Campus de São Carlos

Monitoramento de água subterrânea em
área urbana: aspectos quantitativos

Thiago Augusto Maziero

Orientador: Prof. Dr. Edson Cezar Wendland

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Thiago Augusto Maziero

**MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM
ÁREA URBANA: ASPECTOS QUANTITATIVOS**

<p>Serviço de Pós-Graduação EESC/USP</p> <p>EXEMPLAR REVISADO</p> <p>Data de entrada no Serviço.....15/.....12/.....05.....</p> <p>Ass.:.....<i>Cesar</i>.....</p>

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Edson Cezar Wendland

São Carlos
2005

DEDALUS - Acervo - EESC

31100053629

Class.	TESE-EESC
Cutt.	16476
Tombo	T 322/05
Sysno	1488598

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M476m

Maziero, Thiago Augusto

Monitoramento de água subterrânea em área urbana :
aspectos quantitativos / Thiago Augusto Maziero. -- São
Carlos, 2005.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2005.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Edson Cezar Wendland.

1. Água subterrânea. 2. Área urbana. 3. Aspectos
quantitativos. 4. Recarga. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **THIAGO AUGUSTO MAZIERO**

Dissertação defendida e julgada em 23-09-2005 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Associado **EDSON CEZAR WENDLAND (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Associado **LAZARO VALENTIN ZUQUETTE**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Dra. **SUELLYOSHINAGA PEREIRA**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

APROVADO

Prof. Titular **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Dedico este trabalho à minha família:
meu pai Antônio, minha mãe Cristina,
meus dois irmãos Diogo e Danilo e minha
irmã Aline.*

Dedico também à minha esposa: Veruska

Gostaria de prestar meus agradecimentos:

Ao meu orientador Edson Cezar Wendland, pessoa de inestimável valor, a quem devo uma importante etapa da minha vida.

Ao Conselho Nacional para Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida.

Ao projeto FINEP-CT-HIDRO (2003) e à PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS, pelo incentivo moral e financeiro na realização desta pesquisa.

À Escola de Engenharia de São Carlos e à Universidade de São Paulo.

Ao professor Eduardo Mário Mendiando pelo incentivo, pelos ensinamentos e pelo apoio e auxílio na realização do presente projeto.

Aos professores Rodrigo de Mello Porto, Ricardo Shall, Lazaro Zuquette, Orêncio Vilar, Benedito Bueno pelos ensinamentos e contribuições dadas a este trabalho.

Às pessoas de estimável valor: Swami Marcondes Villela e Livia Marcondes Villela.

Aos amigos Henrique, Alexandre, Pedro Henrique, Gabriel e Glauce pelo companheirismo e pelo conhecimento emprestado em diversas etapas envolvidas na realização deste trabalho, a quem presto meus sinceros agradecimentos.

Aos amigos do LHC: Anderson, Jorge, Quaresma, Eudes, Marcelo, Luís, Carlos e Paulo pela amizade e pelo auxílio indispensável.

Ao aluno do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Giovanni Chaves Penner, ao aluno do Departamento de Transportes, Anderson Manzoli e aos alunos do Departamento de Geotecnia, Thiago de Paula Alonso e Danilo Pacheco pelo auxílio indispensável, cada qual, para realização de etapas envolvidas neste trabalho.

Aos técnicos do SHS: Roberto (Betão), Miro, Bergamo, Edson, Luis e Francisco pelas dedicações prestadas a este trabalho.

Aos técnicos: Paulinho (Transportes), Zé Luis, Oscar, Antonio e Décio (Geotecnia) pelos auxílios em diferentes etapas deste trabalho.

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, e com sinceros pedidos de desculpas por não citar nomes, devido ao receio de cometer injustiça ainda maior.

*“Projetistas fazem canais, arqueiros airam
flechas, artífices modelam a madeira e o
barro, o homem sábio modela-se a si mesmo”.
(Buda Gautama Sakyamuni)*

*“Nossas possibilidades de conhecimento são muitas e
até, tragicamente pequenas. Sabemos pouquíssimo e,
aquilo que sabemos, sabemo-lo muitas vezes
superficialmente, sem grande certeza. A maior parte
do nosso conhecimento somente é provável. Existem
certezas absolutas, incondicionais, mas estas são
raras”.*

*(J.M. Bochenski, Diretrizes do Pensamento
Filosófico, p.42).*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL.....	4
2.2. RECARGA.....	4
2.2.1. Fundamentação Teórica Introdutória.....	4
2.2.2. Recarga Subterrânea	6
2.2.3. Recarga em Área Urbana	10
2.2.4. Métodos de Estimativa da Recarga.....	12
2.3. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	29
2.3.1. Formulações Empíricas.....	30
2.3.2. Ensaios de Laboratório.....	31
2.3.3. Ensaios de Campo.....	32
2.4. O CONCEITO DE RENDIMENTO ESPECÍFICO.....	38
2.4.1. Representatividade do Rendimento Específico	41
2.5. INTERAÇÃO RIO E AQUÍFERO	44
2.5.1. Sistema Subterrâneo e Superficial	44
3. MATERIAIS E MÉTODOS	54
3.1. LEVANTAMENTO DE DADOS GERAIS	54
3.1.1. Revisão Bibliográfica.....	54
3.1.2. Dados Meteorológicos	55
3.1.3. Dados de Uso e Ocupação.....	55
3.1.4. Sondagens “SPT”	56
3.2. ATIVIDADES DE CAMPO	57
3.2.1. Sondagens “SPT”.....	57
3.2.2. Projeto da Rede de Monitoramento	57
3.2.3. Construção da Rede de Monitoramento de Água Subterrânea.....	58
3.2.4. Coleta de Amostras de Solo para Caracterização Granulométrica.....	60
3.2.5. Determinação da Condutividade Hidráulica	60
3.2.6. Posicionamento Global de Coordenadas.....	63
3.2.7. Monitoramento dos Piezômetros e Frequência de Amostragem.....	64
3.3. ATIVIDADES DE LABORATÓRIO	66

3.3.1. Ensaio Granulométrico do Solo.....	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
4.1. ÁREA DE ESTUDO	72
4.1.1. Caracterização da Área de Estudo	72
4.1.2. Quadro Geológico.....	74
4.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA	80
4.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO LENÇOL FREÁTICO.....	81
4.4. PADRÃO DE PRECIPITAÇÃO.....	85
4.5. VALORES AVALIADOS DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	88
4.6. VALORES ESTIMADOS DO RENDIMENTO ESPECÍFICO	92
4.7. CORRELAÇÃO P VERSUS ΔH	94
4.8. ESTIMATIVA DA RECARGA SUBTERRÂNEA.....	98
4.8.1. WTF	98
4.8.2. Aproximação Darciana.....	101
4.8.3. Balanço Hídrico	104
4.9. COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RECARGA	108
5. CONCLUSÕES	111
5.1. RECOMENDAÇÕES.....	115
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
APÊNDICE A.....	130
APÊNDICE B.....	170
APÊNDICE C.....	172
ANEXO A.....	185
ANEXO B.....	193

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Defasagem da recarga em relação à precipitação (Modificado de Xu e Beekman <i>in</i> Xu e Beekman, 2003).....	8
Figura 2 – Trajetórias de recarga subterrânea em área urbana (Modificado de LERNER, 2002).....	10
Figura 3 – Aumento potencial na recarga para aquíferos livres devido à urbanização (Modificado de LERNER, 2002).....	11
Figura 4 – Elevação hipotética do nível d'água em poço em resposta à precipitação (Modificado de HEALY e COOK, 2002)	18
Figura 5 – Flutuações na recarga e no nível d'água subterrânea (Modificado de XU e BEEKMAN <i>in</i> XU e BEEKMAN, 2003).....	22
Figura 6 – Concentrações de cloreto durante o processo de percolação (Modificado de Kinzelbach <i>et al.</i> , 2002).....	27
Figura 7 – Geometria do piezômetro em solos de alta (esquerda) e baixa (direita) condutividade hidráulica (Modificado de FETTER, 1994).....	34
Figura 8 – Método de Hvorslev (Modificado de FETTER, 1994)	35
Figura 9 – Geometria do poço parcialmente penetrante em aquífero livre	36
Método de Bouwer & Rice (Fetter, 1994).....	36
Figura 10 – Parâmetros adimensionais A, B e C (Modificado de FETTER, 1994)	37
Figura 11 – Esquema ilustrativo para definição do coeficiente de armazenamento de um aquífero não-confinado (Modificado de FREEZE e CHERRY, 1979, TODD, 1980)	40
Figura 12 – Rendimento específico dependente do tempo	41
Figura 13 – Triângulo de classificação textural – Relação entre tamanho da partícula e rendimento específico (Modificado de JOHNSON, 1967 apud FETTER, 1994) ..	43
Figura 14 – Sistema rio-aquífero hidraulicamente conectado e desconectado para o leito colmatado: (a) rio efluente; (b) rio influente; (c) rio desconectado com superfície piezométrica rasa; (d) rio desconectado com superfície piezométrica profunda. (Modificado de SOPHOCLEOUS, 2002)	46
Figura 15 – Condição efluente e influente de rios (A) e mapa idealizado de linhas de fluxos e piezométricas (B) (Modificado de WINTER <i>et al.</i> , 1998).....	47
Figura 16 – Balanço hídrico no canal	50
Figura 17 – Separação idealizada de hidrograma	52
Figura 20 – Perfuração dos piezômetros – Técnica tipo bate-estaca	59
Figura 21 – Bloco de proteção dos piezômetros.....	60
Figura 22 – Metodologias utilizadas para realização do <i>slug test</i>	61
Figura 23 – Equipamentos para medição e armazenamento dos dados de variação do nível d'água.....	62

Figura 24 – Visualização do posicionamento global de coordenadas – GPS	63
Figura 25 – Medidor de nível elétrico (modelo HS-200).....	65
Figura 26 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 1,0 m).....	68
Figura 27 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 4,0 m).....	69
Figura 28 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 7,0 m).....	69
Figura 29 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 9,0 m).....	70
Figura 30 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 10,0 m).....	70
Figura 31 – Perfil litológico do PM 20 – Ensaio Granulométrico.....	71
Figura 18 – Localização das sub-bacias do Gregório e do Tijuco Preto na área urbana de São Carlos, SP.....	73
Figura 19 – Formações e litologias da malha urbana de São Carlos (Adaptado de BORTOLUCCI, 1983)	80
Figura 32 – Modelo digital do terreno	81
Figura 33 – Perfil transversal – Córrego do Gregório	82
Figura 34 – Perfil transversal – Córrego do Tijuco Preto	83
Figura 35 – Variação máxima e mínima do nível d'água em relação à superfície do terreno.....	84
Figura 36 – Comparativo da pluviometria mensal referente ao ano hidrológico em estudo.....	86
Figura 37 – Comparação plurianual mensal de séries históricas de pluviometria.....	87
Figura 38 – Mapa de distribuição espacial pontual da condutividade hidráulica.....	91
Figura 39 – Correlação mensal do Córrego do Tijuco Preto.....	95
Figura 40 – Correlação mensal do Córrego do Gregório	96
Figura 41 – Taxa de recarga versus profundidade máxima do nível d'água.....	100
Figura 42 – Esquema da estimativa de recarga pelo método de Darcy	101
Figura 43 – Localização dos postos vizinhos do Município de São Carlos (em azul) .	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Métodos de estimativa de recarga.....	14
Tabela 2 – Valores de condutividade hidráulica para materiais não-consolidados e puros	30
Tabela 3 – Valores do coeficiente de Hazen	31
Tabela 4 – Valores de rendimento específico para alguns tipos de solos (JOHNSON, 1967 <i>apud</i> TODD, 1980; FETTER, 1994; HEALY e COOK, 2002).....	42
Tabela 5 – Valores do rendimento específico determinado por testes de aquífero (PRICKETT, 1965 <i>apud</i> HEALY e COOK, 2002)	44
Tabela 6 – Classificação de classes de uso e ocupação da Bacia do Gregório – 1998. (Até seção do Fórum).	55
Tabela 7 – Classificação de classes de uso e ocupação da Bacia do Tijuco Preto – 1998. (Até seção da Rui Barbosa).	56
Tabela 8 – Profundidade atingida pelos piezômetros	59
Tabela 9 – Coordenadas espaciais e altimétricas dos piezômetros.....	64
Tabela 10 – Resultados do Ensaio Granulométrico (PM 20) – (Planilha adaptada do modelo padrão do Departamento de Geotecnia/EESC/USP)	68
Tabela 11 – Descrição litológica local do PM 20 – Sondagem SPT	71
Tabela 12 – Variação da profundidade do nível d’água	83
Tabela 13 – Variação piezométrica – 04 de fevereiro de 2004 – 28 de janeiro de 2005.....	87
Tabela 14 – Resultados de condutividade hidráulica através de <i>slug test</i> – 1ª campanha (maio de 2004)	88
Tabela 15 – Resultados da condutividade hidráulica através de <i>slug test</i> – 2ª campanha (dezembro de 2004).....	90
Tabela 16 – Valores médios da condutividade hidráulica através de <i>slug test</i> (duas campanhas)	91
Tabela 17 – Valores avaliados para o rendimento específico com base no tipo de material presente na região do filtro do piezômetro.....	93
Tabela 18 – Valores avaliados para o rendimento específico através da equação empírica de BIECINSKI.....	94
Tabela 19 – Dados de variação mensal do nível d’água dos piezômetros	95
Tabela 20 – Coeficientes de correlação e valores de armazenamento de água no solo com base mensal	96
Tabela 21 – Coeficientes de determinação e correlação com base semanal	97
Tabela 22 – Taxa de recarga estimada pelo Método WTF.....	100
Tabela 23 – Valores estimados de recarga com a Aproximação de Darcy	102
Tabela 23 – Valores estimados para a Evapotranspiração Potencial – Fev/2004 a Jan/2005.....	105

Tabela 24 – Cálculo do balanço hídrico segundo THORNTHWAITE-MATHER (1955)	
.....	106
Tabela 25 – Valores do escoamento superficial – <i>runoff</i> (NIBH).....	106
Tabela 26 – Balanços hídricos das médias mensais – Estimativa de valores para o município de São Carlos.....	108

RESUMO

MAZIERO, T. A. (2005). *Monitoramento de Água Subterrânea em Área Urbana: Aspectos Quantitativos*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os aspectos quantitativos da água subterrânea (recarga, parâmetros hidráulicos e variáveis envolvidas para essa quantificação) no aquífero freático de uma área intensamente urbanizada. Duas sub-bacias contíguas do Rio Monjolinho (Bacia do Córrego do Gregório e Bacia do Córrego do Tijuco Preto), localizadas na região central do município de São Carlos - SP, foram escolhidas como área de estudo. As bacias cobrem uma área de 22,8 km² e apresentam índice de impermeabilização total estimado de 72,5%.

Para este estudo foi instalada uma Rede de Monitoramento Permanente, composta por 20 piezômetros. Os dados de nível freático foram coletados com frequência semanal no período de 1 ano hidrológico (fevereiro de 2004 a janeiro de 2005). Os métodos utilizados para a estimativa da recarga foram: *Water Table Fluctuation* (WTF) e Aproximação *Darcyana* com base na variação do nível freático, e o Balanço Hídrico, utilizando dados de três estações hidrometeorológicas localizadas no interior dos limites das bacias. Os valores de condutividade hidráulica de cada piezômetro, utilizados na Aproximação *Darcyana*, foram determinados com a técnica *slug test*, variando de $2,6 \cdot 10^{-7}$ a $6,0 \cdot 10^{-5}$ m/s. Os valores de rendimento específico, utilizados no Método WTF, foram estimados pela equação empírica de BIECINSKI, com variação de 0,07 a 0,15.

A recarga efetiva estimada pelo Método WTF representou 16,4% da precipitação (1596,5 mm) ocorrida durante o ano hidrológico, enquanto que a recarga efetiva estimada pela Aproximação *Darcyana* representou 16,3% da precipitação. No método do Balanço Hídrico foi obtida uma recarga potencial de 277,0 mm, equivalente a 17,4% do total de chuvas do ano hidrológico considerado.

Os resultados apresentados fornecem subsídios para uso racional dos recursos hídricos subterrâneos, assim como incentivam o desenvolvimento de novas pesquisas na área de aquíferos em centros urbanos.

Palavras-chave: água subterrânea, área urbana, monitoramento, recarga.

ABSTRACT

MAZIERO, T. A. (2005). *Monitoring of Groundwater in Urban Areas: Quantitative Aspects*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

The objective of this work was to evaluate groundwater recharge (rate, hydraulic parameters and related variables necessary for estimation) in an unconfined aquifer of a highly urbanized area. The study area is composed by two contiguous sub-basins (Gregório Creek and Tijuco Preto Creek) in Córrego do Monjolinho Basin, located in São Carlos (Brazil). The total area of these basins is 22.8 km² with an estimated impermeabilization coefficient of 72.5%.

For this study a permanent monitoring network composed by 20 piezometers was constructed. Data collection was performed during one hydrologic year (February 2004 to January 2005). The recharge rate was estimated by Water Table Fluctuation (WTF), Darcyan Approach and Water Balance. The hydraulic conductivity, used as input in the Darcyan Approach, was determined by slug tests performed in each piezometer, ranging from $2.6 \cdot 10^{-7}$ m/s to $6.0 \cdot 10^{-5}$ m/s. The specific yield, which is necessary for the WTF method, was evaluated using BIECINSKI's varying between 0.07 and 0.15.

The recharge rate estimated by WTF amounts to 16.4% of the annual precipitation (1596.5 mm) observed in the considered hydrologic year, while the Darcyan Approach indicates a rate of 16.3%. The Water Balance Method, based on data obtained from three hydrometeorological stations located inside the watersheds, results in a potential recharge rate of 277.0 mm. This value represents 17.4% of the observed precipitation in the period.

The results obtained in this work may be used as support to groundwater resources management in urban area or as reference for future research works in the field.

Keywords: groundwater, urban area, monitoring, recharge.

1. INTRODUÇÃO

Há nos dias atuais uma crescente necessidade de um melhor entendimento dos aspectos quantitativos envolvidos na caracterização da água subterrânea visando o desenvolvimento sustentável de sistemas aquíferos.

No Brasil, o conhecimento sobre as peculiaridades dos processos e parâmetros envolvidos na caracterização quantitativa do recurso subterrâneo ainda é escasso. Os fatores responsáveis por essa escassez estão diretamente vinculados ao “tradicionalismo brasileiro”, que inicialmente priorizou os recursos superficiais frente às necessidades energéticas; um segundo fator resulta do fato de as legislações sobre recursos hídricos atualmente existentes no país serem basicamente direcionadas para características restritas às águas superficiais.

No presente século, algumas resoluções foram decretadas a fim de estabelecer diretrizes complementares aos aspectos falhos existentes na Lei Federal 9 433, de 8 de janeiro de 1997, e prover uma maior abrangência sobre as peculiaridades dos recursos subterrâneos.

A resolução Nº. 22 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), de 24 de maio de 2002, refere-se, em seu Art. 4, ao monitoramento dos recursos subterrâneos, e relata que os Planos de Recursos Hídricos, elaborados por bacia hidrográfica, devem contemplar o monitoramento da quantidade e qualidade dos recursos dos aquíferos, com os resultados devidamente apresentados em mapa e a definição mínima de: I. Rede de monitoramento dos níveis d'água dos aquíferos e de sua qualidade; II. Densidade dos pontos de monitoramento; e III. Frequência de monitoramento dos parâmetros.

Apesar da crescente busca de entendimento dos conceitos relacionados à água subterrânea em centros urbanos, existem ainda diversas lacunas que devem ser preenchidas, principalmente, quanto à caracterização quantitativa dos recursos subterrâneos anualmente renováveis.

A quantificação subterrânea em áreas urbanas teve grande repercussão como consequência da crescente urbanização e conseqüente impermeabilização do solo, do

crescente aumento de exploração da água subterrânea, do problema decorrente da poluição de aquíferos e do aumento de enchentes nos grandes centros urbanos. O estudo da estimativa da recarga subterrânea e das conexões entre os recursos hídricos existentes, em determinada área, fornece os subsídios necessários para o aproveitamento racional da água subterrânea, e ainda provêem elementos quantitativos para localização de obras hidráulicas e civis de diferentes fins.

A avaliação da recarga subterrânea é um dos desafios fundamentais para o desenvolvimento sustentável (quantitativamente, a exploração não deve exceder a taxa de recarga) de aquíferos. Em centros urbanos, a estimativa de recarga é agravada pelo incremento de novas fontes e trajetórias de recarga, como os vazamentos das redes de água e esgoto.

Os recursos hídricos subterrâneos e superficiais não são componentes isolados do sistema hidrológico. Os aquíferos não-confinados exercem influência indispensável na regularização das vazões dos cursos d'água nos períodos secos ou de estiagem, sendo responsáveis, em grande parte, pela perenidade desses cursos d'água. Em área urbana, os processos de trocas entre esses sistemas são mais complexos, podendo ser citada a canalização de córregos.

A quantificação da água subterrânea é uma tarefa árdua e de precisão duvidosa. No entanto, um sistema de monitoramento integrado (monitoramento dos recursos superficiais e subterrâneos e monitoramento hidrológico) tende a reduzir as incertezas envolvidas. Na busca do conhecimento aperfeiçoado e dinâmico, o monitoramento integrado é um item da proposta de gestão integrada dos recursos hídricos.

No intuito de disseminar a propagação dos conhecimentos sobre a água subterrânea, o presente estudo busca contribuir para a caracterização dos aquíferos livres ou não-confinados localizados em área urbana, através do desenvolvimento do conhecimento dos parâmetros quantitativos dos aquíferos, e conseqüentemente da conscientização do uso racional dos recursos hídricos subterrâneos. A escolha de escala, ou seja, da priorização do enfoque nos aquíferos livres justifica-se no fato de que os processos de recarga são melhores evidenciados. Não se pretende finalizar ou mesmo pormenorizar os aspectos envolvidos no estudo sobre água subterrânea, mas de maneira clara e objetiva abordar os principais fatores de ordem quantitativa relevantes sobre este importante recurso hídrico.

A área escolhida para o estudo foi o ambiente urbano das sub-bacias do Gregório e do Tijuco Preto, no município de São Carlos, SP. As sub-bacias hidrográficas

apresentam intensa urbanização (cerca de 70%) e constantes problemas de enchentes. Outros fatores como o elevado índice de impermeabilização contribuindo para o aumento do escoamento superficial e reduzindo o potencial de recarga do aquífero freático, o aumento do potencial de poluição dos aquíferos induzido por atividades humanas e o efeito da canalização de córregos, impedindo assim a possível conexão entre os recursos superficiais e subterrâneos, foram motivos que contribuíram para o estudo nessa área.

O objetivo principal deste trabalho foi estudar os principais fatores de ordem quantitativa da água subterrânea através da construção de uma rede de monitoramento em área urbana.

O objetivo específico foi definido no intuito de caracterizar o aquífero livre na área de estudo, a fim de disseminar conceitos quantitativos sobre o tema água subterrânea. A principal atividade desenvolvida, para este fim, foi:

- Estimativa da recarga subterrânea no período correspondente a um ano hidrológico;

Podemos ainda dizer que existiram objetivos secundários, definidos assim, de modo a caracterizar parâmetros envolvidos na estimativa do objetivo específico. Assim os principais objetivos secundários foram:

- Determinação da condutividade hidráulica saturada;
- Avaliação do rendimento específico ou coeficiente de armazenamento (para o caso de aquífero freático);
- Reconhecimento de aspectos geotécnicos locais;
- Seleção de dados hidrometeorológicos;

2. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

A revisão bibliográfica visou o entendimento de diversos fatores envolvidos na caracterização de aquíferos freáticos. Para facilitar a apresentação deste estudo, a revisão bibliográfica foi dividida em quatro tópicos principais:

1. Recarga

São apresentados definições e fontes de recarga, as complexidades da recarga urbana e os métodos freqüentemente utilizados para estimativas de recarga.

2. Condutividade Hidráulica

São descritos os inconvenientes dos métodos empíricos e de laboratório, e a maior representatividade espacial dos métodos de campo. Acrescenta-se ainda uma revisão da técnica *slug test* e alguns métodos de análise dessa técnica.

3. Rendimento Específico

São desenvolvidos os conceitos de rendimento específico, coeficiente de armazenamento, porosidade efetiva, capacidade de campo e retenção específica. Esta revisão visa uniformizar o termo rendimento específico empregado na quantificação da recarga subterrânea, e definir o valor representativo deste parâmetro para o presente estudo.

4. Interação Rio e Aquífero

São apresentados as conexões possíveis entre rio e aquífero e os métodos freqüentemente usados para avaliar as trocas entre esses elementos hídricos.

2.2. RECARGA

2.2.1. Fundamentação Teórica Introdutória

Os estudos de recarga são fundamentais para a estimativa do volume de recursos hídricos subterrâneos anualmente renováveis e têm implicações diretas no planejamento e gestão integrada de recursos hídricos regionais.

A recarga pode ocorrer naturalmente pela precipitação, por rios, canais e lagos, fluxos interaçuíferos e via fenômenos induzidos por atividades humanas, como a irrigação e a urbanização (LERNER *et al.*, 1990). A precipitação é a principal fonte de recarga para aquíferos (FETTER, 1994). Uma vez atingida a superfície, a precipitação proporciona a água necessária para umedecimento do solo e para escoamento superficial, assim como para percolação profunda ao nível freático.

Entre as muitas áreas de conhecimento que afetam a recarga subterrânea com origem na precipitação estão a climatologia, a hidrologia, a cobertura vegetal e a hidrogeologia, assim como a condutividade hidráulica e o teor de umidade do solo. Algumas dessas áreas são investigadas em campo, como a precipitação, cobertura vegetal, distribuição de formações geológicas e nível d'água subterrânea. Outras como curvas características de umidade do solo, são obtidas por experimentos de laboratório (GAU e LIU, 2000).

Scanlon *et al.* (2002) afirmaram que a quantificação da recarga é fortemente influenciada pelas condições climáticas, mencionando que regiões de clima úmido são normalmente caracterizadas por uma superfície freática rasa, rios efluentes e recarga difusa. As taxas de recarga nestas regiões são freqüentemente limitadas pela capacidade do aquífero transmitir e armazenar água, processos que são fortemente influenciados pela geologia. Por outro lado, regiões de clima seco apresentam, normalmente, uma superfície freática profunda, rios influentes e recarga concentrada. As taxas de recarga são limitadas em grande parte pela água disponível na superfície do terreno, que é controlada por fatores climáticos, como a precipitação e evapotranspiração e pelas características geomorfológicas superficiais (topografia, solo e cobertura vegetal).

A determinação da recarga subterrânea é uma difícil tarefa, sendo consequência da variabilidade temporal da precipitação e da variabilidade espacial das características do solo, topografia, vegetação e uso do solo (LERNER *et al.*, 1990). Além disso, as taxas de recarga são, geralmente, pequenas quando comparadas à precipitação média anual ou com a evapotranspiração, resultando um alto grau de incerteza.

A alta variabilidade da recarga para curtos intervalos de tempo não é tão crítica como, geralmente, exposto; valores anuais de recarga podem ser convertidos em valores mensais pela aplicação do coeficiente médio anual da recarga à precipitação mensal (BREDENKAMP e XU *in* XU e BEEMAN, 2003). Assim, aproximações simples podem revelar muitos detalhes sobre a recarga, e proporcionar um melhor uso do recurso subterrâneo.

A primeira etapa de um estudo de recarga é a coleta de dados (climáticos, hidrológicos, geomorfológicos e geológicos) em determinada área. Estes dados são usados para desenvolver um modelo conceitual de recarga no sistema. O modelo conceitual deve descrever a área, a escala temporal desejada e os mecanismos prováveis de fluxo e proporcionar uma estimativa inicial da taxa de recarga esperada (LERNER *et al.*, 1990; SCANLON *et al.*, 2002; BEEKMAN e XU *in* XU e BEEMAN, 2003; PARALTA *et al.*, 2003).

Existe uma diversidade de métodos para estimativa da recarga. Estes métodos produzem estimativas ao longo de várias escalas de tempo e espaço e preenchem uma gama de complexidades e adversidades (HEALY e COOK, 2002).

Uma preocupação à aplicação dos métodos para estimativa da recarga é a dificuldade em avaliar a incerteza associada com qualquer estimativa (HEALY e COOK, 2002). Diversos autores (LERNER *et al.*, 1990; BEEKMAN *et al.*, 1996; De VRIES e SIMMERS, 2002; SCANLON *et al.*, 2002; HEALY e COOK, 2002) propuseram a aplicação simultânea de diversos métodos de estimativa de recarga, objetivando minimizar as incertezas e obter a consistência nos resultados, que, no entanto, não deve ser entendida como um indicativo de precisão.

2.2.2. Recarga Subterrânea

A recarga subterrânea pode ser definida como a infiltração descendente de água através do solo e/ou do fluxo sub-superficial lateral de unidades hidrológicas adjacentes (BREDENKAMP *et al.*, 1995).

Uma dificuldade, geralmente percebida é a confusão entre o termo recarga e o termo infiltração. Por isso, definimos **infiltração** como sendo o movimento de água da superfície para dentro do subsolo enquanto que a **recarga** pode ser definida como sendo a parcela da infiltração que realmente atinge o nível piezométrico por alguma direção (inferior, superior ou lateralmente) (RUSHTON e WARD, 1979; LERNER *et al.*, 1993).

De um modo geral, podem ser distinguidos dois tipos de recarga: recarga direta e recarga indireta. Segundo LERNER *et al.* (1990) a recarga direta tem origem na precipitação e a recarga indireta pode ser dividida em duas categorias: uma associada aos cursos d'água superficiais e outra localizada, resultante da concentração de água na superfície do terreno. Ainda em relação a esta divisão, de Vries e Simmers (2002) discutiram uma divisão conceitual em três tipos referenciados à distribuição espacial:

- Recarga Direta: é um processo uniformemente distribuído que acontece abaixo do ponto de impacto da precipitação por movimento vertical através da zona não-saturada;
- Recarga Indireta: descreve os processos onde a recarga ocorre por características introduzidas pela urbanização, assim como por rios e depressões de superfícies topográficas (reservatórios, lagos, etc.).
- Recarga Localizada: é um processo pontual de recarga, em que a água move-se em curtas distâncias lateralmente antes da infiltração.

Scanlon *et al.* (2002) comentaram que os estudos de estimativa de recarga baseados em dados da zona superficial e da não-saturada proporcionam estimativas da recarga potencial, enquanto que os estudos que se fundamentam em dados da zona saturada proporcionam, geralmente, estimativas da recarga real. Rushton (1997) afirmou que a recarga potencial está sujeita à água infiltrada poder ou não atingir o nível freático, devido a processos inerentes à zona não-saturada ou da habilidade da zona saturada aceitar ou não a recarga.

A recarga é governada por um complexo balanço entre diversos componentes do ciclo hidrológico, cada qual é uma função de diversos fatores controladores (BREDENKAMP e XU *in* XU e BEEKMAN, 2003):

- Precipitação: f (intensidade, frequência, variabilidade, distribuição espacial);
- Evapotranspiração: f (temperatura, vento, umidade);
- Descarga: f (interfluxo, nascentes, fluxo de base, fluxo lateral e descarga artificial);
- Bacia Hidrográfica: f (tipo de solo, espessura, distribuição espacial, características topográficas, vegetação);
- Geologia: f (tipos de formação, características da rede de fraturas).

A água efetivamente infiltrada não é, necessariamente, o resultado de um único evento de chuva, mas pode representar uma série de precedentes eventos de chuva. Dependendo das características do aquífero, parte da água infiltrada pode provocar uma elevação no nível freático, e conseqüentemente um aumento no gradiente de descarga.

Diversos estudos da estimativa de recarga, geralmente, comparam eventos de chuva diretamente com níveis de água subterrânea, se acaso acontecerem flutuações do nível freático (WENZEL, 1936; SOPHOCLEOUS, 1991; BREDENKAMP *et al.*, 1995; WU *et al.*, 1996). Porém, Xu e van Tonder (2001) demonstraram que é freqüentemente difícil relacionar mudanças no nível d'água diretamente com eventos de chuva,

particularmente, quando flutuações do nível d'água estão em defasagem com a precipitação.

Xu e Beekman *in* Xu e Beekman (2003) justificaram esta defasagem à propagação tridimensional de umidade no solo, sendo que a duração do evento de recarga prolonga-se com o aumento da espessura da zona não-saturada (Figura 1).

Figura 1 – Defasagem da recarga em relação à precipitação (Modificado de Xu e Beekman *in* Xu e Beekman, 2003)

Assim, se os métodos que relacionam eventos de chuva diretamente com níveis de água subterrânea forem aplicados durante esse intervalo de defasagem, toda a água que contribui para a recarga deve ser considerada. Para curtos períodos de tempo (horas ou alguns dias), supõe-se que a água infiltrada entra imediatamente em armazenamento, e é este intervalo para o qual a aplicação do método é mais apropriada. O intervalo de defasagem é crítico para o sucesso deste método. Se a água é transportada ao nível d'água a uma taxa significativamente mais lenta, então o método é de pouco valor. No entanto, se uma função for introduzida para acomodar a defasagem de umidade pela zona não-saturada para nível freático o método pode ser de grande valia (HEALY e COOK, 2002).

A medida de flutuações do nível d'água em piezômetros e em poços de observação são uma faceta importante de muitos estudos de água subterrânea. No entanto, oscilações no nível d'água podem resultar de uma variedade de fenômenos hidrológicos, alguns naturais e alguns induzidos pelo homem. Em muitos casos, pode haver mais do que um mecanismo operando simultaneamente, e para que as medidas sejam interpretadas corretamente é importante o entendimento dos vários fenômenos atuantes. Além disso, há uma variedade de fenômenos (evapotranspiração, pressão atmosférica, variações na temperatura, bombeamento de poços e mudanças naturais ou induzidas na superfície freática) que podem conduzir a flutuações do nível d'água, e não representarem a verdadeira recarga subterrânea (FREEZE e CHERRY, 1979).

