 1997 e 1998, são analisados com base no potencial de capacidade de campo, adotando-se o limite de $-1/3$ atm ou -327 HPa, abaixo do qual a drenagem através do perfil é mínima.

De acordo com os dados dos tensiômetros, durante todo o ano de 1996, a 1 m e a 1,5 m de profundidade, o solo apresentou sempre valores de potencial mátrico abaixo da correspondente à capacidade de campo; em 1997, da superfície até 3 m de profundidade, a maioria dos valores esteve acima de $-1/3$ atm, mantendo-se condições mais favoráveis à drenagem regular através do perfil; em 1998, os valores de potencial mátrico estiveram abaixo de $-1/3$ atm em grande parte do primeiro semestre nos níveis de 1 m e 1,5 m e por todo o período de medição desse ano a profundidades inferiores a 2 m.

Tabela 13: Potencial do solo - tensiômetros - ano de 1996

DATA	CHUVA (mm)	TENS.1 (HPa)	TENS.2 (HPa)	TENS.3 (HPa)	TENS.4 (HPa)	TENS.7 (HPa)
03/09/96	21,5	-563,64	-667,47	-656,3	-489,5	-37,08
12/09/96	43,3	-56,859	-174,28	-669,9	-504,3	-35,85
19/09/96	2,9	-93,941	-152,04	-666,2	-514,2	-61,8
26/09/96	18,8	-118,66	-154,51	-676,1	-553,8	-48,21
04/10/96	12	-129,79	-46,97	-665	-558,7	-48,21
15/10/96	36,4	-76,636	-93,941	-673,7	-594,5	-65,51
22/10/96	5	-205,19	-618,03	-667,5	-585,9	-29,67
29/10/96	94,7	-38,318	-556,23	-667,5	-589,6	-27,19
05/11/96	10,7	-70,455	-98,885	-668,7	-592,1	-38,32
18/11/96	145,1	-39,554	-14,833	-669,9	-589,6	-70,46
26/11/96	14,2	-95,177	-39,554	-652,6	-600,7	-25,96
09/12/96	32,6	-75,4	-95,177	-663,8	-609,4	-118,7
17/12/96	94,1	-35,846	-39,554	-681,1	-636,9	-300,4
22/12/96	124,1	-48,206	-43,262	-545,1	-624,2	-291,7

DRENA MUITO POUCO

Figura 23: Potencial do solo - tensiômetros - ano de 1996

Tabela 14: Potencial do solo - tensiômetros - ano de 1997

DATA	CHUVA (mm)	TENS.1 0,20m (HPa)	TENS.2 0,50m (HPa)	TENS.3 1,00m (HPa)	TENS.4 1,50m (HPa)	TENS.5 2,00m (HPa)	TENS.6 2,50m (HPa)	TENS.7 3,00m (HPa)
22/01/97	79,80	-23,50	-3,71	-6,18	-42,03	-184,17	-244,74	-355,99
25/02/97	55,90	-44,50	-13,60	-13,60	-49,44	-101,36	-126,08	-155,74
18/03/97	18,90	-63,00	-55,60	-40,79	-86,52	-90,23	-85,29	-81,58
09/04/97	16,40	-70,50	-50,70	-77,87	-112,48	-148,33	-138,44	-138,44
24/04/97	18,00	-97,20	-66,70	-111,25	-147,09	-177,99	-164,40	-181,70
07/05/97	0,00	-275,60	-120,00	-349,80	-223,73	-190,35	-186,65	-195,30
14/05/97	0,00	-702,10	-274,00	-676,12	-364,64	-197,77	-185,41	-195,30
28/05/97	73,20	-53,20	-126,00	-678,60	-615,56	-238,56	-174,28	-200,24
12/06/97	49,10	-17,30	-9,89	-1,24	-661,29	-253,39	-96,41	-226,20
27/06/97	1,80	-53,20	-22,20	-17,30	-60,57	-291,71	-213,84	-226,20
11/07/97	0,00	-66,70	-66,70	-27,19	-72,93	-89,00	-218,78	-227,44
25/07/97	17,90	-71,70	-71,70	-39,55	-87,76	-207,66	-220,02	-217,55
08/08/97	4,00	-104,00	-66,70	-50,68	-97,65	-210,13	-217,55	-210,13
22/08/97	0,90	-149,60	-91,50	-63,04	-105,07	-213,84	-213,84	-208,89
05/09/97	0,00	-341,20	-172,00	-77,87	-111,25	-201,48	-201,48	-213,84
19/09/97	10,20	-726,80	-634,00	-123,61	-154,51	-199,01	-197,77	-212,60
03/10/97	65,10	-55,60	-649,00	-166,87	-171,81	-197,77	-215,07	-226,20
17/10/97	17,50	-98,90	-371,00	-207,66	-206,42	-250,92	-255,86	-269,46
30/10/97	58,40	-42,00	-132,00	-271,93	-239,79	-241,02	-236,00	-253,00
13/11/97	24,70	-89,00	-177,00	-383,18	-321,37	-309,00	-286,76	-310,24
28/11/97	84,30	-19,78	-7,42	-430,13	-338,68	-302,83	-271,93	-351,04
13/12/97	0,80	-66,70	-37,08	-228,67	-373,29	-346,09	-323,85	-363,38
27/12/97	5,90	-107,54	-79,11	-309,00	-409,11	-337,44	-325,08	-368,35

349,60 DRENA MUITO POUCO

Figura 24: Potencial do solo - tensiômetros - ano de 1997

Tabela 15: Potencial do solo - Tensiômetros - ano de 1998

DATA	CHUVA NA SEMANA (mm)	TENS.1 0,20m (HPa)	TENS.2 0,50m (HPa)	TENS.3 1,00m (HPa)	TENS.4 1,50m (HPa)	TENS.5 2,00m (HPa)	TENS.6 2,50m (HPa)	TENS.7 3,00m (HPa)
03/01/98	3,80	-180,46	-119,90	-451,16	-447,45	-359,69	-339,92	-385,65
10/01/98	95,20	-54,39	-103,83	-546,34	-489,48	-441,27	-354,75	-402,96
17/01/98	53,60	-39,55	-101,36	-588,36	-556,23	-375,76	-344,86	-388,12
24/01/98	1,20	-86,52	-122,37	-610,61	-521,62	-380,71	-347,33	-390,59
31/01/98	6,80	-145,86	-179,23	-681,07	-552,52	-399,25	-362,17	-401,72
07/02/98	15,00	-401,72	-306,54	-625,45	-563,64	-401,72	-358,46	-399,25
14/02/98	5,00	-697,14	-626,68	-653,88	-601,96	-441,27	-393,07	-426,44
21/02/98	9,90	-734,22	-684,78	-661,29	-593,31	-433,86	-384,41	-414,08
28/02/98	47,00	-428,91	-698,37	-661,29	-595,78	-448,69	-393,07	-417,79
07/03/98	89,60	-32,14	-67,98	-640,28	-604,43	-463,52	-368,35	-446,22
14/03/98	38,00	-37,08	-50,68	-395,54	-608,14	-500,60	-417,79	-467,23
21/03/98	54,80	-27,19	-33,37	-545,10	-625,45	-510,49	-435,09	-464,76
28/03/98	57,00	-32,14	-21,01	-634,10	-624,21	-520,38	-443,75	-465,99
04/04/98	145,40	-39,55	-16,07	-23,49	-626,68	-535,21	-462,29	-470,94
11/04/98	27,30	-43,26	-17,30	-14,83	-626,68	-541,39	-266,99	-435,09
18/04/98	39,20	-28,43	-11,12	-25,96	-593,31	-542,63	-389,36	-470,94
25/04/98	16,10	-50,68	-24,72	-28,43	-349,80	-529,03	-419,02	-459,81
02/05/98	28,20	-40,79	-21,01	-33,37	-260,81	-548,81	-438,80	-474,65
08/05/98	40,50	-40,79	-14,83	-12,36	-180,46	-557,46	-449,93	-482,06
14/05/98	10,40	-58,09	-24,72	-18,54	-129,79	-548,81	-441,27	-469,70
21/05/98	9,10	-56,86	-28,43	-27,19	-112,48	-559,94	-454,87	-477,12
28/05/98	3,60	-71,69	-40,79	-34,61	-110,01	-558,70	-461,05	-474,65
04/06/98	22,80	-64,28	-43,26	-39,55	-111,25	-562,41	-462,29	-487,01
11/06/98	0,00	-85,29	-54,39	-50,68	-121,13	-554,99	-454,87	-467,23
17/06/98	0,00	-97,65	-60,57	-55,62	-127,31	-574,77	-399,25	-470,94

-350,00

DRENA MUITO POUCO

Deduz-se que, apesar da pluviosidade alta, a taxa de drenagem abaixo de 1,00m foi reduzida na maior parte do período considerado nos 3 anos. Esta profundidade corresponde à localização do horizonte *B textural*, considerado como o de menor condutividade hidráulica de todos aqueles identificados no perfil.

A análise do comportamento da potencial mátrico contribui para o entendimento dos mecanismos de distribuição de água no solo. Para uma análise da variação diária do potencial mátrico e do armazenamento de água a diferentes profundidades, foram selecionados os resultados obtidos com o tensiômetros nos meses de junho e de outubro de 1997. Valores de umidade, estimados a partir da curva de retenção de água no solo, foram relacionados aos registros de precipitação diária (Tabelas 16 e 17).

O mês de junho de 1997, pelos cálculos de balanço hídrico climatológico, é considerado como de deficiência hídrica. O solo, no entanto, apresenta umidade relativamente elevada, principalmente na zona compreendida entre a superfície e a profundidade de 0,5 m. A cada evento de precipitação prolongada por mais de um dia, é observado um aumento progressivo de umidade, que pode indicar avanço da frente de molhamento,. Este aumento é menos pronunciado à profundidade de 1,50 e pouco presente à profundidade de 2 m.

O mês de outubro, conforme os cálculos de balanço hídrico climatológico, é considerado como de reposição de água no solo. No entanto, pelos valores estimados de umidade, em comparação com eventos de precipitação nesse mês, não é reconhecido nenhum padrão de redistribuição da água no solo.

Tabela 16 : Variação da umidade do solo na estação piloto – junho de 1997

DATA	CHUVA DIÁRIA (mm)	UMIDADE θ (%) 0,20 m	UMIDADE θ (%) 0,50 m	UMIDADE θ (%) 1,00 m	UMIDADE θ (%) 1,50 m	UMIDADE θ (%) 2,00 m
02/06/97	-	27,5	26,0	20,4	20,7	20,5
03/06/97	15,8	28,9	22,0	20,7	20,7	20,7
04/06/97	47,8	38,5	26,1	20,6	20,7	20,6
05/06/97	58,2	39,0	36,1	20,5	20,7	20,5
06/06/97	0,5	32,0	39,5	21,5	20,7	20,4
07/06/97	-	31,5	39,5	28,5	20,7	20,0
08/06/97	-	30,5	36,0	31,0	20,7	21,9
09/06/97	-	30,0	36,1	32,4	20,6	28,5
10/06/97	-	30,0	36,1	32,7	20,6	33,0
11/06/97	14,1	29,5	36,0	38,8	20,7	29,0
12/06/97	35,0	37,0	39,7	42,5	20,6	22,3
13/06/97	-	38,5	40,7	42,5	20,7	22,0
14/06/97	45,1	31,7	40,7	42,5	20,9	20,6
15/06/97	2,4	30,2	39,7	41,0	24,0	20,5
16/06/97	-	31,7	39,6	40,8	28,0	20,7
17/06/97	5,9	31,0	39,6	40,8	28,3	21,9
18/06/97	1,1	30,2	39,7	40,0	28,3	21,4
19/06/97	-	29,3	40,7	40,8	28,5	24,0
20/06/97	1,8	29,5	39,4	40,0	30,0	20,4
21/06/97	-	29,0	36,2	38,7	30,0	20,0
22/06/97	-	28,8	36,0	38,6	30,0	29,5
23/06/97	-	28,8	36,0	38,6	31,0	19,7
24/06/97	-	28,5	36,1	37,6	31,0	20,3
25/06/97	-	28,0	36,1	37,0	33,0	20,4

AUMENTO DE UMIDADE

Tabela 17 : Variação da umidade no solo da estação piloto – outubro de 1997

DATA	CHUVA DIÁRIA (mm)	UMIDADE θ (%) 0,20 m	UMIDADE θ (%) 0,50 m	UMIDADE θ (%) 1,00 m	UMIDADE θ (%) 1,50 m	UMIDADE θ (%) 2,00 m
01/10/97	53,7	25,0	16,0	23,5	23,1	18,5
02/10/97	-	23,0	17,5	23,4	23,2	18,7
03/10/97	-	22,5	17,0	23,3	23,3	19,5
04/10/97	-	22,0	17,3	23,4	23,3	18,0
05/10/97	-	20,0	17,5	23,3	23,0	18,4
06/10/97	-	19,0	17,5	23,3	22,9	17,9
07/10/97	-	19,0	18,0	23,2	22,3	18,6
08/10/97	-	20,5	18,5	23,1	23,4	19,3
09/10/97	-	20,5	18,7	23,3	23,0	19,5
10/10/97	-	19,6	18,6	23,1	22,8	19,3
11/10/97	0,4	19,5	17,5	23,1	23,0	18,6
12/10/97	-	19,3	17,6	23,0	22,7	18,5
13/10/97	-	19,2	17,5	22,5	22,7	18,4
14/10/97	-	17,5	17,1	22,4	22,7	18,6
15/10/97	-	16,2	17,0	22,0	22,7	18,8
16/10/97	17,1	16,7	17,6	22,0	21,8	17,5
17/10/97	-	19,5	17,6	23,0	21,9	18,6
18/10/97	-	19,5	17,5	21,9	21,7	18,3
19/10/97	0,1	19,0	17,4	21,8	21,7	17,9
20/10/97	20,6	17,5	17,4	21,8	21,8	17,5
21/10/97	-	24,6	17,4	21,7	21,8	18,3
22/10/97	-	21,2	17,4	21,7	21,8	17,6
23/10/97	-	21,2	17,5	21,6	21,7	18,7
24/10/97	-	21,0	17,4	21,6	21,7	18,5
25/10/97	6,5	21,0	17,4	21,6	21,6	17,6
26/10/97	38,7	29,8	17,6	21,5	21,6	17,9
27/10/97	-	28,0	18,6	21,5	21,5	17,3
28/10/97	-	25,5	18,7	21,5	21,6	18,5
29/10/97	-	24,0	18,8	21,4	21,7	18,7
30/10/97	13,2	27,5	18,9	21,3	21,6	18,7

AUMENTO DE UMIDADE

B - Resultados dos blocos de gesso

Os resultados apresentados na Tabela 18 discordam muito das padrões de valores esperados para as variações climáticas observadas, assim como para esta classe de um solo, podzólico vermelho-amarelo, identificado na área em estudo, com respeito ao comportamento do potencial mátrico, o qual reflete o desenvolvimento dos processos de infiltração e de redistribuição. Por cautela, estes resultados não devem ser considerados.

Tabela 18: Potencial do solo - blocos de gesso

DATA	CHUVA (mm)	PROFUNDIDADE DE INSTALAÇÃO					
		0,20m (HPa)	0,50m (HPa)	1,00m (HPa)	1,50m (HPa)	3,00m (HPa)	4,70m (HPa)
27/05/97	73,20	-200	-1550	-320	-1010	-300	-600
06/06/97	122,30	-230	-1700	-330	-1270	-320	-630
11/06/97	35,00	-200	-250	-250	-1750	-350	-700
20/06/97	91,30	-200	-230	-250	-2000	-350	-715
04/07/97	11,00	-200	-200	-230	-440	-380	-740
22/07/97	17,90	-200	-200	-230	-400	-380	-800
15/08/97	4,00	-200	-200	-230	-420	-380	-800
29/08/97	13,10	-200	-200	-250	-420	-380	-800
12/09/97	0,00	-750	-200	-250	-420	-400	-840
25/09/97	34,70	-800	-230	-230	-440	-420	-880
03/10/97	73,20	-530	-230	-250	-460	-420	-900
17/10/97	17,50	-300	-350	-250	-450	-510	-1020
30/10/97	79,10	-230	-900	-300	-510	-680	-1080
14/11/97	49,70	-230	-2200	-400	-600	-1050	-1500
21/11/97	85,90	-200	-1700	-480	-650	-1100	-1550
05/12/97	100,30	-200	-230	-520	-700	-1400	-1900
18/12/97	25,60	-200	-200	-480	-720	-1600	-2600
06/01/98	83,6	-200	-250	-590	-950	-3500	-7000
13/01/98	17,8	-200	-250	-570	-1000	-4000	-9000
23/01/98	48,6	-200	-350	-690	-1180	-5500	-12000

ABAIXO DA CAPACIDADE DE CAMPO

O emprego destes blocos na pesquisa revelou algumas de suas limitações como recurso de medida do potencial mátrico, tais como: a restrição no intervalo de valores do ábaco com referência às sucções de menor intensidade, começando em -0,1 Bar ou -100 HPa na escala de potencial mátrico; graduação pouco precisa desta mesma escala, dificultando a detecção de variações iguais ou menores que 20 HPa; raio de medição muito limitado no solo, sujeitando a medida à influência de biocavidades ou de concentração de umidade em torno de raízes fasciculadas; sensibilidade à influência da presença de sais dissolvidos na água.

5.4.2. Comportamento do Nível Freático

Na Tabela 19 estão representadas as variações de nível freático, expressas em valores de profundidade e de cotas e referentes aos poços de monitoramento e a 2 cacimbas. Com base no valor médio das medidas assim obtidas e em dados previamente existentes e relativos a cacimbas e escavações de fundações de edificações nas redondezas do Campus da UNESP (GODOY, 1997), construiu-se um mapa potenciométrico, (Figura 30). A combinação destes dados revela as seguintes particularidades do topo da zona saturada:

- a orientação das linhas equipotenciais reforça a concepção anterior sobre as orientações de fluxo de acordo com a orientação do declive da encosta;
- a curva de 426 m apresenta uma variação brusca, devida a uma discrepância entre valores de medidas referentes aos poços PM03 e PM04, localizados no mesmo setor da encosta, indicando a influência de estrato compacto de lamito;
- não foi possível traçar curvas com referência à área de altitude inferior a 420 m, onde estão localizados os poços PM06 e PM07 e 2 cacimbas, por impossibilidade de interpolação dos valores de nível determinados para estes locais com os valores referentes aos poços instalados a montante, deste modo sendo caracterizada uma separação de aquíferos.

Tabela 19: Variação do nível do aquífero livre

LOCAL		PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	C1	C2	PM06	PM07
COTA (m) DE BOCA		439,27	438,62	436,58	435,8	428,4	434,4	436,5	418,24	412,21
DATA	CHUVA (mm)	NÍVEL (m)	NÍVEL (m)	NÍVEL (m)	NÍVEL (m)	NÍVEL (m)	NÍVEL (m)	NÍVEL (m)	NÍVEL (m)	NÍVEL (m)
11/05/96	97,2	426,07	425,74				424,3	424,55		
04/06/96	58,2	426,19	426				424,3	424,55		
13/08/96	24,5	426,63	426,03	425,16	425,79	424,04	424,26	424,67		
23/08/96	1,2	426,59	425,99	425,12	425,76	423,99	424,22	424,64		
12/09/96	67,3	426,67	426	425,08	425,73	423,94	424,19	424,6		
18/09/96	2,9	426,18	425,98	425,03	425,68	423,92	424,21	424,55		
22/10/96	72,2	426,11	425,93	424,98	425,64	423,89	424,24	424,64		
15/12/96	368,9	426,15	425,95	425,06	425,71	423,92	424,42	424,07		
26/02/97	673	426,31	426,12	425,34	426	425,05	424,55	424,8		
30/03/97	41,1	426,52	426,26	425,65	426,28	424,71	424,92	424,99		
05/05/97	92	426,71	426,48	425,73	426,32	424,53	424,94	424,97		
27/05/97	78,6	426,7	426,55	425,74	426,29	424,46	424,74	424,98		
11/06/97	124,2	426,71	426,56	425,71	426,31	424,9	425,14	424,98		
02/07/97	116,4	426,76	426,94	425,79	426,39	424,92	425,26	425		
23/07/97	17,9	426,82	426,67	425,86	426,46	424,72	425,29	425,03		
27/08/97	16,2	426,86	426,69	425,86	426,44	424,46	425,32	425,08		
17/09/97	10,2	426,86	426,66	425,77	426,35	424,34	425,15	425,1		
10/10/97	107,9	426,82	426,63	425,71	426,27	424,27	424,96	425,07		
30/10/97	83,4	426,78	426,56	425,65	426,19	424,28	424,77	425,02		
26/11/97	204,6	427,04	426,5	425,58	426,16	424,46	424,75	425,01		
19/12/97	70,1	426,68	426,48	425,58	426,16	424,47	424,73	425		
18/01/98	158,5	426,67	426,47	425,52	426,16	424,31	424,59	424,93	412,66	405,83
08/02/98	25	426,6	426,4	425,46	426,06	424,2	424,46	424,9	412,15	405,52
02/03/98	142,6	426,54	426,36	425,41	426,05	424,23	424,37	424,86	412,27	405,32
25/03/98	127,4	426,51	426,33	425,39	426,02	424,31	424,33	424,8	412,72	405,61
22/04/98	255	426,76	426,54	425,5	426,09	424,69	424,6	424,81	413,02	407,1
27/05/98	107,9	426,66	426,51	425,67	426,24	424,6	424,71	424,88	412,43	406,35
24/06/98	28	426,72	426,55	425,7	426,28	424,43	424,6	424,87	412,17	405,77
27/07/98	7,2	426,7	426,52	425,62	426,21	424,28	424,45	424,86	411,86	405,34
17/08/98	128,1	426,7	426,49	425,59	426,17	424,38	424,37	424,87	412,3	405,44

Tabela 20: Variação da profundidade do topo do aquífero livre

DATA	CHUVA (mm)	PM01 (cm)	PM02 (cm)	PM03 (cm)	PM04 (cm)	PM05 (cm)	C1 (cm)	C2 (cm)
11/05/96	97,2	-1320	-1288				-1010	-1195
04/06/96	58,2	-1308	-1262				-1010	-1195
13/08/96	24,5	-1264	-1259	-1142	-1001	-436	-1014	-1183
23/08/96	1,2	-1268	-1263	-1146	-1004	-441	-1018	-1186
12/09/96	67,3	-1260	-1262	-1150	-1007	-446	-1021	-1190
18/09/96	2,9	-1309	-1264	-1155	-1012	-448	-1019	-1195
22/10/96	72,2	-1316	-1269	-1160	-1016	-451	-1016	-1186
15/12/96	368,9	-1312	-1267	-1152	-1009	-448	-998	-1243

Figura 26: Variação da profundidade do topo do aquífero livre

Tabela 21: Variação da profundidade do topo do aquífero livre - ano de 1997

DATA	CHUVA (mm)	PROFUNDIDADE (cm)						
		PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	C1	C2
26/02/97	673	-1296	-1250	-1124	-980	-335	-985	-1170
30/03/97	41,1	-1275	-1236	-1093	-952	-369	-948	-1151
05/05/97	92	-1256	-1214	-1085	-948	-387	-946	-1153
27/05/97	78,6	-1257	-1207	-1084	-951	-394	-966	-1152
11/06/97	124,2	-1256	-1206	-1087	-949	-350	-926	-1152
02/07/97	116,4	-1251	-1168	-1079	-941	-348	-914	-1150
23/07/97	17,9	-1245	-1195	-1072	-934	-368	-911	-1147
27/08/97	16,2	-1241	-1193	-1072	-936	-394	-908	-1142
17/09/97	10,2	-1241	-1196	-1081	-945	-406	-925	-1140
10/10/97	107,9	-1245	-1199	-1087	-953	-413	-944	-1143
30/10/97	83,4	-1249	-1206	-1093	-961	-412	-963	-1148
26/11/97	204,6	-1223	-1212	-1100	-964	-394	-965	-1149
19/12/97	70,1	-1259	-1214	-1100	-964	-393	-967	-1150

-348 PICO

ELEVAÇÃO

Figura 27: Variação da profundidade do topo do aquífero livre - ano de 1997

Tabela 22: Variação da profundidade do topo do aquífero livre - ano de 1998

DATA	CHUVA NO PERÍODO (mm)	PM01 PROF. (cm)	PM02 PROF. (cm)	PM03 PROF. (cm)	PM04 PROF. (cm)	PM05 PROF. (cm)	PM06 PROF. (cm)	PM07 PROF. (cm)	C1 PROF. (cm)	C2 PROF. (cm)
18/01/98	158,50	-1260	-1215	-1106	-964	-409	-558	-638	-981	-1157
08/02/98	25,00	-1267,5	-1222	-1112	-974	-420	-609	-669	-994	-1160
02/03/98	142,60	-1273	-1226	-1117	-975	-417	-597	-689	-1003	-1164
25/03/98	127,40	-1276	-1229	-1119	-978	-409	-552	-660	-1007	-1170
22/04/98	255,00	-1251	-1208	-1108	-971	-371	-522	-511	-980	-1169
27/05/98	107,90	-1261	-1211	-1091	-956	-380	-581	-586	-969	-1162
24/06/98	28,00	-1255	-1207	-1088	-952	-397	-607	-644	-980	-1163
27/07/98	7,20	-1257	-1210	-1096	-959	-412	-638	-687	-995	-1164
17/08/98	128,10	-1257	-1213	-1099	-963	-402	-594	-677	-1003	-1163

-371

PICO

-380

ELEVACÃO

Figura 28: Variação da profundidade do topo do aquífero livre - ano de 1998

Quanto ao comportamento de nível freático durante o período de monitoramento, (Tabelas 20, 21 e 22), os picos estão assim localizados:

1996 - agosto-setembro (medição desde 11/05/96)

1997 - julho-agosto

1998 - abril e junho (medição até 17/08/98)

Os níveis mais baixos estão localizados em fevereiro e março.