A resposta do nível d'água a uma dada precipitação é uma função de muitos fatores hidrogeológicos. Os fatores mais críticos são a profundidade do nível d'água, a estrutura e textura da zona não-saturada e as características da chuva. Podem ser distinguidos os seguintes tipos de respostas do nível d'água a uma dada chuva (XU e BEEKMAN in XU e BEEMAN, 2003):

- Resposta rápida: dentro de horas, dias ou um mês da chuva intensa. Neste caso, a recarga acontece regularmente via fluxos preferenciais;
- Resposta intermediária: intervalo de tempo de um ou dois anos. Neste caso, a recarga acontece regularmente através de trajetórias de fluxo direto e indireto;
- Resposta lenta: muito mais tempo. Neste caso, a recarga acontece regularmente por trajetórias de fluxo difuso.

A recarga não pode ser medida diretamente, por isso esta quantificação é freqüentemente sujeita a erros (KETCHUM *et al.*, 2000). Segundo Lerner *et al.* (1990) os erros mais freqüentes em estimativas de recarga são:

- Modelo conceitual incorreto;
- Variabilidade espacial e temporal negligenciada;
- Erros de medidas;
- Erros de cálculo.

Para aplicação de qualquer método de estimativa de recarga, todos os fatores e fatos citados acima devem ser considerados, ou ao menos previstos. Em área urbana, a estimativa da recarga é ainda mais complexa, principalmente devido à presença de diversas fontes e trajetórias de recarga.

2.2.3. Recarga em Área Urbana

Ambientes urbanos alteram significativamente a natureza da recarga nos respectivos aquíferos subjacentes. As fontes e percursos da recarga subterrânea em áreas urbanas são mais numerosos e complexos do que em ambientes rurais (Figura 2). A precipitação direta é reduzida, porém pode haver contribuições adicionais a partir do aumento do escoamento superficial, assim como de fontes introduzidas pela urbanização, como vazamentos da rede de água e esgoto (BARRETT *et al.*, 1999).

Dentre os estudos realizados em centros urbanos para quantificar a recarga subterrânea destacam-se: Lerner *et al.* (1986), Lerner *et al.* (1993), Greswell *et al.* (1994), Barrett *et al.* (1999) e Yang *et al.* (1999). No Brasil, podemos citar o estudo de Menegásse-Velásquez (1996).

O complexo e sempre mutável ambiente urbano dificulta a identificação de fontes e trajetórias da recarga, assim como a estimativa da contribuição total para o balanço hídrico subterrâneo (BARRETT *et al.*, 1999).

Figura 2 – Trajetórias de recarga subterrânea em área urbana (Modificado de LERNER, 2002)

No meio urbano existem grandes áreas impermeáveis, no entanto esta perda de áreas favoráveis à infiltração, é compensada ou mesmo superada pela existência de diversas fontes de recarga indireta. A infra-estrutura do saneamento básico (abastecimento de água e rede coletora de esgotos) e a drenagem pluvial geram grandes quantidades de recarga por vazamentos. Em quase todos os ambientes (Figura 3), a urbanização conduz a um aumento na recarga (LERNER, 2002).

Figura 3 – Aumento potencial na recarga para aquíferos livres devido à urbanização (Modificado de LERNER, 2002)

As principais fontes extras de recarga, introduzidas em área urbana são (LERNER *et al.*, 1990):

- Vazamentos do sistema de distribuição de água;
- Irrigação de parques públicos e residenciais;
- Vazamentos do sistema de drenagem pluvial;
- Vazamentos de sistemas de efluentes domésticos e industriais;
- Infiltração concentrada em enchentes (lançamento da água pluvial e de efluentes no leito do rio).

Em relação às diversas fontes indiretas de recarga, Lerner (2002) afirmou que os efeitos resultantes das perdas da rede de água são mais importantes do que os efeitos provocados por vazamentos da rede de esgoto. Taxas de vazamentos de 20 a 25% são comuns, e taxas acima de 50% já foram observadas em redes de abastecimento, resultando em grandes montantes de recarga (LERNER, 1986).

A principal fonte adicional de recarga em área urbana é a relacionada ao uso da água, através de vazamentos da rede de água e fossas sépticas (se existirem). Mas, infelizmente, a complexidade do terreno e o transporte de água urbano tornam difíceis estimar a recarga urbana com razoável precisão. A complexidade de centros urbanos e a escassez de dados culminam em altos graus de incertezas na estimativa de recarga (LERNER, 2002).

2.2.4. Métodos de Estimativa da Recarga

Há muitos métodos disponíveis para quantificar a recarga subterrânea assim como há diferentes fontes e processos de recarga. Cada método tem suas próprias limitações em termos de aplicabilidade e confiança. Por isso, um estudo de quantificação da recarga subterrânea deve prever a seleção do método apropriado de acordo com as escalas de tempo e espaço requeridas (SCANLON *et al.*, 2002).

A escolha de um método apropriado para uma determinada área envolve uma complexa caracterização temporal e espacial. O resultado é que, enquanto um método pode ser aplicado em estudos específicos, o outro pode ser melhor em estudos regionais; enquanto que um método representa um curto intervalo temporal, por exemplo, de evento de recarga diário/mensal/anual, o outro representa um intervalo temporal maior, variando de décadas a milhares de anos (BEEKMAN e XU *in* XU e BEEKMAN, 2003).

Os métodos mais utilizados e promissores para estimativa da recarga, atualmente, são o Método do Balanço de Massa de Cloreto (CMB – *Chloride Mass Balance*), o Método da Precipitação Cumulativa (CRD – *Cumulative Rainfall Departure*), o Método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF – *Water Table Fluctuation*), a Modelação Subterrânea (GM – *Groundwater Modelling*), o Método EARTH (*Extended model for Aquifer Recharge and Moisture Transport through unsaturated Hardrock*) e o Método de Flutuação do Volume Saturado (SVF – *Saturated Volume Fluctuation*). Particularmente, os métodos baseados em relações entre

precipitação e variações da superfície piezométrica têm um maior potencial de prever a recarga subterrânea (BEEKMAN e XU *in* XU e BEEKMAN, 2003).

Em área urbana, os métodos utilizados para estimar a recarga em escala local incluem o uso de flutuações do nível d'água e traçadores químicos, principalmente. Em estudos em escala regional o interesse não é mais identificar fontes individuais de recarga, e sim mostrar que fontes individuais (como vazamento da rede de água e esgoto) existem e têm um impacto na estimativa da recarga urbana. O uso de traçadores químicos e do balanço hídrico são prováveis de serem os únicos métodos viáveis a esta escala (LERNER, 2002).

Scanlon *et al.* (2002) dividiram as estimativas de recarga em três regiões: zona superficial, zona não-saturada e zona saturada. Dentro de cada região, as técnicas, freqüentemente, utilizadas para estimar a recarga subterrânea são métodos físicos, traçadores (químicos, naturais e isótopos) e modelação numérica/matemática (SOPHOCLEOUS, 1991; SCANLON *et al.*, 2002). A Tabela 1 descreve as regiões e os respectivos métodos.

O processo de estimativa de recarga é iterativo e envolve refinamentos contínuos da taxa de recarga quando dados adicionais são coletados. Por isso, a confiança das estimativas é freqüentemente questionável, resultado de hipóteses simplificadoras e incertezas de alguns parâmetros requeridos. Dado ao atual estado da ciência, a precisão de qualquer método é extremamente difícil de ser avaliada. Visto esta dificuldade, a redução das incertezas e o aumento da confiança em estimativas de recarga são atingidos quando são aplicados diversos métodos (LERNER *et al.*, 1990; BEEKMAN *et al.*, 1996; de VRIES e SIMMERS, 2002; HEALY e COOK, 2002; SCANLON *et al.*, 2002).

A seguir são discutidos e apresentados alguns métodos de interesse prático na estimativa de recarga subterrânea, aplicados principalmente à zona saturada. Para facilidade de compreensão, os métodos foram divididos em: métodos físicos, métodos químicos e métodos numérico-matemáticos.

Tabela 1 – Métodos de estimativa de recarga

ZONA	TÉCNICAS	MÉTODO	DESCRIÇÃO	REFERÊNCIAS
SUPERFICIAL	FÍSICAS	CWB	Aplicação do balanço hídrico a um trecho do canal.	11
		SM	Determinação da taxa de infiltração a partir da variação do volume de água no infiltrômetro.	10
		BF	Separação do escoamento de base a partir da hidrógrafa de uma seção do canal.	22, 26
	TRAÇADORES	Heat	A variação de temperatura pode ser usada para estimativa da recarga	14, 17
		Isotopic	Os isótopos estáveis ^{16}O e ^2H podem ser usados para identificar a recarga de rios e lagos.	19
	NUMÉRICAS	WM	A recarga é estimada como um termo residual do modelo precipitação-escoamento superficial.	15
NÃO-SATURADA	FÍSICAS	Lysimeter	Utilização de lisímetros. No entanto, lisímetros são mais apropriados para cálculo da evapotranspiração.	4, 27
		ZFP	Simplificação do balanço hídrico no solo abaixo do ZPF (gradiente hidráulico vertical é igual a zero)	4, 8, 13, 16
		Darcy's Law	Aplicação da Lei de Darcy. Obs.: A condutividade hidráulica varia com o teor de umidade do solo.	12, 18
	TRAÇADORES	CMB	A recarga é estimada a partir do balanço de massa de cloreto na água de chuva e no perfil do solo.	2, 4, 6, 8, 16
		Historical	Análise da distribuição do traçador (^3H e ^{36}Cl) como um resultado de atividades acontecidas no passado.	2, 4, 8, 17
	NUMÉRICAS	UFM	Simulação do fluxo não-saturado, por exemplo, usando a equação de Richards.	4, 11
SATURADA	FÍSICAS	WTF	As variações do nível d'água são proporcionais a recarga/descarga.	4, 9
		CRD	A resposta do nível d'água para recarga é proporcional à precipitação acumulada.	4, 25
		RIB	Melhoramento do CRD, incorporando ajustes de tendências das séries de precipitação.	24
		SVF	Estima a recarga a partir da variação do volume de armazenamento no aquífero.	4
		EV-SF	Balanço hídrico em escala da bacia hidrográfica.	4
		Darcy's Law	Aplicação da Lei de Darcy.	3
	TRAÇADORES	CMB	A recarga é estimada a partir do balanço de massa de cloreto na água de chuva e na água subterrânea.	1, 5, 7, 15, 23
		GD	A recarga é derivada a partir da presença histórica de traçadores na água subterrânea.	2, 16, 21
	NUMÉRICAS	EARTH	Modelo de parâmetros hidrológicos usado na simulação da recarga e evolução piezométrica.	4, 20
		GM	A recarga é derivada a partir de modelo de fluxo de água subterrânea.	4, 8
<div><div><div>CWB: Channel Water Budget</div><div>BF: Baseflow</div><div>SM: Seepage Meters</div><div>ZFP: Zero Flux Plane</div><div>CMB: Chrolide Mass Balance</div><div>UFM: Unsaturated Flow Modelling</div><div>WTF: Water Table Fluctuation</div><div>GM: Groundwater Modelling</div></div><div><div>CRD: Cumulative Rainfall Departure</div><div>RIB: Rainfall Infiltration Breaktrough</div><div>SVF: Saturated Volume Fluctuation</div><div>EV-SF: Equal Volume - Spring Flow</div><div>GD: Groundwater Dating</div><div>EARTH: Extended model for Aquifer Recharge and Moisture Transport through Unsaturated Hardrock</div></div></div>				

¹ Bazuhair e Wood, 1996	¹⁰ Lee e Cherry, 1978	¹⁹ Taylor <i>et al.</i> , 1992
² Beekman <i>et al.</i> , 1996	¹¹ Lerner <i>et al.</i> , 1990	²⁰ Van der Lee e Gehrels, 1997
³ Belan e Matlock, 1973	¹² Nimmo <i>et al.</i> , 1994	²¹ Weaver e Talma, 1999
⁴ Bredenkamp <i>et al.</i> , 1995	¹³ Richards <i>et al.</i> , 1956	²² Wittenberg e Sivapalan, 1999
⁵ Edmunds e Gaye, 1994	¹⁴ Ronan <i>et al.</i> , 1998	²³ Wood e Sanford, 1995
⁶ Eriksson e Khunakasem, 1969	¹⁵ Sami e Hughes, 1996	²⁴ Xu e Beekman, 2003
⁷ Gaye e Edmunds, 1996	¹⁶ Selaolo, 1998	²⁵ Xu e Van Tonder, 2001
⁸ Gieske, 1992	¹⁷ Stallman, 1964	²⁶ Xu <i>et al.</i> , 2002
⁹ Healy e Cook, 2002	¹⁸ Stephens e Knowlton, 1986	²⁷ Young <i>et al.</i> , 1996

Fonte: Scanlon *et al.*, 2002; Beekman e Xu *in* Xu e Beekman, 2003 ; entre outros.

2.2.4.1. Métodos Físicos

Dentre os métodos físicos destacam-se o método do Balanço Hídrico, o método WTF, o método CRD, o método RIB, a aproximação de Darcy, o modelo EARTH e o método SVF.

2.2.4.1.1. Método do Balanço Hídrico

O método do Balanço Hídrico tem sido extensivamente usado para estimativas quantitativas dos recursos hídricos e dos impactos de atividades humanas no ciclo hidrológico. O balanço hídrico de uma área é definido pela equação hidrológica, que é basicamente uma condição da “Lei de Conservação de Massa” aplicada para o ciclo hidrológico. O método considera que outros fluxos podem ser medidos ou estimados mais facilmente do que a própria recarga, que assim constitui no termo residual de todos os outros fluxos da formulação.

Alguns trabalhos recomendaram um balanço hídrico total da bacia hidrográfica para estimativa de recarga quando todos os mecanismos envolvidos são considerados e avaliados (SOKOLOV e CHAPMAN, 1974; MILES e RUSHTON, 1983; SIMMERS, 1989; WRIGHT e XU, 2000; KHAZAEI *et al.*, 2003). Assim, são incorporados no modelo todos os fatores que influenciam a recarga na bacia considerada, como a precipitação, a evapotranspiração, o escoamento superficial e o fluxo interaçuífero (SENARATH e RUSHTON, 1984).

A formulação do balanço hídrico permite avaliar quantitativamente fontes individuais de água no sistema, ao longo de diferentes períodos de tempo, e estabelecer o grau de variação no regime d’água devido às mudanças nos componentes do sistema.

O balanço hídrico para uma bacia pode ser escrito como:

$$P + Q_{on} = ET + Q_{off} + \Delta S \quad (1)$$

onde P é a precipitação; Q_{on} e Q_{off} são a entrada e saída de fluxo da área, respectivamente; ET é a evapotranspiração; ΔS é a variação no armazenamento de água. Todos os componentes da Eq. (1) podem ser divididos em sub-componentes. A entrada e saída de água da área são escritas como a soma do fluxo superficial e fluxo subterrâneo; a evapotranspiração pode ser dividida em relação à fonte de evaporação da água (superficial – sw, zona não-saturada – uz – e zona saturada – gw); o armazenamento ocorre em reservatórios superficiais, na zona não-saturada e na zona saturada. Reescrevendo a Eq. (1) para incorporar muito desses componentes, temos:

$$P + Q_{on}^{sw} + Q_{on}^{gw} = ET^{sw} + ET^{uz} + ET^{gw} + R_0 + Q_{off}^{gw} + Q^{bf} + \Delta S^{sw} + \Delta S^{uz} + \Delta S^{gw} \quad (2)$$

onde os índices subscritos referem-se aos sub-componentes descritos acima, R_0 é o fluxo superficial na área e Q^{bf} é o fluxo de base (descarga subterrânea para rios ou nascentes).

O balanço hídrico subterrâneo de uma região requer a quantificação de todos os fluxos de entrada e saída do sistema aquífero e as mudanças no armazenamento para um dado período de tempo. Para a zona saturada a equação pode ser escrita como (SCHICT e WALTON, 1961 *apud* SCANLON *et al.*, 2002):

$$R = \Delta S^{gw} + Q^{bf} + ET^{gw} + Q_{off}^{gw} - Q_{on}^{gw} \quad (3)$$

onde R é a recarga, ΔS^{gw} é a variação no armazenamento sub-superficial, Q^{bf} é o fluxo de base, ET^{gw} é a evapotranspiração subterrânea, e $Q_{off}^{gw} - Q_{on}^{gw}$ é o fluxo líquido sub-superficial da área de estudo e inclui efeitos de bombeamento. Todas as variáveis são expressas como taxas (por exemplo, mm/ano).

Pode-se dizer que a recarga é um parâmetro difícil de ser determinado com total confiança pelo método do Balanço Hídrico, visto a dependência dos níveis d'água na recarga subterrânea e no armazenamento do aquífero.

As maiores vantagens dos métodos de balanço hídrico residem no fato da utilização de dados, geralmente, disponíveis (precipitação, escoamento superficial, níveis d'água). Porém, a maior limitação do método do balanço hídrico é que a precisão da estimativa de recarga depende da precisão com que os componentes da equação foram medidos ou estimados (Scanlon *et al.*, 2002).

2.2.4.1.2. WTF (Water Table Fluctuation)

O Método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF – *Water Table Fluctuation*) é a técnica mais amplamente usada para estimativa da recarga. O Método WTF só é aplicável aos aquíferos não-confinados e requer o conhecimento do rendimento específico e das variações nos níveis d'água ao longo do tempo. As vantagens desta aproximação incluem sua simplicidade e uma sensibilidade aos mecanismos do movimento da água na zona não-saturada (HEALY & COOK, 2002).

O método WTF foi usado em vários estudos de recarga subterrânea (MEINZER, 1923; MEINZER e STEARNS, 1929; RASMUSSEN e ANDREASEN, 1959; GERHART, 1986; HALL e RISSER, 1993; MOON *et al.*, 2004) e é descrito em detalhes por Healy e Cook (2002).

O método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF) baseia-se na premissa de que as elevações nos níveis d'água em aquíferos não-confinados são devidas à água de recarga subterrânea chegando na superfície piezométrica. A recarga é calculada como (HEALY e COOK, 2002; SCANLON *et al.*, 2002):

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (4)$$

onde S_y é o rendimento específico, h é a altura do nível freático, e t é o tempo. O coeficiente de armazenamento de um aquífero livre é virtualmente igual ao rendimento específico, sendo da ordem da porosidade efetiva do meio.

A Eq. (4) assume que água que atinge o nível freático entra imediatamente em armazenamento e que todos os outros componentes do balanço hídrico subterrâneo (evapotranspiração subterrânea, fluxo de base, entrada e saída de fluxo sub-superficial) são nulos durante o período de recarga.

Healy e Cook (2002) definiram que a aplicação da Eq. (4) para cada elevação individual do nível d'água determina uma estimativa da recarga total, onde Δh é igual à diferença entre o pico de subida e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente extrapolada até o instante do pico. A curva de recessão antecedente é o traço que a hidrógrafa do poço de monitoramento teria seguido na ausência de elevação do nível d'água (Figura 4).

Essa manipulação é subjetiva e tenta acomodar a função de defasagem entre o início da precipitação e o conseqüente início do processo de recarga, resultante do processo natural de descarga. Para uma estimativa da recarga líquida, Δh é a diferença

em altura entre dois instantes distintos de medida do nível d'água. A diferença entre a recarga total e a recarga líquida é igual à soma da evapotranspiração subterrânea, do escoamento básico e do fluxo líquido sub-superficial da bacia. Com algumas suposições adicionais, o método de WTF pode ser usado para calcular quaisquer destes parâmetros (HEALY e COOK, 2002).

Figura 4 – Elevação hipotética do nível d'água em poço em resposta à precipitação (Modificado de HEALY e COOK, 2002)

O método WTF pode ser visto como uma aproximação integrada e não como uma medida pontual quando comparado com os métodos aplicados na zona não-saturada (HEALY e COOK, 2002). No entanto, o método tem as seguintes limitações:

- O método é mais bem aplicado a níveis freáticos rasos que exibem súbitas elevações e declínios do nível d'água. Aquíferos profundos podem não exibir súbitas variações, resultado de frentes de umidade que tendem a dispersar-se ao percorrer longas distâncias (HEALY e COOK, 2002; SCANLON *et al.*, 2002);
- As taxas de recarga variam substancialmente dentro de uma bacia, devido a diferenças na topografia, geologia, declividade da superfície do terreno, vegetação, e outros fatores. A maior dificuldade está na locação dos piezômetros que representem espacialmente as fontes de recarga (HEALY e COOK, 2002). Um fator relevante à locação de piezômetros é o difícil acesso em áreas urbanas (LERNER, 2002).
- A taxa de recarga e descarga não podem ser constantes e iguais para o evento. Se a taxa de recarga for constante e igual à taxa de descarga, os níveis d'água

não mudariam e o método WTF estimaria recarga nula (HEALY e COOK, 2002).

- O nível da água subterrânea sobe e desce em resposta a muitos fenômenos diferentes e as flutuações nem sempre são indicativas de recarga ou descarga de água subterrânea (HEALY e COOK, 2002). Moon *et al.* (2004), comentaram que, geralmente, níveis d'água subterrânea flutuam de acordo com as características dos eventos de precipitação (quantidade, duração e intensidade) e de várias variáveis hidrogeológicas (topografia, espessura da zona não-saturada e composição dos materiais da zona saturada e não-saturada da formação).
- A incerteza gerada por este método está relacionada à precisão com que o rendimento específico pode ser determinado e até que ponto as suposições inerentes ao método são válidas (HEALY e COOK, 2002).

Healy e Cook (2002) concluíram que uma elevação do nível d'água representa os efeitos combinados da recarga para um evento de precipitação e da precedente condição de descarga. Por isso, taxas de recarga podem ser superestimadas pelo método WTF.

2.2.4.1.3. CRD (Cumulative Rainfall Departure)

O método CRD é baseado na premissa que as flutuações do nível d'água são causadas por eventos de precipitação. Esta formulação considera que as condições de equilíbrio desenvolvem-se em um aquífero ao longo do tempo, ou seja, as taxas médias de perdas igualam a taxa média de recarga do sistema (BREDENKAMP *et al.*, 1995).

Bredenkamp e Xu *in* Xu e Beekman (2003) afirmaram que o método CRD não somente fornece a resposta temporal do nível freático a um incremento de recarga, como também permite a derivação das características do aquífero. O coeficiente de recarga representa um valor médio integrado que pode ser derivado quando o armazenamento do aquífero (rendimento específico) é determinado com confiança.

Bredenkamp *et al.* (1995) definiram a seguinte formulação do método CRD:

$${}_{av}^1CRD_i = \sum_{i=1}^n P_i - \kappa \sum_{i=1}^n P_{av} \quad (i = 0, 1, 2, 3, \dots, N) \quad (5)$$

onde P_i é a precipitação no mês i , P_{av} é a precipitação média e $\kappa = 1 + (Q_p + Q_{out}) / (A \cdot P_{av})$, onde Q_p é a exploração subterrânea, Q_{out} é a saída natural

de fluxo e A é a área do aquífero. Para $\kappa = 1$ não ocorre bombeamento e para $\kappa > 1$ ocorre bombeamento e/ou saída natural de fluxo.

Assumindo que uma CRD tem uma relação linear com uma mudança do nível d'água mensal, Bredenkamp *et al.* (1995) derivaram a seguinte equação:

$$\Delta h_i = \left(\frac{r}{S_y} \right) \cdot ({}_i^1CRD_i) \quad (i = 0, 1, 2, 3, \dots N) \quad (6)$$

onde r é a percentagem da CRD que resulta em recarga com origem na precipitação, S_y é o rendimento específico, Δh_i é a mudança no nível d'água no mês i .

A Eq. (6) pode ser usada para estimar a taxa de recarga através de uma regressão simples entre $({}_i^1CRD_i)$ e Δh_i (BREDENKAMP *et al.*, 1995).

Recentemente, Xu e van Tonder (2001) revisaram o método CRD a fim de acomodar tendências nas séries pluviométricas, frente ao fato que uma curta série de dados freqüentemente mostra certo grau de tendência, que não pode ser visualizado na Eq. (6). A recarga pode ser obtida pela seguinte equação (XU e van TONDER, 2001):

$$\Delta h_i = \frac{r}{S_y} \cdot ({}_i^1CRD_i) - \left(\frac{Q_{pi} + Q_{outi}}{\Delta S} \right), \text{ com}$$

$${}_i^1CRD_i = \sum_{i=1}^n P_i - \left(2 - \frac{1}{P_{av} \cdot i} \sum_{i=1}^n P_i \right) \cdot \sum_{i=1}^n P_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots N) \quad (7)$$

onde r é a percentagem da CRD que resulta em recarga com origem na precipitação, S_y é o rendimento específico, Δh_i é a mudança no nível d'água no mês i (L), Q_{pi} é a exploração subterrânea ($L^3 \cdot T^{-1}$), Q_{outi} é saída natural de fluxo ($L^3 \cdot T^{-1}$), A é a área efetiva de recarga (L^2), P_i é a precipitação para o mês i ($L \cdot T^{-1}$) e P_i é um valor limiar representativo das condições de contorno do aquífero. P_i pode variar de 0 a P_{av} , com 0 representando um aquífero fechado (sem saída de fluxo) e P_{av} representando um sistema aquífero aberto.

Assim, os dados requeridos para aplicação do método são registros de precipitação mensal, níveis d'água, exploração subterrânea e propriedades do aquífero (rendimento específico e o tamanho da área de recarga).

A aplicação do método CRD para diferentes séries de níveis d'água monitorados tem contribuído significativamente para um melhor entendimento da variabilidade espacial da recarga (BREDENKAMP *et al.* 1995).

2.2.4.1.4. RIB (Rainfall Infiltration Breakthrough)

O método foi proposto por Xu e Beekman *in* Xu e Beekman (2003) e mostra semelhança ao método CRD, mas difere deste no modo como a recarga acontece. De acordo com os autores, o método provê uma melhor oportunidade para explicar a ocorrência de recarga sob diferentes condições. O método RIB pode ser usado para estimar a recarga ou o armazenamento do aquífero.

Xu e Beekman *in* Xu e Beekman (2003) definiram a seguinte formulação do método RIB:

$$RIB(i)_m^n = r \cdot \left[\sum_{i=m}^n P_i - \left(2 - \frac{1}{P_{av}(n-m)} \sum_{i=m}^n P_i \right) \cdot \sum_{i=m}^n P_t \right] \quad (8)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, I)$$

$$(n = i, i - 1, i - 2, \dots, N)$$

$$(m = i, i - 1, i - 2, \dots, M)$$

$$M < N < I$$

onde r é a fração de uma CRD que contribui para a RIB, P_{av} é a precipitação média da série pluviométrica, P_t é um valor limiar representativo das condições de contorno do aquífero (P_t pode variar de 0 a P_{av} , com 0 representando um aquífero fechado e P_{av} representando um sistema aquífero aberto); o símbolo i representa um número sequencial de registros de precipitação, enquanto os parâmetros m e n , introduzidos como marcadores de memória, representam o início e o fim de um intervalo de tempo, durante o período em que eventos de precipitação contribuem efetivamente para a RIB (i). Note que a Eq. (8) reduz-se ao CRD, como definido por Breckenkamp *et al.* (1995), se eventos de precipitação de P_m a P_n não mostram nenhuma tendência e, assim, as médias de precipitação acumulada igualam a precipitação média do período.

A $RIB(i)_m^n$ pode ser ainda escrita como (XU e BEEKMAN *in* XU e BEEKMAN, 2003):

$$RIB(i)_m^n = (RIB(i)_m^n)_{av} + \Delta(RIB(i)_m^n) \quad (9)$$

onde, a recarga média RIB_{av} é uma função da espessura média saturada do aquífero, h_{av} , da transmissividade do aquífero, T , e da distância média de fluxo subterrâneo, L , enquanto que a variação da recarga ΔRIB é uma função do

armazenamento do aquífero, S , e da flutuação do nível piezométrico, Δh (HAITJEMA, 1995; XU *et al.*, 2001):

$$\begin{aligned} \left(RIB(i)_m\right)_{av} &= \frac{2 \cdot T \cdot h_{av}}{L^2} \\ \Delta \left(RIB(i)_m\right) &= S \cdot \Delta h_i \end{aligned} \quad (10)$$

Como definido na Eq. (10), ΔRIB pode ser positivo ou negativo, dependendo da intensidade e frequência da precipitação. O nível d'água subterrânea subirá se o ΔRIB for positivo, e declinará se for negativo (Figura 5).

Figura 5 – Flutuações na recarga e no nível d'água subterrânea (Modificado de XU e BEEKMAN in XU e BEEKMAN, 2003)

Combinando as Eqs. (9) e (10) temos a seguinte expressão para flutuação do nível piezométrico:

$$\Delta h = \left(\frac{1}{S}\right) \cdot \left(RIB(i)_m - \frac{2 \cdot T \cdot h_{av}}{L^2}\right) \quad (11)$$

A Eq. (11) descreve uma relação linear entre uma RIB e uma mudança do nível piezométrico. Incorporando outros fluxos que podem ser encontradas em um sistema aquífero, a Eq. (11) é modificada como segue:

$$\Delta h = \left(\frac{1}{S}\right) \cdot \left(RIB(i)_m\right) - \left(\frac{2 \cdot T \cdot h_{av}}{S \cdot L^2}\right) - \left(\frac{Q_{pi} + Q_{outi}}{A \cdot S}\right) \quad (12)$$

($i = 0, 1, 2, 3, \dots, I$)

O termo $\left(\frac{Q_{pi} + Q_{outi}}{A \cdot S}\right)$ na Eq. (12), representa a exploração do aquífero e a saída

de fluxo no mês i , e só é requerido se um poço de bombeamento afeta a área de estudo onde são monitorados os níveis d'água.

O método RIB é uma ferramenta poderosa para estimativa da recarga subterrânea por acomodar série de dados de chuva com tendências. No entanto, antes da aplicação do método, é necessário ter certeza que os dados de chuva são diretamente responsáveis por flutuações do nível d'água. Por isso, uma análise dos mecanismos atuantes de recarga é recomendada.

2.2.4.1.5. Aproximação de Darcy

De acordo com a Lei de Darcy, a velocidade de percolação da água no solo é proporcional ao gradiente hidráulico através de um fator de proporcionalidade, denominado de condutividade hidráulica.

$$q = -K \cdot i \quad (13)$$

Onde:

q : velocidade de Darcy, $\text{m}^3 \cdot (\text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$;

K : constante de proporcionalidade ou condutividade hidráulica, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

i : gradiente hidráulico, $(i = dh/dl)$, adimensional.

A lei de Darcy pode ser usada para estimar a recarga através de dois piezômetros alinhados numa perpendicular ao corpo d'água. O método assume fluxo constante e nenhuma extração de água subterrânea. A recarga (R) de um aquífero não-confinado é igual à velocidade de Darcy (q) multiplicada pelo intervalo de tempo entre medidas consecutivas:

$$R = q \cdot \Delta t \quad (14)$$

A recarga estimada é o somatório dos valores positivos encontrados para cada intervalo de tempo considerado. A *linha perpendicular* deve ser alinhada com uma linha equipotencial. O método é de fácil aplicação, se existir informações da condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico com razoável confiança.

As estimativas de recarga baseadas na Lei de Darcy são altamente imprecisas devido ao fato da grande variabilidade da condutividade hidráulica (SCANLON *et al.*, 2002).

2.2.4.1.6. Modelo EARTH

O modelo EARTH (*Extended model for Aquifer Recharge and Moisture Transport through Unsaturated Hardrock*) foi desenvolvido por Van der Lee, J.C.

Gehreks e A. Gieske (1989) para o projeto GRES (*Groundwater Recharge Evaluation Study*).

É um modelo de parâmetros hidrológicos usados na simulação da recarga e evolução piezométrica sazonal. Está especialmente direcionado para condições de clima seco com precipitações concentradas em determinados períodos e para aquíferos freáticos ou não-confinados, com respostas rápidas aos episódios de recarga.

2.2.4.1.7. Método SVF

O método SVF (*Saturated Volume Fluctuation*) é um balanço hídrico ao longo do tempo que se baseia na variação do volume saturado, avaliado através da variação do nível d'água subterrânea de poços de monitoramento.

A recarga calculada pelo método SVF requer uma estimativa independente do rendimento específico, assim como de diversas hipóteses quanto às características dos aquíferos.

Ketchum *et al.* (2000) afirmaram que a recarga transiente de aquíferos freáticos rasos que descarregam somente por meio de nascentes pode ser estimada a partir da Curva Cumulativa de Incremento de Armazenamento (CSAC – Cumulative Storage Accumulation Curve) como ferramenta do Método de Flutuação do Volume Saturado (SVF).

2.2.4.2. Métodos Químicos

Os métodos químicos para determinação da recarga baseiam-se no uso de traçadores. As concentrações de vários solutos na água, ou as proporções entre concentrações de solutos, definem os traçadores químicos na água.

Um traçador ideal deve ser único para uma fonte particular de recarga, facilmente identificável no sistema subterrâneo, permitindo a quantificação daquela fonte, e ser conservativo em todas as condições (BARRET *et al.*, 1999).

Barret *et al.* (1999) dividiram os traçadores potenciais em quatro categorias:

- Inorgânicos: Cátions (Ca, Mg, K e Na), Ânions (HCO_3 , SO_4 e Cl), espécies de nitrogênio (NO_3 e NH_4), metais (Fe, Mn e outros) e outros íons (B, PO_4 , Sr, F e Br);
- Orgânicos: Clorofluorcarbono (CFCs), Trihalometanos (THMs), solventes e detergentes.

- Particulados: incluem espécies microbiológicas fecais e várias partículas coloidais;
- Isótopos: particularmente os isótopos estáveis (^2H , ^{15}N , ^{18}O e ^{35}S).

Scanlon *et al.* (2002) argumentaram que traçadores são muito úteis para estimativa da recarga por longos períodos de tempo, porém, geralmente, não detalham as informações temporais das variações na recarga.

Allison *et al.* (1983) *apud* Xu e Beekman (2003) desenvolveram um método semi-empírico de estimativa de recarga usando os isótopos estáveis ^2H e ^{18}O . De acordo com Amore *et al.* (2000) *apud* Xu e Beekman (2003), o método tem sérias complicações à aplicabilidade em condições de campo. Os fatores que ocasionam essas complicações são a abundância dos respectivos isótopos e as influências exercidas pela evaporação e transpiração, que não são representadas na infiltração de água no solo (ZIMMERMAN *et al.*, 1967 *apud* XU e BEEKMAN, 2003).

Contudo, o traçador atualmente mais utilizado em pesquisas de estimativas de recarga é o cloreto, através do método do balanço de massa de cloreto (CMB – *Chloride Mass Balance*).

2.2.4.2.1. CMB (Chloride Mass Balance)

O Método do Balanço de Massa de Cloreto (CMB) foi proposto por Eriksson e Khunakasem (1969), e desde então é extensivamente aplicado em investigações de recarga subterrânea. O método CMB é altamente recomendável para estimativas de recarga, sendo relativamente simples e de baixo custo.

O método CMB pode ser usado para estimativa da recarga subterrânea tanto na zona não-saturada (ALLISON e HUGHES, 1978; EDMUNDS e WALTON, 1980; ARANYOSSY e GAYE, 1992; EDMUNDS e GAYE, 1994; GAYE e EDMUNDS, 1996) como na zona saturada (GIESKE, 1992; WOOD e SANFORD, 1995; BAZUHAIR e WOOD, 1996; CUSTÓDIO e LLAMAS, 1996; SAMI e HUGHES, 1996).

De acordo com Bazuhair e Wood (1996), de um modo geral, as hipóteses necessárias para o sucesso do método são: (1) não existem fontes anômalas, naturais ou antrópicas de cloreto no sistema; (2) o cloreto é conservativo no sistema; (3) condições estáticas são mantidas relativamente à precipitação e à concentração de cloreto nesta

precipitação; (4) o escoamento superficial é negligenciado; e (5) não ocorre reciclagem de cloreto dentro da bacia.

Segundo Paralta *et al.* (2003), a concentração de cloreto no solo aumenta até a profundidade radicular da vegetação dominante em resultado da evapotranspiração. Para profundidades superiores, permanece aproximadamente constante.

A equação para aplicação do balanço de massa de cloreto à estimativa de recarga na zona não-saturada é:

$$R = \frac{P \cdot (C_p + C_D)}{C_s} \quad (15)$$

onde R é a recarga direta ($\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$), P é a precipitação média anual ($\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$), C_p e C_s são, respectivamente, as concentrações de cloreto na água de precipitação e a média no perfil do solo na zona não-saturada ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) e C_D é a (*dry deposition*) deposição atmosférica natural de cloreto no período sem chuva ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$). O cloreto proveniente de deposição atmosférica é conservado e concentrado no solo devido à perda de umidade por evapotranspiração.

Para a zona saturada temos a seguinte equação:

$$R = P \cdot \left(\frac{C_p}{C_{gw}} \right) \quad (16)$$

onde R é a recarga direta ($\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$), P é a precipitação média anual ($\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$), C_p e C_{gw} são, respectivamente as concentrações de cloreto na água de precipitação e na água subterrânea (abaixo do nível freático). O método CMB aplicado à zona saturada fornece uma estimativa da recarga total real, originada tanto dos componentes do fluxo preferencial como do fluxo difusivo através da zona não-saturada (Bredenkamp e Xu *in* Xu e Beekman, 2003).

A concentração de cloreto na água subterrânea é frequentemente assumida constante durante estudos de recarga. Na realidade, esta hipótese poderia gerar problemas apenas em aquíferos potencialmente sujeitos a uma elevada carga de sal (aquíferos costeiros) ou em área de grande poluição (van TONDER e BEAN *in* XU e BEEKMAN, 2003).

Van Tonder e Bean *in* Xu e Beekman (2003) comentaram ainda que uma outra hipótese, geralmente, feita para aplicação do método CMB é que o movimento da água de recarga através da zona não-saturada é somente vertical. No entanto, a concentração de cloreto inicial pode variar significativamente de área para área dentro de uma mesma

região de investigação, por isso a estimativa do Método CMB é específica para uma dada área de influência.

A Figura 6 apresenta o movimento idealizado de cloreto e suas respectivas concentrações também idealizadas ao longo da zona não-saturada.

Figura 6 – Concentrações de cloreto durante o processo de percolação (Modificado de Kinzelbach *et al.*, 2002).

Kinzelbach *et al.* (2002) comentaram que a concentração de cloreto na zona saturada é muito útil na estimativa da recarga em escala regional e no entendimento dos mecanismos de recarga – se a recarga direta com origem na precipitação é dominante,

ou se a recarga lateral de fontes superficiais também se torna um aspecto relevante. É recomendado um mínimo de três anos de medidas de precipitação e das concentrações de cloreto para aplicabilidade na estimativa de recarga subterrânea.

Bredenkamp e Xu *in* Xu e Beekman (2003) acrescentaram que existem diferenças na concentração de solutos entre as zonas não-saturada e saturada devido ao fato que na zona saturada seja mais provável que a concentração seja modificada por incremento de fluxo lateral com maior ou menor salinidade. Por isso, amostras abaixo da superfície freática não são muito confiáveis para estimativa da recarga. Porém, como o cloreto não é perdido durante a infiltração no solo e nem no fluxo saturado, o método pode fornecer uma taxa de recarga mínima em escala regional.

2.2.4.3. Métodos Numérico-Matemáticos

Muitos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para prever as flutuações da superfície piezométrica em resposta à recarga de bacias de diferentes formas geométricas, como retangular, circular, etc. (HANTUSH, 1967; HUNT, 1971; RAO e SARMA, 1981a,b; LATINOPOULOS, 1984; LATINOPOULOS, 1986; FINNEMORE, 1995).

A maioria dos modelos baseia-se na hipótese de recarga constante aplicada continuamente ou periodicamente. Porém, a taxa de recarga, que depende sensivelmente da taxa de infiltração, varia com o tempo devido a diversos fatores (RAI e MANGLIK, 1999).

Alguns modelos têm sido desenvolvidos para o caso de recarga variando com o tempo, onde a taxa de recarga tem sido representada por funções exponenciais (MARINO, 1974; RAI *et al.*, 1994; RAI e SINGH, 1981, 1995, 1996, 1998; SU, 1994; RAMANA *et al.*, 1995; TELOGLOU *et al.*, 1997; OSTENDORF *et al.*, 2004).

Por exemplo, Su (1994) usou uma função integral de recarga e uma transformação exponencial para gerar uma solução analítica para descrever a resposta de uma bacia hidrográfica sujeita a chuvas intensas em escala semanal. Já Ostendorf *et al.* (2004) estudaram a resposta de um aquífero horizontal profundo não-confinado a uma taxa de recarga constante, mensal e anual. Dados observados de flutuações do nível freático e do gradiente hidráulico foram utilizados na calibração do modelo de recarga transiente. Resultados numéricos desses modelos revelam que variações na taxa de recarga provocam um efeito significativo na flutuação da superfície piezométrica.

De acordo com Raí e Manglik (1999), para simplificar o tratamento matemático, a maioria dos modelos numéricos assume que: (i) o aquífero é homogêneo e isotrópico e (ii) a taxa de recarga é tão pequena quando comparada à condutividade hidráulica que a água adicionada verticalmente ao nível piezométrico flui quase horizontalmente.

Desenvolvimentos recentes em métodos estocásticos de análise da hidrologia superficial têm demonstrado que uma aproximação estocástica é útil para caracterização de processos naturais complexos (GELHAR, 1993). Law (1944), Bennion e Giffiths (1966), Hoeksema e Kitanidis (1985), Freeze (1975), Bakr *et al.* (1978), Sudicky (1986) e Gau e Liu (2000) têm discutido a distribuição probabilística de variáveis hidrológicas baseada no conceito estocástico. Entre as diversas pesquisas estão os efeitos da variação espacial da permeabilidade no fluxo saturado (BAKR *et al.*, 1978) e a análise do fluxo não-saturado através do solo (YEH *et al.*, 1985a,b,c).

Gau e Liu (2000) desenvolveram uma nova técnica usando aproximação estocástica para analisar a relação entre a precipitação e a variação do nível d'água subterrânea, e, por conseguinte, estimar o coeficiente de recarga efetivo com origem na precipitação. A teoria do modelo baseia-se na aproximação de Dupuit para um modelo de reservatório linear de um sistema de recarga simples. O aquífero foi considerado como freático raso, homogêneo e isotrópico.

2.3. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A água no solo flui devido à presença de gradientes potenciais, escoando da zona com maior potencial para uma de menor potencial. O movimento de água no solo, sob influência do gradiente hidráulico, deve ser analisado sob duas distintas situações: condição de saturação e de não-saturação. O fator mais importante que diferencia as duas situações é que a condutividade hidráulica é máxima na zona saturada. Na zona não-saturada, o fluxo ocorre em qualquer condição de umidade abaixo da saturação, envolvendo funções entre diversas variáveis (teor de umidade, potencial hidráulico e condutividade hidráulica) (FETTER, 1994).

A condutividade hidráulica constitui a mais importante propriedade que governa o movimento da água nos solos, e pode ser definida como sendo a maior ou menor facilidade com que a água pode fluir em um determinado solo através de seus vazios. Encontram-se valores desde 10^0 cm/s, para materiais como pedregulhos bem

distribuídos, até 10^{-9} cm/s, geralmente, para solos com grandes quantidades de minerais de argila de alta atividade (Tabela 2) (FETTER, 1994).

A condutividade hidráulica, em solos saturados, pode ser determinada através de métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos constituem em ensaios nas condições de laboratório ou de campo (*in situ*), enquanto que os métodos indiretos são representados por correlações empíricas.

Tabela 2 – Valores de condutividade hidráulica para materiais não-consolidados e puros

Material	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte, silte arenoso, areia argilosa, areia fina	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia bem graduada	$10^{-5} - 10^{-3}$
Pedregulho bem graduado	$10^{-2} - 10^0$

Fonte: FETTER, 1994.

2.3.1. Formulações Empíricas

Vários modelos do tipo empírico foram propostos para determinar a condutividade hidráulica, a partir, somente do conhecimento de propriedades de fácil determinação dos solos. A condutividade hidráulica determinada através de métodos indiretos pode ser obtida (entre outras), pelas seguintes correlações:

- HAZEN: desenvolveu uma equação empírica para prever a condutividade hidráulica de areias com diâmetro efetivo dos grãos, D_{10} , entre 0,1 e 3,0 mm (BOWLES, 1984 *apud* DAWSON e ISTOK, 1991):

$$K = \left(\frac{\rho \cdot g}{\mu} \right) \cdot C \cdot (D_{10})^2 \quad (17)$$

onde:

K : condutividade hidráulica saturada, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

ρ : massa específica da água, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

g : aceleração da gravidade, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$;

μ : viscosidade dinâmica da água, $(\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}) \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$;

C : coeficiente de Hazen (Tabela 3);

D_{10} : diâmetro efetivo das partículas do solo, m.

Tabela 3 – Valores do coeficiente de Hazen

Material	C
Areia muito fina, mal graduada	40 - 80
Areia fina	40 - 80
Areia média, bem graduada	80 - 120
Areia grossa, mal graduada	80 - 120
Areia grossa, bem graduada	120 - 150

Fonte: FETTER, 1994.

- KOZENY-CARMEN: desenvolveram uma equação empírica para solos heterogêneos (BEAR, 1972):

$$K = \left(\frac{\rho \cdot g}{\mu} \right) \cdot \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] \cdot \left(\frac{D_m^2}{180} \right) \quad (18)$$

onde:

K : condutividade hidráulica saturada, $m \cdot s^{-1}$;

ρ : massa específica da água, $kg \cdot m^{-3}$;

g : aceleração da gravidade, $m \cdot s^{-2}$;

μ : viscosidade dinâmica da água, $(kg \cdot m \cdot s^{-2}) \cdot s \cdot m^{-2}$;

n : porosidade, adimensional;

D_m : diâmetro médio das partículas do solo, m.

Existem diversas outras formulações empíricas relatadas na literatura, devendo-se ao fato de apenas duas serem mencionadas neste texto o caráter ilustrativo desse tipo de avaliação.

2.3.2. Ensaio de Laboratório

A determinação da condutividade hidráulica em laboratório é realizada, geralmente, com aparelhos denominados permeâmetros. Os permeâmetros podem ser de carga constante e de carga variável, sendo que ambos baseiam-se na equação de Darcy para determinação da condutividade.

Os ensaios a carga constante são indicados para materiais arenosos, ou seja, para solos com alta condutividade hidráulica. Neste ensaio, a carga total é mantida constante durante todo o experimento, medindo-se ao longo do tempo a vazão correspondente.

Os ensaios a carga variável são indicados para solos com baixa permeabilidade. Neste ensaio, a carga total é variável com o tempo, e a vazão é medida através da variação do nível d'água.

Os ensaios de laboratório quando comparados com ensaios em campo apresentam vantagens nas condições de controle (saturação, nível de tensões efetivas, carga hidráulica e direção de fluxo). No entanto, a determinação da condutividade hidráulica em laboratório possui o inconveniente que é o pequeno tamanho da amostra que, geralmente, não apresenta representatividade das condições médias do aquífero. Outra condição desfavorável é, na maioria dos casos, a dificuldade de se conseguir amostras indeformadas que representem as condições naturais do aquífero.

2.3.3. Ensaios de Campo

Há uma diversidade de opções de ensaios de campo para determinação da condutividade hidráulica dos solos. A condutividade hidráulica em campo pode ser obtida através de métodos como testes de infiltração em valas e em poços (*open-end test*, *slug-test*), utilização de infiltrômetros e ensaios de bombeamento em poços. No entanto, todo ensaio de condutividade hidráulica é baseado nos princípios da Lei de Darcy (1856) para o movimento da água no solo. De acordo com a Lei de Darcy, a velocidade de percolação da água no solo é proporcional ao gradiente hidráulico através de um fator de proporcionalidade, denominado de condutividade hidráulica.

$$q = -K \cdot \frac{dh}{dl} \quad (19)$$

São empregados vários métodos para se determinar a condutividade hidráulica “*in situ*”, sendo assim temos muitas referências bibliográficas (HVORSLEV, 1951; CUNHA, 1961; GIBSON, 1966; BOUWER e RICE, 1976; CEDERGREN, 1977; DAWSON e ISTOK, 1991; BUTLER, 1997).

Nas últimas duas décadas, várias técnicas foram desenvolvidas e utilizadas para estimativa da condutividade hidráulica em campo. Dentre estas, uma técnica conhecida como *slug test* está sendo extensamente utilizada, principalmente, nos estudos relacionados à contaminação da água subterrânea.

2.3.3.1. Slug Test

O *slug test* tem como grande vantagem, ser de simples execução, de baixo custo, rápido e representar as condições reais observadas em campo. Segundo Butler (1997) inicia-se um *slug test* com uma variação repentina do nível d'água no poço. Esta variação pode ser provocada por adição de um objeto sólido (por isso o termo *slug*) ou por adição (ou remoção) de um volume conhecido de água no poço, causando um brusco acréscimo (ou decréscimo) no nível d'água. Após essa mudança brusca, mede-se, ao longo do tempo, a variação do nível d'água até o retorno das condições estáticas iniciais.

Há vários métodos usados na estimativa do valor da condutividade hidráulica através do *slug test*. O método apropriado depende das características do aquífero no qual o *slug test* será executado. No entanto, algumas das características que devem ser examinadas são: se o aquífero é confinado, semi-confinado ou não-confinado (freático); se o poço é completamente ou parcialmente penetrante no aquífero; e se a coluna d'água no poço é menor ou maior que o comprimento do filtro. Descrições mais detalhadas podem ser encontradas em Butler *et al.* (1994), Butler (1997) e Mace (1999).

A maioria dos *slug tests* executados em formações não-confinadas (freáticas) são analisados com uma das seguintes três técnicas (HYDER *et al.*, 1994): método de Bouwer & Rice, método de Dagan e método baseado na variante irrestrita do modelo da KGS*. Pode ser acrescido a estes métodos o método de Hvorslev.

Detalharemos neste trabalho somente o método de Hvorslev e o método de Bouwer & Rice, frente ao fato de ambos analisarem o aquífero freático em poços parcialmente penetrantes e à vasta bibliografia existente.

Método de Hvorslev

O método de Hvorslev é aplicado para aquíferos livres, podendo os poços ou piezômetros ser ou não totalmente penetrantes. Determina a condutividade hidráulica K em sua vizinhança a partir da geometria do piezômetro (Figura 7) instalado em um aquífero e da curva de campo $\left(\log_{10} \left(\frac{h}{h_0} \right) \text{ vs. } t \right)$ (Figura 8). Nessa relação, h_0 é a variação inicial no piezômetro e h é a variação decorrente da drenagem através do aquífero em diferentes instantes de tempo.

* *Kansas Geological Survey*, Agência de Pesquisa Geológica do Estado do Kansas (EUA).

Figura 7 – Geometria do piezômetro em solos de alta (esquerda) e baixa (direita) condutividade hidráulica (Modificado de FETTER, 1994).

A condutividade é determinada pela equação:

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e / R)}{2 L_e T_o} \quad (20)$$

onde,

K : condutividade hidráulica, $[L \cdot T^{-1}]$;

r : raio do poço, $[L]$;

L_e : comprimento do filtro por onde entra água subterrânea, $[L]$;

R : distância radial entre o centro do poço e o aquífero não perturbado, $[L]$;

T_o : tempo que a variação da água no poço leva para provocar um acréscimo ou decréscimo de 37% do seu valor inicial, $[T]$, (Figura 8).

Figura 8 – Método de Hvorslev (Modificado de FETTER, 1994)

A eq. 20 é válida para um comprimento do piezômetro maior do que 8 vezes o raio efetivo do filtro do poço, ou seja, $\frac{L_e}{R} > 8$.

Método de Bouwer & Rice

O método de Bouwer & Rice pode ser utilizado para análise dos dados de *slug test* em poços completamente ou parcialmente penetrantes em aquíferos não-confinados. De acordo com Fetter (1994), este método também pode ser usado em aquíferos confinados, desde que a base da camada confinante fique a alguma distância acima do topo do filtro do poço.

O método assume desprezível o rebaixamento da linha d'água na vizinhança do poço. A geometria do poço é mostrada na Figura 9.

Figura 9 – Geometria do poço parcialmente penetrante em aquífero livre
Método de Bouwer & Rice (Fetter, 1994)

A condutividade hidráulica é dada por:

$$K = \frac{r_c^2 \cdot \ln(R_e / R)}{2 \cdot L_e \cdot t} \cdot \ln\left(\frac{H_i}{H_0}\right) \quad (21)$$

onde:

K : condutividade hidráulica [$L \cdot T^{-1}$];

r_c : raio do poço [L];

R_e : distância radial efetiva do poço para efeito de determinação de K , [L];

R : distância radial entre o centro do poço e o aquífero não perturbado, [L];

L_e : comprimento do filtro por onde entra água subterrânea, [L];

t : tempo desde H_0 até H_i , [T];

H_0 : nível d'água no tempo inicial, [L];

H_t : nível d'água no tempo t , [L].

Para determinar o valor adimensional de $\ln(R_e/R)$ na Eq. (21), o método apresenta as seguintes soluções, dependendo se o poço é completamente ou parcialmente penetrante:

- Poço parcialmente penetrante ($L_w < h$):

$$\ln(R_e/R) = \left\{ \frac{1,1}{\ln(L_w/R)} + \frac{A + B \ln[(h - L_w)/R]}{L_e/R} \right\}^{-1} \quad (22)$$

- Poço completamente penetrante ($L_w = h$):

$$\ln(R_e/R) = \left[\frac{1,1}{\ln(L_w/R)} + \frac{C}{L_e/R} \right]^{-1} \quad (23)$$

onde:

L_w : altura d'água no poço, [L];

h : espessura saturada do aquífero, [L].

As constantes A , B e C são encontradas graficamente em função de L_e/R

(Figura 10).

Figura 10 – Parâmetros adimensionais A, B e C (Modificado de FETTER, 1994)

Uma consideração importante a ser feita é quando o nível d'água está na seção do filtro do poço durante o *slug test*. Neste caso, deve-se levar em consideração o fato da condutividade hidráulica da zona do filtro ser diferente da do aquífero. O valor de r_c da Eq. (21) deve ser substituído por r_{eq} que é calculado como:

$$r_{eq} = \left[r_c^2 + n(R^2 - r_c^2) \right]^{0.5} \quad (24)$$

onde:

n : porosidade do material do pré-filtro ao redor do poço;

2.4. O CONCEITO DE RENDIMENTO ESPECÍFICO

O rendimento específico é um parâmetro usado na obtenção da recarga no método do balanço hídrico, principalmente, nos métodos que utilizam flutuações do nível d'água (WTF – *Water Table Fluctuation*; CRD – *Cumulative Rainfall Departure*). Contudo, os valores relatados para o rendimento específico na literatura são bastante variáveis, assim como os métodos para sua obtenção. Outras vezes, acontece a substituição do parâmetro *rendimento específico* por algum outro (porosidade efetiva, coeficiente de armazenamento).

Menegásse-Velásquez (1996), estudando o aquífero freático das sub-bacias Sumaré e Pompéia, em São Paulo, substituiu o valor do rendimento específico pelo valor da porosidade efetiva. Montenegro *et al.* (2001, 2003) estudando o aquífero aluvial de Pesqueira, PE, multiplicaram as variações nos níveis piezométricos por um valor único do coeficiente de armazenamento do aquífero.

Os termos *specific retention* (retenção específica) e *specific yield* (rendimento específico) foram propostos por Meinzer (1923). O rendimento específico de um solo (ou rocha) pode ser definido como a proporção do volume d'água que, depois de saturado, é drenado por gravidade com relação ao seu próprio volume (MEINZER, 1923; BEAR, 1972; TODD, 1980; FETTER, 1994; HEALY e COOK, 2002). A retenção específica é a proporção do volume de água que uma rocha ou solo pode reter contra a drenagem gravitacional pelo volume total da rocha ou solo (MEINZER, 1923; BEAR, 1972; TODD, 1980; FETTER, 1994; HEALY e COOK, 2002).

No caso de um aquífero freático, a água é realmente drenada dos vazios quando o nível freático tem um rebaixamento. Porém, nem toda água contida nos poros é removida pela drenagem gravitacional. Certa quantidade de água é aprisionada nos

interstícios entre os grãos, por forças intermoleculares e tensões superficiais. Por isso, o armazenamento de um aquífero freático é menor do que a porosidade por um fator denominado de retenção específica (BEAR, 1972). A seguinte fórmula é geralmente usada (dos SANTOS e YOUNGS, 1969; DUKE, 1972):

$$S_y = n - S_r \quad (25)$$

onde, S_y é o rendimento específico, n é a porosidade e S_r é a retenção específica.

O coeficiente de armazenamento (*storage coefficient*) pode ser definido como o volume de água que um aquífero desprende ou armazena por unidade de área superficial do aquífero por variação unitária na componente de carga normal àquela superfície (BEAR, 1972; TODD, 1980; FETTER, 1994). O armazenamento específico (*specific storage*) de um aquífero é a quantidade de água armazenada ou liberada por unidade de volume da formação devido à compressibilidade do arranjo mineral e dos poros com água por variação unitária na componente de carga normal àquela superfície (FETTER, 1994).

Em um aquífero não-confinado, o nível de saturação aumenta ou diminui em função das mudanças no armazenamento. Quando o nível d'água rebaixa, a água é drenada dos poros, e este armazenamento ou liberação de água é devido ao rendimento específico da formação (FETTER, 1994). Para um aquífero não-confinado, o armazenamento é encontrado pela seguinte equação:

$$S = S_y + h \cdot S_s \quad (26)$$

onde S é o coeficiente de armazenamento, S_y é o rendimento específico, h é a espessura da zona saturada e S_s é o armazenamento específico da formação.

O valor de S_y é muito maior do que o valor de $h \cdot S_s$ para um aquífero não-confinado (FETTER, 1994). Por isso, o coeficiente de armazenamento, de um aquífero não-confinado, também pode ser referido como rendimento específico (BOUWER, 1978; BEAR, 1979; FREEZE e CHERRY, 1979; TODD, 1980; FETTER, 1994). A Figura 11 detalha a definição do coeficiente de armazenamento de um aquífero freático.

Figura 11 – Esquema ilustrativo para definição do coeficiente de armazenamento de um aquífero não-confinado (Modificado de FREEZE e CHERRY, 1979, TODD, 1980)

Outro termo que precisa ainda ser definido é a capacidade de campo (*field capacity*). A capacidade de campo é a quantidade de água aprisionada no solo após o excesso gravitacional ter sido drenado e após o movimento descendente de água ter diminuído sensivelmente (VEIHMEYER e HENDRICKSON, 1931 *apud* HEALY e COOK, 2002). O complemento da capacidade de campo (c_0), isto é, o volume de água drenado por gravidade de um volume unitário de solo saturado, é denominado de porosidade efetiva e é denotado por n_e (BEAR, 1972). A capacidade de campo é equivalente à retenção específica (HEALY e COOK, 2002).

$$n_e = n - c_0 \quad (27)$$

O termo *porosidade efetiva* também é freqüentemente usado no contexto de quantificação da recarga. Porém, não se deve confundir este termo com a porosidade efetiva que se refere ao fluxo através de um meio poroso (BEAR, 1972).

Bear (1972) resumiu que para um solo homogêneo e isotrópico e uma superfície freática muito profunda, a retenção específica é idêntica à capacidade de campo, e a porosidade efetiva é idêntica ao rendimento específico.

O rendimento específico é tratado como um termo de armazenamento, independente do tempo, que em teoria responde pela liberação instantânea de água armazenada. Na realidade, a liberação de água não é instantânea (HEALY e COOK, 2002). King (1899) *apud* Healy e Cook (2002) determinou o valor de 0,20 para o S_y de uma areia fina em dois anos e meio de ensaio de drenagem. BEAR (1979) afirmou que sob certas condições, o rendimento específico torna-se dependente do tempo, tendendo a um determinado valor (Figura 12).

Figura 12 – Rendimento específico dependente do tempo

O rendimento específico (S_y) pode ser adotado como sendo igual ao coeficiente de armazenamento do aquífero (S) para o caso de um aquífero freático, uma vez que esse último termo possui maior praticidade quando se realiza uma estimativa de recarga e ao maior número de citações, principalmente, na literatura em língua portuguesa. O termo porosidade efetiva (n_e) deve ser usado com cautela na estimativa da recarga subterrânea, uma vez que o valor da porosidade efetiva corresponde a um valor máximo provável para o rendimento específico.

2.4.1. Representatividade do Rendimento Específico

O rendimento específico pode ser determinado por ensaios de laboratório e de campo e através de relações empíricas com outras grandezas. Contudo, não existe ainda um método e um ensaio que realmente defina o valor real do rendimento específico, resultando assim um alto grau de incertezas. Essa incerteza estaria contida nas mesmas imprecisões do uso de valores mencionados na literatura. A Tabela 4 mostra a média, o

coeficiente de variação (CV) e a faixa de valores de S_y como uma função da textura do solo, no qual diferentes técnicas para determinação de S_y foram utilizadas.

Tabela 4 – Valores de rendimento específico para alguns tipos de solos (JOHNSON, 1967 *apud* TODD, 1980; FETTER, 1994; HEALY e COOK, 2002)

Material	S_y médio	Coef. de Variação (%)	S_y mínimo	S_y máximo	Número de determinações
Argila	0,02	59	0	0,05	15
Argila arenosa	0,07	60	0,03	0,12	12
Silte	0,08	44	0,03	0,19	16
Areia fina	0,21	32	0,10	0,28	17
Areia média	0,26	18	0,15	0,32	17
Areia grossa	0,27	18	0,20	0,35	17
Areia com pedregulho	0,25	21	0,20	0,35	15
Pedregulho fino	0,25	18	0,21	0,35	17
Pedregulho médio	0,23	14	0,13	0,26	14
Pedregulho grosso	0,22	20	0,12	0,26	13

Como pode ser visto na Tabela 4, existe uma grande variação dentro de cada tipo de solo. A variabilidade é atribuída à heterogeneidade natural em formações geológicas, aos diferentes métodos usados na determinação de S_y e, em grande parte, à quantidade de tempo gasto para a determinação (PRILL *et al.*, 1965 *apud* HEALY e COOK, 2002). Em geral, os materiais mais grosseiros têm menores CV's do que os materiais mais finos. Este comportamento é esperado devido ao fato que os materiais mais grosseiros drenam mais rapidamente, e por isso, o S_y para estes materiais mostra menos dependência do tempo.

A Figura 13 mostra uma classificação triangular do solo baseada nas porcentagens de materiais constituintes (argila, areia e silte) e mostra linhas de igual rendimento específico. Pode ser visto na Figura 13 que o rendimento específico aumenta rapidamente quando a porcentagem de areia aumenta e as porcentagens de silte, e especialmente argila, diminuem.

Figura 13 – Triângulo de classificação textural – Relação entre tamanho da partícula e rendimento específico (Modificado de JOHNSON, 1967 apud FETTER, 1994)

Nos ensaios de laboratório, o rendimento específico é usualmente determinado por medidas da porosidade e retenção específica e aplicação da Eq. (29). Nos ensaios de campo, os valores do rendimento específico e da transmissividade para aquíferos não-confinados são obtidos geralmente da análise de testes de aquífero conduzidos por um período de horas ou dias, com o *plot* da curva rebaixamento vs. tempo, e analisando-a com curvas características desenvolvidas por diversos autores (BOULTON, 1963; PRICKETT, 1965; NEUMAN e WITHERSPOON, 1972; WALTON, 1970; MOENCH, 1995, 1996;).

A Tabela 5 de Prickett (1965) mostra S_y calculado para 18 testes de aquíferos para uma variedade de tipos de material. Similar à Tabela 5, a Tabela 4 mostra uma grande faixa de valores de S_y para solos de textura similar.

Tabela 5 – Valores do rendimento específico determinado por testes de aquífero (PRICKETT, 1965 *apud* HEALY e COOK, 2002)

Material	S_y	Material	S_y
Areia fina	0,113	Areia fina a grossa	0,014
Areia fina	0,090	Areia média a grossa	0,250
Areia fina a média	0,192	Areia média a grossa	0,200
Areia fina a média	0,032	Areia média siltosa	0,051
Areia fina a média	0,007	Areia siltosa a média	0,014
Areia fina a média	0,005	Areia, fina com argila	0,021
Areia média	0,181	Areia, fina com argila	0,026
Areia média	0,166	Areia, fina com silte	0,018
Areia média	0,161	Argila, silte, areia fina	0,039

Uma formulação empírica para a avaliação do rendimento específico é a equação de Biecinski (PAZDRO, 1983, In: ALVARES e NIEDZIELSKI, 1996) que relaciona o valor do rendimento específico com o valor da condutividade hidráulica através da seguinte expressão:

$$S_y = 0,117 \cdot \sqrt[3]{K} \quad (28)$$

para a condutividade hidráulica K expressa em $\text{m} \cdot \text{dia}^{-1}$.

Pode-se concluir que o valor real do rendimento específico ou do coeficiente de armazenamento (para o caso de aquífero freático) possui enorme discrepância para uma mesma classe de material. Por isso, não se pode afirmar que o valor do coeficiente de armazenamento obtido através de ensaio de laboratório ou de campo ou através de formulações empíricas possui uma precisão razoável, e, por conseguinte, um determinado grau de incerteza ou confiabilidade para aplicação no cálculo da estimativa de recarga. Uma aproximação aceitável pode ser alcançada, quando são conhecidos os tipos de materiais constituintes, por comparação com os valores relatados na literatura especializada.

2.5. INTERAÇÃO RIO E AQUÍFERO

2.5.1. Sistema Subterrâneo e Superficial

As águas subterrâneas e superficiais não são componentes isoladas do sistema hidrológico, ao contrário, interagem numa variedade de ambientes fisiográficos e climáticos. Deve-se a essa complexidade, a multiplicidade de variáveis que intervêm no ciclo hidrológico, que por sua vez, não são absolutamente independentes entre si. Assim, o uso ou contribuição de um recurso tem, normalmente, efeito sobre o outro. Por

isso, um profundo entendimento dos princípios básicos de interações entre água subterrânea e superficial é necessário para o gerenciamento efetivo dos recursos hídricos.

As interações entre água subterrânea e superficial são extremamente complexas e dependentes de um grande número de fatores, como da topografia, da forma do rio (largura, declividade e tortuosidade), das propriedades hidráulicas sub-superficiais, das variações temporais da precipitação, dos padrões de fluxo subterrâneo e do nível d'água no rio (CEY *et al.*, 1998). Níveis d'água do rio e características topográficas são certamente as principais causas da entrada de fluxo subterrâneo através das margens de rios (LAMBS, 2004).

Sophocleous (2002) relatou que as interações hidrológicas entre água superficial e sub-superficial ocorrem por fluxo lateral através da zona não-saturada e por infiltração (fluxo descendente) ou exfiltração (fluxo lateral) de água da zona saturada, através do leito do rio.

O aquífero freático contribui para o rio com o denominado fluxo de base ou escoamento básico. O fluxo de base é a parcela do escoamento em corpos d'água proveniente da água subterrânea, e é responsável pela perenidade e regularização das vazões em rios em períodos de estiagem.

Estudos mostraram que as interações entre água superficial e subterrânea podem provocar alterações hidrológicas, como produção de escoamento (WADDINGTON *et al.*, 1993), flutuações no nível piezométrico e modificação da hidrologia superficial (WHITELEY e IRWIN, 1986; DEVITO e DILLON, 1993; DEVITO *et al.*, 1996, KATZ *et al.*, 1997). Cey *et al.* (1998) afirmaram, ainda, que as interações entre água subterrânea e superficial influenciam as condições químicas e biológicas nas proximidades dos rios.

A integridade dos sistemas subterrâneos e superficiais é freqüentemente modificada por atividades humanas, reduzindo a conectividade, alterando os processos de trocas e promovendo a contaminação tóxica ou orgânica (SOPHOCLEOUS, 2002). Custodio e Llamas (1976) afirmaram que a canalização de rios altera sensivelmente a interação entre os recursos superficiais e subterrâneos.

A distribuição espacial do sistema de fluxo (local ou regional) influencia a intensidade da descarga subterrânea natural. O rio principal de uma bacia pode receber água subterrânea de áreas próximas e possivelmente de áreas mais distantes (SOPHOCLEOUS, 2002).

Para estudar a contribuição de água subterrânea que pode ser feita de um aquífero para um rio, ou o contrário, a recarga que um reservatório subterrâneo pode receber de um curso d'água superficial, é fundamental conhecer o tipo de conexão hidráulica que se apresenta entre ambas. Os tipos de conexão podem ser divididos, principalmente, considerando dois fatores: a) a situação das formações geológicas permeáveis em relação ao leito do rio; e b) a situação relativa aos níveis do rio e os níveis piezométricos na zona do aquífero contígua ao rio (CUSTODIO E LLAMAS, 1976).