Observa-se discordância deste comportamento com aquele verificado na área e adjacências nos anos de 1994 a 1995 (GODOY, 1997). Por estes dados anteriores, os picos aparecem em maio, com inversão mais acentuada em outubro.

Esta discordância dos últimos 3 anos e indefinição de ciclos deve ser atribuída ao comportamento da pluviosidade, com valores relativamente elevados de total de precipitação, os quais foram:

1996 - 1.522,7mm

1997 - 1.462,0mm

1998 - 1.642,0mm,

Estes valores são bem maiores que o valor médio de 1.312,7 mm entre 1969 e 1995.

A distribuição da pluviosidade também foi discordante do que se observa no geral, com um total de 238,7 mm em junho de 1997 contra um valor total médio de 56,8 mm, verificando-se outra discordância em março-abril de 1998, com um total de 495,4 mm, contra o valor médio de 201 mm.

As maiores variações de nível no aquífero livre, por local de monitoramento, são verificadas nos poços PM06 e PM07, como era previsto pelas suas condições de localização.

Os gráficos de oscilação da profundidade do aquífero (Figuras 26, 27 e 28), apontam a ocorrência de respostas muito rápidas aos eventos de precipitação, o que

indica uma influência em curto intervalo de tempo da pluviosidade e, portanto, uma recarga rápida.

No ano de 1996, este tipo de influência não aparece nitidamente (Figura 26).

Quanto ao ano de 1997, o gráfico mostra a ocorrência de resposta rápida a eventos de precipitação e estiagem, especialmente no tocante ao poço PM05, onde o topo da aquífero é relativamente raso, sendo constatado com nitidez o reflexo da precipitação na recarga (Figura 27).

Quanto ao ano de 1998, o gráfico apresenta, para a maioria dos locais de monitoramento, um traçado paralelo das curvas referentes à variação da pluviosidade e à oscilação do nível freático. Deste modo, é evidenciado um efeito quase imediato de variações na pluviosidade no comportamento do nível freático. É importante observar que nos poços PM06 e PM07, onde aparentemente a superfície de recarga é mais limitada, devido à presença da barreira mais espessa de estratos compactos, a resposta ocorre também em intervalo de tempo muito curto.

Foi analisada estatisticamente a correlação entre a pluviosidade e a posição do topo da zona saturada referentes aos locais de medição C1, C2, PM01, PM02, PM03, PM04 e PM05, expressa tanto em valores de profundidade como de cota. Foi aplicada a análise de regressão linear de determinação do coeficiente de Pearson, conforme é explicado por LANDIM (1998), com o tratamento de dados pelo programa *Minitab versão 10.1*. Nessa análise, a precipitação acumulada no período entre as medições foi considerada como variável independente. Infelizmente não foi possível, através deste recurso estatístico, definir uma correlação válida. Um dos motivos desta impossibilidade foi a necessidade de considerar um terceiro tipo de variável, que é a propagação do efeito das variações de pluviosidade através do fluxo da água na própria zona saturada. A contribuição dos aumentos de volume de água a montante do ponto de medição para as alterações de nível neste mesmo ponto é um fator difícil de ser ponderado. No entanto, os gráficos apontam uma concordância nítida do comportamento das variações de pluviosidade com a oscilação do nível freático.

No tocante à velocidade de infiltração da água na zona não saturada, os intervalos de valores apresentados por diferentes autores varia amplamente (CUSTODIO & LLAMAS, 1990). Trata-se de uma questão complexa, porque deve ser considerada a influência de descontinuidades no fluxo da água subterrânea. Dentre estas descontinuidades, são incluídas as zonas de fraturamento e as cavidades de raízes mortas.

ESCALA 1:2.500

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:2.500

20 0 20 40 60 80 100 m

Datum horizontal - SAD 69
Datum vertical - Marégrafo de Imbituba, SC
Carta do DAE - 1:2000 - TerraFoto (1977)
Atualização por Topografia Convencional - 1995
Carta Compilada em julho de 1995.
Declinação magnética e convergência meridiana para o centro da folha

NM NG NQ
19°27'31,13" 0°09'13,94"

Varição Anual da declinação - 9' W
Meridiano central do fuso - 51° W
Coeficiente de deformação linear K = 0.9996219

LEGENDA

LINHA EQUIPOTENCIAL

CACIMBA E NÍVEL FREÁTICO MÉDIO (m)

POÇO DE MONITORAMENTO E NÍVEL FREÁTICO MÉDIO (m)

ESTRATOS MAIS COMPACTOS DE ARENITO OU LAMITO

FIGURA 29
ESBOÇO DE MAPA POTENCIOMÉTRICO

Experimentos de determinações de velocidade de infiltração de água no terreno sob condições de clima subtropical úmido são relatados por POLI (1989). Os dados referem-se à área da Estação Experimental da USP e a uma área localizada no Município de Cajati – SP, tendo sido usado o trítio como traçador. No primeiro caso, é verificada a infiltração até 2,56 m de profundidade em 5 meses e no segundo, de 1,90 m em 11 meses.

Tomando-se como referência valores de velocidade de infiltração comparáveis a estes acima referidos, não é encontrada uma explicação para o fenômeno de recarga tão rápida como a observada na área em estudo.

Quanto às condições de drenagem no perfil do solo, de acordo com a variação do potencial mátrico (vide Tabelas 14, 15 e 16), raramente, na maior parte do período de monitoramento, a condição de capacidade de campo se estendeu a todo o conjunto de horizontes.

Quanto ao componente da zona não saturada correspondente ao substrato rochoso, deve ser considerada a influência do fraturamento aí existente. O material rochoso, quanto às suas propriedades relacionadas à água subterrânea, é comumente classificado como "meio poroso" ou "meio fraturado". Trata-se, no entanto, de uma simplificação, restrita aos dois extremos de uma ampla variedade de meios porosos/fraturados (CHERRY, 1984). Pelas informações resumidas no perfil litológico do poço tubular instalado a menos de 50 m de distância da EP, considera-se que, na área da pesquisa, na zona de substrato rochoso incluída na zona não saturada, é identificado um meio poroso/fraturado. Na região de Presidente Prudente, são observados casos em que a estabilidade de pequenas obras hidráulicas, como represas de pequeno porte, é comprometida pela ocorrência de consideráveis fugas e perdas de água, devido ao fraturamento do arenito, sempre considerado como poroso. Esta omissão de fundamentação do projeto pode acarretar perda econômica muito grande em comparação com o orçamento da obra. Trata-se, portanto, de um fator de hidrodinâmica que deve ser investigado com atenção.

5.4.3. Resultados Referentes ao Escoamento Superficial

A análise conjunta das Tabelas 23 e 24 e das Figuras 30 e 31, dos registros dos pluviógrafos e dos dados de potencial mátrico aponta a influência da duração da chuva e do estado do solo no momento em que ela ocorre. A ocorrência de chuva torrencial, volumosa e concentrada em poucas horas, sobre solo onde o horizonte superior está todo saturado, favorece o escoamento superficial da água. Devido a este fator de aumento episódico, é complexa a determinação da parcela da precipitação convertida em escoamento superficial.

Tabela 23: Medidas do escoamento superficial - 1997

DATA	DIAS DE CHUVA	TOTAL DE CHUVA NO CANTEIRO(L)	DEFLÚVIO MEDIDO (L)	ESTADO DO SOLO	RELAÇÃO DEFLÚVIO/ CHUVA (%)
12/06/97	11e12/06/97	2455	369,31	muito úmido	15,04
15/06/97	14e15/6/97	2375	317,52	muito úmido	13,37
29/06/97	29/06/97	460	12,87	muito úmido	2,80
21/07/97	21/07/97	895	0	muito úmido	0,00
20/09/97	20/09/97	660	0	seco	0,00
26/09/97	24a26/9/97	1470	38,6	seco	2,63
01/10/97	29/9a1/10/97	2685	812,94	seco->úmido	30,28
17/10/97	16e17/10/97	855	0	úmido->seco	0,00
30/10/97	30/10/97	570	67,56	muito úmido	11,85
14/11/97	13e14/11/97	1335	20,26	muito úmido	1,52
26/11/97	26/11/97	885	12,87	muito úmido	1,45

ESTADO
DO SOLO

de acordo com medidas dos
tensiômetros

A determinação da parcela de água que escoar deste modo é útil em experimentos onde a determinação do balanço hídrico real entra como um componente importante. Para a finalidade de avaliação de recarga de um aquífero, os resultados obtidos através de um canteiro de deflúvio estão sujeitas a ressalvas, uma vez que as particularidades de relevo e de ocupação do terreno interferem no desenvolvimento da

drenagem superficial. Numa área que tem características semelhantes às do *Campus* da UNESP em Presidente Prudente, o comportamento da água que escoar por sobre o terreno é influenciado por fatores do meio ambiente, de diferentes naturezas, tais como a presença de raízes de árvores expostas, regos de drenagem superficial, embaciamentos do terreno, sulcos de terraceamento e a cobertura vegetal rasteira.

Tabela 24: Escoamento superficial - 1998

DATA	DIAS DE CHUVA	CHUVA MÉDIA (mm)	CHUVA NO CANTEIRO (L)	DEFLÚVIO (L)	ESTADO DO SOLO	RELAÇÃO DEFLÚVIO/CHUVA (%)
04/01/98	17/01/98	78,1	3905	760,60	úmido	19,48
13/01/98	13/01/98	6,2	310	64,00	muito úmido	20,65
07/02/98	1-7/2/98	18,4	920	0,00	seco	0,00
26/02/98	21-26/2/98	29	1450	57,91	seco	3,99
02/03/98	1-2/3/98	68,7	3435	218,76	muito úmido	6,37
06/03/98	06/03/98	20,3	1015	88,47	muito úmido	8,72
08/03/98	08/03/98	9,4	470	0,00	muito úmido	0,00
21/03/98	20-21/3/98	29,6	1480	144,77	muito úmido	9,78
22/03/98	22/03/98	9,8	490	143,16	muito úmido	29,22
30/03/98	28-30/3/98	143,9	7195	218,76	muito úmido	3,04
01/04/98	01/04/98	25,1	1255	125,46	muito úmido	10,00
05/04/98	4-5/04/1998	21,9	1095	0,00	muito úmido	0,00
07/04/98	07/04/98	23,1	1155	62,73	muito úmido	5,43
17/04/98	16-17/04/1998	39,2	1960	29,60	muito úmido	1,51
28/04/98	28/04/98	24,6	1230	164,07	muito úmido	13,34
04/05/98	04/05/98	40,5	2025	16,09	muito úmido	0,79
15/05/98	14-15/5/98	19,5	975	31,53	muito úmido	3,23
30/05/98	29-30/5/98	21,6	1080	65,95	muito úmido	6,11
05/08/98	4-5/8/98	15,7	785	86,86	úmido	11,06
10/08/98	8-10/8/98	59,9	2995	41,18	úmido	1,37
14/08/98	14/08/98	41,8	2090	152,81	úmido	7,31
19/08/98	19/08/98	19,4	970	26,38	úmido->seco	2,72

ESTADO DO SOLO

de acordo com os dados dos tensiômetros

Figura 31: Gráfico chuva x escoamento superficial -1998

5.5. ZONEAMENTO REFERENTE À HIDRODINÂMICA

Em função das condições intrínsecas do meio físico e da história de ocupação do terreno, pelo menos 5 zonas já se distinguem na carta em escala 1:1.000 (Figura 19), sendo delimitadas de forma simplificada na Figura 32. São elas:

- 1 - Zona do pomar, ocupada em parte com horticultura; declividade de 3 a 9% da encosta; solo podzólico, de horizontes não muito nitidamente diferenciados; regolito de espessura variável entre 3 m e 5 m; influência característica de cavidades de raízes mortas na hidrodinâmica do solo; topo do aquífero a profundidade variável entre 9 m e 13,5 m.
- 2 - Zona exterior ao pomar, em embaciamento do terreno, onde se localiza o depósito de lixo de laboratório e o poço de monitoramento PM05; declividade de 9 a 17% da encosta; solo podzólico; espessura do regolito entre 0,5 m e 3,5 m; topo da zona saturada a profundidades variáveis entre 3,5 m e 9 m.
- 3 - Zona de início de uma ravina, onde se localiza um açude; declividade de 12 a 45% na encosta; solo podzólico mais raso e com hidromorfismo; espessura do regolito entre 0,5 m e 2 m; topo do aquífero livre a profundidades variáveis entre 0 m e 4,5 m.
- 4 - Zona de declive mais acentuado, onde se encontra o poço de monitoramento PM06; declividade de 11 a 40% na encosta; maior presença de estratos compactos no substrato rochoso; solo litólico; surgências e ressudações de água; topo da zona saturada a profundidade variável entre 5 m e 6 m; interferência antrópica do terraceamento e de repovoamento de vegetação.