Se o nível piezométrico regional do aquífero intercepta o nível d'água do canal, o sistema rio e aquífero é hidráulicamente conectado. Por outro lado, se existe uma camada não-saturada entre o canal e o nível piezométrico regional, então o sistema pode estar hidráulicamente desconectado. Sophocleous (2002) mostrou algumas relações entre rios e aquíferos para o caso do leito do rio colmatado (Figura 14).

Figura 14 – Sistema rio-aquífero hidráulicamente conectado e desconectado para o leito colmatado: (a) rio efluente; (b) rio influente; (c) rio desconectado com superfície piezométrica rasa; (d) rio desconectado com superfície piezométrica profunda. (Modificado de SOPHOCLEOUS, 2002)

As trocas hidrológicas do sistema água subterrânea e superficial, em escala regional, são controlados pela (1) distribuição e magnitude da condutividade hidráulica; (2) relação do nível d'água no rio e no adjacente lençol freático; (3) geometria e posição do leito do rio no contexto do sistema aquífero (WOESSNER, 2000).

A direção do processo de troca varia com a altura hidráulica, enquanto que o fluxo depende da condutividade hidráulica da formação. A precipitação altera a altura hidráulica e desse modo induz a mudanças na direção do fluxo. Podem ser distinguidas duas direções de fluxo (Figura 15): (1) condição efluente, onde o reservatório subterrâneo contribui para o fluxo superficial; e (2) condição influente, onde a água superficial contribui para o fluxo sub-superficial. O caráter efluente ou influente do rio pode variar ao longo do ano na mesma área. Por outro lado, a presença de fluxos transitórios pode alterar a condutividade hidráulica da formação local via processos de erosão e deposição, e conseqüentemente afetar a intensidade das interações entre o rio e o aquífero (SOPHOCLEOUS, 2002).

Figura 15 – Condição efluente e influente de rios (A) e mapa idealizado de linhas de fluxos e piezométricas (B) (Modificado de WINTER *et al.*, 1998).

Brunke e Gonser (1997) resumiram as interações entre rios e aquíferos. Sob condições de baixa precipitação, o fluxo subterrâneo constitui o fluxo de muitos rios na maioria do ano (condição efluente). Ao contrário, sob condições de alta precipitação, o escoamento superficial e o sub-superficial gradualmente aumentam, gerando maiores

pressões hidrostáticas no trecho do rio, e como resultado ocasiona a mudança da condição de efluente para influente do rio, infiltrando em suas margens e contribuindo para a recarga do aquífero. Rios conectados são comuns em climas temperados e úmidos, particularmente nas partes mais baixas da bacia hidrográfica.

A vazão de descarga de um aquífero livre com taxa de descarga constante é linearmente proporcional ao volume contido no aquífero. Para aquíferos livres com taxa de descarga variável, a vazão é proporcional ao quadrado do volume. Por sua vez, o volume de água armazenado mantém uma relação aproximadamente linear com o nível piezométrico da zona saturada. Uma vez obtida a curva que liga as duas variáveis é possível conhecer o escoamento subterrâneo da contribuição de um rio, em função do nível piezométrico do aquífero (CUSTODIO e LLAMAS, 1996).

As interações entre água superficial e subterrânea precisam ser quantificadas em dois caminhos no contexto de estimativas dos recursos subterrâneos, ou seja, a recarga subterrânea por fontes superficiais e a descarga subterrânea para corpos d'água superficiais (LERNER, 2003).

Existem diversas técnicas para estimativa da recarga de rios, no entanto é muito mais fácil estimar as perdas de transmissão (água que deixa o rio por fluxo descendente) do que propriamente a recarga. De modo geral, as conexões da água subterrânea com a água superficial têm sido realizadas por medidas dos níveis d'água em piezômetros, e por comparação das características geoquímicas da água subterrânea e do rio (WOESSNER, 2000).

Os métodos mais comumente aplicados para estimar o fluxo subterrâneo para corpos d'água superficiais são o método do balanço hídrico, particularmente o método do balanço hídrico do canal, uso de infiltrômetros, mini-piezômetros e lisímetros de fundo de rio, traçadores e os modelos hidrométricos (aplicação da Lei de Darcy) em escala da bacia hidrográfica. A análise de hidrogramas (ou hidrógrafas) para estimativa da descarga subterrânea também pode ser um método razoável (WINTER *et al.*, 1998; LERNER, 2003). A técnica do balanço hídrico do canal proporciona estimativas das trocas de água superficial e subterrânea em escala maior quando comparadas às técnicas hidrométricas e ao uso de traçadores e de infiltrômetros, lisímetros de fundo de rio e mini-piezômetros. No entanto, para melhor entender e quantificar as interações entre aquíferos e rios ainda existe a necessidade de métodos mais precisos de medição do fluxo subterrâneo (CEY *et al.*, 1998).

Técnicas Hidrométricas

Técnicas hidrométricas requerem medidas diretas do gradiente hidráulico e da condutividade hidráulica em poços de monitoramento para calcular o fluxo subterrâneo para dentro ou para fora do rio. Este método é simples e proporciona uma estimativa local do fluxo subterrâneo para o rio, no entanto os resultados podem ser influenciados pela heterogeneidade, posicionamento espacial dos poços de monitoramento e precisão das estimativas da condutividade hidráulica (CEY *et al.*, 1998).

Uma aproximação simples para estimar o fluxo é considerar o fluxo entre o rio e o aquífero sendo controlado por um único mecanismo, como a drenança através de uma camada semi-permeável unidimensional (RUSHTON e TOMLINSON, 1979). Este mecanismo, baseado na Lei de Darcy, onde o fluxo é uma função direta da condutividade hidráulica e da diferença de altura, pode ser expressa como:

$$q = \alpha \cdot \Delta h \quad (29)$$

onde $\Delta h = h_a - h_r$ (h_a é o nível d'água no aquífero e h_r é o nível d'água no rio), q é o fluxo entre o rio e o aquífero e α é uma constante representativa do coeficiente de drenança pelo leito do rio (condutividade hidráulica do leito semi-permeável do rio dividida pela sua espessura).

A hipótese de uma relação linear entre q e Δh é freqüentemente muito simplista. Diversas publicações, incluindo Rushton e Tomlinson (1979), notaram que a drenança total durante a recessão do fluxo do rio é independente do coeficiente de drenança, α .

Infiltrômetros e Mini-piezômetros

Infiltrômetros e mini-piezômetros são dispositivos simples que permitem coletar dados hidráulicos diretamente no leito do rio (LEE, 1978; LEE e CHERRY, 1978; WOESSNER e SULLIVAN, 1984; SHAW e PREPAS, 1990; CEY *et al.*, 1998). Mini-piezômetros proporcionam informação do gradiente hidráulico, enquanto infiltrômetros permitem a medida direta do fluxo de infiltração entre o sistema subterrâneo e a água superficial. Uma descrição completa do uso de infiltrômetros é dada em Lee (1977).

Balanço Hídrico do Canal

Medidas da vazão podem ser usadas para inferir as contribuições subterrâneas (DEVITO *et al.*, 1996; CEY *et al.*, 1998). Assumindo que todos os fluxos para dentro ou para fora do rio (exceto as trocas entre a água subterrânea e superficial) são determinados, um balanço de massa simples pode proporcionar uma estimativa do fluxo subterrâneo líquido.

A Figura 16 ilustra o balanço hídrico no canal, no qual a recarga – mais precisamente as perdas por transmissão – é encontrada pela diferença de todos os outros fluxos.

Figura 16 – Balanço hídrico no canal

A equação para encontrar a contribuição subterrânea pode ser escrita como:

$$Q_m \cdot \Delta t = (Q_j + R + Q_i - Q_0 - E) \cdot \Delta t \pm \Delta S \quad (30)$$

onde,

Q_m : vazão na seção de montante;

Q_j : vazão na seção de jusante;

R : contribuição subterrânea (recarga). (+) para condição efluente e (-) para condição influente;

Q_i : vazão de tributários;

Q_0 : vazão desviada do rio;

E : taxa de evaporação da superfície do rio (para rios extensos e longos períodos de tempo, a evaporação superficial não pode ser negligenciada);

ΔS : mudança de armazenamento na margem ((+) para decréscimo e (-) para acréscimo); e

Δt : intervalo de tempo.

Os dados de vazão do rio são freqüentemente disponíveis para bacias hidrográficas e, se uma boa correlação pode ser estabelecida, registros de recarga podem ser estendidos de dados históricos de vazão.

No entanto, alguns tipos de erros potenciais devem ser controlados para aplicação deste método (LERNER, 2003):

- A medição da vazão, à jusante e à montante, pode ser difícil e imprecisa, especialmente para rios sazonais;
- Fluxos tributários freqüentemente não são conhecidos;
- Em área urbana ou agrícola, águas explotadas e residuárias podem retornar ao sistema, e ser novamente parte do balanço hídrico;
- A evaporação do leito do rio pode ser parte essencial do balanço, e geralmente é negligenciada;
- Somente perdas por transmissão são estimadas.

Traçadores

Diversos trabalhos fazem uso de traçadores, na quantificação da interação entre recursos subterrâneos e superficiais (BARNES e ALLISON, 1983; BEYERLE *et al.*, 1999; CRISS e DAVISSON, 1995; HARVEY *et al.*, 1996; CEY *et al.*, 1998).

Traçadores isótopos ou químicos podem ser usados para quantificar a contribuição do aquífero para o rio em situações onde o fluxo do rio é composto por dois ou mais componente distintos. Técnicas do balanço de massa químico ou isotópico são mais comumente utilizados para estimar as contribuições subterrâneas para os rios durante eventos de precipitação pela separação do hidrograma; eles não podem ser usados durante períodos de fluxo de base se o fluxo do rio é derivado inteiramente da descarga subterrânea (CEY *et al.*, 1998).

Isótopos de hidrogênio e oxigênio são poderosos traçadores naturais usados para identificar, delinear e caracterizar os fluxos entre corpos d'água superficiais e o aquífero freático. Ainda, isótopos proporcionam uma visualização dinâmica de fontes, trajetórias e migrações neste contexto de interação (CRISS e DAVISSON, 1995).

Separação do Fluxo de Base

O escoamento total do rio é separado em escoamento superficial (ou escoamento direto) e em fluxo de base (ou escoamento básico). A separação desses fluxos pode ser

estimada através da análise da hidrógrafa ou hidrograma (Figura 17). Muitos pesquisadores têm focalizado a separação da hidrógrafa para curtos períodos de tempo (LINSLEY *et al.*, 1958; RORABAUGH, 1964; HALFORD e MAYER, 2000). Métodos computacionais de separação da hidrógrafa tornaram possíveis aplicações para escalas de tempo maiores (RUTLEDGE, 1993; RUTLEDGE e DANIEL, 1994; MAYER e JONES, 1996; SMAKHTIN, 2001; XU *et al.*, 2002; HUGHES *et al.*, 2003). Merecem destaque, ainda, os trabalhos de Nathan e McMahon (1990), Wittenberg (1999), Chapman (1999) e Ketchum *et al.* (2000).

Figura 17 – Separação idealizada de hidrograma

O fluxo de base pode ser separado da série diária ou mensal de vazão de um rio (SMAKHTIN, 2001). Para essa separação, três aproximações parecem ser conceitualmente úteis (LERNER, 2003):

- Separação gráfica;
- Curvas de taxa do fluxo de base; e
- Deslocamento da curva de recessão.

Porém, como apontado por Halford e Mayer (2000), baseados na análise de 13 áreas nos Estados Unidos, todas as técnicas de separação da hidrógrafa, quando usadas sozinhas, são ferramentas pobres para estimativa da descarga subterrânea devido ao maior número de hipóteses não serem encontradas na prática. Já, Arnold e Allen (1999) afirmaram terem tido bons resultados com a correlação entre a técnica de separação e o balanço de massa da bacia hidrográfica para 6 rios dos Estados Unidos. Wittenberg e Sivapalan (1999) obtiveram sucesso analisando o fluxo do rio para determinar os

principais componentes do balanço subterrâneo, incluindo variações sazonais na evapotranspiração, para uma bacia hidrográfica na parte úmida do oeste da Austrália.

O cálculo preciso da contribuição subterrânea para um rio é extremamente difícil (XU *et al.*, 2002). Hughes *et al.* (2003) afirmaram que existe uma necessidade de estudos a fim de gerar refinamentos nas técnicas de separação simples da hidrógrafa, contribuindo assim para uma maior confiabilidade numa variedade de aplicações.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos caracterizações, pesquisas, ensaios e avaliações realizados com a finalidade de atingir os objetivos propostos. As atividades foram reunidas e especificadas, para facilidade de apresentação, em: Levantamento de Dados Gerais, Atividades de Campo e Atividades de Laboratório.

3.1. LEVANTAMENTO DE DADOS GERAIS

A fase de levantamento de dados compreendeu o levantamento bibliográfico e levantamento de informações básicas anteriormente produzidas que viabilizassem a realização do estudo. Esta análise permitiu um reconhecimento de estudos realizados na área, e na coleta de informações, métodos e dados que seriam necessários à contemplação geral do projeto. Os trabalhos anteriormente pesquisados condicionaram a escolha de métodos, ensaios e, principalmente, como se daria a análise dos dados obtidos.

3.1.1. Revisão Bibliográfica

Essa etapa envolveu o levantamento de estudos relacionados aos assuntos abordados na pesquisa, tanto na literatura nacional como, principalmente, internacional. Na pesquisa literária buscou-se um maior entendimento dos aspectos quantitativos dos recursos subterrâneos, assim como o modo de atingir os objetivos propostos. Com a concretização dessa etapa, foi possível delinear o tratamento dos objetivos propostos, conjuntamente com dados relevantes de geologia, hidrogeologia, topografia, hidrologia, geotecnia, ocupação do solo, entre outros, obtidos para a área e aplicáveis a esta.

3.1.2. Dados Meteorológicos

Os dados de precipitação (ANEXO A) foram obtidos de quatro postos pluviométricos (localização no APÊNDICE B). Os quatro postos estão nos limites das sub-bacias, sendo denominados de Estação da Defesa Civil, Estação do Fórum, LAEG e Estação da FADISC. Esses dados são coletados e compilados no NIBH (Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas).

Os dados de temperatura diária também puderam ser obtidos junto à Estação da Defesa Civil, do LAEG e da FADISC (ANEXO A).

Os dados de precipitação provenientes das estações da Defesa Civil e do Fórum foram computados no período de fevereiro a outubro de 2004. Os dados anteriores a fevereiro de 2004 não compunham o período de dados para o ano hidrológico do presente estudo, e os dados de novembro de 2004 a janeiro de 2005 apresentaram falhas na observação, e foram descartados. A estação do LAEG entrou em funcionamento no mês de novembro de 2004, e os dados produzidos no período de novembro de 2004 a fevereiro de 2005 foram utilizados neste trabalho. Os dados da estação da FADISC foram utilizados de forma integral no período de fevereiro de 2004 a janeiro de 2005.

Os dados pluviométricos foram utilizados na estimativa da recarga subterrânea, diretamente no método CRD e no método do Balanço Hídrico, e indiretamente no método WTF. Os dados de temperatura foram utilizados no método do Balanço Hídrico.

3.1.3. Dados de Uso e Ocupação

Os dados de uso e ocupação do solo delinearam os limites da área permeável para infiltração efetiva, no contexto da área de estudo. Foi realizado um mapeamento por meio de análise integrada de fotografias aéreas para classificação de áreas com diferentes características de infiltração de água (presença de áreas verdes, áreas pavimentadas, etc). Os dados referentes à Bacia do Gregório foram obtidos de BOLDRIN (2004), Tabela 6, e os da Bacia do Tijuco Preto de OHNUMA JR. (2004), Tabela 7.

Tabela 6 – Classificação de classes de uso e ocupação da Bacia do Gregório – 1998. (Até seção do Fórum).

Parque	1,47%
Residencial/Comercial	17,61%
Industrial	1,67%
Chão batido	0,73%
Agricultura	3,93%
Terrenos baldios	17,64%
Zonas florestais BOAS	5,11%
Zonas florestais RUINS	11,07%
Pastagem	30,49%
Arruamento	10,27%

Tabela 7 – Classificação de classes de uso e ocupação da Bacia do Tijuco Preto – 1998. (Até seção da Rui Barbosa).

Zona impermeável residencial	50,7%
Zonas florestais	7,4%
Baldio em boas condições	17,3%
Zona impermeável industrial	6,6%
Arruamento	18,0%

A Tabela 6 mostra uma pequena área urbanizada, no entanto, a nascente e um trecho do Córrego do Gregório estão localizados na porção rural da bacia. No caso do presente trabalho, os piezômetros estão localizados (APÊNDICE B) entre a rotatória da Educativa e o SESC, trecho bastante urbanizado, podendo estimar (descontando a área de pastagens e agricultura) um elevado índice de urbanização, sendo da ordem de 70%. A Tabela 7 revela um elevado índice de urbanização, sendo que cerca de 75% da Bacia do Tijuco Preto encontra-se impermeabilizada. Assim, área efetivamente passível de infiltração é de 30% na Bacia do Gregório e 25% na Bacia do Tijuco Preto. A área permeável foi utilizada na estimativa do volume total de recarga no período hidrológico considerado de 1 (um) ano. O volume total de recarga menos volume total explorado, num determinado período, é um indicativo representativo do uso racional da água subterrânea.

3.1.4. Sondagens “SPT”

Os dados de sondagens obtidos junto à PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (1993, 2002) e à ESTATEC SÃO CARLOS – COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA. (ANEXO B – SPT: Sondagens de Simples Reconhecimento) forneceram subsídios para uma melhor caracterização litológica e uma melhor caracterização espacial do nível potenciométrico, com base em um grande número de níveis d’água

conhecido. Puderam ser cadastradas 57 e 14 sondagens do tipo “SPT” (*Standard Penetration Test*) na bacia do Gregório e na bacia do Tijuco Preto, respectivamente. As profundidades máximas alcançadas foram de 19,36 m na Bacia do Gregório e de 17,39 m na Bacia do Tijuco Preto.

3.2. ATIVIDADES DE CAMPO

As atividades realizadas em campo foram definidas como o foco principal desta pesquisa, por ser de natureza extremamente prática, e que demonstraria as condições reais de alterações e modificações nos parâmetros envolvidos no estudo. As atividades de campo compreenderam a realização de sondagens complementares, os trabalhos de construção da rede de monitoramento do lençol freático, a coleta e reconhecimento de dados geológicos, os ensaios de determinação da condutividade hidráulica, o posicionamento global de coordenadas espaciais e altimétricas e o monitoramento semanal dos níveis d’água dos piezômetros.

3.2.1. Sondagens “SPT”

A partir dos dados de sondagens cadastradas da área de estudo, foi concebido que existiria uma necessidade de sondagens complementares que contemplassem o propósito de investigar a geotecnia e o nível freático estático específico para construção dos poços de monitoramento. Nesse âmbito, foram realizados 30 furos de sondagem com apoio da PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS e do Projeto FINEP-CT-HIDRO (2003), sendo que 20 destes furos foram executados na sub-bacia do Córrego do Tijuco Preto e o restante, ou seja, 10 furos, na sub-bacia do Córrego do Gregório (APÊNDICE B – Mapa de localização).

As profundidades atingidas pelas sondagens variaram de 4,75 a 19,20 m. A partir destas sondagens foi possível definir a localização dos piezômetros, assim como estimar profundidades médias dos piezômetros, a fim de atender os objetivos do presente estudo.

3.2.2. Projeto da Rede de Monitoramento

De modo geral, a construção de uma rede de piezômetros é uma operação de tentativa e erro (ELLERT *et al.*, 1986). A existência de variações das condições geológicas em dados locais que afetam o comportamento hidrogeológico local,

resultando em alterações que modificam completamente o comportamento do fluxo de água subterrânea, é um importante fator de incerteza de uma rede de monitoramento.

A distribuição espacial dos poços do presente estudo, em uma análise preliminar, considerou fatores como a existência de áreas livres da impermeabilização, facilidade de acesso e priorização das áreas públicas, além da necessidade de atender a finalidade dos objetivos propostos (quantificação da recarga subterrânea e avaliação da interação rio e aquífero).

A finalidade principal dos piezômetros neste estudo foi monitorar a variação de nível do lençol freático no ano hidrológico (fevereiro/2004 – janeiro/2005), gerando assim, dados passíveis de caracterização e quantificação do recurso subterrâneo, através da estimativa da recarga e da interação rio e aquífero.

3.2.3. Construção da Rede de Monitoramento de Água Subterrânea

Os piezômetros foram construídos segundo os dados das sondagens executadas na bacia, e na consulta de outras sondagens já realizadas pela PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (1993, 2002), e que estavam à disposição. Outro dado relevante é a localização da rede de águas pluviais e esgotos. No entanto, não existe a localização cadastral destas redes, assim, a localização espacial das perfurações foi definida a partir da sensibilidade e da visualização de PV's (Poços de Visita) existentes.

Os furos foram executados com um bate-estaca (com camisa metálica de revestimento), considerada ser uma técnica de baixo custo e que evitaria desmoronamentos durante a execução. Este procedimento consiste em cravar um pilão de 3 m no solo, e em seguida inserir a camisa metálica para proteção contra desmoronamentos durante a perfuração. O restante da perfuração é realizado com uma espécie de sonda e, à medida que se avança 3 m de perfuração, é inserida uma nova camisa metálica. A sonda permite a coleta de amostras do solo perfurado. Pode ser visto na Figura 20, o processo de cravação já mencionado com o uso de um tripé. Após ser atingido o nível freático, esta perfuração é executada por mais 1,0 m. Como a perfuração foi realizada no mês de outubro de 2003, e considerando que o nível d'água estivesse no nível mais profundo ou perto deste durante o ano, estimou-se que o nível freático ficaria acima da base (fundo) do piezômetro, durante o ano hidrológico. Depois de concluída a perfuração, é realizada ainda uma limpeza do poço com a sonda e posicionado o tubo de PVC, internamente às camisas, até a extremidade inferior do furo.

Após o posicionamento do tubo de PVC, é adicionado, entre a parede interna da camisa e externa do tubo, espaço anular, areia grossa até preencher a altura de 1,5 m, servindo como pré-filtro.

Figura 20 – Perfuração dos piezômetros – Técnica tipo bate-estaca

Foram construídos 20 poços de monitoramento, no período entre outubro e dezembro de 2003, nas sub-bacias contíguas, sendo que 10 estão localizados na Bacia do Gregório e 10 na Bacia do Tijuco Preto (APÊNDICE B – Mapa de localização). As profundidades dos piezômetros variaram de 4,31 m a 13,32 m (Tabela 8).

Tabela 8 – Profundidade atingida pelos piezômetros

	Piezômetro	Profundidade (m)		Piezômetro	Profundidade (m)
Bacia do Tijuco Preto	PM 01	8,36	Bacia do Gregório	PM 11	7,93
	PM 02	4,31		PM 12	6,11
	PM 03	6,21		PM 13	9,10
	PM 04	7,57		PM 14	4,41
	PM 05	4,93		PM 15	6,60
	PM 06	6,16		PM 16	5,36
	PM 07	5,83		PM 17	13,27
	PM 08	7,56		PM 18	8,30
	PM 09	4,40		PM 19	13,32
	PM 10	8,48		PM 20	10,05

O poço PM 13 apresentou-se seco no início do período de monitoramento. Com isso, foi necessária a construção de um novo poço (PM 20). O PM 20 foi construído com perfuratriz rotativa, processo que acabou sendo mais econômico do que o bate-

estaca, visto que o solo da região é bastante compacto e dificilmente provoca desmoronamentos na perfuração.

O diâmetro do furo foi de 9" para a técnica de perfuração com bate-estaca e de 8" para a perfuratriz rotativa. Os piezômetros são de tubo de *PVC* branco de 4" de diâmetro, revestidos na porção inferior, seção filtrante, (altura de 1,5 m) com geotêxtil que atua como filtro. O espaço anular perfurado foi preenchido com areia grossa (altura de 1,5 m) e o restante com o próprio material escavado. Os tubos de *PVC* possuem tampas (*caps*) em ambas as extremidades (fixa na extremidade inferior e livre na extremidade superior), evitando a entrada de material sólido. Na extremidade superior do tubo de *PVC*, ou seja, na superfície do terreno, existe, ainda, um bloco de concreto com a finalidade de proteção. A Figura 21 detalha o bloco de proteção.

Figura 21 – Bloco de proteção dos piezômetros

3.2.4. Coleta de Amostras de Solo para Caracterização Granulométrica

Apenas com a construção do poço PM 20, em substituição ao poço PM 13 (que se apresentou seco), foram retiradas amostras para realização do ensaio granulométrico. As amostras foram retiradas de *m* em *m*, e encaminhadas, em sacos plásticos perfeitamente lacrados e etiquetados, para análise granulométrica (etapa de laboratório).

3.2.5. Determinação da Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica dos piezômetros foi determinada em campo, após a construção da rede de monitoramento de água subterrânea, com a técnica *slug test* (BUTLER, 1997). Esse procedimento consiste em provocar uma variação repentina do nível d'água, em seguida registrar a variação em função do tempo até o retorno das

condições estáticas iniciais. Para essa variação brusca e repentina foram adotadas três diferentes metodologias (Figura 22), de acordo com a coluna d'água observada no poço.

- a) **Adição de um objeto sólido:** o objeto sólido é um tubo de *PVC* branco (Figura 22.a), de 3" de diâmetro e 1,5 m de comprimento, com ambas extremidades fechadas com *caps* e preenchido com brita nº 1. Esse tubo foi dimensionado a fim de deslocar, aproximadamente, um volume de 6,85 L e provocar uma variação de 85 cm no interior do piezômetro de 4".
- b) **Adição de um volume de água:** foi estimado um volume de água a ser adicionado, através de um recipiente plástico (Figura 22.b), de 6,85 L, para que tal volume também provocasse uma elevação de 85 cm no interior do piezômetro.
- c) **Remoção de um volume de água:** foi dimensionado um tubo de *PVC* branco (Figura 22.c), de 1½" e 3,0 m de comprimento, com uma válvula de pé com crivo ("cebolinha") na extremidade inferior. Após duas rápidas imersões e retirada de água, essa operação permite, aproximadamente, uma remoção de volume de 6,85 L e conseqüente variação de altura de 85 cm no interior do piezômetro de 4".

Figura 22 – Metodologias utilizadas para realização do *slug test*
a) objeto sólido (*PVC*) b) adição de volume d'água c) retirada de volume d'água

Foram realizadas duas campanhas de determinação da condutividade hidráulica em campo, objetivando obter um valor médio para cada piezômetro e eliminar possíveis erros. A primeira campanha foi realizada no fim do outono (maio de 2004) e a segunda foi realizada no fim da primavera e início do verão (dezembro de 2004). A primeira campanha foi realizada em período de estiagem, enquanto que a segunda foi realizada no início da estação chuvosa.

Na primeira campanha, foram realizados três ensaios no PM 16, para efeito de comparação de tipos de metodologias utilizadas: o primeiro, com adição do objeto sólido; o segundo, com adição de um volume d'água e o terceiro, com retirada de um volume d'água. Os dois primeiros ensaios produzem um fluxo do poço para o aquífero, já o terceiro ensaio produz o inverso, ou seja, produz um fluxo do aquífero para o poço.

O equipamento utilizado (Figura 23) para coleta dos dados de variação de nível consiste em um transdutor de pressão nível/profundidade, de um indicador digital para observação visual da variação do nível ao longo do tempo e de um *data-logger* para armazenamento dos dados (com incrementos de tempo pré-determinados). Os incrementos de tempo (1,0 s) foram definidos em função da resposta esperada devido ao conhecimento prévio do material presente ao redor do piezômetro.

Figura 23 – Equipamentos para medição e armazenamento dos dados de variação do nível d'água

O método utilizado para análise dos dados obtidos com o *slug test* foi o Método Bouwer-Rice (BOUWER e RICE, 1976), com auxílio de planilhas desenvolvidas pela USGS*, para análise de dados de testes de aquíferos.

* *United States Geological Survey*, Agência de Pesquisa Geológica dos EUA.

3.2.6. Posicionamento Global de Coordenadas

A locação espacial dos piezômetros foi realizada com GPS (Figura 24), com apoio do Departamento de Transportes (EESC-USP). Esse posicionamento permitiu definir distâncias entre poços e, ainda, permitiu traçar diretrizes para definir a área de influência de cada piezômetro que compõe a rede de monitoramento.

Figura 24 – Visualização do posicionamento global de coordenadas – GPS

A locação altimétrica dos piezômetros foi realizada devido à necessidade do conhecimento da cota da superfície do poço. Essa cota forneceu subsídios para caracterização topográfica do perfil, profundidade do poço e do nível d'água em relação a um referencial comum (nível do mar). A determinação da cota de superfície do piezômetro foi realizada simultaneamente à locação espacial, utilizando o mesmo GPS.

O posicionamento global foi realizado entre os meses de maio e agosto de 2004. Os pontos estão em UTM (Tabela 9) – Elipsóide SAD (1969) e o ponto de controle é o ponto STT (Departamento de Transportes) com os seguintes dados:

- ✓ (N)orte = 7.563.832,304002 m
- ✓ l(E)ste = 200.708,177431 m
- ✓ Zona 23 K
- ✓ $h = 831,7280$ m
- ✓ Convergência Meridiana = $1^{\circ}05'12,8313''$

Tabela 9 – Coordenadas espaciais e altimétricas dos piezômetros

Poço	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)
PM 01	203.238,96	7.563.297,50	877,12
PM 02	203.198,64	7.563.303,03	872,40
PM 03	203.173,01	7.563.256,47	872,75
PM 04	203.092,11	7.563.380,66	867,99
PM 05	202.928,68	7.563.447,79	858,53
PM 06	202.889,67	7.563.397,09	864,26
PM 07	202.586,52	7.563.737,16	848,65
PM 08	202.582,09	7.563.880,49	856,32
PM 09	201.968,01	7.563.880,07	835,74
PM 10	201.986,97	7.563.658,77	845,74
PM 11	203.509,28	7.561.518,81	836,27
PM 12	202.635,59	7.561.727,70	828,02
PM 13	202.556,74	7.561.670,76	836,46
PM 14	202.240,85	7.562.044,13	818,45
PM 15	202.241,90	7.561.988,20	823,37
PM 16	201.663,16	7.562.156,40	810,11
PM 17	201.646,83	7.562.335,42	819,83
PM 18	200.131,76	7.562.536,56	793,78
PM 19	200.133,47	7.562.430,94	804,76
PM 20	202.613,99	7.561.941,93	830,98

Apenas o poço PM 17 (Figura 24) não pode ser feito diretamente com o GPS, devido ao fato de ser circundado por árvores que afetaram a busca por satélites e a garantia de uma precisão aceitável. Com isso foi locado um ponto a alguns metros do poço PM 17 com GPS, e deste ponto foi visado o PM 17 com a utilização de uma Estação Total.

3.2.7. Monitoramento dos Piezômetros e Frequência de Amostragem

O monitoramento consistiu de observação, registro e acompanhamento de medidas do nível d'água nos piezômetros. O monitoramento do nível d'água foi realizado no período de fevereiro de 2004 a janeiro de 2005.

A frequência de amostragem é uma importante variável referente à periodicidade de variação do nível d'água numa rede de monitoramento de água subterrânea.

Zhou (1996) estudou a frequência de amostragem em poços de observação ao redor de uma estação de bombeamento de água para abastecimento em Spannenburg, Holanda, e concluiu que, para flutuações do nível d'água, a medição mensal do nível d'água era suficiente. Menegásse-Velásquez (1996) estudou a recarga freática nas sub-bacias Sumaré e Pompéia, São Paulo, e sugeriu um intervalo de medição menor que mensal para medição do nível d'água, devido a pequenas oscilações que certamente ocorrem entre sucessivas medições.

O presente estudo definiu que a medição de variação do nível fosse realizada com intervalo semanal para verificar sucessivas variações, perfazendo este intervalo durante todo o ano hidrológico de estudo. A medida do nível foi efetuada com medidor de nível elétrico, modelo HS-200 e HS-50 (Figura 25).

Figura 25 – Medidor de nível elétrico (modelo HS-200)

Devido a problemas ocorridos, seja por adversidades climáticas ou físicas, as medições sucessivas se situaram no intervalo de 5 a 9 dias. Alguns poços (PM 04, PM 06 e PM 10) apresentaram problemas durante o período de medições. Esses problemas foram decorrentes de ações de vandalismo e do uso de tratores para limpeza pública e particular de terrenos. Assim, algumas campanhas de monitoramento não foram realizadas nesses piezômetros. Essas falhas foram preenchidas por correlações com outros poços, considerando o posicionamento global dos piezômetros, a profundidade do nível d'água e do poço e a similaridade do valor de condutividade hidráulica.

Todas as campanhas de medições no período de fevereiro de 2004 a janeiro de 2005 constam no APÊNDICE A. As planilhas mostram dados da profundidade do poço e da profundidade do nível d'água em relação à boca do poço (superfície do terreno). Conjuntamente, são detalhados os gráficos da precipitação vs. variação do nível d'água no período monitorado (APÊNDICE A).

3.3. ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

A atividade realizada em laboratório teve como objetivo principal permitir uma caracterização mais detalhada do lençol freático da área de estudo. A atividade de laboratório compreendeu a etapa de elaboração da curva granulométrica e levantamento do perfil litológico com base nas sondagens realizadas e obtidas. Com base na elaboração da curva granulométrica do poço PM 20 e nos perfis de sondagem foi discutido a representatividade da amostragem granulométrica.

3.3.1. Ensaio Granulométrico do Solo

O ensaio de granulometria visa obter os pares de valores referentes ao tamanho da partícula e sua percentagem de ocorrência, fundamentais ao traçado da curva granulométrica do solo. A curva granulométrica permite a classificação textural dos solos, além de fornecer os diversos diâmetros necessários para caracterização empírica de muitas formulações.

No início do projeto, pensava-se em fazer uma descrição completa de todos os poços. No entanto, devido à obtenção de vários dados de sondagem, foi discutida a representatividade temporal e espacial de uma descrição tão detalhada da geotecnia e geologia da região. Foi concluído que este procedimento seria inviável para os intuitos da pesquisa frente ao grande intervalo de tempo exigido para concretização desses ensaios.

Assim, somente com a construção de um novo piezômetro (PM 20) em substituição ao poço (PM 13) que se apresentou seco, na Bacia do Gregório, foram coletadas amostras ao longo da profundidade perfurada de 10 m. Após uma análise táctil-visual, no departamento de Geotecnia-EESC/USP, foram descartadas as amostras representativas das profundidades de 2, 3, 5, 6 e 8 m, frente ao fato da homogeneidade destas com as amostras escolhidas e ensaiadas.

O método de ensaio adotado foi o de análise granulométrica conjunta, ou seja, uma fase de peneiramento e outra de sedimentação, caracterizando, assim, os solos com partículas grossas e finas.

O procedimento de ensaio (MB-32: Solo-Análise Granulométrica), assim como as peneiras (EB-22: Peneiras para Ensaio) são padronizados e normalizados pela ABNT.

As 10 amostras retiradas do campo, em sua condição natural de teor de umidade, foram levadas ao laboratório e, inicialmente, colocadas para secar em condições ambientes. Após este período (1 dia), as amostras foram peneiradas (Peneira #4) para retirada de partículas grosseiras. Então, as amostras foram homogeneizadas manualmente e preparadas para os ensaios.

Para a fase de sedimentação foi separada uma porção, entre 65 g e 70 g de cada amostra, a partir da percepção que se tratava de um solo extremamente fino. Essa quantidade foi ajustada a partir de uma primeira falha de não leitura do densímetro, já que em uma primeira etapa fora separada uma quantidade de cerca de 80 g. Foi acrescentado 125 g em solução de defloculante *hexametáfosfato de sódio* ($45,7 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) ao material para facilitar a retirada de finos. A amostra homogeneizada foi deixada em repouso, por um período de 24 horas, em local sem ventilação e sem incidência direta de raios solares. Logo, foram realizados os ensaios de sedimentação que perfizeram um total de 8 horas de anotações na escala do densímetro (ASTM 151-H).

Após o término do ensaio de sedimentação, foram utilizadas outras amostras (cerca de 55 g) para confecção da curva granulométrica do material (solo) do poço de monitoramento. O procedimento consistiu em retirar os finos das amostras de sedimentação através da passagem pela peneira #200 e colocar as partículas retidas nesta peneira para secagem em estufa.

O estudo ainda visou determinar a massa específica dos sólidos. O procedimento consistiu em separar cerca de 55 g do material, passá-lo por um dispersor e, em seguida, transferi-lo para um picnômetro (volume útil de 500 cm^3). O picnômetro foi resfriado até uma temperatura dentro do intervalo de calibração, entre 15 e 25°C. Neste intervalo foram realizadas cinco medidas da temperatura e a correspondente massa do picnômetro. O picnômetro foi calibrado com água destilada desaerada.

A Tabela 10 mostra a distribuição granulométrica das amostras nas respectivas profundidades. De modo geral, trata-se de uma argila siltosa.

Tabela 10 – Resultados do Ensaio Granulométrico (PM 20) – (Planilha adaptada do modelo padrão do Departamento de Geotecnia/EESC/USP)

Profundidade (m)	Massa Específica (g·cm ⁻³)	Porcentagem		
		Areia	Silte	Argila
1,0	2,819	34,0%	21,0%	45,0%
4,0	2,956	23,0%	40,5%	36,5%
7,0	2,926	16,0%	34,5%	49,5%
9,0	2,898	15,0%	40,0%	45,0%
10,0	2,957	15,0%	47,0%	38,0%

As Figuras 26 a 30 mostram as curvas granulométricas das respectivas amostras, nas respectivas profundidades, obtidas com o ensaio de granulometria conjunta (sedimentação e peneiramento).

Figura 26 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 1,0 m)

Figura 27 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 4,0 m)

Figura 28 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 7,0 m)

Figura 29 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 9,0 m)

Figura 30 – Curva Granulométrica PM 20 (Profundidade: 10,0 m)

A Figura 31 descreve o perfil litológico do piezômetro PM 20 obtido com o ensaio granulométrico, e a Tabela 11 mostra a descrição litológica resultante da sondagem SPT.

Prof. (m)	Material	
1	argila arenosa	
2		
3		
4	silte argiloso	
5		
6		
7	argila siltosa	
8		
9		
10	silte argiloso	

Figura 31 – Perfil litológico do PM 20 – Ensaio Granulométrico

Tabela 11 – Descrição litológica local do PM 20 – Sondagem SPT

NÍVEL D'ÁGUA (m)	PROF. DA CAMADA (m)	AMOSTRAS	SPT			CLASSIFICAÇÃO DO SUB-SOLO
	0,65					ATERRO DE MATERIAL ARGILO ARENOSO, SEM COMPACTAÇÃO
		1,00	1/45	x	x	
	4,50	2,00	1/30	1/20	x	
		3,00	1/25	1/20	x	
		4,00	1	1	1	
	10,45	5,00	2	3	3	ARGILA POUCA SILTOSA, MÉDIA A RIJA, MARROM VARIEGADA.
6,35		6,00	2	4	6	
		7,00	2	3	4	
		8,00	2	3	5	
		9,00	3	4	6	
		10,00	4	6	8	
						FIM DO FURO PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.

Pode-se concluir que os resultados do ensaio granulométrico e da sondagem geológica indicam o mesmo tipo de material. A curva granulométrica provê um detalhamento maior, contudo, o relatório de sondagem apresenta a mesma representatividade, de modo geral, na caracterização do tipo de solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ÁREA DE ESTUDO

Neste item desenvolve-se a caracterização da área de estudo, com as particularidades dos sistemas que a compõem, assim como a caracterização geotécnica da região.

4.1.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo compreende as duas sub-bacias contíguas do Córrego do Gregório e do Córrego do Tijuco Preto (Figura 18), com áreas de drenagem de, aproximadamente, 18,9 km² e 3,9 km², respectivamente, na zona central do município de São Carlos, Estado de São Paulo. A área é limitada pelas coordenadas UTM 7.558 e UTM 7.565 km Norte, e 199 km e 206 km Leste (*Datum*: Córrego Alegre, MG). As bacias possuem cotas que variam entre 805 m e 905 m, na Bacia do Tijuco Preto, e 785 m e 935 m, na Bacia do Gregório.

Podemos destacar os seguintes trabalhos que englobam as sub-bacias do Córrego do Gregório e/ou do Córrego do Tijuco Preto, de modo direto ou indireto, na área de recursos hídricos e engenharia ambiental e no campo geotécnico, passíveis de fornecerem algumas informações à confecção do presente estudo: Bjornberg e Tolentino, 1959; Tolentino, 1967; Vilar, 1979; Zuquette, 1981; Bortolucci, 1983; Gonçalves, 1986; Neves, 1987; Nishiyama, 1991; Rebelatto, 1991; Oliveira, 1998; Soto, 1999; Gadotti, 2000; Macambira, 2002; Montañó, 2002.

Figura 18 – Localização das sub-bacias do Gregório e do Tijuco Preto na área urbana de São Carlos, SP.

Fonte principal: Prefeitura Municipal de São Carlos, Mapa Topográfico - Escala 1:10.000

No sistema hidrográfico, as sub-bacias do Gregório e Tijuco Preto são drenadas pelos dois córregos principais de mesmo nome, com extensão de 8,4 km e 2,9 km, respectivamente. As sub-bacias pertencem à Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho, a qual está inserida na Bacia do Rio Jacaré-Guaçu, inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, inserida na Bacia Hidrográfica do Paraná, que por sua vez, está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio da Prata.

O principal responsável pela drenagem urbana é o Rio Monjolinho, que atravessa a cidade pelas regiões norte e oeste, seguindo a direção NE-SW. Os córregos do Gregório e do Tijuco Preto são afluentes do Rio Monjolinho, e têm transcurso SE-NW, banhando a região central e norte da cidade de São Carlos-SP, respectivamente. Todos eles possuem pequena vazão, perfis estabilizados, drenagem dendrítica e não têm controle estrutural exercido pelas formações geológicas locais (BJORNBERG e TOLENTINO, 1959).

A área de estudo apresenta intensa urbanização (cerca de 70%) e elevado índice de impermeabilização e os bairros são dotados de ampla infra-estrutura urbana, sendo abastecida pela rede de água e provida de rede de esgotos, no entanto, assim como toda a cidade, sem qualquer tratamento dos efluentes. A área apresenta, ainda, problemas de drenagem.

Os bairros mais importantes, parcialmente ou totalmente, contidos na área de estudo, são: Centro, Tijuco Preto, Vila Prado, Vila Monteiro, Centreville, Azulville, Jardim São Carlos, Jardim Paulista, Jardim Cardinalli e Vila Faria. Os terrenos de várzea, na quase totalidade, são ocupados pelo zoneamento residencial e por marginais. Destacam-se no sistema viário da área, as avenidas implantadas em fundo de vales (Marginal Av. Trabalhador Sancarlenso e Marginal Av. Comendador Maffei) e as avenidas de acesso principal (Av. São Carlos, sentido norte-sul e Av. Getúlio Vargas, no divisor norte da Bacia do Gregório).

A classificação do clima do Município de São Carlos, pela sistemática Köppen, está entre o tipo Cwa e Aw, descrito como transição do clima tropical quente com inverno seco para tropical de verão seco e inverno úmido (EMBRAPA-CCPSE, 1999).

4.1.2. Quadro Geológico

4.1.2.1.Contexto Geológico

A cidade de São Carlos está localizada na parte centro-oriental do Estado de São Paulo, na borda oeste da Província Geomorfológica denominada de “cuestas basálticas”, próximo ao Planalto Ocidental Paulista. Sua posição geográfica é determinada pelas coordenadas 22°01'22" de latitude Sul e 47°53'38" de longitude Oeste.

Ainda em relação aos aspectos geomorfológicos, Zuquette (1981) descreveu que a província das “cuestas basálticas” representa a borda dos derrames basálticos e se formam devido ao baixo ângulo de mergulho das camadas para NW, à espessura e à alta resistência dos derrames.

A província de “cuestas basálticas” é caracterizada por um relevo em escarpas, cujas dimensões são variáveis, desde menos de 10 quilômetros até mais de 100 quilômetros. Os desníveis entre o topo e a base também variam, desde menos de 100 metros até quase 500 metros (RODRIGUES, 1982).

O relevo da região apresenta-se bastante irregular, sendo constituído de mesas e morros isolados resultantes da intensa erosão provocada pelos corpos d'água, que ao

partir de zonas bem elevadas, entalham profundamente o planalto. Essa configuração de planalto cortado por vales profundamente entalhados, é característica das zonas de transição entre as “cuestas” e o Planalto Ocidental. As menores cotas da malha urbana, cerca de 775 m, estão localizadas em vales a oeste da cidade, enquanto que as maiores cotas estão situadas à leste, em planalto que ultrapassa os 910 m de altitude (BORTOLUCCI, 1983).

4.1.2.2.Aspectos Geológicos

A geologia da cidade de São Carlos é bastante disseminada na literatura especializada e possui vários acervos que contemplam a região com detalhadas descrições (BJORNBERG e TOLENTINO, 1959; VILAR, 1979; ZUQUETTE, 1981; RODRIGUES, 1982; BORTOLUCCI, 1983; NEVES, 1987; NISHIYAMA, 1991).

O município de São Carlos está assentado sobre as rochas do Grupo São Bento, constituídas pelos arenitos da Formação Botucatu e Pirambóia e pelos derrames de efusivas basálticas da Formação Serra Geral, composta de magmatitos básicos (basaltos e diabásios) e arenitos eólicos interderrames de idade Juro-Cretácea. Sobre essas rochas ocorrem os conglomerados e arenitos do Grupo Bauru e em seguida, cobrindo toda a região, aparecem os Sedimentos Cenozóicos (BORTOLUCCI, 1983).

O perímetro urbano da cidade de São Carlos é composto da Cobertura Residual da Formação Serra Geral e da Cobertura dos Sedimentos Arenosos I. As Formações Bauru, Serra Geral e Botucatu apresentam afloramentos próximos à malha urbana (ZUQUETTE, 1981).

Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia, do Triássico Superior-Jurássico Inferior, resultante de deposição em ambiente fluvial, caracteriza-se por arenitos argilosos de granulometria muito fina a média, com composição quartzosa, cor branca a avermelhada e com estratificação cruzada de porte pequeno ou acabamento plano-paralelo (SOARES, 1973 *apud* VILAR, 1979 e ZUQUETTE, 1981).

A Formação Pirambóia apresenta-se na região de São Carlos como sendo um arenito de granulometria fina a média, de coloração amarela e com predominância de finos. Esta formação apresenta uma faixa intemperizada pouco espessa, sendo de uma maneira geral em torno de 1,0 m e aumentando, possivelmente, em áreas onde o arenito

apresenta-se fraturado, portanto sujeito a maior percolação de água (ZUQUETTE, 1981).

Zuquette (1981) relatou que é difícil visualizar em campo o contato da Formação Pirambóia com a Formação Botucatu, frente ao fato desta formação se achar encoberta em face de sua posição geográfica aos pés de “cuestas” e de “mesas” que controlam o relevo regional.

Formação Botucatu

Os arenitos que constituem a Formação Botucatu são freqüentemente de cor avermelhada passando em alguns casos a amarelo claro. Nas grandes exposições mostram normalmente estratificação cruzada ou em lâminas, em geral planas e longas. Esta formação é predominantemente formada por deposição eólica e consiste de arenitos bem selecionados, de granulação média a fina e porcentagem de silte e argila inferior a 7%. Seus grãos são quase que exclusivamente de quartzo, possuem bom arredondamento e esfericidade e podem aparecer desde incoerentes até altamente silicificados (BJORNBERG e TOLENTINO, 1959; VILAR, 1979; BORTOLUCCI, 1983).

A Formação Botucatu apresenta espessuras de dimensões variáveis, em média de 150 m. As dificuldades encontradas para delimitar a Formação Botucatu na região devem-se (ZUQUETTE, 1981):

- Aos contatos acharem-se encobertos por materiais coluvionares face à situação geográfica;
- Ao grande número de “sills” cortando a formação e, assim, trazendo problemas para as diferenciações dos derrames sobrejacentes da Formação Serra Geral e dos corpos intrusivos; e
- À presença de enormes corpos de arenitos interderrames, cujas disposições devem ter acontecido entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior.

A Formação Botucatu aflora, em uma extensão apreciável na região de São Carlos, como rocha sã, em corpos bastante compactos ou com cobertura de solo residual e pequena espessura, geralmente menor que 1,0 m, nas encostas onde a inclinação é superior a 20% e totalmente recoberta por Sedimentos Cenozóicos e somente passíveis de observação em alguns pontos (ZUQUETTE, 1981).

Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral (Juro-Cretácea) é constituída por basaltos que se encontram intercalados entre os arenitos das Formações Botucatu e Bauru, e afloram nos fundos dos vales dos rios do planalto e em extensas áreas a E e a W da cidade de São Carlos. A sua espessura é bastante variável, tornando-se extremamente fino na borda S e SE do planalto, onde praticamente desaparecem, e estão inteiramente decompostos (BJORNBERG & TOLENTINO, 1959).

O contato inferior das eruptivas é feito com a Formação Botucatu, através de uma superfície bastante irregular, o que proporciona à Formação Serra Geral, espessuras extremamente variáveis (BJORNBERG E TOLENTINO, 1959). Nos altos do planalto, os magmatitos básicos estão em contato superior com o Grupo Bauru, enquanto que nas encostas dos vales estão recobertos pelos Sedimentos Cenozóicos, nos dois casos em discordância erosiva. Os magmatitos básicos afloram nas encostas mais íngremes, como a S e SW da cidade de São Carlos, e no fundo dos vales de rios. O ribeirão Monjolinho e o Córrego do Gregório fazem boa parte de seu percurso sobre este basalto, notadamente dentro do perímetro urbano, onde se podem notar os horizontes de decomposição (VILAR, 1979).

Zuquette (1981) baseado em dados provenientes de poços profundos perfurados no perímetro urbano de São Carlos, indicou espessuras ao redor de 165 m para a Formação Serra Geral.

Grupo Bauru

O Grupo Bauru (Cretáceo Superior) de origem flúvio-lacustre, é representado por arenitos de granulação média a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis e raramente possuem estratificação cruzada (SOARES *et al.*, 1980).

O contato basal do Grupo Bauru ocorre, em discordância erosiva, com a Formação Serra Geral em quase toda a cidade de São Carlos, sendo que somente na porção sul, onde os magmatitos desaparecem, repousam sobre a Formação Botucatu, também em discordância erosiva. Estão em contato superior com os Sedimentos Cenozóicos ou afloram em poucos pontos, como na região centro-norte e na região sul da cidade, em discordância erosiva. A formação está representada na região, através de um arenito médio bem graduado, grãos angulosos, com cerca de 45% de areia e 35% de

argila e de cor vermelha a rosada com pontos brancos constituídos de feldspatos parcialmente alterados. Na visualização táctil-visual pode ser classificado como areia média à fina argilosa vermelha ou rosada com manchas variegadas (BORTOLUCCI, 1983).

Vilar (1979) relatou que a Formação Bauru (Cretáceo Superior) aparece capeando o basalto e ocupa os pontos mais elevados do planalto de São Carlos. Localmente, apresenta espessuras da ordem de algumas dezenas de metros, e sua base se situa à altitude aproximada de 800 m. Zuquette (1981) descreveu que a Formação Bauru na região apresenta-se constituída por arenitos argilosos de coloração marrom-avermelhada, com alguns níveis argilosos e espessuras de, no máximo 40 metros. A relativa pouca espessura dos arenitos e das outras rochas da formação Bauru, permitiu que o intemperismo atingisse, em vários pontos, o basalto subjacente, tornando pouco nítido e de difícil distinção o contato entre ambos (VILAR, 1979).

Sedimentos Cenozóicos

Os sedimentos cenozóicos são oriundos do retrabalhamento dos materiais do Grupo Bauru e das Formações Serra Geral e Botucatu através do intemperismo e erosão que, com um pequeno transporte em meio aquoso de razoável competência e posterior deposição, aparecem capeando toda a região (VILAR, 1979; BORTOLUCCI, 1983).

Segundo Soares *et al.* (1973), esses depósitos podem ser subdivididos em terciários e quaternários. Os depósitos terciários são normalmente arenosos, com alguma porcentagem de argila e às vezes fossilífero. Geralmente, ocorrem em áreas com altitudes superiores a 900 m, via de regra sobre os arenitos da Formação Bauru. Os depósitos quaternários também são arenosos, com cascalhos e, freqüentemente, são encontrados nas bases das encostas, ocupando níveis entre 700 e 900 m. Podem ocorrer, inclusive, como depósitos de terraços de rios, também compostos de materiais arenosos. Os sedimentos cenozóicos abrangem uma grande extensão lateral, pois na prática recobrem superficialmente todo o oeste do Estado de São Paulo, com significativas espessuras, atingindo em média na região de São Carlos, cerca de 8 m (BORTOLUCCI, 1983).

A ausência geral de uma matriz nestes depósitos de areia devido ao processo de deposição fluvial de sedimentação resulta em elevada porosidade e permeabilidade, tendo como consequência uma rápida infiltração das águas de chuva com fluxo

superficial reduzido. As rochas subjacentes (arenitos, siltitos e basaltos) são menos permeáveis, levando então a um acelerado processo de erosão com a formação de boçorocas (LANDIM *et al.*, 1974 *apud* NEVES, 1987).

Bortolucci (1983) descreveu que na cidade de São Carlos podem ser verificadas duas importantes litologias. A primeira (terciários, segundo Soares *et al.*, 1973) ocorre nos altos do planalto, sendo o sedimento originado principalmente pelos materiais do Grupo Bauru. Esse sedimento apresenta-se mal selecionado, contendo cerca de 35% de argila e 50% de areia de granulação média a fina (areia fina argilosa marrom). Tem uma espessura média de 6 m, podendo atingir até 12 m, e valores de SPT variando entre 2 a 7. Este sedimento está em contato com o Grupo Bauru através de uma fina camada de seixos de quartzo e limonita. A segunda litologia (quaternários, segundo Soares *et al.*, 1973) surge nas encostas dos vales e provavelmente recebeu contribuição do basalto da Formação Serra Geral. É constituída por sedimentos que apresentam cerca de 40% de argila e 44% de areia (argila arenosa, vermelha), com espessuras de até 9 m. Inferiormente, seu contato é feito com a Formação Serra Geral, onde somente raras vezes se nota a linha de seixos.

Pequenos depósitos aluvionares surgem nas baixadas e fundo de vales, como no vale do Gregório, em frente ao Mercado Municipal. Tal possui até 5 m de espessura e é constituído principalmente de areias siltosas ou argilosas, muito variadas, contendo pedregulhos, fragmentos de rocha e às vezes matéria orgânica, predominando a cor cinza claro e cinza escuro (BORTOLLUCI, 1983).

Os leitos do Córrego do Gregório e do Tijuco Preto estão sobre os materiais da Formação Serra Geral, com uma pequena mancha do Sedimento Cenozóico Aluvionar no Córrego do Gregório, próxima ao Mercado Municipal.

Bortolucci (1983) mapeou na zona urbana central de São Carlos a predominância do Sedimento Cenozóico Aluvionar, Arenoso, Argiloso, a Formação Serra Geral e o Grupo Bauru (Figura 19).

Figura 19 – Formações e litologias da malha urbana de São Carlos (Adaptado de BORTOLUCCI, 1983)

4.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

A área em estudo apresenta-se bastante impermeabilizada, resultado do intenso processo de urbanização existente. Para atender os objetivos deste estudo foi dada maior ênfase à caracterização dos solos superficiais até 12 m, onde se iniciam os processos de recarga e onde a interação entre os recursos subterrâneos e superficiais é mais acentuada.

Com base na análise granulométrica, obtida a partir dos relatórios de sondagens da área, pode ser encontrado na superfície, de modo geral, um solo formado de aterro argilo-arenoso e, conforme a camada é aprofundada, podem ser encontradas argilas arenosas, argilas siltosas, areias argilosas, areias siltosas, material turfoso, originados, sobretudo pela ação de intempéries e transporte aquoso que formaram a camada dos Sedimentos Cenozóicos.

O relevo das sub-bacias é constituído por um sistema de colinas, apresentando declividades elevadas e desnível acentuado. A altitude mínima encontrada é da ordem

de 795 m, enquanto que a altitude máxima supera os 905 m acima do nível do mar, conforme mostra a Figura 32.

Os córregos que drenam as sub-bacias, córrego do Gregório e córrego do Tijuco Preto, encontram-se, atualmente, bastante modificados no seu percurso e na sua dinâmica de escoamento, devido às atividades impostas pela urbanização (canalização com retificação e confinamento em galerias de águas pluviais). No córrego do Tijuco Preto, o efeito da canalização do leito principal interferiu em diversas nascentes naturais, o mesmo ocorrendo no Córrego do Gregório. Acrescenta-se neste, o fato da canalização e da ocupação das margens resultarem em constantes transbordamentos do canal em decorrência de chuvas intensas. Constata-se, ainda, a presença de efluentes domésticos constantemente lançados em ambos os corpos d'água.

Figura 32 – Modelo digital do terreno

4.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO LENÇOL FREÁTICO

O sistema em estudo é um aquífero não-confinado ou freático. O nível d'água investigado está sob condições livres, ou seja, sujeito à pressão atmosférica local. A variação do nível d'água ao longo de um ano hidrológico foi investigada a partir da execução de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*) e da construção de poços de monitoramento (piezômetros).

Fator relevante para esse sistema aquífero é sua possível contaminação pela exposição à área altamente urbanizada, fato que poderá ser comprovado por futuras pesquisas que envolvam os aspectos qualitativos da água subterrânea.

Através da análise de sondagens SPT (ANEXO B), constatou-se que a superfície piezométrica, de modo geral, acompanha o relevo. O fluxo subterrâneo dirige-se, preferencialmente, para o fundo de vale, ou seja, para o leito dos córregos do Tijuco Preto e Gregório.

Foram elaborados perfis transversais ao longo dos córregos no intuito de identificar e promover um maior detalhamento do subsolo. As Figuras 33 e 34 mostram os perfis transversais do Córrego do Gregório e Córrego do Tijuco Preto, respectivamente. A localização em planta dos pontos escolhidos para os perfis pode ser encontrada no APÊNDICE B.

Figura 33 – Perfil transversal – Córrego do Gregório

Figura 34 – Perfil transversal – Córrego do Tijuco Preto

Através do monitoramento foi constatado que 10 dos 19 dados disponíveis de nível d'água dos piezômetros ao longo de todo o ano hidrológico estão a menos de 4 metros de profundidade e os 9 restantes superam os 4 metros, atingindo até mais de 11 metros de profundidade ao longo do ano (Tabela 12).

Tabela 12 – Variação da profundidade do nível d'água

Tijuco Preto	Nível d'água	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08	PM 09	PM 10
	$h_{máx}$	3,79	1,12	0,82	1,32	1,19	3,12	3,31	5,85	3,20	4,59
	$h_{mín}$	2,59	0,66	0,12	0,77	0,74	2,62	2,29	4,14	2,87	3,13
	$h_{méd}$	3,20	0,95	0,55	1,06	1,04	2,87	2,94	5,11	3,09	4,04
	$\Delta h_{máx}$	1,21	0,46	0,70	0,56	0,45	0,50	1,02	1,71	0,34	1,46
	Dist. Média ao Eixo do Rio/Canal (m)	23,65	42,84	67,92	20,19	15,39	108,39	12,90	157,82	13,55	235,57
Gregório	Nível d'água	PM 11	PM 12	PM 13	PM 14	PM 15	PM 16	PM 17	PM 18	PM 19	PM 20
	$h_{máx}$	5,12	4,26	-	1,83	6,25	2,51	5,32	5,18	11,20	8,54
	$h_{mín}$	2,86	3,10	-	1,01	4,60	2,33	4,16	3,25	9,07	6,21
	$h_{méd}$	4,41	3,85	-	1,59	5,78	2,42	4,85	4,66	10,71	8,06
	$\Delta h_{máx}$	2,27	1,16	-	0,83	1,65	0,18	1,17	1,94	2,13	2,34
	Dist. Média ao Eixo do Rio/Canal (m)	15,04	8,91	287,66	7,35	179,70	10,42	298,93	21,76	143,19	208,02

h: profundidade até o nível d'água a partir do nível do terreno

As variações apresentadas na Tabela 12 mostram que os poços na bacia do Tijuco Preto são, de modo geral, mais rasos do que os poços da bacia do Gregório, e apresentam menores amplitudes de variação de nível. Constatou-se nas sondagens realizadas (setembro/2003) que os poços na Bacia do Gregório foram perfurados em

terreno argiloso, com granulometria fina, enquanto os poços na Bacia do Tijuco Preto foram perfurados num terreno areno-argiloso com granulometria fina-média. Sendo assim, os poços localizados na Bacia do Tijuco Preto apresentaram menores amplitudes de variação do nível d'água devido à geotecnia de seu subsolo mais permeável quando comparado ao do Córrego do Gregório.

As cotas máxima e mínima para cada piezômetro, e a cota do terreno, foram apresentadas em mapa (Figura 35) para exemplificar as flutuações observadas durante o ano hidrológico em estudo.

Figura 35 – Variação máxima e mínima do nível d'água em relação à superfície do terreno

O nível d'água do poço PM 19 foi o mais profundo, apresentando uma profundidade máxima de 11,20 m e uma profundidade mínima de 9,07 m. O poço PM 20, também localizado na bacia do Gregório, foi o piezômetro que apresentou maior amplitude (2,34 m) de variação do nível d'água. Ressalta-se que o poço PM 20 foi construído em outubro de 2004 (metade do período monitorado).

Os poços PM 02, PM 03, PM 04 estão nas proximidades da nascente do córrego do Tijuco Preto, a uma distância inferior a 150 m desta. Essa proximidade confere a esses piezômetros uma superfície piezométrica rasa, e uma susceptibilidade de resposta

muito rápida a um dado evento de chuvas. O poço PM 01 é o poço mais próximo da nascente, contudo, localiza-se a montante desta, não tendo apresentado uma superfície piezométrica tão rasa quanto a dos poços a jusante.

Analisando os gráficos de variação do nível d'água individualmente (Apêndice A) foi verificado que a resposta do nível freático à precipitação, normalmente, é rápida. Esta resposta rápida é verificada de forma mais clara nos poços mais rasos, ou seja, com profundidades menores que 4 m. Exceção se faz ao poço PM 09, no Córrego do Tijuco Preto, que apresenta uma argila cinza na camada onde foi instalado o filtro. Sendo essa camada predominante argilosa, possui grande influência no sentido de dificultar o processo de infiltração, ou seja, possui baixa permeabilidade, fato este constatado pela realização dos testes de condutividade hidráulica. O poço PM 14 apresentou a mesma argila cinza durante sua execução, tendo variação semelhante ao do poço PM 09. No entanto, durante o período chuvoso de dezembro de 2004 a janeiro de 2005 (consultar APÊNDICE A), foi observado uma variação acentuada de cerca de 70 cm na carga hidráulica. Essa brusca variação induz à conclusão que esse poço sofre considerável influência de fluxo vertical nas suas vizinhanças ou problema de isolamento (“curto-circuito”).

Foram observados em alguns poços (PM 05, PM 09, PM 14 e PM 16) diferentes mudanças de variação de nível. O piezômetro PM 16, por exemplo, apresenta elevações do nível d'água num período sem precipitação, justificando essa variação à possível fonte de recarga induzida das redes de águas pluviais, de águas de abastecimento e de efluentes.

4.4. PADRÃO DE PRECIPITAÇÃO

No período de fevereiro de 2004 a janeiro de 2005, ano hidrológico do presente estudo, o regime de chuvas foi caracterizado por acentuadas heterogeneidades (Figura 38). Normalmente, as chuvas concentraram-se nos meses de outubro a fevereiro (cerca de 80% do total precipitado no referido período) e há um período seco de junho a setembro. As chuvas no período de março a maio foram amenas. O período chuvoso do ano de 2004 e início do ano de 2005 foi mais acentuado do que o mesmo período em 2003/2004. Quando comparamos os valores mensais do presente estudo com os dados mensais de séries históricas de postos pluviométricos situados próximos à bacia em

estudo (séries históricas dos postos são detalhadas na Figura 39), constatamos que o período fevereiro de 2004 a janeiro de 2005 foi atípico. A precipitação média no ano hidrológico em estudo foi de 1596,5 mm, enquanto que a precipitação média anual obtida pelas séries históricas foi de 1516,3 mm. Apesar de apresentarem a mesma ordem de grandeza, as precipitações ocorridas durante o período de fevereiro de 2004 a janeiro de 2005 foram irregulares durante o ano.

Figura 36 – Comparativo da pluviometria mensal referente ao ano hidrológico em estudo

Figura 37 – Comparação plurianual mensal de séries históricas de pluviometria
 Fonte: <http://www.sigrh.sp.gov.br/>

Os postos utilizados para elaboração da Figura 37 são: Posto Vila Carmem (D4-015), São Carlos-SP, Bacia do Jacaré-Guaçu e altitude de 820 m; Posto São Carlos (D4-075), São Carlos-SP, Bacia do Jacaré-Guaçu e altitude de 870 m; e Posto Usina Santana (D4-076), São Carlos-SP, Bacia do Jacaré-Guaçu e altitude de 580 m.

Como consequência da irregularidade de chuvas em relação ao ano anterior e às séries históricas, percebemos um acréscimo de volume d'água no lençol freático, entre o início e fim do ano hidrológico monitorado. A Tabela 13 mostra a variação do nível d'água referente ao período de 04 de fevereiro de 2004 e 28 de janeiro de 2005.

Tabela 13 – Variação piezométrica – 04 de fevereiro de 2004 – 28 de janeiro de 2005.

Tipo	Nível d'água	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08	PM 09	PM 10
	04/02/04	873,885	871,225	871,905	866,830	857,385	861,300	845,745	851,480	832,530	842,045
	28/01/05	874,225	871,520	872,400	867,020	857,545	861,440	846,150	851,925	832,685	842,425
	Δh	0,340	0,295	0,495	0,190	0,160	0,140	0,405	0,445	0,155	0,380
Gregório	Nível d'água	PM 11	PM 12	PM 13	PM 14	PM 15	PM 16	PM 17	PM 18	PM 19	PM 20
	04/02/04	832,445	824,245	-	816,835	817,825	807,450	815,200	789,050	794,015	-
	28/01/05	833,235	824,730	-	817,245	818,550	807,545	815,515	790,325	795,510	-
	Δh	0,790	0,485	-	0,410	0,725	0,095	0,315	1,275	1,495	-

O menor acréscimo de altura de lâmina d'água foi observado no piezômetro PM 16, enquanto que o maior acréscimo de altura de lâmina d'água foi observado no piezômetro PM 19, ambos na Bacia do Gregório. Concluímos que houve um acúmulo de água em relação ao ano anterior, visto que todas as variações (Tabela 13) foram positivas.

O poço PM 16 sofre influências de fontes indiretas de recarga, enquanto que o piezômetro PM 19 é o que possui o nível d'água mais profundo, consequentemente, apresenta uma resposta mais lenta às variações de precipitação (infiltração).

Na Bacia do Tijuco Preto temos uma flutuação do nível d'água médio de 0,300 m, enquanto que na Bacia do Gregório essa flutuação é de 0,699 m. Essa diferença mostrará, nos métodos de Darcy e WTF, que a recarga na Bacia do Gregório será da ordem de mais de duas vezes a recarga encontrada na Bacia do Tijuco Preto.

A maiores diferenças de nível d'água encontram-se, em geral, nos poços mais profundos. Nos poços rasos há uma resposta muito mais rápida a um dado evento de precipitação.

4.5. VALORES AVALIADOS DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

Os valores de condutividade hidráulica foram avaliados utilizando a técnica *slug test* combinada com o método de análise de Bouwer-Rice (1976) através de planilhas eletrônicas desenvolvidas pela USGS*.