- 5 - Zona do terço inferior da encosta, onde se encontra o poço de monitoramento PM07; declividade de 6 a 17% na encosta; solo litólico; interferência antrópica de terraceamento e repovoamento vegetal; topo da zona saturada a profundidade variável entre 5 m e 7 m.

No zoneamento, é verificada a diferenciação de ambientes com base em detalhes de suas características, o que tem importância do ponto de vista do comportamento da água subterrânea. As principais distinções correspondem a variações no declive e na forma da superfície do terreno, nas associações litológicas e pedológicas, na espessura do solo, na profundidade e no comportamento do aquífero, à cobertura vegetal diversificada e à heterogeneidade da interferência antrópica no meio considerado. Devem ser admitidas diferenças de uma zona para outra, no grau de contribuição de diversas variáveis para o comportamento do ambiente tanto por setor de área como em profundidade.

No aspecto da influência da estrutura sedimentar, a representação em perfil orientado na direção $87^{\circ} 43' 56''$ NE-SW, identificada (Figura 33), ressalta a existência de estratos de arenito e lamito compactos. Quanto à atuação destas camadas como barreiras à percolação, distingue-se mais nitidamente uma delas, que aflora no setor onde a declividade atinge seu maior valor (30-45%), que corresponde à zona 4, estando, portanto, localizada entre os poços PM05 e PM06 e entre as cotas 415 e 420 m.

Adotando-se a altitude como referência, é estabelecida uma correlação entre as variações na compacidade, constatadas nos poços de monitoramento e em afloramentos rochosos, com as informações do perfil litológico do poço tubular, que são obtidas de testemunhos de perfuração. De acordo com perfil do poço, no entanto, a característica de cimentação relativamente alta é mantida regularmente, exceto em algumas intercalações pouco representativas de rocha friável, da cota 400 m à cota 420 m, em concordância com os limites verticais da Zona 4.

ESCALA 1:2.500

LEGENDA	
PM06	POÇO DE MONITORAMENTO
E.P.	ESTAÇÃO PILOTO
EST.	ESTUFA
AÇUDE	AÇUDE

Figura 32 : Zoneamento do meio ambiente na área da pesquisa com base em características hidrodinâmicas, hidroquímicas e de interferência antrópica

FIGURA 33

PERFIL DA ENCOSTA OESTE DA ÁREA
PESQUISADA - HIDROGEOLOGIA

DIREÇÃO : $67^{\circ}43'56''$

COMPRIMENTO : 367 m

ESCALA : HORIZ. 1 : 1000

VERT. 1 : 500

A constatação da presença de aquíferos suspensos na área é apoiada na observação de amostras de testemunhos. Os contrastes de textura e grau de cimentação verificados em toda a extensão dos testemunhos correspondem a diferentes zonas de saturação em todo o perfil do poço. Um outro indício destas discontinuidades verticais de aquífero é o fenômeno de “cachoeira”, que ainda ocorre atualmente em um poço desativado e localizado a cerca de 160 m de distância da EP.

Pelo perfil litológico do poço tubular e de afloramentos rochosos, deduz-se que na encosta, onde estão instalados os poços de monitoramento e entre a superfície e a profundidade de 3 m pelo menos, por influência do intemperismo, o grau de compactação dos termos areníticos e lamíticos foi reduzida com a perda de cimento e com o fraturamento.

Um detalhe de ocorrência de camadas de lamito compacto entre as cotas 412 e 420 m, intermediando os poços PM06 e PM07, deve ser considerado também. Conforme se representa no perfil, um estrato atua como controle estrutural da água subterrânea.

5.6. RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS

5.6.1. Apresentação dos Resultados

As tabulação apresentam conjuntamente os dados do que é próprio da etapa relativa ao “background” e os referentes à etapa seguinte, devido a mudanças de desenvolvimento da pesquisa. Na tabulação dos resultados, é realçada a separação entre o que ocorreu antes e dois do vazamento do esgoto sanitário.

As tabulações referem-se a:

- resultados de análises químicas da água - realizadas no laboratório de Hidroquímica do CEPAS/IGUSP e correspondentes a coletas periódicas;
- resultados de análises químicas da água - realizadas em laboratório do *Campus* da UNESP de Presidente Prudente;
- resultados de análises químicas do solo com referência a elementos metálicos retidos;

Outras informações referentes a análise química da água são:

- resultado de análises químicas de água residuária, proveniente do conduto rompido - realizadas em laboratório da SABESP;
- resultado de análises químicas de 2 amostras de água coletada no açude - realizadas em laboratório da CETESB;

5.6.2. Alteração no Projeto de Monitoramento Hidrogeoquímico

Inicialmente, a proposição hidrogeológica foi medir, durante 1 ano hidrológico, o "background" hidrogeoquímico, para depois introduzir uma carga contaminante no sistema hídrico pesquisado e desenvolver uma nova etapa do monitoramento. Para essa etapa experimental, foram escolhidos, como carga contaminante, rejeitos semi-tratados da indústria coureira, provenientes do Curtume São Paulo S. A., em decorrência de uma solicitação deste.

Infelizmente, após 10 meses e 2 semanas de monitoramento, aconteceu um acidente ambiental, através do rompimento de um coletor de água residuária nas pro

ximidades da EP . Esses rejeitos do sistema de esgoto foram lançados diretamente no solo, com infiltração imediata, durante 26 dias.

A respeito da presença deste conduto enterrado, deve ser reconhecido que se trata de um sistema de esgoto semi-clandestino, uma vez que o projeto da sua instalação não foi localizado em nenhum documento oficial da Prefeitura Municipal de Presidente Prudente.

Como a presença deste tipo de coletor clandestino é mais freqüente do que se presume, foi proposto para a entidade financiadora do projeto uma campanha de varredura com o *Ground Penetrating Radar* – GPR, método geofísico apropriado e com recursos especialmente capazes de tanto, para detectar tubulações subterrâneas a distância relativamente pequena da superfície. Infelizmente, como se trata de um método ainda custoso, a sua execução não foi aprovada. Assim sendo, é válido entender que qualquer avaliação ambiental ou “auditoria ambiental” com o emprego deste método deveria ocorrer, tanto na área de pesquisa como em outro projeto similar.

5.6.3. Interpretação dos Resultados

5.6.3.1. Resultados de análise estatística

As análises comparativas de teores foram aplicadas a alguns íons, conforme se resume no Quadro 10 .

Quadro 10 : Identificação dos resultados de análise química selecionados para a aplicação de testes estatísticos

ÍON	PONTO DE COLETA
NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ e Na ⁺ , F ⁻ e SO ₄ ²⁻	PM01, PM02, PM03, PM04, PM05, PM06, PM07, C2 e Poço Tubular

Quanto ao procedimento, foi necessário optar pela análise não paramétrica, de acordo com CONOVER (1980), porque os dados não apresentam distribuição normal.

Foi adotado o teste de Kruskal-Wallis, com nível de significância de 5%, com base nas seguintes suposições:

- todas as amostras são amostras aleatórias de suas respectivas populações;
- existe independência mútua entre as várias amostras;
- a escala das medidas é ordinal.

Os números de medidas utilizados estão na Tabela 25.

Tabela 25 : Números de medidas utilizados no teste estatístico referente aos dados de análises químicas

Pontos	NOBS NO_3^-	NOBS SO_4^{2-}	NOBS Cl^- , Na^+ , F^-
PM01	8	8	8
PM02	9	8	8
PM03	8	8	8
PM04	9	9	9
PM05	9	9	9
PM06	2	2	2
PM07	3	2	2
C2	6	6	6
Poço Tubular	6		6
TOTAL	60	52	58

Resultados:

Para NO_3^- : $T = 33,17$ e d.f. = 8

Conclusão: com um nível de significância de de 5%, é constatado que existe diferença entre os poços de monitoramento e o poço tubular;
os poços PM01, PM02, PM03 e PM04 não apresentam diferença em relação à cacimba C2.

Para SO_4^{2-} : $T = 47,38$ e d.f. = 7

Conclusão: com um nível de significância de de 5%, é constatado que existe diferença entre os os poços PM01, PM02, PM03, PM04, Pm06, Pm07 e a cacimba C2 em relação ao poço PM05.

Para Cl^- : $T = 38,48$ e d.f. = 8

Conclusão: com um nível de significância de de 5%, é constatado que existe diferença entre todos os poços de monitoramento e o poço tubular em relação à cacimba C2.

Para Na^+ : $T = 24,38$ e d.f. = 8

Conclusão: com um nível de significância de de 5%, é constatado que existe diferença entre os poços de monitoramento e o poço tubular;
os poços PM01, PM03 e PM04 diferem significativamente do poço tubular;
os poços PM01e a cacimba C2 não apresentam diferença entre si.

Para F^- : $T = 14,55$ e d.f. = 8

Conclusão: com um nível de significância de de 5%, é constatado que não existe diferença entre todos os poços de monitoramento e cacimba C2.

5.6.3.2. Resultados referentes à zona não saturada

Tanto em relação aos dados de amostragem anterior do vazamento da água residuária e correspondente ao "background", quanto os dados posteriores posteriores ao vazamento, os resultados da análise química referente à água extraída do solo são muito pouco numerosos para uma discussão e avaliação. As amostras obtidas com os extratores de cápsula porosa foram em número de 8, tendo uma delas, colhida no antigo parreiral, à profundidade de 0,20 m, a quantidade de cerca de 10cm³.

Tabela 26: Resultados de análise química referente a amostras dos extratores de cápsula porosa

PROF.(m)	0,20	1,00	4,00	0,50	P A R R E I R A L			
						0,20m	0,50m	0,90m
DATA	29/4/97 Durante Vazam.	12/6/ 97 23 dias após vazam.		7/4/ 98 Durante novo vaza mento		7/4/ 98 perto da est ufa		
ION (mg/L)								
Ca ²⁺	32,2	16,8	13,95	44,00	24,10	270,80	53,33	32,80
Mg ²⁺	6,28	2680,0	40,75	392,00	21,88	ND	14,44	9,20
Ba ²⁺	0,25	0,16	0,04	0,20	2,23	1666,66	ND	0,20
Cu ²⁺	ND	6,64	0,06	0,05	ND	1,67	0,33	0,14
Zn ²⁺	0,09	0,76	0,02	0,23	7,51	2,00	1,06	0,58
Na ⁺	7,00	10,00	1,2	12,00	6,00	ND	ND	ND
K ⁺	19,00	20,00	8,0	ND	16,00	ND	ND	ND
F ⁻	1,69	2,15	0,12	1,00	5,01	3,85	8,44	4,06
Cl ⁻	15,77	8,04	0,66	8,59	11,19	78,65	29,84	22,66
NO ₃ ⁻	8,19	1,85	0,81	4,29	6,28	16,49	71,99	89,39
PO ₄ ³⁻	1,52	7,68	0,84	0,10	11,14	0,21	0,31	0,19
SO ₄ ²⁻	6,07	11,40	1,05	11,69	24,65	15,14	13,02	7,97

8,04 > MÉDIA

12,00 >> MÉDIA

EXCEPCIONAL

No caso de algumas amostras, as análises químicas apresentam teores muito elevados de Ca^+ , Mg^+ , Ba^{2+} , Cu^{2+} (Tabela 26), que devem ser considerados para os 3 primeiros destes elementos.

Para a amostra coletada na área do antigo parreiral a 1 m de profundidade a 12/06/97, foi determinado o valor de 6,84 mg/L para teor de Cu^{2+} , considerado como relativamente elevado. Neste caso, é admitida a hipótese de contaminação do solo por uso de agrotóxicos no antigo parreiral.

Tabela 27 : Teor de metais de extrato de solo e rocha

LOCAL	AMOS-TRA	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ba (ppm)
TRIN-CHEI-RA T1	Ap	< 0,01	0,049	0,01	<0,02	<0,02	0,077
	A3	< 0,01	0,014	2,00	<0,02	<0,02	0,023
	B1t	< 0,01	0,010	0,28	<0,02	<0,02	0,041
	B2t	< 0,01	< 0,005	0,77	<0,02	<0,02	0,007
	BC	< 0,01	0,005	0,08	<0,02	<0,02	0,016
	C	< 0,01	< 0,005	0,03	<0,02	<0,02	0,008
PAR-REI-RAL	Ap	< 0,01	< 0,005	0,02	<0,02	<0,02	0,019
	A3	< 0,01	0,021	0,19	<0,02	<0,02	0,010
	B1t	< 0,01	0,005	0,23	<0,02	<0,02	0,004
	B2t	< 0,01	0,022	0,01	<0,02	<0,02	0,024
	BC	< 0,01	0,022	0,01	<0,02	<0,02	0,019
	C	< 0,01	< 0,005	0,01	<0,02	<0,02	<0,004
PM02	3-4m	< 0,01	< 0,005	<0,01	<0,02	<0,02	<0,004
	10-11m	< 0,01	0,009	0,71	<0,02	<0,02	<0,004
	11-12m	< 0,01	0,005	0,38	<0,02	<0,02	<0,004
PM05	3-3,5m	< 0,01	< 0,005	0,01	<0,02	<0,02	<0,004
	4-4,2m	< 0,01	0,008	0,24	<0,02	<0,02	0,006
	4,2-4,4m	< 0,01	0,008	0,94	<0,02	<0,02	0,011

A análise química do solo e de algumas camadas mais argilosas do substrato rochoso (Tabela 27) não confirmou a presença de Cu, não sendo detectada também a existência de Ba, Cr, Zn, tanto na forma de íons como em qualquer tipo de combinação. Foi detectada a presença de Mn e Fe (combinados ou como íons) em teores considerados como próprios de um solo tropical em sua condição natural.

Em amostras de extratores localizados na área correspondente ao antigo parreiral, de 0,50m e 0,90m de profundidade, foram obtidos valores de NO_3^- foram 71,99 mg/L e 89,39mg/L respectivamente (coleta de 07/04/98), bem mais elevados que os de outros locais. Uma condição que diferencia este local de outros locais de amostragem por extratores é a sua proximidade da estufa, a qual recebe adubação de origem animal.

5.6.3.3. Resultados das análises referentes ao aquífero freático

A – Condutividade elétrica, pH, CO_3^{2-} e HCO_3^-

Quanto às medidas de condutividade elétrica (Tabela 28), os valores mais elevados que a média referem-se ao esgoto, ao poço tubular e à cacimba C2, podendo deste modo ser correlacionada à maior presença de sais dissolvidos na água coletada nestes locais, notadamente o valores relativamente mais elevados de Na^+ e Cl^- . Em contraste, a água da chuva, menos mineralizada que a água subterrânea, apresenta os menores valores.

Valores de pH ácido (5 a 6) foram determinados para os poços de monitoramento. São ligeiramente mais ácidos do que os obtidos com as amostras de chuva, contrariando o que era previsto. Não é reconhecido, no entanto, nenhuma diferença significativa de um local para outro (Tabela 29). Valores superiores a 9, nitidamente maiores que o encontrado nos pontos de coleta em geral, são referentes ao poço tubular e ao coletor de esgoto, este último drenando a água proveniente deste poço, já tratada e usada.

Tabela 28 : Valores de medidas de condutividade elétrica (200us)

DATA	PROCEDÊNCIA		DAS AMOSTRAS							CACIM- BA C2	POÇO TUBU- LAR	SUR- GÊNCIA	ESGO- TO
	CHU A	VA B	PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07				
30/10/96													
08/04/97			73,5	85,3	102,2	71,9	84,6						330
30/4/97											163,1		307,0
7/5/97										100,2			
23/5/97		63,3	72,6	74,2	62,4	84,3	74,1						
3/6/97		33,7									170,1		
1/7/97										98,1			
8/7/097			72,2	83,1	56,5	66,0	93,7			120,8			
20/8/97			68,7	69,9	60,1	65,6	85,1				142,2		
4/9/97										167,3			
24/9/97			80,3	74,3	63,9	72,6	64,3						
26/10/97	4,45	24,1									133,4		
4/11/97										128,1			210,1
12/11/97	12,7	47,0	32,8	58,6	40,1	41,2	35,4						
7/4/98	6,3	10,6								225,0	160,0		
16/4/98			70,7	73,4	57,7	64,1	56,2	31,9	42,1		98,00	60,4	
3/6/98				81,5		39,7	52,0	23,5	24,5				

210,1

MAIS ALTO QUE A MÉDIA

Tabela 29 : Resultados de determinação do Ph *in loco*

DATA	P R O C E D Ê N C I A D A S A M O S T R A S												
	CHU VA		PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07	CACIM- BA C2	POÇO TUBU- LAR	SURGÊN- CIA	ESGO- TO
	A	B											
30/10/96			6,07		6,31	6,46	6,50						
8/4/97			5,71	5,82	6,00	5,70	5,43						8,78
30/4/97													
7/5/97											9,37		9,05
23/5/97		7,47	5,69	5,82	5,67	6,06	5,50			6,44			
3/6/97		6,81									9,42		
1/7/97													
8/7/97			5,89	5,96	5,73	5,93	5,40			6,74			
20/8/97			5,49	5,53	5,49	5,55	5,22			6,31			
4/9/97											9,28		
24/9/97			5,58	5,51	5,43	5,68	5,32			6,33			
26/10/97	6,48	6,55									9,50		
4/11/97													
12/11/97	5,85	6,96	5,67	5,62	5,48	5,52	5,42			6,24			9,11
7/4/98	6,91	6,90											
16/4/98			5,85	5,89	5,67	5,71	5,17	5,04	5,10	6,26	9,55		
3/6/98				6,32		5,94	5,81	5,54	5,59		9,11	7,08	

8,70 > 8,50

Tabela 30 : Resultados de análise química da água - CO_3^{2-} e HCO_3^-

DATA	P R O C E D Ê N C I A D A S							A M O S T R A S		P O Ç O	
	PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07	CACIM- BA C2	SUR- GÊNCIA	T U B U L A R	
	HCO_3^- (mg/L)									HCO_3^- (mg/L)	CO_3^{2-} (mg/L)
	V A Z A M E N T O D E E S G O T O										
23/3/97 A 12/4/98										33,75	67,50
16/4/98	27,00	46,12	31,44	38,30	25,92	25,92	17,96	48,00		37,00	60,72
3/6/98		48,88		35,36	27,04	27,04	21,84		44,72		

Valores maiores que 8 de pH são uma das características da água explotada dos Aqüíferos Adamantinas e Santo Anastácio, em vários poços tubulares no Município de Presidente Prudente e municípios vizinhos (GODOY, 1997). Problemas de incrustações são constatados também nestes poços. Do ponto de vista hidrogeoquímico, estas águas são bicarbonatadas cálcicas a carbonatadas cálcicas.

No caso do poço tubular da UNESP, a água é bicarbonatada e carbonatada sódica (vide Tabelas 30 e 34), o que discorda do que é próprio das águas de poços tubulares do aqüífero Adamantina (CAMPOS, 1987 – Anexos).

B – Resultados referentes a possíveis contaminantes

Com base nos resultados disponíveis de análise química e na quantidade calculada de água residuária introduzida no solo, avalia-se a possibilidade de monitorar alguns elementos, principalmente aqueles considerados como os mais móveis. Os cálculos referentes a esta avaliação estão resumidos na Tabela 31.

Tabela 31 : Estimativa da quantidade de NO_3^- , Cl^- e Na^+ introduzidos no solo pelo vazamento do coletor de água residuária

ELEMENTO OU ÍON	N	Na^+	Cl^-	F^-	SO_4^{2-}	LABORA- TÓRIO RESPONSÁVEL
Mg/L	51,7					SABESP
Mg/L (MÉDIA)		66,83	21,32	1,49	8,31	CAS/IG/U SP
em 156.000L (ACIDENTE 1)	8,06kg	10,42kg	3,32kg	0,23kg	1,29kg	
em 126.000L (ACIDENTE 2)	6,51kg	8,42kg	2,68kg	0,19kg	1,00kg	

Estas quantidades estimadas dos elementos foram sendo adicionadas à água subterrânea, somando-se ao que esta já continha dos elementos considerados.

Quanto às condições para a seu transporte até a zona saturada, deve ser primeiramente destacada a pluviosidade, pouco concentrada, no período do primeiro evento de vazamento e nos seguintes 41 dias, até o final de maio, somando 86,7 mm, assim como a pluviosidade registrada no mês junho, com um total de 238,7 mm e concentrada em períodos curtos. Após esse período de pluviosidade intensificada, a condição de drenagem através do solo tornou-se muito favorável, como indicam os dados dos tensiômetros.

C – Resultados Referentes a NO_3^-

Os resultados distinguem a cacimba C2 como o local onde o teor elevado de NO_3^- apareceu com mais frequência (Tabela 32), sendo esta distinção ressaltada nos testes estatísticos. A particularidade que diferencia este local de amostragem dos demais é a existência de restos de raízes em putrefação na água encontrada na cacimba. Deduz-se que o nitrato provém de ação intensa de bactérias sobre estes detritos.

Os valores mais baixos de teor, destacados na análise estatística, são encontrados em amostras dos poços PM05, PM06, PM07 e na surgência amostrada. O terreno onde se localizam estes poços e a surgência diferencia-se do terreno localizado a montante, principalmente do que é identificado com a área do pomar, pelo tipo de cobertura vegetal e por apresentarem hidromorfismo no solo. A Foto 16 mostra o perfil de solo e parte do substrato rochoso e a concentração de umidade neles. As condições redutoras em determinados níveis deste solo atuam desfavoravelmente à formação do nitrato.

Tabela 32: Resultado de análise química de água - NO₃

DATA	PROCEDÊNCIA		DAS AMOSTRAS							CACIM- BA C2	POÇO TUBU- LAR	SUR- GÊNCIA	ESGO- TO
	CHU VA A	B	PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07				
30/10/96			6,56	8,50	8,50	8,50	12,19						
08/04/97			7,56	6,80	7,96	8,21	0,49						
24/419/5/97	V A Z A M E N T O D E E S G O T O												
30/4/97											3,27		3,05
7/5/97													4,85
16/5/97	VAZA MEN TO DE ÁGUA CLORA DA E FLUORE TADA PRÓXIM O A C2												
23/5/97		0,77	6,80	6,84	4,09	5,53	0,37			0,81			
3/6/97		0,90									3,59		
1/7/97										0,51			
8/7/97			6,36	8,32	2,99	3,59	0,43			5,45			
20/8/97			5,93	7,77	3,28	4,03	0,68				3,72		
4/9/97										25,87			
24/9/97			6,85	7,14	3,19	3,63	0,55						
15/10/97		1,72											
26/10/97	0,41	1,20									2,25		
4/11/97									0,50	55,90			2,28
12/11/97	0,18	0,14	6,70	7,79	3,63	4,95	0,50						
07/4/98	6,3	10,6											
23/3/ - 12/4/98	V A Z A M E N T O D E E S G O T O												
16/4/98			5,51	5,27	4,25	4,79	0,11	0,16	0,92	64,80	2,89		
03/6/98				32,71		5,25	0,25	0,19	1,18		3,66	0,05	

55,90 > MÉDIA

Tabela 33 : Resultados de análise química da água - Cl⁻ (mg/L)