Na primeira campanha (maio de 2004) de determinação da condutividade hidráulica, foram ensaiados 19 poços de monitoramento da rede permanente de monitoramento de água subterrânea das sub-bacias do Córrego do Gregório e do Córrego do Tijuco Preto, inclusive o poço PM-13 que havia se apresentado seco e exceto o poço PM 20 que ainda não estava concluído. Para realização do teste no poço PM 13 foi introduzida água suficiente para estabelecer condições próximas das estáticas. Quando se constatou um regime quase permanente, provocou-se uma rápida mudança do nível d'água com adição de um volume d'água. Os valores determinados da condutividade hidráulica K , nesta etapa, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados de condutividade hidráulica através de *slug test* – 1ª campanha (maio de 2004)

* *United States Geological Survey*, Agência de Pesquisa Geológica dos EUA.

Material do Aquífero	Poço	Altitude (m)	Profundidade (m)	Bacia (Córrego)	Metodologia	Condutividade Hidráulica (m/s)	K médio (material) (m/s)
areia média siltosa	PM 13	836.46	9.10	Gregório	2	6.55E-05	7,12E-05
	PM 18	793.78	8.30	Gregório	1	7.69E-05	
areia fina siltosa	PM 01	877.12	8.36	Tijuco Preto	1	7.04E-06	9,95E-06
	PM 03	872.75	6.21	Tijuco Preto	3	7.54E-06	
	PM 05	858.53	4.93	Tijuco Preto	3	7.06E-06	
	PM 06	864.26	6.16	Tijuco Preto	1	9.11E-06	
	PM 07	848.65	5.83	Tijuco Preto	1	2.10E-05	
	PM 08	856.32	7.56	Tijuco Preto	3	1.05E-05	
	PM 11	836.27	7.93	Gregório	1	7.23E-06	
	PM 12	828.02	6.11	Gregório	1	1.71E-05	
	PM 15	823.37	6.60	Gregório	2	6.51E-06	
	PM 16	810.11	5.36	Gregório	1	9.72E-06	
	PM 16	810.11	5.36	Gregório	2	7.43E-06	
	PM 16	810.11	5.36	Gregório	3	9.11E-06	
areia fina argilosa	PM 02	872.40	4.31	Tijuco Preto	3	8.96E-07	1,84E-06
	PM 04	867.99	7.57	Tijuco Preto	3	2.07E-06	
	PM 10	845.74	8.48	Tijuco Preto	1	4.36E-06	
	PM 14	818.45	4.41	Gregório	1	9.67E-07	
	PM 17	819.83	13.27	Gregório	1	6.36E-07	
	PM 19	804.76	13.32	Gregório	1	2.11E-06	
argila fina siltosa	PM 09	835.74	4.40	Tijuco Preto	2	1.09E-07	1,09E-07

Técnica de execução do ensaio - Função de:	1	Objeto Sólido
	2	Adição de água
	3	Retirada de água

O poço PM 09 (ordem de $10^{-7} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) apresentou o menor valor de condutividade hidráulica, devido à presença de uma argila fina de baixa permeabilidade. Já os poços PM 13 e PM 18 (média de $7,12\cdot 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), ambos localizados na Bacia do Córrego do Gregório, apresentaram os maiores valores de condutividade hidráulica.

No PM 16, para efeito de comparação de tipos de metodologias utilizadas, foram realizados três ensaios, o primeiro, com adição do objeto sólido, o segundo, com adição de um volume d'água e o terceiro, com retirada de um volume d'água. Os dois primeiros ensaios produzem um fluxo do poço para o aquífero, já o terceiro ensaio provoca o inverso, ou seja, provoca um fluxo do aquífero para o poço. Os resultados foram coerentes, apresentando a mesma ordem de grandeza, devendo-se a pequena discrepância entre os valores obtidos à duração do processo oscilatório do nível d'água no caso da metodologia adotada (adição de água). Os três ensaios foram considerados satisfatórios, visto que apresentam a mesma ordem de grandeza, não existindo um erro expressivo quanto à utilização das metodologias propostas.

Na segunda campanha (dezembro de 2004) de determinação da condutividade hidráulica, foram ensaiados 19 poços de monitoramento, incorporando o piezômetro PM 20 e excluindo o poço PM 13. Os valores determinados da condutividade hidráulica K são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados da condutividade hidráulica através de *slug test* – 2ª campanha (dezembro de 2004)

Material do Aquífero	Poço	Altitude (m)	Profundidade (m)	Bacia (Córrego)	Metodologia	Condutividade Hidráulica (m/s)	K' médio (material) (m/s)
areia média siltosa	PM 18	793,78	8,30	Gregório	2	3,25E-05	3,25E-05
areia fina siltosa	PM 01	877,12	8,36	Tijuco Preto	2	4,34E-06	7,02E-06
	PM 03	872,75	6,21	Tijuco Preto	3	5,83E-06	
	PM 05	858,53	4,93	Tijuco Preto	3	3,43E-06	
	PM 06	864,26	6,16	Tijuco Preto	3	3,49E-06	
	PM 07	848,65	5,83	Tijuco Preto	3	1,17E-05	
	PM 08	856,32	7,56	Tijuco Preto	3	1,49E-05	
	PM 11	836,27	7,93	Gregório	1	5,84E-06	
	PM 12	828,02	6,11	Gregório	1	1,08E-05	
	PM 15	823,37	6,60	Gregório	2	4,15E-06	
areia fina argilosa	PM 16	810,11	5,36	Gregório	2	5,68E-06	2,35E-06
	PM 02	872,40	4,31	Tijuco Preto	3	8,26E-07	
	PM 04	867,99	7,57	Tijuco Preto	1	9,06E-07	
	PM 10	845,74	8,48	Tijuco Preto	3	1,84E-06	
	PM 14	818,45	4,41	Gregório	1	8,12E-07	
	PM 17	819,83	13,27	Gregório	1	3,70E-07	
	PM 19	804,76	13,32	Gregório	1	1,57E-06	
	PM 20	830,98	10,05	Gregório	1	3,57E-06	
	PM 20	830,98	10,05	Gregório	2	7,39E-06	
argila fina siltosa	PM 20	830,98	10,05	Gregório	3	3,88E-06	4,08E-07
	PM 09	835,74	4,40	Tijuco Preto	1	4,08E-07	

Técnica de execução do ensaio - Função de:	1	Objeto Sólido
	2	Adição de água
	3	Retirada de água

Os valores da 2ª campanha mostram similaridade com os determinados na 1ª campanha. Como o poço PM 20 não havia sido ensaiado antes, realizou-se neste um ensaio com aplicação das três metodologias propostas, verificando que a discrepância entre os valores obtidos deve-se à duração do processo oscilatório do nível d'água no caso da metodologia adotada (adição de água). Contudo, os valores são equivalentes aos valores encontrados na 1ª campanha e aos valores referenciados na literatura.

A média dos valores determinados para cada piezômetro nas duas campanhas é apresentada na Tabela 16. Os valores médios de condutividade hidráulica K (Tabela 16), de acordo com o material no poço, foram de $6,01 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ para areia média siltosa, de $8,60 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ para areia fina siltosa, de $1,95 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ para areia fina argilosa e de $2,59 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ para argila fina siltosa.

Tabela 16 – Valores médios da condutividade hidráulica através de *slug test* (duas campanhas)

Material do Aquífero	Poço	Altitude (m)	Profundidade (m)	Bacia (Córrego)	1ª Campanha	2ª Campanha	K médio (m/s)	K médio (material) (m/s)
					Condutividade Hidráulica (m/s)	Condutividade Hidráulica (m/s)		
areia média siltosa	PM 13	836,46	9,10	Gregório	6,55E-05	-	6,55E-05	6,00E-05
	PM 18	793,78	8,30	Gregório	7,69E-05	3,25E-05	5,47E-05	
areia fina siltosa	PM 01	877,12	8,36	Tijuco Preto	7,04E-06	4,34E-06	5,69E-06	8,60E-06
	PM 03	872,75	6,21	Tijuco Preto	7,54E-06	5,83E-06	6,69E-06	
	PM 05	858,53	4,93	Tijuco Preto	7,06E-06	3,43E-06	5,25E-06	
	PM 06	864,26	6,16	Tijuco Preto	9,11E-06	3,49E-06	6,30E-06	
	PM 07	848,65	5,83	Tijuco Preto	2,10E-05	1,17E-05	1,64E-05	
	PM 08	856,32	7,56	Tijuco Preto	1,05E-05	1,49E-05	1,27E-05	
	PM 11	836,27	7,93	Gregório	7,23E-06	5,84E-06	6,54E-06	
	PM 12	828,02	6,11	Gregório	1,71E-05	1,08E-05	1,40E-05	
	PM 15	823,37	6,60	Gregório	6,51E-06	4,15E-06	5,33E-06	
	PM 16	810,11	5,36	Gregório	8,75E-06	5,68E-06	7,22E-06	
areia fina argilosa	PM 02	872,40	4,31	Tijuco Preto	8,96E-07	8,26E-07	8,61E-07	2,00E-06
	PM 04	867,99	7,57	Tijuco Preto	2,07E-06	9,06E-07	1,49E-06	
	PM 10	845,74	8,48	Tijuco Preto	4,36E-06	1,84E-06	3,10E-06	
	PM 14	818,45	4,41	Gregório	9,67E-07	8,12E-07	8,89E-07	
	PM 17	819,83	13,27	Gregório	6,36E-07	3,70E-07	5,03E-07	
	PM 19	804,76	13,32	Gregório	2,11E-06	1,57E-06	1,84E-06	
argila fina siltosa	PM 20	830,98	10,05	Gregório	-	4,95E-06	4,95E-06	2,60E-07
	PM 09	835,74	4,40	Tijuco Preto	1,09E-07	4,08E-07	2,59E-07	

Com os valores da Tabela 16 foi construído o mapa de distribuição espacial dos valores médios de condutividade hidráulica (Figura 38).

Figura 38 – Mapa de distribuição espacial pontual da condutividade hidráulica

A Figura 38 mostra que os piezômetros concentram-se nas vizinhanças dos rios. Desse modo não foi possível gerar um mapa de condutividade hidráulica por interpolação, devido a grandes erros que seriam cometidos.

A execução do teste de condutividade hidráulica permitiu constatar diferentes valores, resultante da heterogeneidade dos solos das camadas ensaiadas. Os valores encontrados para a condutividade hidráulica, em todos os poços, são compatíveis com os valores divulgados na bibliografia especializada para os solos presentes. No entanto, alguma cautela deve ser prevista, principalmente devido ao tipo de construção, desenvolvimento e materiais dos poços de monitoramento. Não se pode avaliar a influência da compactação do solo na vizinhança do piezômetro devido ao método de perfuração executado. Por isso, recomenda-se que os valores do presente trabalho só sejam utilizados como referência de ordem de grandeza.

A condutividade hidráulica determinada no teste é um valor pontual que não deve ser estendido além das proximidades do piezômetro. Assim, os valores da condutividade hidráulica devem ser usados com precaução quando extrapolados.

4.6. VALORES ESTIMADOS DO RENDIMENTO ESPECÍFICO

Apesar de existirem métodos de campo ou laboratório, como detalhado no Capítulo 2, Item 2.3, capazes de predizerem os valores do rendimento específico ou coeficiente de armazenamento do aquífero freático, nesse trabalho optamos por adotar valores de rendimento específico, para cada piezômetro das respectivas sub-bacias, através de formulação empírica e/ou comparação com valores referenciados na literatura, acreditando que as incertezas geradas por essa simplificação não seriam maiores do que a gerada por qualquer outro método empregado.

Desse modo, a avaliação do valor representativo do rendimento específico foi realizada com base nos valores determinados de condutividade hidráulica e no tipo de material do piezômetro obtido através das sondagens realizadas, comparando esses valores com os citados na literatura para diferentes tipos de materiais.

As Tabelas 4 e 5 (p. 39 e 41, respectivamente) e a Figura 13 (p. 40) foram utilizadas para estimativa desses valores como base no tipo de solo presente. A Tabela 4 e a Figura 13 mostram valores avaliados por diferentes técnicas, inclusive a empírica, enquanto que a Tabela 5 revela valores obtidos por testes de aquífero. A Tabela 17

mostra os valores avaliados para o material constituinte dos piezômetros baseados nas respectivas tabelas e figura.

Tabela 17 – Valores avaliados para o rendimento específico com base no tipo de material presente na região do filtro do piezômetro.

Poço	Material do Aquífero	Altitude (m)	Bacia (Córrego)	S_y
PM 13	areia média siltosa	836,46	Gregório	0,15
PM 18		793,78	Gregório	
PM 01	areia fina siltosa	877,12	Tijuco Preto	0,10
PM 03		872,75	Tijuco Preto	
PM 05		858,53	Tijuco Preto	
PM 06		864,26	Tijuco Preto	
PM 07		848,65	Tijuco Preto	
PM 08		856,32	Tijuco Preto	
PM 11		836,27	Gregório	
PM 12		828,02	Gregório	
PM 15		823,37	Gregório	
PM 16		810,11	Gregório	
PM 02	areia fina argilosa	872,40	Tijuco Preto	0,08
PM 04		867,99	Tijuco Preto	
PM 10		845,74	Tijuco Preto	
PM 14		818,45	Gregório	
PM 17		819,83	Gregório	
PM 19		804,76	Gregório	
PM 20		830,98	Gregório	
PM 09	argila fina siltosa	835,74	Tijuco Preto	0,05

A Tabela 18 mostra os valores avaliados para o rendimento específico através da equação empírica de BIECINSKI¹, equação discutida no Item 2.2, onde os valores da condutividade hidráulica foram tomados como valores médios das duas campanhas realizadas (Tabela 16).

¹ PAZDRO, 1983. In: ALVAREZ e NIEDZIELSKI, 1996.

Tabela 18 – Valores avaliados para o rendimento específico através da equação empírica de BIECINSKI.

Poço	Altitude (m)	Bacia (Córrego)	K' médio (m/s)	K' médio (m/dia)	$S_y = 0,117 \cdot K'^{1,7}$	S_y médio
PM 13	836,46	Gregório	6,55E-05	5,66	0,150	0,15
PM 18	793,78	Gregório	5,47E-05	4,73	0,146	
PM 01	877,12	Tijuco Preto	5,69E-06	0,49	0,106	0,11
PM 03	872,75	Tijuco Preto	6,69E-06	0,58	0,108	
PM 05	858,53	Tijuco Preto	5,25E-06	0,45	0,104	
PM 06	864,26	Tijuco Preto	6,30E-06	0,54	0,107	
PM 07	848,65	Tijuco Preto	1,64E-05	1,41	0,123	
PM 08	856,32	Tijuco Preto	1,27E-05	1,10	0,119	
PM 11	836,27	Gregório	6,54E-06	0,56	0,108	
PM 12	828,02	Gregório	1,40E-05	1,21	0,120	
PM 15	823,37	Gregório	5,33E-06	0,46	0,105	
PM 16	810,11	Gregório	7,22E-06	0,62	0,109	
PM 02	872,40	Tijuco Preto	8,61E-07	0,07	0,081	0,09
PM 04	867,99	Tijuco Preto	1,49E-06	0,13	0,087	
PM 10	845,74	Tijuco Preto	3,10E-06	0,27	0,097	
PM 14	818,45	Gregório	8,89E-07	0,08	0,081	
PM 17	819,83	Gregório	5,03E-07	0,04	0,075	
PM 19	804,76	Gregório	1,84E-06	0,16	0,090	
PM 20	830,98	Gregório	4,95E-06	0,43	0,104	
PM 09	835,74	Tijuco Preto	2,59E-07	0,02	0,068	0,07

Dentre os valores avaliados, optou-se no presente estudo pelos valores mostrados na Tabela 18, frente ao fato de que os valores da condutividade hidráulica foram estimados em duas campanhas na realização deste trabalho, e que os solos foram avaliados de maneira subjetiva nos relatórios de sondagens.

A escolha feita, ou seja, a adoção dos valores avaliados com a equação empírica de BIECINSKI baseados em dados de condutividade hidráulica, retrata a dificuldade em eliminar as incertezas em qualquer método existente (campo, laboratório ou empírico). Os valores do rendimento específico representam valores médios encontrados na literatura (como mostrado nas Tabelas e Figuras do Item 2.3), que, no entanto são condizentes com os valores atualmente estimados. Sendo assim, podemos empregar esses valores no cálculo da estimativa da recarga.

4.7. CORRELAÇÃO P *VERSUS* ΔH

Foi realizada uma correlação mensal entre a precipitação, responsável pela recarga direta, e a resposta do lençol freático, plotando os dados da precipitação (P) *versus* a variação piezométrica (Δh) (Figura 39 e 40), considerando a precipitação registrada no mesmo intervalo de tempo do registro da variação de nível d'água. As diferenças do nível d'água mensal são a soma das diferenças dos níveis medidos semanalmente no respectivo mês de análise.

Os dados de variação do nível d'água mensal foram confrontados com os dados de precipitação no mesmo período de registo da variação (Tabela 19). Desse modo, cada piezômetro foi responsável por 12 pontos de P versus Δh . Assim, foi imposto a esses pontos uma equação de regressão linear. O coeficiente de correlação é fornecido pela equação de regressão.

Tabela 19 – Dados de variação mensal do nível d'água dos piezômetros

Córrego do Tijuco Preto											
INTERVALO	P (mm)	Δh (m)									
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08	PM 09	PM 10
04/02/04 - 26/02/04	272,3	0,430	0,145	0,295	0,215	0,190	0,135	0,425	0,350	0,140	0,295
27/02/04 - 31/03/04	75,5	-0,175	-0,100	-0,110	-0,170	-0,325	-0,085	-0,525	-0,315	-0,065	-0,460
01/04/04 - 28/04/04	54,3	-0,005	0,040	-0,015	-0,029	0,015	-0,040	-0,055	-0,295	-0,160	-0,280
29/04/04 - 25/05/04	119,2	-0,035	0,120	0,015	0,094	0,070	-0,005	0,195	-0,160	0,025	-0,145
26/05/04 - 30/06/04	47,5	-0,280	-0,170	-0,100	-0,170	-0,110	-0,090	-0,335	-0,065	-0,050	0,035
01/07/04 - 28/07/04	41,5	-0,265	-0,010	-0,060	-0,040	-0,020	-0,105	-0,080	-0,205	0,000	-0,260
29/07/04 - 31/08/04	0,0	-0,300	-0,125	-0,200	-0,140	-0,030	-0,015	-0,135	-0,315	-0,030	-0,085
01/09/04 - 28/09/04	6,3	-0,115	-0,050	-0,025	-0,095	-0,020	-0,115	-0,070	-0,210	-0,035	-0,155
29/09/04 - 26/10/04	129,4	0,005	0,020	0,110	0,080	0,040	0,010	0,075	0,030	0,005	0,040
27/10/04 - 25/11/04	145,0	0,115	0,030	-0,005	-0,010	0,045	0,040	0,105	0,200	0,055	0,180
26/11/04 - 29/12/04	242,0	0,480	0,195	0,300	0,210	0,175	0,180	0,370	0,460	0,110	0,525
30/12/04 - 28/01/05	463,6	0,485	0,200	0,290	0,245	0,130	0,230	0,435	0,970	0,160	0,690
Córrego do Gregório											
INTERVALO	P (mm)	Δh (m)									
		PM 11	PM 12	PM 13	PM 14	PM 15	PM 16	PM 17	PM 18	PM 19	PM 20
04/02/04 - 26/02/04	272,3	0,305	0,270		0,095	0,355	0,075	0,245	0,505	0,540	0,000
27/02/04 - 31/03/04	75,5	-0,480	-0,120		-0,025	-0,285	-0,085	-0,110	0,065	-0,235	0,000
01/04/04 - 28/04/04	54,3	-0,500	-0,190		-0,115	-0,465	0,025	-0,290	-0,465	-0,345	0,000
29/04/04 - 25/05/04	119,2	-0,235	-0,110		-0,090	-0,120	0,015	-0,150	-0,240	-0,150	0,000
26/05/04 - 30/06/04	47,5	-0,075	-0,220		-0,185	-0,170	-0,060	-0,245	-0,255	-0,170	0,000
01/07/04 - 28/07/04	41,5	-0,190	-0,075		-0,025	-0,050	0,020	-0,110	-0,045	-0,035	0,000
29/07/04 - 31/08/04	0,0	-0,165	-0,130		-0,035	-0,110	0,065	-0,120	0,000	-0,045	-0,035
01/09/04 - 28/09/04	6,3	-0,105	-0,095		-0,030	-0,075	-0,095	-0,070	-0,055	-0,060	-0,080
29/09/04 - 26/10/04	129,4	0,045	0,055		0,035	0,025	-0,005	0,120	-0,110	-0,060	-0,045
27/10/04 - 25/11/04	145,0	0,155	0,040		0,085	0,075	-0,005	0,080	0,020	-0,065	0,200
26/11/04 - 29/12/04	242,0	0,735	0,345		0,220	0,500	0,075	0,300	0,395	0,405	0,730
30/12/04 - 28/01/05	463,6	1,300	0,715		0,480	1,045	0,070	0,665	1,460	1,715	1,385

Figura 39 – Correlação mensal do Córrego do Tijuco Preto

Figura 40 – Correlação mensal do Córrego do Gregório

As retas de tendência cruzam o eixo da variável precipitação no intervalo entre 95 e 125 mm para o Córrego do Tijuco Preto e entre 100 e 120 mm no Córrego do Gregório (Figura 39 e 40), desconsiderando os piezômetros que obtiveram coeficiente de correlação menor do que 70% (PM 05 e PM 16) e o piezômetro que foi perfurado durante a campanha de monitoramento (PM 20). As retas de correlação apresentaram, de modo geral, coeficiente de determinação superior a 0,5, ou seja, coeficiente de correlação superior a 70%, mostrando um nível de correlação entre médio e forte (Tabela 20).

Tabela 20 – Coeficientes de correlação e valores de armazenamento de água no solo com base mensal

CÓRREGO DO TIJUCO PRETO				CÓRREGO DO GREGÓRIO			
PM	EQUAÇÃO	R	Arm. (mm)	PM	EQUAÇÃO	R	Arm. (mm)
PM 01	$\Delta h = 0,0019 \cdot P - 0,2296$ $R^2 = 0,8011$	0,90	121	PM 11	$\Delta h = 0,0034 \cdot P - 0,389$ $R^2 = 0,8019$	0,90	114
PM 02	$\Delta h = 0,0007 \cdot P - 0,0734$ $R^2 = 0,6522$			PM 12	$\Delta h = 0,002 \cdot P - 0,2193$ $R^2 = 0,9171$		
PM 03	$\Delta h = 0,0011 \cdot P - 0,1054$ $R^2 = 0,7597$	0,87	96	PM 13		-	-
PM 04	$\Delta h = 0,001 \cdot P - 0,1127$ $R^2 = 0,7411$	0,86	113	PM 14	$\Delta h = 0,0012 \cdot P - 0,1223$ $R^2 = 0,8103$	0,90	102
PM 05	$\Delta h = 0,0006 \cdot P - 0,0687$ $R^2 = 0,3622$	0,60	115	PM 15	$\Delta h = 0,0027 \cdot P - 0,3044$ $R^2 = 0,8390$	0,92	113
PM 06	$\Delta h = 0,0008 \cdot P - 0,0928$ $R^2 = 0,8491$	0,92	116	PM 16	$\Delta h = 0,0003 \cdot P - 0,0261$ $R^2 = 0,3207$	0,57	87
PM 07	$\Delta h = 0,0017 \cdot P - 0,1918$ $R^2 = 0,5936$	0,77	113	PM 17	$\Delta h = 0,0019 \cdot P - 0,2229$ $R^2 = 0,8600$	0,93	117
PM 08	$\Delta h = 0,0028 \cdot P - 0,3345$ $R^2 = 0,9166$	0,96	120	PM 18	$\Delta h = 0,0033 \cdot P - 0,3369$ $R^2 = 0,8012$	0,90	102
PM 09	$\Delta h = 0,0006 \cdot P - 0,0628$ $R^2 = 0,6925$	0,83	105	PM 19	$\Delta h = 0,0038 \cdot P - 0,3811$ $R^2 = 0,8369$	0,91	100
PM 10	$\Delta h = 0,0022 \cdot P - 0,255$ $R^2 = 0,7297$	0,85	116	PM 20	$\Delta h = 0,0028 \cdot P - 0,1896$ $R^2 = 0,7283$	0,85	68
ARMAZENAMENTO (mm) =			111	ARMAZENAMENTO (mm) =			108

Através da reta de tendência de cada piezômetro considerado, obtivemos equações de regressão lineares. Fazendo os valores de P tenderem a zero (P_0) obteve-se um valor médio de 111 mm e 108 mm (Tabela 20), para o Córrego do Tijuco Preto e Gregório, respectivamente. O ponto P_0 estabelece o limite entre os valores negativos e positivos de Δh . O valor de P_0 representa a precipitação necessária para que haja a saturação do solo e a conseqüente ascensão do nível piezométrico que corresponde ao armazenamento de água no solo (VASCONCELOS, 1999).

Também foi realizada uma correlação semanal com base no intervalo de medidas consecutivas do nível d'água freático. As retas de tendência apresentaram valores do coeficiente de correlação menor (Tabela 21) quando comparados com os valores obtidos da correlação com base mensal.

Tabela 21 – Coeficientes de determinação e correlação com base semanal

CÓRREGO DO TIJUCO PRETO			CÓRREGO DO GREGÓRIO		
PM	R^2	R	PM	R^2	R
PM 01	0,65	0,80	PM 11	0,37	0,61
PM 02	0,43	0,66	PM 12	0,64	0,80
PM 03	0,51	0,71	PM 13	-	-
PM 04	0,54	0,73	PM 14	0,52	0,72
PM 05	0,28	0,53	PM 15	0,47	0,69
PM 06	0,52	0,72	PM 16	0,18	0,43
PM 07	0,50	0,71	PM 17	0,57	0,76
PM 08	0,58	0,76	PM 18	0,48	0,69
PM 09	0,44	0,66	PM 19	0,33	0,57
PM 10	0,57	0,76	PM 20	0,35	0,59

Esses valores correlatos comprovam que as variações de nível d'água estão em defasagem com a precipitação do período. Outro fator de grande notoriedade foi o indicativo de fontes indiretas atuando na variação do nível d'água ao longo do período hidrológico, indicativo dos baixos valores de correlação.

A partir da correlação mensal do nível d'água do Córrego do Tijuco Preto e do Gregório adotamos um valor para o armazenamento de água no solo de 100 mm. Esse valor é um parâmetro de entrada no método do Balanço Hídrico para estimativa da recarga. O valor de 100 mm para o armazenamento de água no solo é um valor habitualmente utilizado para solos com granulometria intermediária entre argila e areia ou mistura de ambos.

Constatou-se, a partir da Tabela 21, que a resposta de elevação do nível d'água está em defasagem com o início da precipitação. Contudo, notamos coeficientes altos com base mensal, indicando que o tempo de resposta é menor do que 1 (um) mês. Percebeu-se, ainda, que alguns poços (PM 05 e PM 16) apresentam valores de

coeficiente de determinação muito baixos, evidenciando sofrerem influências de processos e fontes indiretas para elevação e rebaixamento do nível d'água.

4.8. ESTIMATIVA DA RECARGA SUBTERRÂNEA

As dificuldades enfrentadas na estimativa de recarga subterrânea exigem uma conceituação teórica-prática bem definida e o uso de mais de uma técnica para verificação dos resultados. Na realidade, a estimativa de recarga deve ser compreendida como um processo iterativo, e nunca como um cálculo definitivo. Uma estimativa de recarga mais precisa deveria compreender dados referentes a um longo período de observação, independente do método ou dos métodos adotados.

Os resultados e discussões discutidas nesse trabalho pretenderam definir uma metodologia de estimativa de recarga que pudesse ser de simples aplicação a partir de dados facilmente obtidos.

A recarga subterrânea foi estimada com o Método da Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF), a Aproximação Darcyana e o Balanço Hídrico calculado segundo THORNTHWAITE-MATHER (1955), descritos no Capítulo 2 – Síntese da Bibliografia Fundamental.

4.8.1. WTF

Os resultados das observações durante o período de monitoramento, ou seja, das medidas da carga hidráulica em 19 piezômetros estão apresentados no Apêndice A. As planilhas de monitoramento juntamente com o gráfico que relaciona precipitação e flutuação do nível piezométrico durante o ano hidrológico em questão encontram-se no Apêndice A.

No poço PM 16, que apresenta nível d'água numa profundidade média de 2,42 m, ficou evidenciada a contribuição de fontes indiretas de recarga durante o ano hidrológico em estudo. Isso pode ser observado considerando que em determinados períodos esse piezômetro apresentou um tramo ascendente, na sua curva de flutuação da carga hidráulica, sendo que no período considerado não havia ocorrido precipitação, ou precipitação suficiente para restabelecer o tramo ascendente. Existe a possibilidade desse piezômetro sofrer influência de vazamentos das redes de águas pluviais e esgotos.

O poço PM 05 apresenta comportamento similar ao do poço PM 16, existindo a possibilidade desse piezômetro estar sendo influenciado por fontes de vazamentos das

redes de águas pluviais e de esgotos (existe um PV da rede de esgoto próximo ao PM 05, onde foram observados constantes vazamentos junto à superfície) e aterramento do leito natural do córrego do Tijuco Preto a montante desse poço.

Enquanto que nos poços mais rasos o tempo de resposta de variação do nível d'água a uma dada precipitação é menor do que 5 dias, nos poços mais profundos, especialmente o PM 19, nota-se que essa resposta é superior a 15 dias, fato justificado pela maior espessura da zona vadosa neste último.

Na quantificação da recarga pelo método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF) não foram considerados os piezômetros PM 05 e PM 16, por existir a possibilidade de fontes de recarga induzida na elevação de seus respectivos níveis piezométricos; os piezômetros PM 09 e PM 14 por considerar que existem interferências que eliminam seu uso para a estimativa de recarga; e o piezômetro PM 20 perfurado meses depois do início do monitoramento.

O Método de Flutuação da Superfície Piezométrica baseia-se em medidas periódicas dos níveis d'água dos poços de monitoramento, de modo a obter a variação dos valores de carga hidráulica por determinado período de tempo. As flutuações da carga hidráulica avaliadas ocorreram no ano hidrológico de fevereiro de 2004 a janeiro de 2005.

A variação (Δh) é igual à diferença entre o pico de subida e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente extrapolada no instante do pico. A curva de recessão antecedente é o traço que a hidrógrafa do poço de monitoramento teria seguido na ausência de elevação do nível d'água, e foi extrapolada por processo subjetivo. Na Tabela 22 são mostrados os valores de $\sum \Delta h$ e S_y para cada piezômetro considerado na estimativa da recarga, e a conseqüente recarga e taxa de recarga no ano hidrológico em estudo.

Os valores da recarga R foram calculados individualmente para cada piezômetro do seguinte modo:

$$R = S_y \cdot \frac{\sum \Delta h}{\Delta t},$$

onde Δt representa o período de 1 ano.

Tabela 22 – Taxa de recarga estimada pelo Método WTF.

Piezômetro	$\Sigma\Delta h$ (m)	S_y	R (m)	P (mm)	r (%)
PM 01	2,14	0,11	0,24	1596,5	14,8%
PM 02	1,45	0,09	0,13	1596,5	8,2%
PM 03	1,95	0,11	0,22	1596,5	13,5%
PM 04	1,67	0,09	0,15	1596,5	9,4%
PM 06	1,29	0,11	0,14	1596,5	8,9%
PM 07	2,70	0,11	0,30	1596,5	18,6%
PM 08	2,85	0,11	0,31	1596,5	19,6%
PM 10	2,97	0,09	0,27	1596,5	16,7%
PM 11	3,30	0,11	0,36	1596,5	22,7%
PM 12	2,17	0,11	0,24	1596,5	15,0%
PM 15	2,34	0,11	0,26	1596,5	16,1%
PM 17	2,29	0,09	0,21	1596,5	12,9%
PM 18	3,62	0,15	0,54	1596,5	34,0%
PM 19	3,38	0,09	0,30	1596,5	19,1%

Com base na Tabela 22 determinamos um valor médio para a recarga de 261,7 mm/ano. Este valor representa 16,4% do total de chuvas registrado (1596,5 mm) para o ano hidrológico correspondente ao período de fevereiro de 2004 a janeiro de 2005.

Com os valores da taxa de recarga construiu-se a Figura 40, que representa a taxa de recarga de cada piezômetro considerado em função da profundidade máxima até o nível d'água, ao longo do período monitorado. A profundidade do nível d'água não determina um padrão de recarga. No entanto, a maioria dos poços com nível d'água máximo no intervalo de 4 m a 6 m de profundidade apresentaram taxa de recarga entre 15% e 20%.

Figura 41 – Taxa de recarga versus profundidade máxima do nível d'água

Os valores estimados para a recarga pelo método WTF são específicos para o ano hidrológico em estudo, devendo seus valores ser usados como referência. Existiu um acúmulo de água durante o ano hidrológico em estudo, comprovado por diferenças existentes nos níveis medidos no início, dia 04 de fevereiro de 2004, e final, 28 de janeiro de 2005, do período monitorado. Houve acúmulo de água devido ao fato que a precipitação do presente estudo ser superior a do ano antecedente.

4.8.2. Aproximação Darcyana

A recarga estimada por esse método resultou do prévio conhecimento de parâmetros, tais como: nível d'água medido ao longo do ano hidrológico, valores de condutividade hidráulica estimados com a técnica *slug test*, seleção representativa de piezômetros e as distâncias entre dois piezômetros *perpendiculares* obtidas com a realização do posicionamento global de coordenadas com GPS. Desse modo foram calculados os gradientes hidráulicos e estimado um valor médio representativo para a condutividade hidráulica. Como resultado, temos a velocidade de Darcy que multiplicada pelo intervalo de tempo entre medidas sucessivas fornece uma estimativa de recarga no período. Os valores positivos, ou seja, os valores representativos de recarga no intervalo, somados ao longo do período hidrológico, fornecem a recarga no período analisado. A Figura 42 ilustra o procedimento para utilização do Método de Darcy.