DATA	PROCEDÊNCIA DAS AMOSTRAS												ESGO-TO
	C H U V A		PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07	CACIM-BA C2	POÇO TUBU- LAR	SUR- GÊNCIA	
	A	B											
30/10/96			4,66		5,47	5,22	6,41						
08/04/97			4,90	4,83	5,00	5,48	4,12						
24/4/97 A	V A Z A M E N T O D E E S G O T O												
19/5/97													30,60
30/4/97											1,96		31,10
7/5/97													
16/5/97	VAZA MEN TO DE ÁGUA CLORA DA E FLUORE TADA PRÓXIM O A C2												
23/5/97		2,74	7,35	5,78	4,44	5,82	4,71			13,75			
3/6/97		1,78									1,39		
1/7/97													
8/7/97			6,28	6,38	7,57	4,89	4,6			10,43			
20/8/97			4,24	4,57	5,99	5,58	4,85			11,16			
4/9/97											1,52		
24/9/97			4,60	5,22	5,46	5,57	4,82			11,76			
15/10/97		3,06											
26/10/97	0,19	2,37									1,30		
4/11/97													2,28
12/11/97	0,32	4,08	4,42	4,86	5,00	5,61	5,20			11,15			
7/4/98	1,23	1,44											
16/4/98			4,56	4,83	4,93	5,43	3,39	3,12	4,18	8,94	1,40		
3/6/98				9,46		6,16	3,79	4,32	4,81		1,29	0,29	

9,46

> MÉDIO

Tabela 34: Resultados de análise química da água - Na⁺ (mg/L)

DATA	PROCEDÊNCIA		DAS AMOSTRAS							CACIM- BA C2	POÇO TUBU- LAR	SUR- GÊNCIA	ESGO- TO
	CHU A	VA B	PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07				
30/10/96			4,30		5,30	8,60	9,20						
08/04/97			5,20	5,50	4,40	5,40	4,50						
24/4/97 A	VAZAMENTO DE ESGOTO												
19/5/97													67,50
30/4/97											44,00		76,00
7/5/97													
16/5/97	VAZAMENTO DE ÁGUA CLORADA E FLUORETADA PRÓXIMO A C2												
22/5/97		3,40	6,10	5,60	4,40	5,00	3,10			9,40			
3/6/97		0,70									40,00		
1/7/97										8,20			
8/7/97			4,60	6,80	6,10	5,10	3,90			3,80			
20/8/97			4,30	4,50	3,50	3,70	2,90				4,30		
4/9/97										4,50			
24/9/97			2,70	3,60	2,30	4,50	4,80						
15/10/97		0,70											
26/10/97	0,60	1,20									48,00		
4/11/97										12,00			57,00
12/11/97	1,60	0,90	5,00	5,10	3,70	4,20	2,60						
23/3/97 A	VAZAMENTO DE ESGOTO												
12/4/98													
7/4/98	1,70	0,90								8,50	49,00		
16/4/98			5,10	4,70	4,50	5,10	2,70	3,00	2,00		44,00	2,5	
3/6/98				8,80		4,70	2,90	4,60	1,30				

49,90 >MÉDIO

D - Resultados Referentes a Cl^-

O Cl está presente no esgoto domiciliar como Cl^- e como residual. Nesta última forma, dificilmente ele é identificado em análises químicas. O Cl contido na água residuária provém dos compostos utilizados no tratamento da água. Está presente nas formas de ácido hipocloroso ou do íon hipoclorito ou na forma de cloraminas, no primeiro caso sendo classificado como “cloro residual livre” e no segundo caso, como “cloro residual combinado” (METCALF & EDDY, 1979).

O Cl^- deriva essencialmente da urina, onde é expelido em uma quantidade aproximada de 6 g por pessoa. No esgoto doméstico, a sua concentração é superior a 15mg/L.

A análise estatística destaca a água da cacimba C2 pelo seu maior conteúdo de Cl^- , assim também como de Na^+ , em comparação com a dos outros pontos de amostragem. Não se correlaciona esta diferença a nenhum tipo de distinção de condições de uso ou de ambiente em relação aos demais pontos de amostragem. O único fator possível de distinção deste local é o evento de vazamento, nas suas proximidades, a 16/05/97, da uma adutora de abastecimento de água para o *Campus*. Os valores relativamente altos destes íons já são manifestados a 22/05/97. Tendo sido observada a infiltração de água pela sua parede, através de frestas no revestimento de tijolos, é admitida a hipótese de que esta parede tenha atuado como um atalho na comunicação com o aquífero livre da água derramada no vazamento.

E - A Utilização dos íons Cl^- , Na^+ e NO_3^- na análise da recarga do aquífero Livre

Outro valor elevado de teor é revelado em amostra do poço PM02 coletada a 03/06/98: 32,71mg/L de NO_3^- . As análises referentes à coleta de 03/06/98 do poço PM02 registram aumento expressivo de no teor de NO_3^- , Cl^- , aumento distinto de Na^+ e aumento discreto de pH (Figura 34).

Tabela 35: Variação dos teores- Na^+ , Cl^- , F^- e NO_3^- - Poço PM02

DATA	Na^+ (Mg/L)	Cl^- (Mg/L)	F^- (Mg/L)	NO_3^- (Mg/L)
08/04/97	5,50	4,83	0,13	6,80
22/05/97	5,60	5,78	0,59	6,84
08/07/97	6,80	6,38	0,09	8,32
20/08/97	4,50	4,57	0,01	7,77
24/09/97	3,60	5,22	0,07	7,14
12/11/97	5,10	4,86	0,14	7,79
16/04/98	4,70	4,83	0,01	5,27
03/06/98	8,80	9,46	0,11	32,71

valor bem mais alto do que o médio

Figura 34: Variação dos teores de Na^+ , Cl^- , F^- e NO_3^- - Poço PM02

Os íons Na^+ e Cl^- podem ser empregados como traçadores químicos (POLI, 1992). Para a sua aplicação efetiva, há necessidade de introduzir NaCl ou outro sal de qualquer um dos dois elementos em quantidade relativamente elevada, com a desvantagem de elevar a densidade da solução portadora do sal.

Em estudos de contaminação de água subterrânea por dejetos humanos em Botswana na África, é demonstrada a utilidade como traçador químico do Cl^- introduzido na própria contaminação (LANGERSTEDT, SACKS & SEFE, 1996).

No Canadá, foram usados o Na^+ e Br^- como traçadores em estudo de caso de contaminação, através de tanque séptico drenado por sistema de tubos furados (ROBERTSON *et al*, 1989). Trata-se no caso de um sistema séptico de uma única residência. O composto NaBr foi injetado instantaneamente no tanque em quantidade de 1kg. No monitoramento da contaminação, a condutividade elétrica também serviu como traçador.

No caso do poço PM02, deve ser considerada a possibilidade de que o incremento conjunto do teor dos 3 íons se constitua numa resposta, em intervalo de tempo de 13 meses e 3 semanas, aos eventos de vazamento de esgoto. Trata-se de um intervalo relativamente curto para a resposta, mas admissível, levando-se em conta a existência, na zona não saturada, de fluxo preferencial, da fuga de água por cavidades de raízes mortas e da atuação do fraturamento da rocha. Estes fatores já foram mencionados na discussão referente à correlação entre as variações na pluviosidade e a oscilação do nível freático (item 5.4.2, pg. 105).

F - Resultados referentes aos teores de Na^+ na água do poço tubular

Teores de Na^+ comparáveis aos determinados em amostras do poço tubular da FCT/UNESP são muito raros nos aquíferos Bauru, conforme se confere nos registros disponíveis (CAMPOS, 1987 - ANEXOS).

Em zonas continentais distantes da costa, o Na pode ser encontrado em quantidades relativamente altas em regiões de clima árido (HEM, 1985). Fora destas condições climáticas, é rara esta ocorrência de teores elevados. Altas concentrações

de Na^+ antropogênico na água subterrânea são registradas em Salt Lake Valley, em área de intensa irrigação. Deve-se entender como teor elevado de Na^+ o que ultrapassa o valor de 500 ppm, portanto muito acima daqueles relacionados ao poço tubular do *Campus* da FCT/UNESP de Presidente Prudente.

Casos de teores de Na^+ de origem natural acima de 500 ppm não são raros em aquíferos onde se encontram evaporitos ou outros aquíferos explorados em zonas petrolíferas, (MATHESS, 1982). No entanto, não deve causar surpresa a ocorrência de anomalia de Na em resistatos como arenitos, devido à existência de resíduos cristalinos de soluções retidas nos poros ou a presença de sais de sódio no cimento.

Duas observações são necessárias quanto a anomalias de Na^+ :

- pouca atenção é dedicada à sua ocorrência, porque as normas quanto ao uso e de água são muito pouco restritivas à presença deste íon;
- a grande maioria das anomalias é antropogênica.

Uma das fontes hipotéticas de Na em teor relativamente elevado, que é encontrado nas amostras do poço tubular é o lixo domiciliar. No chorume, verifica-se a sua presença em teores elevados (QASIM & CHIANG, 1994). No entanto, é acompanhado por outros íons, principalmente o NO_3^- e SO_4^{2-} , cuja migração na água subterrânea, em teores relativamente elevados, se dá paralelamente à sua. Pelas análises químicas referentes ao poço tubular, esta forma de associação não é identificada.

No entanto, a hipótese segundo a qual este resultado anômalo de Na^+ seja antropogênico não deve ser descartada.

G - SO_4^{2-} - Interpretações referentes ao rejeito de laboratório

As análises estatísticas destacam as amostras do poço PM05 como diferentes das amostras coletadas em outros locais pelo maior conteúdo de SO_4^{2-} dissolvido.

O sulfato é por si um íon complexo, mas caracteriza-se por acentuada tendência a formar espécies mais complexas (HEM, 1985). Por fator de afinidade, predominam as associações de SO_4^{2-} com Na^+ e Ca^{2+} , proporcionalmente crescentes com o aumento no teor de SO_4^{2-} . A redução do sulfato na água é muito rara, porque depende da ação, em condições anaeróbicas, de determinada espécie de bactéria.

Quanto às reações mais prováveis entre as substâncias do rejeito de análise química de solo, em meio aquoso, podem ser resumidas, de acordo com VOGEL (1982), na seqüência apresentada abaixo.

A reação ácido/base da cal com o ácido sulfúrico é simplificada como:

O CaSO_4 , cuja solubilidade em água é 0,2/100 (MERCK, 1982), (MERCK, 1982), é dissolvido, dando, portanto, Ca^{2+} e SO_4^{2-} .

Tendo sido empregados 20ml de $\text{H}_2 \text{SO}_4$ concentrado (980g/L) para cada uma das 3.000 amostras, calcula-se que 19,8 g deste ácido foram usadas para cada unidade da amostragem. Portanto, o rejeito corresponde ao emprego de cerca de 58kg de $\text{H}_2 \text{SO}_4$ puro. Em caso de excesso de $\text{H}_2 \text{SO}_4$, prevalecendo condição de $\text{pH} < 4$ e havendo a presença de Al adsorvido em lamelas de argilas, este metal é então liberado. Devido à presença dos sais empregados na análise de solo, outro efeito possível da atuação deste ácido é a formação de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, que é solúvel.

Destas reações expressas acima, a mais efetiva é aquela que resulta do contato do ácido com a cal virgem, formando CaSO_4 , logo dissolvido. Encontra-se então uma explicação plausível para o teor relativamente elevado de íon SO_4^{2-} na água amostrada do poço PM05.

Tabela 36 : Resultados de análise química da água - SO_4^{2-} (mg/L)

PROCEDÊNCIA DAS AMOSTRAS													
DATA	CHU VA		PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07	CACIM- BA C2	POÇO TUBU- LAR	SUR- GÊNCIA	ESGO- TO
	A	B											
30/10/96			4,46		4,00	0,58	11,08						
08/04/97			6,02	6,65	3,56	1,23	21,98						
24/4/97 A 19/5/97	V A Z A M E N T O D E E S G O T O												
30/4/97													8,63
7/5/97											0,85		8,02
16/5/97	VAZA MEN TO DE ÁGUA CLORA DA E FLUORE TADA PRÓXIM O A C2												
22/5/97		2,52	7,48	7,37	4,05	1,46	18,49			1,19			
3/6/97		2,12									0,59		
1/7/97													
8/7/97			6,96	5,07	3,74	1,08	31,28			0,58			
20/8/97			5,86	4,65	3,30	0,85	24,46			0,74			
4/9/97											0,66		
24/9/97			7,49	4,99	3,29	0,85	11,79			0,81			
15/10/97		4,23											
26/10/97	0,51	2,46									0,51		
4/11/97													
12/11/97	6,03	0,57	6,45	4,91	3,28	1,52	5,09			0,83			2,28
23/3/97 A 19 12/4/98	V A Z A M E N T O D E E S G O T O												
7/4/98	0,48	0,58											
16/4/98			4,50	4,44	3,80	1,36	11,33	3,48	0,78	0,51	0,70		
3/6/98				4,22		1,79	16,13	4,19	0,56		0,54	2,47	

11,33

> MÉDIO

Quanto ao comportamento do ácido fosfórico, as reações são semelhantes às que ocorrem com o ácido sulfúrico, podendo ser resumidas como:

O fosfato de cálcio é insolúvel em água.

Com relação ao íon dicromato, trata-se de poderoso agente oxidante, reduzindo-se ele próprio a Cr^{3+} . Simplificadamente, esta redução ocorre segundo esta reação:

Em laboratório, o dicromato é usado para mais de uma finalidade na oxidação da matéria orgânica.

O dicromato de potássio, em presença do ácido sulfúrico, atua sobre a matéria orgânica, o que resumidamente pode ser expresso nesta reação:

As reações dos íons de cromo em presença da cal podem ser estas:

A atuação neutralizadora da cal é efetiva na imobilização do cromo, produzindo, como se resume acima, hidróxido deste metal. Os dois tipos de hidróxido são praticamente insolúveis.

5.6.3.4. Resultados referentes à água da chuva e do açude

Constata-se diferença entre a composição química da água da chuva coletada em zona coberta por vegetação e aquela coletada em local distante de qualquer possível interceptação. Nestas diferenças, não é identificado nenhum sentido lógico ou indicativo de interferência de algum fator particular.

Nos resultados referentes ao açude, não é reconhecido qualquer indício de sua interferência na água coletada nos poços PM05 e PM06 e junto à surgência.

5.6.4. Zoneamento Hidrogeoquímico da Área Estudada

A partir da avaliação dos resultados de análise química, com o apoio da análise estatística, é apontada a influência da ação antrópica nas diferenças de composição química da água subterrânea. Pelo que já foi analisado acima, estas diferenças aparecem nitidamente em alguns locais, como se verifica no poço tubular para o teor de Na^+ , nos poço de monitoramento PM02 para Na^+ , NO_3^- e Cl^- e no PM05 para SO_4^{2-} . Estes dados de análise química reforçam a distinção reconhecida através das informações obtidas sobre a hidrodinâmica.

6. CONCLUSÕES

O estudo realizado através da Estação Piloto não se restringiu ao local de sua instalação, tendo sido irradiado o monitoramento a partir desta estação por alguns hectares de um setor de encosta. Dentro deste estudo assim expandido revelou uma complexidade do ambiente, exigindo a análise e a avaliação conjunta de vários fatores ambientais que influem na hidrodinâmica e na hidrogeoquímica das zonas não saturada e saturada.

De acordo com o enfoque hidroquímico, adotando como traçadores químicos os íons Na^+ , Cl^- e NO_3^- , introduzidos acidentalmente no solo, na zona saturada é constatada uma resposta rápida a uma contaminação que teve origem a menos de 0,5 m da superfície.

Este fato reforça a caracterização de um comportamento de recarga rápida do aquífero, baseada na verificação de um intervalo de curto entre eventos da precipitação e intervalos de estiagem e o seu reflexo na oscilação do nível do aquífero livre.

Do ponto de vista geológico e hidrogeológico, é importante considerar que, até a profundidade de 20 m aproximadamente, os bancos de arenito e lamitos intercalados a eles são caracterizados por fraturamento, sobretudo numa zona próxima à superfície, cujos limite inferior acompanha a declividade da encosta. A influência de estratos ou bancos de rocha relativamente mais compacta no fluxo subterrâneo é uma questão ainda em aberto para investigação e avaliação. Devido à distinção comumente adotada entre “meio poroso” e “meio fraturado”, tem sido pouco levado em conta o caráter desta zona do depósito sedimentar, que é de meio poroso-fraturado. Este fato representa um risco de natureza hidrodinâmica para a estabilidade de pequenas represas na Região de Presidente Prudente.

É importante observar que a distinção entre rocha sedimentar sã e rocha sedimentar alterada é muito discutível na prática, o que nesta área estudada resulta em dificuldade de diferenciá-las em corte vertical do terreno.

Deve ser validada a hipótese segundo a qual a presença de fendas associadas ao sistema de fraturamento na rocha é decisiva na hidrodinâmica da zona não saturada, constituindo-se em fator de intensificação do fluxo de água subterrânea.

Do ponto de vista pedológico e da Física de Solos, mereceram atenção os aspectos do comportamento dos horizontes *B* texturais, como barreira à drenagem no perfil do solo, podendo, deste modo, impor o fluxo lateral a esta drenagem. Na análise e avaliação dos resultados do ensaio de infiltração e do comportamento do potencial mátrico a diferentes profundidades, é reforçada a hipótese da atuação destes horizontes como obstáculo temporário ao avanço da frente de molhamento. Quanto ao fluxo lateral, não foi encontrada nenhuma indicação de sua presença.

Do ponto de vista do ecossistema, a atuação de cavidades de raízes mortas é evidenciada no ensaio de infiltração. Trata-se de mais um dado a contribuir para se compreender a hidrodinâmica da zona não saturada, no sentido de ressaltar o papel direto ou indireto da vegetação na infiltração da água no terreno. De acordo com a ampla bibliografia consultada a este respeito, os experimentos concernentes à hidrodinâmica na zona não saturada, principalmente aqueles dirigidos à questão da contaminação das águas subterrâneas, incluem a cobertura vegetal como variável fundamental dos processos estudados. É válido considerar como determinante a influência das cavidades de raízes mortas no fluxo de água na zona não saturada, pelo menos na área do pomar, isto é, nos arredores da Estação-Piloto.

Uma das características da área estudada é a heterogeneidade do substrato rochoso, sendo verificado que numa área restrita a um setor de um *campus* universitário, a variável correspondente à natureza dos solos e das rochas influi na diversificação espacial do terreno, determinando uma compartimentação do ambiente.

Alguns componentes do meio ambiente introduzidos por interferências antrópicas contribuem para torná-lo menos favorável a uma pesquisa de caráter ambiental, como é o caso deste estudo executado em Presidente Prudente. É necessário enfatizar que se trata também, nos exemplos do açude que interfere no sistema hidrológico, do soterramento de uma surgência de água por terraços introduzidos artificialmente na superfície do terreno e da disposição do lixo do laboratório sem a devida proteção, de ações que alteram o comportamento do meio físico e do ecossistema, estando portanto em desacordo com normas técnicas e com a legislação ambiental vigente no país.

No funcionamento da Estação-Piloto, a diversificação do ponto de vista metodológico e técnico reflete o caráter interdisciplinar da pesquisa que é desenvolvida através dela. Deste modo, a aplicação de um método de pesquisa centralizada em seu

funcionamento possibilita uma integração de informações de variada natureza, devido à interdependência das investigações da geologia, das ciências do solo, da geoquímica e da bioquímica no estudo da hidrodinâmica e da hidrogeoquímica das zonas não saturada e saturada.

Na área pesquisada, no tocante à etapa da pesquisa correspondente a investigações preliminares, o conhecimento prévio do estado do meio ambiente era fundamental para garantir um determinado grau de segurança para a execução do projeto de pesquisa. Estava prevista a utilização do método geofísico GPR, que não foi possível, devido a fatores de custo do serviço. Com a exclusão deste recurso de sondagem na execução do projeto, não houve condição de prevenir o acidente ocorrido com um coletor de esgoto, tendo este fato provocado a mudança no rumo na pesquisa. Assim sendo, conclui-se que qualquer avaliação ambiental ou "auditoria ambiental", sobretudo onde importa o monitoramento hidrogeoquímico, deveria contar com o emprego deste método.

A escolha do local de instalação da Estação-Piloto foi baseada no reconhecimento de condições adequadas do ponto de vista geológico, pedológico, do meio ambiente e da garantia do apoio de laboratórios instalados em suas imediações. No entanto, o desenvolvimento da pesquisa evidenciou algumas condições negativas existentes no local escolhido para a instalação da maioria dos equipamentos, que é um pomar abandonado, onde o solo, no aspecto da sua atuação como meio poroso, apresenta irregularidades significativas, principalmente aquelas devidas a raízes mortas.

O desenvolvimento da pesquisa foi prejudicado também pelo funcionamento insatisfatório dos extratores de cápsula porosa e dos blocos de gesso e pelo fato de ter sido impossibilitado o ensaio de permeabilidade, dadas as condições particulares do terreno, que causaram fuga abundante de água.

No caso específico do emprego dos blocos de gesso *Soilmoisture* na pesquisa, deve ser considerado que se tratou de uma oportunidade de experimentar a sua aplicação para um estudo hidrogeológico. Deste modo, algumas de suas limitações como recurso de medida do potencial mátrico foram reconhecidas, tais como:

- a limitação na escala de valores do ábaco de conversão de leituras do medidor em unidades de potencial mátrico
- a imprecisão de medidas com a presença de sais dissolvidos na água.

É inegável a importância da questão da recarga em qualquer estudo sobre o funcionamento de um aquífero subterrâneo e sobre a vulnerabilidade da água subterrânea a qualquer tipo de contaminação. A investigação através de uma Estação-Piloto dispõe dos meios para integrar recursos de investigação de variada natureza, exigidos em pesquisa sobre as condições de recarga de um aquífero. Neste aspecto, ela deve ser encarada como a alternativa para os estudos efetuados através de lisímetros e colunas, que têm sido abundantemente divulgados, como se pode reconhecer na numerosa bibliografia referente a pesquisas experimentais que enfocam a hidrodinâmica dos meios porosos e também a aspectos de vulnerabilidade de aquíferos à contaminação. A margem de operação em espaço, que uma estação de observação ou experimental proporciona, garante um alcance de área e profundidade de investigação no solo e no substrato rochoso que é inacessível a estes dois outros recursos de observação e experimentação.

Na proposição básica de funcionamento de uma estação experimental ou de observação, são implícitas as vantagens de uma investigação "in situ", em condições mais realistas de campo. No entanto, uma área que conta com uma única estação é sujeita ao risco de não ser representativa de uma região. O alcance de informação de uma pesquisa baseada em uma estação isolada é limitada às características de um determinado ambiente, onde se oferece uma combinação muito particularizada das diversas variáveis que devem ser analisadas. Na área pesquisada, sendo considerada apenas uma encosta, são diferenciadas pelo menos 5 zonas, onde o comportamento hidrodinâmico tanto da zona não saturada como da zona saturada é diferenciado, embora a todas as zonas seja estendida uma característica importante nestes aspectos, que é a da vulnerabilidade do aquífero livre à contaminação. Devendo ser considerado que raramente pode ser selecionada uma área livre da interferência antrópica, é válido reconhecer que toda diferenciação natural é passível de ser aprofundada ou modificada por fatores da ação humana.

Deste modo, seja para fins de mapeamento hidrogeológico ou de área piloto de estudos sobre a contaminação das águas subterrâneas ou para a finalidade de experimentação, os resultados de pesquisa executada em uma única estação são discutíveis. Uma área-piloto deve contar com a operação de 3 ou mais estações, devidamente localizadas, integrando um programa de pesquisa multidisciplinar. E dentro de

um programa de pesquisa executada através de estações de monitoramento, pode ser incluída a pesquisa que utiliza um método de colunas ou lisímetros, deste modo havendo um meio adequado de comparar os resultados de um e de outro método de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE, G. A. L. (1995) Contribuição ao Estudo do Comportamento Geoquímico do As, Cu, Pb e Zn, originários de pesticidas agrícolas, nas Zonas não saturada e Saturada em Área Urbana e Agrícola do Município de Louveira(SP). São Paulo, 158p (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- ALLISON, F. E. (1955) The enigma of soil nitrogen balance sheets, *Advanced Agronomy*, 7: 213-50.
- ALMEIDA, F.F.M. (1964) Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: Geologia do Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, v. 41, p.167-263.
- ALMEIDA, F.F.M.; MELO, M.S. (1981). A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT Mapa Geológico do Estado de São Paulo, São Paulo, IPT, v.1, p.46-81.
- ALMEIDA, M. A.; STEIN, D. P.; MELO, M. S.; BISTRICHI, C.A.;PONÇANO. W.L.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. (1981) Geologia do Oeste Paulista e áreas fronteiriças dos Estados de Mato Grosso do Sul e Paraná, In: Coletânea de Trabalhos e Debates: Publicação SBG-SP: Publicação Especial, n. 7, p.31-47. / Apresentado a Mesa Redonda *A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes*, São Paulo, 1981.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1982) Métodos Estándar para el examen de Águas y Águas de Desecho. México, Editorial Interamericana S. A.. 609 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (1996) Ensaio de permeabilidade em solos - orientações para sua execução no campo. OLIVEIRA, A.M.S.; CORRÊA FILHO, D. (coords.)São Paulo, ABGE, boletim nº. 04, 3ª. ed., 24 p e Anexos.
- BISH, D.L. & DUFFY, C.J. (1990) Thermogravimetric analysis of minerals, in: STUCKI, J. ; BISH & D. L.; MUMPTON, F. A. (eds) Cms Workshop Lectures, v.3. Thermal analysis in Clay Science, Boulder, Colorado, The Clay Minerals Society, p. 95-189.
- BIZELL, J.A. (1944) Lysimeters experiments. VI The effects of cropping and fertilization on the losses of nitrogen from the soil, Cornell, USA, Cornell, Agr. Experimental Station Memo. 256, pp 1-14.