Figura 42 – Esquema da estimativa de recarga pelo método de Darcy

As planilhas de cálculo (Apêndice C) mostram todo o procedimento de cálculo efetuado. Com esse cálculo, os valores estimados são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Valores estimados de recarga com a Aproximação de Darcy

Piezômetro	R (mm/ano)	P (mm/ano)	r (%)
PM 05	121,0	1596,5	7,6%
PM 06			
PM 07	342,3		21,4%
PM 08			
PM 09	18,4		1,2%
PM 10			
PM 14	105,1	1596,5	6,6%
PM 15			
PM 16	26,0		1,6%
PM 17			
PM 18	950,9		59,6%
PM 19			

Fazendo uma análise crítica das linhas de piezômetros considerados, temos:

- ✓ PM 05 e PM 06: o valor médio da condutividade hidráulica é da ordem de 10^{-6} m/s, o gradiente hidráulico médio é baixo (ordem de $9,0 \cdot 10^{-5}$ m/m), e sabemos por análise de correlação e por observação direta que o PM 05 sofre influência de fontes indiretas;
- ✓ PM 07 e PM 08: o valor médio da condutividade hidráulica é da ordem de 10^{-5} m/s, o gradiente hidráulico médio é baixo (ordem de $1,0 \cdot 10^{-4}$ m/m) e não foi notada nenhuma alteração ou influência indireta nestes piezômetros;
- ✓ PM 09 e PM 10: o valor médio da condutividade hidráulica é da ordem de 10^{-7} m/s, o menor entre todos os piezômetros na Bacia do Tijuco Preto, o gradiente hidráulico médio é baixo (ordem de $5,0 \cdot 10^{-5}$ m/m) e por avaliação dos relatórios de sondagens e da construção dos piezômetros percebemos que o PM 09 está envolvido por uma camada de argila extremamente fina;
- ✓ PM 14 e PM 15: o valor médio da condutividade hidráulica é da ordem de 10^{-7} m/s, o menor entre todos os piezômetros na Bacia do Gregório, o gradiente hidráulico médio é baixo (ordem de $4,0 \cdot 10^{-4}$ m/m) e por avaliação dos relatórios de sondagens e da construção dos piezômetros percebemos que o PM 14, igualmente ao PM 09, está envolvido por uma camada de argila cinza extremamente fina;
- ✓ PM 16 e PM 17: o valor médio da condutividade hidráulica é da ordem de 10^{-6} m/s, o gradiente hidráulico médio é baixo (ordem de $4,0 \cdot 10^{-4}$ m/m) e

sabemos por análise de correlação que o PM 16 sofre influência de fontes indiretas;

- ✓ PM 18 e PM 19: o valor médio da condutividade hidráulica é da ordem de 10^{-5} m/s, o gradiente hidráulico médio é baixo (ordem de $5,0 \cdot 10^{-4}$ m/m) e não foi notada nenhuma alteração ou influência indireta nestes piezômetros, no entanto as máximas flutuações do nível d'água foram observadas nestes piezômetros;

Os valores apresentados na Tabela 23 possuem enormes diferenças entre as *linhas perpendiculares* de piezômetros. A menor taxa de recarga, 1,2%, foi encontrada nos piezômetros PM 09 e PM 10, assim como os menores valores do gradiente hidráulico e da condutividade hidráulica. A maior taxa de recarga, 59,6%, foi encontrada nos piezômetros PM 18 e PM 19, na Bacia do Gregório, assim como os maiores valores do gradiente hidráulico e da condutividade hidráulica. De modo geral, a taxa de recarga média avaliada pela formulação de Darcy, para as duas bacias foi de 16,3%, ou seja, 260,6 mm de recarga efetiva para um total precipitado de 1596,5 mm.

Comparando os piezômetros localizados na Bacia do Tijuco (PM 05, PM 06, PM 07, PM 08, PM 09 e PM 10) com os localizados na Bacia do Gregório (PM 14, PM 15, PM 16, PM 17, PM 18 e PM 19) notamos que a taxa de recarga estimada na Bacia do Tijuco é inferior à metade da obtida na Bacia do Gregório. Essa diferença resulta da heterogeneidade das bacias, onde a Bacia do Tijuco apresenta uma resposta mais rápida ao dado evento de chuva do que a Bacia do Gregório. Os piezômetros localizados na Bacia do Tijuco Preto apresentam superfície piezométrica mais rasa.

A *linha perpendicular* composta pelos piezômetros PM 18 e PM 19 apresenta uma elevadíssima taxa de recarga, enquanto que a *linha perpendicular* composta pelos piezômetros PM 09 e PM 10 apresenta a menor taxa de recarga. Nos piezômetros PM 18 e PM 19 o nível d'água é profundo, o solo é bastante permeável (constatado pela realização do teste de condutividade hidráulica) e há uma grande área de contribuição. Já os piezômetros PM 09 e PM 10 apresentam granulometria da formação fina, ou seja, de baixa permeabilidade, impedindo ou dificultando a entrada de água na zona saturada.

4.8.3. Balanço Hídrico

O balanço hídrico foi realizado para o período de 1 ano, utilizando o método desenvolvido por THORNTHWAITE-MATHER (1955). Esse método baseia-se no confronto da precipitação pluviométrica (acréscimo de umidade) e a evapotranspiração potencial (perda potencial de umidade), fornecendo dados mensais de armazenamento de água no solo, o *déficit* e o excedente hídrico ou *escoamento*. O termo *escoamento* representa a somatória da água que infiltra mais a que esco superficialmente (MENEGÁSSE-VELÁSQUEZ, 1996).

O método, adaptado para as condições climatológicas brasileiras, tem sido largamente aplicado pela sua praticidade em termos da disponibilidade dos dados requeridos (precipitação e temperatura), da facilidade dos cálculos e dos bons resultados geralmente obtidos (MENEGÁSSE-VELÁSQUEZ, 1996).

O presente trabalho considerou o solo como capaz de armazenar 100 mm de umidade, através de análise comparativa com os valores indicados na literatura especializada, assim como a partir da análise de correlação (Item 4.6) dos dados de precipitação versus os dados de variação do nível freático ao longo de todo o ano hidrológico.

A evapotranspiração potencial foi determinada pela expressão de THORNTHWAITE (1948) (Eq. 31) utilizando os valores de temperaturas médias mensais, obtidas na Estação da FADISC para o ano hidrológico de fevereiro de 2004 a janeiro de 2005. A expressão, considerando a temperatura média mensal (T), fornece a evapotranspiração potencial mensal (ETP), em milímetros, a partir da seguinte fórmula:

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot T}{I} \right)^a \quad (31)$$

onde, T é a temperatura média mensal em °C, I é o índice térmico e a é o expoente obtido em função do índice térmico.

O índice térmico I é obtido por:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2 \cdot T_i)^{1,514} \quad (32)$$

sendo, T_i a temperatura média de cada mês do ano. Portanto, i varia de 1 a 12 e os índices térmicos mensais, assim obtidos, somados fornecerão o índice térmico anual.

O expoente a é obtido em função do índice térmico:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad (33)$$

A evapotranspiração obtida pela equação do Thornthwaite deve ser ajustada, por um fator K, para o número de dias do mês e para o comprimento do dia. Os valores são tabelados em função da latitude, conforme se pode encontrar em Chang, citado por BERLATO e MOLION (1981).

A Tabela 23 mostra os valores estimados para a evapotranspiração potencial (ETP) utilizando o método de THORNTHWAITE (1948).

Tabela 23 – Valores estimados para a Evapotranspiração Potencial – Fev/2004 a Jan/2005

Evapotranspiração Potencial - Thornthwaite (1948)					
Mês	T _i (°C)	I _i	a	K	ETP (mm)
fev/04	19,1	7,6	2,1	1,00	69
mar/04	19,8	8,0	2,1	1,05	77
abr/04	20,2	8,3	2,1	0,97	74
mai/04	17,3	6,5	2,1	0,95	53
jun/04	17,6	6,7	2,1	0,90	52
jul/04	16,7	6,2	2,1	0,94	49
ago/04	19,6	7,9	2,1	0,99	71
set/04	21,9	9,4	2,1	1,00	91
out/04	16,3	6,0	2,1	1,09	54
nov/04	21,6	9,2	2,1	1,10	97
dez/04	22,2	9,6	2,1	1,16	108
jan/05	22,4	9,7	2,1	1,14	109
Ano	19,6	95,1			903

O cálculo do balanço hídrico pelo método de THORNTHWAITE-MATHER (1955) é feito com auxílio de um quadro no qual, na primeira coluna, aparecem os meses do ano hidrológico; e na primeira linha, a partir da segunda coluna, aparecem os componentes do balanço na seguinte seqüência: precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP), diferença entre a precipitação e a evapotranspiração (P-ETP), negativo acumulado (Neg. Ac.), armazenamento (Armaz.), alteração do armazenamento (Alter.), evapotranspiração real (ETR), deficiência de umidade do solo (Defic.) e excesso de água (Exces.). Na última linha do quadro, aparecem o ano e os valores anuais do balanço.

Os resultados do balanço hídrico mensal, calculados pelo método de THORNTHWAITE-MATHER (1955), obtidos a partir de dados mensais de precipitação e médias mensais de temperatura (ANEXO A), estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Cálculo do balanço hídrico segundo THORNTHWAITE-MATHER (1955)

Mês	P (mm)	ETP (mm)	P - ETP (mm)	Neg. Acum. (mm)	Armaz. (mm)	Alter. (mm)	ETR (mm)	Defic. (mm)	Exces. (mm)
fev/04	280	69	212	0	100	0	69	0	212
mar/04	67	77	-10	-10	90	-10	77	0	0
abr/04	54	74	-20	-30	74	-16	70	4	0
mai/04	138	53	85	0	100	26	53	0	59
jun/04	29	52	-23	-23	79	-21	50	2	0
jul/04	42	49	-7	-30	74	-5	47	2	0
ago/04	0	71	-71	-101	35	-39	39	32	0
set/04	6	91	-84	-185	15	-20	26	64	0
out/04	131	54	77	-8	92	77	54	0	0
nov/04	184	97	87	0	100	8	97	0	79
dez/04	205	108	97	0	100	0	108	0	97
jan/05	460	109	351	0	100	0	109	0	351
ANO	1596	903	694			0	798	104	798

Cabe ressaltar que esses valores pressupõem condições ideais do solo, conforme o modelo idealizado para o método, ou seja, livre da ocupação urbana e coberto com vegetação gramínea.

Em síntese, os valores dos componentes hídricos do sistema para o ano hidrológico em questão são:

P = 1596 mm ETP = 903 mm ETR = 798 mm Exces. (Recarga + Runoff) = 798 mm

Nota-se que o excesso é considerado de forma simplificada como sendo a somatória do valor da recarga mais *runoff*. O valor do excesso anual obtido pelo método do balanço hídrico foi de 798 mm/ano (Tabela 24), equivalente a 50,0% do total de chuvas durante o ano hidrológico.

Os dados de escoamento superficial (Tabela 25), para a Bacia do Córrego do Gregório, foram produzidos pelo NIBH (Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas), no mesmo período do ano hidrológico em estudo (fevereiro de 2004 a janeiro de 2005). Esses dados foram extrapolados para as sub-bacias, de forma geral.

Tabela 25 – Valores do escoamento superficial – *runoff* (NIBH)

Mês	P (mm)	Runoff (mm)
fev/04	280	132
mar/04	67	7
abr/04	54	5
mai/04	138	30
jun/04	29	3
jul/04	42	6
ago/04	0	0
set/04	6	0
out/04	131	15
nov/04	184	53
dez/04	205	123
jan/05	460	148
ANO	1596	521

Considerando o valor de 521 mm (Tabela 25) para o *runoff*, e supondo que o excesso do método do balanço hídrico é composto apenas pelas parcelas da recarga e do *runoff*, temos para a recarga potencial uma lâmina de 277,0 mm, equivalente a 17,4% do total de chuvas durante o ano hidrológico.

Marcelino (1997) realizou estimativas da evapotranspiração regional pelo modelo de Morton e aplicou esses valores no cálculo do balanço hídrico para o Estado de São Paulo. Para o presente balanço hídrico foi feita uma análise comparativa com os dados obtidos por Marcelino (1997). Como, não existe um balanço hídrico específico para o município de São Carlos, foram selecionados alguns postos na vizinhança do município: Barra Bonita, Ibatinga, Pradópolis, Mococa e Mogi-Guaçu (Figura 43).

Figura 43 – Localização dos postos vizinhos do Município de São Carlos (em azul)

Fonte: DER (Departamento de Estradas de Rodagem), 2004.

Com base nas médias anuais do período de 1980-1993 (Tabela 26) das medidas de precipitação, temperatura, evapotranspiração real e excesso segundo Marcelino (1997), foi realizada uma estimativa para o município de São Carlos.

Os valores obtidos para São Carlos na Tabela 26 foram determinados por média aritmética simples, não buscando uma medida exata, mas sim obter valores comparativos.

Tabela 26 – Balanços hídricos das médias mensais – Estimativa de valores para o município de São Carlos

THORNTHWAITE-MATHER (1955) Período (1980 a 1993)				
Cidade	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	ETR (mm)	Excesso (mm)
Mococa	1479	21,9	1049	430
Pradópolis	1436	22,4	1094	352
B. Bonita	1406	21,8	1092	314
Ibitinga	1410	23,1	1101	309
Moji Guaçu	1393	20,8	1083	310
São Carlos	1425	22,0	1084	343

Fonte: MARCELINO, B.C. (1997)

De acordo com a Tabela 26, foi obtido um valor médio para o excesso de 343 mm, o equivalente a 24,1% do total médio precipitado no período de 1980-1993. Comparando o valor obtido no presente estudo (50,0%) com o valor estimado por Marcelino (1997) constatamos que o valor é da ordem de grandeza duas vezes maior. A evapotranspiração real estimada no presente estudo é menor do que a avaliada por Marcelino (1997). Entretanto, a precipitação no ano hidrológico em questão é superior a avaliada por Marcelino (1997). Conseqüentemente, por termos no presente estudo uma precipitação maior e uma evapotranspiração real estimada menor, temos um excesso hídrico maior.

4.9. COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RECARGA

A diferença de valores observada entre os diferentes métodos aplicados está relacionada à incerteza inerente a cada método.

Quando comparado o método do balanço hídrico com o método da flutuação da superfície piezométrica e a aproximação Darcyana, a diferença está relacionada ao fato do balanço hídrico considerar o excesso como sendo a parcela da recarga potencial mais o escoamento superficial (*runoff*) e a flutuação da superfície piezométrica e o método de Darcy considerar a recarga efetiva, observada diretamente nos poços de monitoramento. O balanço hídrico não considera o fluxo para fora da bacia e nem o escoamento superficial da água da chuva. Em áreas urbanizadas, devido à elevada impermeabilização do terreno, fica evidente a contribuição desta variável, não podendo ser desprezada.

Os métodos WTF e Darcy apresentaram uma mesma taxa média de recarga e uma mesma similaridade em relação à taxa individual de recarga nos piezômetros. A justificativa é que ambos os métodos utilizam-se de dados de flutuação do nível freático. No método de Darcy, a condutividade hidráulica é usada diretamente na formulação, enquanto que no método WTF, o rendimento específico é obtido por formulação empírica que usa como variável a própria condutividade hidráulica.

A taxa de recarga potencial obtida no método do balanço hídrico incorpora erros a partir das simplificações adotadas, principalmente, por igualar o excesso do balanço hídrico à somatória da recarga mais o *runoff*. Desse modo, concluímos que essa taxa de recarga (17,4%) é superestimada. Trabalhos futuros poderão avaliar todos os dados requeridos para um balanço hídrico mais preciso, para condições urbanas.

A quantificação da recarga indireta relacionada a vazamentos das redes de águas e esgotos não foi considerada. Estudos posteriores poderão vir a confirmar a representatividade da recarga indireta em área urbana.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo buscou avaliar os aspectos quantitativos da água subterrânea no sistema aquífero freático de uma área intensamente urbanizada, através da estimativa da recarga e dos parâmetros e variáveis envolvidas para essa quantificação. O estudo da recarga restrito apenas ao aquífero freático foi importante para mostrar os processos iniciais de recarga aquífera, evitando a influência na dinâmica dos níveis d'água por bombeamentos de poços profundos.

A área de estudo engloba duas sub-bacias urbanas intensamente urbanizadas. O estudo de geotecnia mostrou, de modo geral, um solo formado de aterro argilo-arenoso e, conforme a camada é aprofundada, podem ser encontradas argilas arenosas, argilas siltosas, areias argilosas, areias siltosas, material turfoso, originados pela ação de intempéries e transporte aquoso que formaram a camada dos Sedimentos Cenozóicos. A altitude mínima encontrada é da ordem de 795 m, enquanto que a altitude máxima supera os 905 m acima do nível do mar.

O monitoramento permanente e contínuo, durante um longo período de tempo, é o requisito básico para investigação dos processos quantitativos da água subterrânea, a fim de detectar o grau de influência das inúmeras variáveis envolvidas.

A revisão bibliográfica contribuiu para um melhor entendimento de diversos fatores envolvidos na caracterização de aquíferos. A revisão possibilitou o entendimento de fenômenos e técnicas inerentes à quantificação da água subterrânea, assim como permitiu avaliar os melhores métodos e técnicas a serem empregadas nas circunstâncias de realização deste estudo.

As atividades preliminares de caracterização da área de estudo e o monitoramento das variáveis hidrológicas do sistema permitiram o estabelecimento das seguintes observações:

- I. O ano hidrológico do presente estudo apresentou regime de chuvas caracterizado por acentuadas heterogeneidades. Por análise comparativa com dados de séries históricas de postos pluviométricos próximos à bacia em estudo, verificou-se que o período fevereiro de 2004 a janeiro de 2005 foi atípico.
- II. O nível d'água investigado está sob condições livres, ou seja, sujeito à pressão atmosférica local. Os níveis d'água são na maioria rasos (profundidade menor que 4 m), e os piezômetros, em sua maioria, estão em camadas de elevada permeabilidade.
- III. A condutividade hidráulica do solo foi avaliada utilizando a técnica *slug test* combinada com o método de análise de Bouwer-Rice (1976) através de planilhas eletrônicas. Foram realizadas duas campanhas (maio e dezembro de 2004) de determinação da condutividade hidráulica, onde foram ensaiados 19 poços de monitoramento da rede permanente de monitoramento de água subterrânea das sub-bacias do Córrego do Gregório e do Córrego do Tijuco Preto. Os valores da 2ª campanha foram similares com os determinados na 1ª campanha. A execução do teste de condutividade hidráulica permitiu constatar diferentes valores de permeabilidade, ocasionando fluxos diferenciados de circulação da água subterrânea. Os valores médios avaliados para a condutividade hidráulica variaram de $2,60 \cdot 10^{-7}$ m/s a $6,00 \cdot 10^{-5}$ m/s. Estes valores são compatíveis com os divulgados na bibliografia especializada para os solos presentes. No entanto, alguma cautela deve ser prevista, principalmente devido ao tipo de construção, desenvolvimento e materiais dos poços de monitoramento. A condutividade hidráulica determinada no teste é um valor pontual que não deve ser estendido além das proximidades do piezômetro.
- IV. Os valores do rendimento específico, para cada piezômetro das respectivas sub-bacias, foram avaliados através de formulação empírica e/ou comparação com valores referenciados na literatura, acreditando que as incertezas geradas por essa simplificação não seriam maiores do que a gerada por qualquer outro método empregado. Os valores médios avaliados para o rendimento específico variaram de 0,07 a 0,15.
- V. Foi realizada uma correlação mensal entre a precipitação, responsável pela recarga direta, e a resposta do lençol freático. As retas de tendência cruzaram o

eixo da variável precipitação no intervalo entre 95 e 125 mm para o Córrego do Tijuco Preto e entre 100 a 120 mm no Córrego do Gregório. As retas de correlação apresentaram, de modo geral, coeficiente de correlação superior a 70%, mostrando um nível de correlação entre médio e forte. Também foi realizada uma correlação semanal, com base no intervalo de medidas consecutivas do nível d'água freático. As retas de tendência apresentaram valores do coeficiente de correlação menor quando comparados com os valores obtidos da correlação com base mensal. Esses valores correlatos foram indicativos de que as variações de nível d'água estão em defasagem com a precipitação do período. A partir da correlação mensal do nível d'água do Córrego do Tijuco Preto e do Gregório adotamos, para utilização no Método do Balanço Hídrico, o valor de 100 mm para o armazenamento de água no solo. A realização de medidas piezométricas semanais contribuiu para uma eficiência no registro direto da dinâmica do aquífero. Foi notado que o aquífero local responde em curtos intervalos a eventos de precipitação, menores do que 15 dias.

Os métodos utilizados para a estimativa da recarga foram o Método WTF (*Water Table Fluctuation*), a Aproximação *Darcyana* e o Método do Balanço Hídrico, a partir de dados obtidos no período de 1 ano hidrológico (fevereiro de 2004 a janeiro de 2005) na Rede de Monitoramento Permanente de Água Subterrânea das Bacias do Gregório e Tijuco Preto.

A análise dos dados monitorados, com base na metodologia estabelecida para um desses métodos, levou às seguintes conclusões:

- VI. As flutuações do nível d'água são caracterizadas por duas distintas situações:
 - 1) nos piezômetros distantes da margem dos córregos as curvas que relacionam flutuações com o período monitorado apresentam uma mesma similaridade, enquanto que 2) os piezômetros localizados no vale aluvial apresentam curvas heterogêneas.
- VII. O Método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF) baseia-se em medidas periódicas dos níveis d'água dos poços de monitoramento, de modo a obter a variação dos valores de carga hidráulica por determinado período de tempo. O método WTF estimou a recarga efetiva como sendo de 261,7

mm/ano, sendo que este valor representa 16,4% do total de chuvas registrado (1596,5 mm) para o ano hidrológico correspondente. A gama de variação da taxa de recarga por piezômetro foi de 8,2% a 34%. As taxas de recarga obtidas nos piezômetros da Bacia do Gregório são duas vezes maiores do que as obtidas na Bacia do Tijuco Preto.

- VIII. A recarga estimada pela Aproximação Darcyana resultou do prévio conhecimento dos parâmetros: nível d'água medido ao longo do ano hidrológico, valores de condutividade hidráulica estimados com a técnica *slug test*, seleção representativa de piezômetros e as distâncias entre dois piezômetros *perpendiculares* obtidas com a realização do posicionamento global de coordenadas com GPS. A taxa de recarga média avaliada pela formulação de Darcy, para as duas bacias foi de 16,3%, ou seja, 260,6 mm de recarga para um total precipitado de 1596,5 mm.
- IX. O balanço hídrico foi realizado para o período de 1 ano, utilizando o método desenvolvido por THORNTHWAITE-MATHER (1955). A evapotranspiração potencial foi determinada pela expressão de THORNTHWAITE (1948). O valor do excesso anual obtido pelo método do Balanço Hídrico foi de 798 mm/ano, equivalente a 50,0% do total de chuvas durante o ano hidrológico. Comparando o valor obtido no presente estudo (50,0%) com o valor estimado na literatura (MARCELINO, 1997: 24,1%) constatamos que o valor é da ordem de grandeza duas vezes maior. No entanto, no presente estudo temos uma precipitação maior e uma evapotranspiração real estimada menor, conseqüentemente temos um excesso hídrico maior. Consideramos o valor de 521 mm para o *runoff*, e supomos que o excesso do método do balanço hídrico fosse composto apenas pelas parcelas da recarga e do *runoff*, assim obtemos para a recarga potencial uma lâmina de 277,0 mm, equivalente a 17,4% do total de chuvas durante o ano hidrológico.
- X. Os métodos aplicados para estimativa da recarga subterrânea não possuem a sensibilidade necessária para a quantificação da recarga efetiva existente no meio urbano, devido a erros associados à escolha de parâmetros de cálculo e no registro das variações sazonais da dinâmica do aquífero em resposta a eventos de recarga indireta. Tais métodos são indicados para obtenção de valores médios para estimativa da recarga, devendo, em área urbana, serem complementados com outros dados, como, por exemplo, a taxa de vazamento

da rede de água e esgoto municipal, além das taxas de vazamentos das redes pluviais e contribuições menos sensíveis (irrigação de pátios e jardins, vazamentos de fossas sépticas e esgotos domésticos), para eliminação da incerteza.

5.1. RECOMENDAÇÕES

A experiência adquirida durante o desenvolvimento do trabalho e as dificuldades enfrentadas na interpretação dos dados monitorados resultaram na constatação de que a metodologia empregada, apesar de intensa, não é suficiente para a compreensão de todos os mecanismos envolvidos no processo de quantificação da água subterrânea em área urbana. Os resultados apresentados fornecem subsídios iniciais para o uso racional dos recursos subterrâneos, assim como incentivam o desenvolvimento de novas pesquisas na área de aquíferos em centros urbanos. Nesse sentido, de forma a subsidiar futuras atividades de pesquisa e visando a otimização da gestão de recursos hídricos em áreas urbanas, podem ser consideradas as seguintes observações:

- ✓ A quantificação da recarga indireta relacionada a vazamentos das redes de águas e esgotos não foi considerada. Estudos posteriores, apoiados em autores como Lerner *et al.* (1986), Lerner *et al.* (1993), Barrett *et al.* (1999), Lerner (2002), poderão vir a confirmar a representatividade da recarga indireta em área urbana.
- ✓ Os sistemas aquíferos e os recursos hídricos superficiais interagem numa variedade de ambientes fisiográficos e climáticos. Em centros urbanos há a necessidade de estudos sobre o escoamento superficial direto, e de trabalhos que integrem conhecimentos geológicos e da hidrologia superficial e subterrânea, para uma avaliação mais crítica dos usos dos recursos hídricos de forma sustentável.
- ✓ O aquífero freático na área de estudo é susceptível à contaminação pela exposição à área altamente urbanizada, fato que poderá ser comprovado por futuras pesquisas que envolvam os aspectos qualitativos da água subterrânea.
- ✓ Os piezômetros do presente estudo foram dispostos em áreas não impermeabilizadas, contudo a área de estudo é intensamente impermeabilizada (70%). Estudos posteriores poderão vir a distribuir novos poços na respectiva área, e verificar os efeitos na recarga e em outros

parâmetros e variáveis hidrogeológicos na área impermeabilizada. A utilização de uma boa densidade de medidas piezométricas pode comprovar as variações da dinâmica do aquífero à eventos episódicos de recarga natural e induzida.

- ✓ Os valores de condutividade hidráulica e de rendimento específico devem ser determinados para cada estudo de caso, ficando estes aqui determinados apenas como indicativos de futuras pesquisas, e exclusivas do presente trabalho.
- ✓ O intervalo de medida do nível d'água deve ser feito semanalmente, e se possível instalar aparelhos *data loggers* para obtenção de uma maior sensibilidade das flutuações do nível freático. Com essa maior sensibilidade avaliar com maior precisão se existe inversão de fluxo, ou seja, do rio para o aquífero.
- ✓ A correlação de P vs. Δh deve ser avaliada aplicando teorias de correlação de velocidades em escoamento turbulento para determinação do tempo de defasagem (*time lag*) entre o início da precipitação e a resposta no nível d'água (SCHLICHTING, 1968, p. 531).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON G.B.; HUGHES M.W. (1978). *The use of environmental chloride and tritium to estimate total local recharge to an unconfined aquifer*, Aust. J. Soil Res., 16, p.181-195.
- ALLISON, G.B.; BARNES, C.J.; HUGHES, M.W.; LEANEY, F.W.J. (1983). *Effect of climate and vegetation on oxygen-18 and deuterium profiles in soils*. In: Clark, I.D. and Fritz, P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers, New York, 328pp.
- AMORE, F.F.; DARLING, G; PACES, T.; PANG, Z.; SILAR, J. (2000). *Environmental isotopes in the hydrological cycle: Principles and applications – Volume 4: Groundwater*. IAEA, Vienna, 196pp.
- ARANYOSSY, J.F.; GAYE, C.B. (1992). *La recherche du pic du tritium thermonucléaire en zone non-saturée profonde sous climat semi-aride pour la mesure de recharge des nappes: première application au Sahel*. C.R.Acad. Sci. Paris, 1992, 315 (ser.II): p.637-643.
- ARNOLD, J.G.; ALLEN, P.M. (1999). *Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records*. Journal of the American Water Resources Association, 35(2), pp.411-424.
- BAKR, A.A.; GELHAR, L.W.; GUTJAHR, A.L.; MACMILLAN, J.R. (1978). *Stochastic analysis of spatial variability in subsurface flows*. 1. Comparison of one- and three-dimension flows. Water Resources Research, 14, p.263-270.
- BARNES, C.J.; ALLISON, G.B. (1983). *The distribution of deuterium and 180 in dry soils, 1. Theory*. Journal of Hydrology, 60:141-156.
- BARRETT, M.H.; HISCOCK, K.M.; PEDLEY, S.; LERNER, D.N.; TELLAM, J.H.; FRENCH, M.J. (1999). *Marker species for identifying urban groundwater recharge sources – the Nottingham case study*. Water Resources, 33 (14), p.3083–3097.
- BAZUHAIR, A.S.; WOOD, W.W. (1996). *Chloride mass-balance method for estimating ground water recharge in arid areas: examples from western Saudi Arabia*. Journal of Hydrology, 186, p.153-159.
- BEAR, J. (1972). *Dynamics of fluids in porous media*. American Elsevier, Environmental Science Series, New York, NY, 764 pp.
- BEAR, J. (1979). *Hydraulics of groundwater*. McGraw-Hill, New York, NY, 569 pp.

- BEEKMAN, H.E.; GIESKE, A.; SELAULO, E.T. (1996). *GRES: Groundwater Recharge Studies in Botswana 1987-1996*. Botswana J. of Earth Science, Vol. III, 1-17.
- BELAN, R.A.; MATLOCK, W.G. (1973). *Groundwater recharge from a portion of the Santa Catalina Mountains*. In: Proc Meeting Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest, Arizona Section, American Water Resources Association, and the Hydrology Section, Arizona Academy of Science, Tucson, Arizona, Rep 3, pp 33-40
- BENNION, D.W.; GRIFFITHS, J.C. (1966). *A stochastic model for predicting variations in reservoir rock properties*. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, 237, p.9-16.
- BERLATO, M.A.; MOLION, L.B. (1981). *Evaporação e Evapotranspiração*. Boletim Técnico, IPAGRO, Porto Alegre, n. 7, p. 3-95.
- BEYERLE, U.; AESCHBACH-HERTIGA, W.; HOFER, M.; IMBODEN, D.M.; BAUR, H.; KIPFER, R (1999). *Infiltration of river water to a shallow aquifer investigated with ^3H , ^3He , noble gases and CFCs*. Journal of Hydrology, 220:169-185.
- BJORNBERG, A.J.S.; TOLENTINO, M. (1959). *Contribuição ao Estudo da Geologia e Águas Subterrâneas em São Carlos*. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia 8, 2, p.5-33, São Paulo.
- BORTOLUCCI, A.A. (1983). *Caracterização Geológico-Geotécnica da região urbana de São Carlos-SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento*. 67p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- BOULTON, N.S. (1963) *Analysis of data from non-equilibrium pumping tests allowing for delayed yield from storage*. Proc. Inst. Civil Eng., 6:469-482.
- BOUWER, H.; RICE, R.C. (1976). *A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells*. Water Resources Research, 12(3), pp.423-428.
- BOWLES, J.E. (1984). *Physical and geotechnical properties of soils*. McGraw-Hill, New York, NY, 570p.
- BREDENKAMP, D.B.; BOTHA, L.J.; VAN TONDER, G.J.; van RENSBURG, H.J. (1995). *Manual on Quantitative Estimation of Groundwater Recharge and Aquifer Storativity*. Water Research Commission, Pretoria.
- BRUNKE, M.; GONSER, T. (1997) *The ecological significance of exchange processes between rivers and ground-water*. Freshwater Biol, 37, pp.1-33
- BUTLER, J.J. (1997). *The design, performance and analysis of slug tests*. Lewis Publisher, Washington, D.C., 252 p.

- BUTLER, J.J.; BOHLING, G.C.; HYDER, Z.; McELWEE, C.D. (1994). *The use of slug tests to describe vertical variations in hydraulic conductivity*. Journal of Hydrology, v.156, pp.137-162.
- CEDERGREN, H.R. (1977). *Seepage, drainage and flow nets*. 2^a ed., New York, John Wiley & Sons, 534p.
- CETESB (1985). *Resíduos sólidos industriais* – São Paulo: Convenio CETESB/ASCETESB, v.1, 182p.
- CEY, E.E.; RUDOLPH, D.L.; PARKIN, G.W.; AVARENA, R. (1998). *Quantifying groundwater discharge to a small perennial stream in Southern Ontario, Canada*. Journal of Hydrology, 210:21-37.
- CHANG, J.H. (1968). *Climate and Agriculture: An Ecological Survey*. Chicago, Aldine Publishing Company, 304p.
- CHAPMAN, T. (1999). *A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation*. Hydrological Processes, 13, 701-714.
- CRISS, R.E.; DAVISSON, M.L. (1996). *Isotopic imaging of surface water/groundwater interactions, Sacramento Valley, California*. Journal of Hydrology 178:205-222.
- CUNHA, A.M. (1961). *A determinação da permeabilidade in situ pelos métodos pressiométricos*. Revista do Clube de Engenharia, p.13-16, Rio de Janeiro.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. (1976). *Hidrología Subterránea*. 1^a ed., 2v. Barcelona: Omega, D.L. 2359 pp.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. (1996). *Hidrología Subterránea*. 2^a ed., 2v. Barcelona: Omega, D.L.
- DNAEE (1974). *Estudo de Águas Subterrâneas*. Região Administrativa 6 - Ribeirão Preto. v. 2,3,4.
- DAGAN, G. (1978). *A note on packer, slug and recovery tests in unconfined aquifers*. Water Resources Research, 14(5), pp.929.
- DAWSON, K.J.; ISTOK, J.D. (1991). *Aquifer testing: Design and Analysis of Pumping and Slug Tests*. Lewis Publishers, Florida, 344p.
- DEVITO, K.J., DILLON, P.J. (1993). *The influence of hydrologic condition and peat oxa on the phosphorus and nitrogen dynamics of a conifer swamp*. Water Resources. Research, 29, pp.2675-2685.
- DEVITO, K.J., HILL, A.R., ROULET, N. (1996). *Groundwater-surface water interactions in headwater forested wetlands of the Canadian Shield*. Journal of Hydrology, 181, pp.127-147.