- CAMPOS, H. C. N. S. (1987) Contribuição ao Estudo Hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. São Paulo, 157p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CARVALHO, W. A.; SUDO, H.; FREIRE, O.; GODOY, M.C.T.F.; TEIXEIRA, S.R.; PANOSO, L. A.; SUAREZ, J.M.; MORAES, M.H. (1996) Condição hídrica e de porosidade de solos da Bacia do ribeirão Santo Anastácio (SP), São Paulo, Revista de Geografia da Unesp, vol.13: 111-125.
- CARVALHO, W. A.; PANOSO, L. A.; FREIRE, O.; RENNÓ, C. D.; GODOY, M.C.T.F.; SUDO, H.; TEIXEIRA, S.R.; SUAREZ, J.M. (1997) Levantamento semidetalhado dos solos da Bacia do Rio Santo Anastácio, Presidente Prudente, *Boletim Científico da Faculdade de Ciências e Tecnologia, D^{to}. de Ciências Ambientais*, FCT/FUNDACTE, v.2 - 490 p., mapa e legenda.
- CEDERGREN, H. R. (1967) Seepage, Drainage and Flow Nets, New York, J. Wiley & Sons. 147 p.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico (1986) Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas em Áreas de Infiltração de Efluentes de Indústrias Químicas - Relatório Final, São Paulo, CETESB, 69p.
- _____ - Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico (1988) Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, São Paulo, CETESB, 150p.
- CHERRY, J. (1984) Groundwater contamination, in: FLEET, M. E. (ed) Short Course on Environmental Geochemistry, London/ON, Canada, Mineral Association of Canada, 10: 296-306.
- CONOVER (1980) Practical Non parammetric Statistics,. – Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, 2^a ed, New York, John Wiley and Sons. 493p.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, R. (1990) Hidrología Subterranea. Barcelona, Omega, 1990. 2365p.
- DOMERGUE, F. L. ; VÉDY, J. C. (1992) Mobility of heavy metals in soil profiles. *Intern. Journal. Environ. Anal. Chem.*, v. 46, p.13-23, Gordon and Breach Science Publishers S.A., United Kingdom.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE(1979) Estudo de Águas Subterrâneas das Regiões Administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília. São Paulo, 3 v.

- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1988) Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento. Rio de Janeiro, *Documento da EMBRAPA*, n. 11, 67p.
- FERNANDES, L. A. (1992) A Cobertura Cretácea Suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): Os Grupos Bauru e Caiuá. São Paulo, 127 p. (Dissertação - Mestrado no Programa de Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FETTER, C. W. (1993) Contaminant Hydrogeology. New York, Macmillan. 456p .
- _____ (1994) Applied Hydrogeology. 3. ed., New York, Macmillan College. 691 p.
- FONTES, L. E. F.; OLIVEIRA, L. B. (1982) Disponibilidade de água de solos do Norte de Minas Gerais - Área de atuação da SUDENE, EMBRAPA/SNLCS, Rio de Janeiro, *Boletim de Pesquisa no. 8*, 22p.
- FOWLER, W. B. ; LOPUSHINSKY, W. (1989) An economical, digital meter for gypsum soil moisture blocks, *Soil Science Society American Journal*, n. 53, p. 302-305.
- FRANCISCO, F. C. (1989) Análise Ambiental e Consequências do Desmatamento no Município de Presidente Prudente no período de 1917 a 1986. Rio Claro/SP, - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Tese (Mestrado em Geografia Física) , 242p.
- FREIRE, O.; GODOY, M. C. T. F.; CARVALHO, W. A. (1992) Erodibilidade de alguns solos do Oeste do Estado de São Paulo. *Revista de Geografia da UNESP*, n.11, p. 77-87.
- FUNDAÇÃO IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: (1997) Contagem da população 1996: Resultados relativos a sexo da população e situação domiciliar, Rio de Janeiro, Fundação IBGE, v.1, 720 p.
- GODOY, M. C. T. F. (1989) Mapeamento Geotécnico Preliminar da Região Urbana de Presidente Prudente - Escala 1/25.000. São Carlos, 2v. (Dissertação - Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GODOY, M. C. T. F. (1997) Estudo de viabilidade para a instalação de poço tubular destinado ao abastecimento de água para a Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP/PP , Presidente Prudente, agosto de 1997 -Comunicação Interna, 18 p.

- GUYMON, G. L. (1994) Unsaturated Zone Hydrology. New Jersey, Prentice Hall. 209p.
- HEM, J.D. (1985) Study and interpretation characteristics of natural water. U.S. Geological Survey Supply Paper, (1473): 1-269.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
 (1981a) Mapa Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT. (Escala 1:500.000).
 ____ (1981b) Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT. (Escala 1:1.000.000).
- JONES, R.J.A.; THOMASSON, A. J.(1990) Mapping potencial nitrate leaching losses from agricultural land in the UK, in: HAMER, P.J.C., LEEDS-HARRISON, P.B. (eds) Nitrates and Irrigation, Silsoe, p. 35-40
- KOPPEN, W. (1948) Climatología, México, Fondo de Cultura Económica. 478 p.
- LAGERSTEDT, E.; JACKS, G.; SEFE, F. (1994) Nitrate in groundwater and N circulation in Eastern Botswana. *Environmental Geology*, Springer Verlag, 23:60-
- LANDIM, P.M.B. (1998) Análise Estatística de Dados Geológicos, São Paulo, FUNDACT/ Editora UNESP, 226 p.
- LIBARDI, P.L. (1995) Dinâmica da Água no Solo, Piracicaba/SP, ESALQ. 497 p.
- MARIÑO, M. A.; LUTHIN, J. A. (1982) Seepage and Groundwater, Elsevier.489 p.
- MARQUES, R. M. (1998) Geopesquisa: apresentação, São Paulo - SP , GEOPESQUISA – Investigações Geológicas, 8 p.
- MARTELAT, A.; ACKERER, P.; SCHENK, C. (1991) Spatial variability of water and nitrate migration in soil on a parcel scale Chemistry, *Agriculture and the Environment*, Cambridge, UK, Royal Society of Chemistry, 1991: 157-184.
- MATTHESS, G. (1982) The Properties of Groundwater, New York, John Wiley & Sons. 406p.
- MERCK & CO (1983) The MERCK Index, Merck & Co, Inc, 10^a. Ed., White House Station. NY.
- METCALF, L.; EDDY, H.P. (1979) Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, 2a. Ed., McGraw Hill, New York. 296 p.
- MONTEIRO, C.A.F. (1973) A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: Estudo em forma de Atlas. São Paulo, USP/IGEOG, 1973.

- OWENS, L.B. (1990) Nitrate-Nitrogen concentrations in percolate from lysimeters planted to a legume-grass mixture, *Journal of Environmental Quality*, 19: 131-135.
- PERUSI, M. C.; TEIXEIRA, S. R.; GODOY, M. C. T. F. (1993) Identificação de argilo-minerais do Oeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 2., Bauru, 1993 - Resumos.
- POLI, D.C.R. (1989) Aplicação e Avaliação da Técnica de Marcação da Umidade do Solo com Trítio Artificial em Pesquisas Hidrogeológicas no Brasil, São Paulo, 178 p (Tese - Doutorado) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.
- PORSANI, J. L. (1999) Ground Penetrating Radar (GPR) Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado – SP, Rio Claro, 145 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP.
- QASIM, S.R. ; CHIANG, W. (1994) Sanitary Landfill Leachate Generation Control and Treatment, Lancaster, Technomic Publishing. 339 p.
- REICHARDT, K. (1988) Capacidade de campo, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 12: 211-216.
- _____ (1990) A Água em Sistemas Agrícolas, 1. ed., São Paulo, Manole. 188 p.
- _____ (1996) Dinâmica da Matéria e da Energia em Ecossistemas, 2. ed., Piracicaba, USP/ESALQ, Dto. Física e Meteorologia. 513p.
- ROBERTSON, W.D.; SUDICKI, E.A.; CHERRY, J. A.; RAPAPORT, R.A.; SHIMP, R.J. (1989) Impact of a domestic septic system on an unconfined sand aquifer, in: KOBUS ; KINZELBACH (eds), Contaminant Transport in Groundwater, 105-112.
- RUPRECHT, J. K. ; SCHOFIELD, (1990) Seasonal soil water dynamics in the Jarrah Forest, Western Australia, 1: Results from a hillslope transect with coarse-textured soil profiles. *Hydrological Processes*, John Wiley & Sons, n. 4, p. 241-58.
- SALOMÃO, F. X. T. (1994) Processos erosivos lineares em Bauru (SP): Regionalização cartográfica aplicada ao controle. São Paulo, 2 v. (Tese-Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- SANT'ANNA NETO, J.L.; BARRIOS, N.A.Z.(1992) Variabilidade e tendência das chuvas na região de Presidente Prudente. *Revista de Geografia da UNESP*, n. 11, p.63-76.

- SATRIYO, B.; BLAIR, A.W.; SAMANI, Z. (1990) Calibration of tensiometers and gypsum blocks using soil moisture content, In: IRRIGATION AND DRAINAGE NATIONAL CONFERENCE, 1990, Anais., New York, p. 552-8, ASCE - Irrigation & Drainage Division.
- SUDO, H. (1980) Bacia do Alto Santo Anastácio: Estudo geomorfológico. São Paulo, 235 p. (Tese - Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- SUGUIO, K. (1980) Rochas Sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica, São Paulo, Edgard Blücher Ltda. 500p.
- SZIKSZAY, M.; CONSONI, A. J.; GUIGUER, N.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A.A.; SGAMBATO, F.; YOSHINAGA, S. (1986) Instalação de uma estação experimental para o estudo da dinâmica e da evolução da composição da água na zona não saturada, *Revista Águas Subterrâneas*, n. 10, p. 5-20.
- SZIKSZAY, M.; KIMMELMANN E SILVA, A. A. ; HYPÓLITO, R. (1989) Estudo hidrogeoquímico das zonas não-saturada e saturada em terrenos subtropicais úmidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 2., Anais. p.329-37.
- TOLLNER, E. W. ; MOSS, R. B. (1985) Neutron probe vs. tensiometers vs. moisture for monitoring soil moisture status, Suplemento ASCE, 19 p./ Apresentado a WINTER MEETING -ASCE, Chicago, 1992.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. (1979) Meteorologia Descritiva. Livraria Nobel S.A., São Paulo. 374p.
- VARGAS, M. (1977) Introdução à Mecânica dos Solos, São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil - Universidade de São Paulo. 509 p.
- VEENIS, Y.M.M.; BLEUTEN, W. (1989) The use of saturated column-experiments in the assessment of pollutant transport in aquifers, in: KOBUS ; BALKEMA (eds) Contaminant Transport in GrounWater, Rotterdam, p 141-145.
- VIEIRA, L. S. (1988) Manual da Ciência do Solo : com ênfase em solos tropicais., 2. ed., São Paulo, Ceres. 463p.
- VOGEL, A. I. (1982) Química Analítica Quantitativa – Teoría y práctica, tradução para o espanhol de Miguel Catalano, Buenos Aires, Kaplusz. 2 vol.
- WAGENET, R.J.; BIGGAR, J.W.; NIELSEN, D.R. (1977) Tracing the transformation of urea fertilizer during leaching, *Soil Sci. Soc. American Journal*, vol.41: 896-905.

- WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C. B. ; DROSS, B.V. (1971) A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 26, n. 5, p.189-93.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. (1987) Mapeamento geotécnico aplicável a rejeitos sépticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, São Paulo, 1987. Anais., São Paulo, ABGE, v. 2, p.313-22.