- De VRIES, J.J.; SIMMERS, I. (2002). *Groundwater Recharge: an overview of processes and challenges*. Hydrogeology Journal, 10, 1, p.5-17. DOI 10.1007/s10040-001-0171-7
- Dos SANTOS Jr., A.G.; YOUNGS, E.G. (1969). *A study of the specific yield in land-drainage situations*. Journal of Hydrology, 8:59-81.
- DUKE, H.R. (1972). *Capillary properties of soils – influence upon specific yield*. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 15:688-691.
- EDMUNDS, W.M.; GAYE, C.B. (1994). *Estimating the spatial variability of groundwater recharge in the Sahel using chloride*. Journal of Hydrology, 156, p.47-59.
- EDMUNDS, W.M.; WALTON, N.R.G. (1980). *A geochemical and isotopic approach to recharge evaluation in semi-arid zones- past and present*. In: Application of isotopic techniques in Arid Zone Hydrogeology, Proc. Advisory Group Meeting, Vienna, IAEA, 1978, p.47-68.
- ELLERT, N., GREENHOUSE, J., WILLIAMS, M., MENDES, J.B., HASSUDA, S. (1986). *A Geofísica aplicada na identificação da poluição do subsolo por depósitos de rejeitos urbanos e industriais*. In: Ação Programada em Águas Subterrâneas (convênio DAEE/FAPESP), São Paulo, p. 402-406, 1986.
- EMBRAPA-CCPSE (1999). *Microbacia Hidrográfica do Ribeirão Canchim: um modelo real de laboratório ambiental*. Boletim de Pesquisa, 5. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos.
- ERIKSSON, E.; KHUNAKASEM, V. (1969). *Chloride concentration in groundwater, recharge rate and rate of deposition of chloride in the Israel coastal plain*. Journal of Hydrology, 7, 178-197.
- FETTER, C.W. (1994). *Applied Hydrogeology*. Macmillan: New York, 3rd ed., 691 pp.
- FINNEMORE, E.J. (1995). *A program to calculate groundwater mound heights*. Groundwater, 33, p.139-143.
- FREEZE, R.A. (1975). *A stochastic-conceptual analysis of one-dimension groundwater flow in nonuniform homogeneous media*. Water Resources Research, 11, p. 725-740.
- FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 604p.
- GADOTTI, R.F. (2001). *Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao "lixão" da cidade de São Carlos*. 151p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.
- GAU, H.S.; LIU, C.W. (2000) *Estimation of the effective precipitation recharge coefficient in an unconfined aquifer using stochastic analysis*. Hydrology Process, 14, p. 811-830.

- GAYE, C.B.; EDMUNDS, W.M. (1996). *Inter comparison between physical, geochemical and isotopic methods for estimating groundwater recharge in north western Senegal*. Environmental geology, 27, p. 246-251.
- GERHART, J.M. (1986). *Ground-water recharge and its effect on nitrate concentrations beneath a manured field site in Pennsylvania*. Ground Water 24, p.483-389.
- GELHAR, L.W. (1993). *Stochastic Subsurface Hydrology*. Prentice-Hall: New Jersey; 190 pp.
- GIBSON, R.E. (1966). *A note on the constant head test to measure soil permeability in situ*. Geotechnique, I. of Civil Engineering, 16, 3, pp.256-259.
- GIESKE, A. (1992). *Dynamics of groundwater recharge - A case study in semi-arid Eastern Botswana*. Ph.D. thesis, Free University of Amsterdam.
- GONÇALVES, A.R.L. (1986). *Geologia ambiental da área de São Carlos*. 138p Tese (Doutorado) – IGC, São Paulo.
- GRESWELL, R.B.; LLOYD, J.W.; LERNER, D.N.; KNIPE, C.V. (1994). *Rising groundwater in the Birmingham area*. In: Wilkinson WB (ed) Groundwater problems in urban areas. Thomas Telford, London, p. 330-341, discussion p. 355-368.
- HAITJEMA, H.M. (1995). *Analytical element modeling of groundwater flow*. ISBN 0-12-316550-4, Academic Press, Inc.
- HALFORD, K.J.; MAYER, G.C. (2000). *Problems associated with estimating ground water discharge and recharge from stream-discharge records*. Ground Water, 38(3), pp.331-342.
- HALL, D.W.; RISSE, D.W. (1993). *Effects of agricultural nutrient management on nitrogen fate and transport in Lancaster county, Pennsylvania*. Water Resources, 29, p. 55-76
- HANTUSH, M.S. (1956). *Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers*. Trans Am Geophys Union, v.37, nº 68:1031-1045.
- HANTUSH, M.S. (1967). *Growth and decay of groundwater mounds in response to uniform percolation*. Water Resources Research, 3, p. 227-234.
- HARVEY, J.W.; WAGNER, B.J.; BENCALA, K.E. (1996). *Evaluating the reliability of the stream tracer approach to characterize stream-subsurface water exchange*. Water Resources Research, 32:2441-2451.
- HEALY, R.W.; COOK, P.G. (2002). *Using groundwater levels to estimate recharge*. Hydrogeology Journal, 10, p. 91-109. DOI 10.1007/s10040-001-0178-0
- HOEKSEMA, R.J.; KITANIDIS, P.K. (1985). *Analysis of the spatial structure of properties of a selected aquifer*. Water Resources Research, 21, p. 563-572.

- HUGHES, D.A.; HANNART, P.; WATKINS, D. (2003). *Continuous baseflow separation from time series of daily and monthly streamflow data*. Water AS, 29 (1), 43-48.
- HUNT, B.W. (1971). *Vertical recharge of unconfined aquifers*. J. Hydraulic Div. ASCE 96 (HY7), p. 1017-1030.
- HVORSLEV, M.J. (1951). *Time lag and soil permeability in ground water observations*. U.S. Army Corps of Eng., Waterways Experiment Station, Bulletin n°36, 50 pp. Vicksburg, Mississippi.
- HYDER, Z., BUTLER, J.J., Jr., McELWEE, C.D., LIU, W.Z., 1994. *Slug tests in partially penetrating wells*. Water Resources Research, 30 (11), 2945.
- JOHNSON, A.I. (1967). *Specific yield – Compilation of specific yields for various materials*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1662-D: 74pp.
- KATZ, B.G., DEHAN, R.S., HIRTEN, J.J., CATCHES, J.S. (1997). *Interactions between ground water and surface water in the Suwannee river basin, Florida*. Journal of the American Water Resources Association, 33, pp.1237-1254.
- KHAZAEI, E.; SPINK, A.E.F.; WARNER, J.W. (2003). *A catchment water balance model for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions of south-east Iran*. Hydrogeology Journal, 11, p. 333-342.
- KETCHUM Jr., J.N.; DONOVAN, J.J.; AVERY, W.H. (2000). *Recharge characteristics of a phreatic aquifer as determined by storage accumulation*. Hydrogeology Journal, 8, p. 579-593. DOI 10.1007/s100400000088
- KINZELBACH, W. et al. (2002). *A survey of methods for groundwater recharge in arid and semi-arid regions*. Early Warning and Assessment Report Series, UNEP/DEWA/RS.02-2. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. ISBN 92-80702131-3.
- LAMBS, L. (2004). *Interactions between groundwater and surface water at river banks and the confluence of rivers*. Journal of Hydrology, 288, pp.312-326.
- LATINOPOULOS, P. (1984). *Periodic recharge to finite aquifers from rectangular areas*. Advanced Water Resources, 7, p. 137-140.
- LATINOPOULOS, P. (1986). *A boundary element approach for modeling groundwater movement*. Advanced Water Resources, 9, p. 171-177.
- LAW, J. (1944). *A statistical approach to the interstitial heterogeneity of sand reservoirs*. Transactions of the AIME, 155, p. 202-222.
- LEE, D.R. (1977). *A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries*. Limnol. Oceanogr., 22, pp.140-147.
- LEE, D.R. (1978). *Identification of groundwater discharge zones in a reach of Hillman Creek in southern Ontario*. Water Pollution Research in Canada 13, pp.121-133.

- LEE, D.R.; CHERRY, J.A. (1978). *A field exercise on groundwater flow using seepage meters and mini-piezometers*. Journal of Geological Education, 27, pp.6-10.
- LEE, V.D.; GEHRELS, J.C. (1990). *Modelling aquifer recharge: introduction to the lumped parameter model EARTH*. Hydrological Report, Free University of Amsterdam. The Netherlands, 30 pp.
- LERNER, D.N. (1986). *Leaking pipes recharge groundwater*. Ground Water, 24 (5), p. 654-662.
- LERNER, D.N. (1990). *Groundwater recharge in urban areas*. Atmos. Environment, 24 B(1), p. 29-33.
- LERNER, D.N. (2002). *Identifying and quantifying urban recharge: a review*. Hydrogeology Journal, 10, p. 143-152.
- LERNER, D.N. (2003). *Surface water – groundwater interactions in the context of groundwater resources*. In: XU, Y. e BEEKMAN, H.E. (Ed) (2003). *Groundwater recharge estimation in Southern Africa*. UNESCO IHP Series No. 64, UNESCO Paris. ISBN 92-9220-000-3.
- LERNER, D.N.; BURSTON, M.W.; BISHOP, P.K. (1993). *Hydrogeology of the Coventry region (UK): an urbanized, multi-layer dual-porosity aquifer system*. Journal of Hydrology, 149, p. 111-135.
- LERNER, D.N.; ISSAR, A.; SIMMERS, I. (1990). *Groundwater recharge; a guide to understanding and estimating natural recharge*. International Contributions to Hydrogeology, v.8. Hannover, Germany, 345 pp.
- LINSLEY, R.K.; KOHLER, M.A.; PAULHUS, J.L.H. (1958). *Hydrology for Engineers*. New York, McGraw-Hill.
- MACAMBIRA, I.Q. (2002). *Comportamento Hidráulico de Solo Lateríticos para uso como Barreiras Impermeáveis*. 123p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002.
- MACE, R.E. (1999). *Estimation of hydraulic conductivity in large-diameter, hand-dug wells using slug-tests methods*. Journal of Hydrology, v.219, pp.34-45.
- MARCELINO, B.C. (1997). *Estimativas de evapotranspiração regional pelo modelo de Morton e aplicação no cálculo do balanço hídrico, para o Estado de São Paulo*. 129p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.
- MARINO, M.A. (1974). *Rise and decline of the water table induced by vertical recharge*. Journal of Hydrology, 23, p. 289-298.
- MAYER, G.C.; JONES, L.E. (1996). *SW-GW: A computer program for estimating groundwater discharge to a stream using streamflow data*. USGS WRI 96-1071.
- MEINZER, O.E. (1923). *The occurrence of groundwater in the United States with a discussion of principles*. U.S. Geol. Survey Water Supply, Pap 489, 321pp.

- MEINZER, O.E.; STEARNS, N.D. (1929). *A study of ground water in the Pomperaug Basin, Connecticut, with special reference to intake and discharge*. U.S. Geol Survey Water Supply, Pap 597-B, p.73-146.
- MENEGÁSSE-VELÁSQUEZ, L.N. (1996). *Efeitos da Urbanização sobre o Sistema Hidrológico: Aspectos da Recarga no Aquífero Freático e Escoamento Superficial – Área Piloto: Sub-bacias Sumaré e Pompéia, Município de São Paulo*. Tese de Doutorado, IGC-USP, São Paulo, 1996.
- MILES, J.C.; RUSHTON, K.R. (1983). *A coupled surface water and groundwater catchment model*. Journal of Hydrology, 62, p. 159-177.
- MOENCH, A.F. (1996). *Flow to a well in a water-table aquifer: an improved Laplace transform solution*. Groundwater, 34:593-596.
- MOON, S.; WOO, N.C.; LEE, K.S. (2004). *Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge*. Journal of Hydrology, 292, p. 198-209.
- NATHAN, R.J.; McMAHON, T.A. (1990). *Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis*. Water Resources Research, 26, 1465-1473.
- NEUMAN, S.P.; WITHERSPOON, P.A. (1972). *Field determination of hydraulic properties of leaky multiple aquifer systems*. Water Resources Research, 8:1284-1298.
- NEVES, M. das (1987). *Estudo da Permeabilidade do solo colapsível da região de São Carlos*. 139p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- NIMMO, J.R.; STONESTROM, D.A.; AKSTIN, K.C. (1994). *The feasibility of recharge rate determinations using the steady-state centrifuge method*. Soil Science Soc. Am. J., 58: 49-56.
- NISHIYAMA, L. (1991). *Mapeamento Geotécnico Preliminar da Quadricula de São Carlos – SP*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- OHNUMA JR, A.A. (2004). *Cenários de reúso de águas pluviais e controle da drenagem visando a recuperação da Micro Bacia do Alto Tijuco Preto, São Carlos, SP*. 155 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- OLIVEIRA, R.C. de (1998). *Medidas não Estruturais na Prevenção do Controle de Enchentes em Áreas Urbanas como Subsídios para o Planejamento de Uso e Ocupação do Solo: Estudo de Caso: Bacia do Córrego do Gregório – São Carlos (SP)*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- OSTENDORF, D.W.; REES, P.L.S.; KELLEY, S.P.; LUTENEGGER, A.J. (2004). *Steady, annual, and monthly recharge implied by deep unconfined aquifer flow*. Journal of Hydrology. 290, p. 259-274.

- PARALTA, E.A.; OLIVEIRA, M.M.; LUBCZYNSKI, M.W.; RIBEIRO, L.F. (2003). *Avaliação da recarga do sistema aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos – disponibilidades hídricas e implicações agro-ambientais*. In: 6º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Lisboa. p. 501-516.
- PAZDRO, Z. (1983). *Hydrogeologia Ogólna*, W.G. Warszawa, p.575.
In: ALVAREZ, R.H.; NIEDZIELSKI, H. (1996). *Estimacion de la recarga en la subcuenca Rio de las Avenidas Pachuca Hidalgo México*. In: Congresso Latino-Americano de Hidr. Sub., 3, México, 1996. Anais do 3º Congresso Latino-americano de Hidr. Sub., México: ALHSUD, p.35-46.
- PRICKETT, T.A. (1965) *Type-curve solution to aquifer tests under water-table conditions*. Groundwater, 3:5-14.
- PRILL, R.C.; JOHNSON, A.I.; MORRIS, D.A. (1965). *Specific yield – laboratory experiments showing the effect of time on column drainage*. U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1662-B, 55 pp.
- RAI, S.N.; MANGLIK, A. (1999). *Modelling of water table variation in response to time-varying recharge from multiple basins using the linearised Boussinesq equation*. Journal of Hydrology, 220, p. 141-148.
- RAI, S.N.; MANGLIK, A.; SINGH, R.N. (1994). *Water table fluctuation in response to transient recharge from a rectangular basin*. Water Resources Mgmt., 8, p. 1–10.
- RAI, S.N.; SINGH, R.N. (1981). *A mathematical model of water table fluctuation in a semi-infinite aquifer induced by localized transient recharge*. Water Resources Research, 17, p. 1028-1032.
- RAI, S.N.; SINGH, R.N. (1995). *Two-dimensional modelling of water table fluctuation in response to localized transient recharge*. Journal of Hydrology, 167, p. 167-174.
- RAI, S.N.; SINGH, R.N. (1996). *On the prediction of groundwater mound formation due to transient recharge from a rectangular area*. Water Resources Mgmt, 10, p. 189-198.
- RAI, S.N.; SINGH, R.N. (1998). *Evolution of the water table in a finite aquifer due to transient recharge from two parallel strip basins*. Water Resources Mgmt, 12, p. 199-208.
- RAMANA, D.V.; RAI, S.N.; SINGH, R.N. (1995). *Water table fluctuation table fluctuation in due to transient recharge in a 2-D aquifer system with inclined base*. Water Resources Mgmt, 9, p. 127–138.
- RAO, N.H.; SARMA, P.B.S. (1981a). *Recharge from rectangular areas to finite aquifers*. Journal of Hydrology, 53, p. 269-275.
- RAO, N.H.; SARMA, P.B.S. (1981b). *Groundwater recharge from rectangular areas*. Groundwater, 19, p. 271–274.
- RASMUSSEN, W.C.; ANDREASEN, G.E. (1959). *Hydrologic budget of the Beaverdam Creek Basin, Maryland*. U.S. Geol Survey Water Supply, Pap 1472, 106 pp.

- REBELATTO, D.A. do N. (1991). *A influência do Processo de Ocupação do Solo na Bacia do Rio Gregório em São Carlos (SP), sobre a Incidência de Enchentes nas Áreas Próximas ao Mercado Municipal*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- RICHARDS, L.A.; GARDNER, W.R.; OGATA, G. (1956). *Physical processes determining water loss from soil*. Soil Science Soc. Am. Proc., 20: 310-314.
- RODRIGUES, J.E. (1982). *Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas*. 162p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- RONAN, A.D.; PRUDIC, D.E.; THODAL, C.E.; CONSTANTZ, J. (1998). *Field study and simulation of diurnal temperature effects on infiltration and variably saturated flow beneath an ephemeral stream*. Water Resources Research, 34: 2137-2153.
- RORABAUGH, M.I. (1964). *Estimating changes in bank storage and groundwater contribution to streamflow*. Int. Assoc. of Sci. Hydrol. Publication, 63, pp.432-441.
- RUSHTON, K. (1997). *Recharge from permanent water bodies*. In: Simmers, I (ed). Recharge of phreatic aquifers in (semi)arid areas. AA Balkema, Rotterdam, pp 215-255.
- RUSHTON, K.R.; TOMLINSON, L.M. (1979). *Possible mechanisms for leakage between aquifers and rivers*. Journal of Hydrology, 40, pp.49-65.
- RUSHTON, K.; WARD, R.C. (1979). *The estimation of groundwater recharge*. Journal of Hydrology, 41, p. 345-362.
- RUTLEDGE, A.T. (1993). *Computer programs for describing the recession of ground-water discharge and for estimating mean ground-water recharge and discharge from streamflow records*. Ground Water 32 (2), pp.180-189.
- RUTLEDGE, A.T.; DANIEL, C.C. III (1994). *Testing an automated method to estimate groundwater recharge from streamflow records*. Ground Water, 32:180-189.
- SAMI, K.; HUGHES, D.A. (1996). *A comparison of recharge estimates to a fractured sedimentary aquifer in South Africa from a chloride mass balance and an integrated sub-surface model*. Journal of Hydrology, 179 (1-4).
- SCHICHT, R.J.; WALTON, W.C. (1961). *Hydrologic budgets for three small watersheds in Illinois*. III State Water Surv. Rep. Invest., 40:40.
- SHAW, R.D.; PREPAS, E.E. (1990). *Groundwater-lake interactions*. I. Accuracy of seepage meter estimates of lake seepage. Journal of Hydrology, 119, pp.105-120.
- SCANLON, B.R.; HEALY, R.W.; COOK, P.G. (2002). *Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge*. Hydrogeology Journal, 10, p. 18-39. DOI 10.1007/s10040-0010176-2.
- SCHLICHTING, H. (1968). *Boundary layer theory*. McGraw Hill Book Company, New York, p. 531.

- SELAOLO, E.T. (1998). *Tracer studies and groundwater recharge assessment in the eastern fringe of the Botswana Kalahari – The Lethlakeng – Botlhapatlou area*. PhD Thesis. Free University- Amsterdam, pp. 224.
- SENARATH, D.C.; RUSHTON, K.R. (1984). *A routing technique for estimating groundwater recharge*. Ground Water, 22 (2), p. 142-147.
- SIMMERS, I. (1989). *Natural groundwater recharge estimation in semiarid zones: some state-of-art observations*. Proceedings of the Sahel Forum, the State-of-Art of Hydrology and Hydrogeology in the Arid and Semi-Arid Areas of Africa, Ouagadougou, Burkina Faso, February, p. 374-386.
- SMAKHTIN, V.U. (2001). *Estimating continuous monthly baseflow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve*. Water AS, 27 (2), 213-217.
- SOKOLOV, A.A.; CHAPMAN, T.G. (1974). *Methods for Water Balance Computations*. The UNESCO Press, Paris.
- SOPHOCLEOUS, M. (1991). *Combining the soil water balance and water-level fluctuation methods to estimate natural groundwater recharge: practical aspects*. Journal of Hydrology, 124, p. 229-241.
- SOPHOCLEOUS, M. (2002). *Interactions between groundwater and surface water: the state of the science*. Hydrogeology Journal, 10, pp.52-67. DOI 10.1007/s10040-001-0170-8
- SOTO, M.A.A. (1999). *Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos Não-Saturados*. 121p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- STALLMAN, R.W. (1964). *Multiphase fluid flow in porous media – a review of theories pertinent to hydrology studies*. U. S. Geological Survey Prof. Paper, 411-E:51.
- STEPHENS, D.B.; KNOWLTON, R.J. (1986). *Soil water movement and recharge through sand at a semiarid site in New Mexico*. Water Resources Research, 22: 881-889.
- SU, N. (1994). *A formula for computation of time varying recharge of groundwater*. Journal of Hydrology, 160, p. 123-135.
- SUDICKY, E.A. (1986). *A natural gradient experiment on solute transport in a sand aquifer: spatial variability of hydraulic conductivity and its role in the dispersion process*. Water Resources Research, 22, p. 2069-2082.
- THEIS, C.W. (1937). *Amount of ground-water recharge in the southern high plains*. Transactions of the American Geophysical Union, 564 pp.
- THIEM, G., 1906. *Hydrologische methodern*. Leipzig, GEGHARDT, 56 p.

- TELOGLOU, I.S.; ZISSIS, T.S.; KARAMOUZIS, N. (1997). *Water table fluctuation in soils overlying semi-confined aquifers in response to time-varying replenishment*. Journal of Hydrology, 202:78–94.
- TODD, D.K. (1980). *Groundwater hydrology*. John Wiley & Sons. 2^aed. New York, NY. 535 pp.
- TOLENTINO, M. (1967). *Estudo Crítico sobre o Clima da Região de São Carlos*. Concurso de Monografias Municipais, São Carlos.
- USGS, 2002. *Documentation of Spreadsheets for the Analysis of Aquifer-Test and Slug Test Data*. By Keith J. Halford and Eve L. Kuniansky. Open-File Report 02-197. Carson City, NV, USA.
- VASCONCELOS, S.M.S. (1999). *Recarga do aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza-CE*. 100p. 2v. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.J. (1931) *The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils*. Soil Science, 32:181-194.
- VILAR, O.M. (1979). *Estudo da Compressão Unidirecional do Sedimento Moderno (Solo Superficial) da cidade de São Carlos*. 110p. 2v. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- XU, Y.; BEEKMAN, H.E (Eds) (2003). *Groundwater recharge estimation in Southern Africa*. UNESCO IHP Series nº 64, UNESCO, Paris. ISBN 92-9220-000-3.
- XU, Y.; TITUS, R.; HOLNESS, S.D.; ZHANG, J.; van TONDER, G.J. (2002). *A hydrogeomorphological approach to quantification of groundwater discharge to streams in South Africa*. Water SA, v.28, nº4, 2002. ISSN 0378-4738. Disponível no site: <http://www.wrc.org.za>
- XU, Y.; van TONDER, G.J. (2001). *Estimation of recharge using a revised CRD method*. Water SA, v.27, 3, p. 341-343.
- WADDINGTON, J.M.; ROULET, N.T.; HILL, A.R. (1993). *Runoff mechanisms in a forested groundwater discharge wetland*. Journal of Hydrology, 147, pp.37-60.
- WALTON, W.C. (1970). *Groundwater resource evaluation*. McGraw-Hill, New York, NY, 664 pp.
- WENZEL, L.K. (1936). *Several methods of studying of groundwater levels*. Trans. American Geophysical Union, Vol. 17.
- WHITELEY, H.R.; IRWIN, R.W. (1986). *The hydrologic response of wetlands in southern Ontario*. Canadian Water Resources J., 11, pp.100-110.
- WINTER, T.C.; HARVEY, J.W.; FRANKE, O.L.; ALLEY, W.M. (1998). *Ground Water and Surface Water: A Single Resource*. U.S. Geological Survey, Circular 1139, Denver, Colorado.

- WITTENBERG, H. (1999). *Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes*. Hydrological Processes, 13, 715-726.
- WITTENBERG, H.; SIVAPALAN, M. (1999). *Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation*. Journal of Hydrology, 219 (1-2), pp.20-33.
- WOESSNER, W.W.; SULLIVAN, K.E. (1984). *Results of seepage meter and mini-piezometer study, Lake Mead, Nevada*. Ground Water 22, pp.561-568.
- WOESSNER, W.W. (2000). *Stream and fluvial plain ground water interactions: rescaling hydrogeologic thought*. Ground Water 38, pp.423-429.
- WOOD, W.W.; SANFORD, W.E. (1995). *Chemical and isotopic methods for quantifying ground water recharge in a regional, semi-arid environment*. Ground Water, 33 (3), p. 458-468.
- WOOD, E.F.; SIVAPALAN, M.; BEVEN, K. (1990). *Similarity and scale in catchment storm response*. Rev Geophys 28, pp.1-18.
- WU, J.R.; ZHANG, T.; YANG, J. (1996). *Analysis of rainfall-recharge relationship*. Journal of Hydrology, 177, p. 143-160.
- WRIGHT, K.A.; XU, Y. (2000). *A water balance approach to the sustainable management of groundwater in South Africa*. Water SA, v.26, n° 2, Abril de 2000. ISSN 0378-4738. Disponível no site: <http://www.wrc.org.za>
- YANG, Y.; LERNER, D.N.; BARRETT, M.H.; TELLAM J.M. (1999). *Quantification of groundwater recharge in the city of Nottingham, UK*. Environ Geol 38 (3), p.183-198.
- YEH, T.C.J.; GELHAR, L.W.; GUTJAHR, A.L. (1985a). *Stochastic analysis of unsaturated flow in heterogeneous soils 1. Statistically isotropic media*. Water Resources Research 21:447-456.
- YEH, T.C.J.; GELHAR, L.W.; GUTJAHR, A.L. (1985b). *Stochastic analysis of unsaturated flow in heterogeneous soils 2. Statistically anisotropic media with variable alpha*. Water Resources Research 21:457-464.
- YOUNG, M.H.; WIERENGA, P.J.; MANCINO, C.F. (1996). *Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies*. Soil Science Soc. Am. J., 161: 491-501.
- ZIMMERMAN, U.; EHHALT, D.; MUNNICH, K.G. (1967). *Soil water movement and evapotranspiration: changes in the isotopic composition of the water*. In: Isotope in Hydrology, IAEA, Vienna, 567-584. In: Amore, F.F., Darling, G, Paces, T., Pang, Z. and Silar, J., 2000. Environmental isotopes in the hydrological cycle: Principles and applications – Volume 4: Groundwater. IAEA, Vienna, 196 pp.
- ZUQUETTE, L.V. (1981). *Mapeamento Geotécnico Preliminar na Região de São Carlos*. 86p. 2v. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

APÊNDICE A – MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO
DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL
FEVEREIRO DE 2004 A JANEIRO DE 2005

APÊNDICE A
MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

131

PM 01 - Nascente (Tijucu Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	203.238,96	7.563.297,50	877,120	8,360	0,220	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	3,015	873,885	0,000	5,345
11/02/04	7	7	3,050	873,850	-0,035	5,310
18/02/04	7	14	2,815	874,085	0,235	5,545
26/02/04	8	22	2,585	874,315	0,230	5,775
03/03/04	6	28	2,715	874,185	-0,130	5,645
10/03/04	7	35	2,730	874,170	-0,015	5,630
17/03/04	7	42	2,745	874,155	-0,015	5,615
24/03/04	7	49	2,755	874,145	-0,010	5,605
31/03/04	7	56	2,760	874,140	-0,005	5,600
07/04/04	7	63	2,765	874,135	-0,005	5,595
15/04/04	8	71	2,775	874,125	-0,010	5,585
22/04/04	7	78	2,775	874,125	0,000	5,585
28/04/04	6	84	2,765	874,135	0,010	5,595
05/05/04	7	91	2,815	874,085	-0,050	5,545
12/05/04	7	98	2,830	874,070	-0,015	5,530
18/05/04	6	104	2,835	874,065	-0,005	5,525
25/05/04	7	111	2,800	874,100	0,035	5,560
03/06/04	9	120	2,835	874,065	-0,035	5,525
08/06/04	5	125	2,835	874,065	0,000	5,525
15/06/04	7	132	2,940	873,960	-0,105	5,420
22/06/04	7	139	2,985	873,915	-0,045	5,375
30/06/04	8	147	3,080	873,820	-0,095	5,280
08/07/04	8	155	3,160	873,740	-0,080	5,200
14/07/04	6	161	3,210	873,690	-0,050	5,150
21/07/04	7	168	3,280	873,620	-0,070	5,080
28/07/04	7	175	3,345	873,555	-0,065	5,015
03/08/04	6	181	3,395	873,505	-0,050	4,965
11/08/04	8	189	3,490	873,410	-0,095	4,870
17/08/04	6	195	3,550	873,350	-0,060	4,810
26/08/04	9	204	3,605	873,295	-0,055	4,755
31/08/04	5	209	3,645	873,255	-0,040	4,715
08/09/04	8	217	3,675	873,225	-0,030	4,685
16/09/04	8	225	3,710	873,190	-0,035	4,650
21/09/04	5	230	3,730	873,170	-0,020	4,630
28/09/04	7	237	3,760	873,140	-0,030	4,600
05/10/04	7	244	3,755	873,145	0,005	4,605
14/10/04	9	253	3,755	873,145	0,000	4,605
19/10/04	5	258	3,715	873,185	0,040	4,645
26/10/04	7	265	3,755	873,145	-0,040	4,605
02/11/04	7	272	3,770	873,130	-0,015	4,590
09/11/04	7	279	3,790	873,110	-0,020	4,570
17/11/04	8	287	3,685	873,215	0,105	4,675
25/11/04	8	295	3,640	873,260	0,045	4,720
01/12/04	6	301	3,625	873,275	0,015	4,735
08/12/04	7	308	3,610	873,290	0,015	4,750
15/12/04	7	315	3,530	873,370	0,080	4,830
22/12/04	7	322	3,375	873,525	0,155	4,985
29/12/04	7	329	3,160	873,740	0,215	5,200
07/01/05	9	338	2,920	873,980	0,240	5,440
14/01/05	7	345	2,980	873,920	-0,060	5,380
21/01/05	7	352	2,840	874,060	0,140	5,520
28/01/05	7	359	2,675	874,225	0,165	5,685

PM 02 - Nascente (Tijucu Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	203.198,64	7.563.303,03	872,400	4,31	0,220	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	0,955	871,225	0,000	3,355
11/02/04	7	7	0,990	871,190	-0,035	3,320
18/02/04	7	14	0,910	871,270	0,080	3,400
26/02/04	8	22	0,810	871,370	0,100	3,500
03/03/04	6	28	0,900	871,280	-0,090	3,410
10/03/04	7	35	0,915	871,265	-0,015	3,395
17/03/04	7	42	0,925	871,255	-0,010	3,385
24/03/04	7	49	0,920	871,260	0,005	3,390
31/03/04	7	56	0,910	871,270	0,010	3,400
07/04/04	7	63	0,870	871,310	0,040	3,440
15/04/04	8	71	0,895	871,285	-0,025	3,415
22/04/04	7	78	0,875	871,305	0,020	3,435
28/04/04	6	84	0,870	871,310	0,005	3,440
05/05/04	7	91	0,870	871,310	0,000	3,440
12/05/04	7	98	0,865	871,315	0,005	3,445
18/05/04	6	104	0,860	871,320	0,005	3,450
25/05/04	7	111	0,750	871,430	0,110	3,560
03/06/04	9	120	0,815	871,365	-0,065	3,495
08/06/04	5	125	0,845	871,335	-0,030	3,465
15/06/04	7	132	0,870	871,310	-0,025	3,440
22/06/04	7	139	0,900	871,280	-0,030	3,410
30/06/04	8	147	0,920	871,260	-0,020	3,390
08/07/04	8	155	0,920	871,260	0,000	3,390
14/07/04	6	161	0,950	871,230	-0,030	3,360
21/07/04	7	168	0,900	871,280	0,050	3,410
28/07/04	7	175	0,930	871,250	-0,030	3,380
03/08/04	6	181	0,970	871,210	-0,040	3,340
11/08/04	8	189	1,025	871,155	-0,055	3,285
17/08/04	6	195	1,045	871,135	-0,020	3,265
26/08/04	9	204	1,050	871,130	-0,005	3,260
31/08/04	5	209	1,055	871,125	-0,005	3,255
08/09/04	8	217	1,070	871,110	-0,015	3,240
16/09/04	8	225	1,085	871,095	-0,015	3,225
21/09/04	5	230	1,100	871,080	-0,015	3,210
28/09/04	7	237	1,105	871,075	-0,005	3,205
05/10/04	7	244	1,110	871,070	-0,005	3,200
14/10/04	9	253	1,120	871,060	-0,010	3,190
19/10/04	5	258	1,055	871,125	0,065	3,255
26/10/04	7	265	1,085	871,095	-0,030	3,225
02/11/04	7	272	1,100	871,080	-0,015	3,210
09/11/04	7	279	1,115	871,065	-0,015	3,195
17/11/04	8	287	1,010	871,170	0,105	3,300
25/11/04	8	295	1,055	871,125	-0,045	3,255
01/12/04	6	301	1,010	871,170	0,045	3,300
08/12/04	7	308	0,995	871,185	0,015	3,315
15/12/04	7	315	0,965	871,215	0,030	3,345
22/12/04	7	322	0,920	871,260	0,045	3,390
29/12/04	7	329	0,860	871,320	0,060	3,450
07/01/05	9	338	0,770	871,410	0,090	3,540
14/01/05	7	345	0,890	871,290	-0,120	3,420
21/01/05	7	352	0,785	871,395	0,105	3,525
28/01/05	7	359	0,660	871,520	0,125	3,650

PM 03 - Nascente (Tijucu Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	203.173,01	7.563.256,47	872,750	6,21	0,230	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	0,615	871,905	0,000	5,595
11/02/04	7	7	0,595	871,925	0,020	5,615
18/02/04	7	14	0,475	872,045	0,120	5,735
26/02/04	8	22	0,320	872,200	0,155	5,890
03/03/04	6	28	0,415	872,105	-0,095	5,795
10/03/04	7	35	0,410	872,110	0,005	5,800
17/03/04	7	42	0,420	872,100	-0,010	5,790
24/03/04	7	49	0,430	872,090	-0,010	5,780
31/03/04	7	56	0,430	872,090	0,000	5,780
07/04/04	7	63	0,405	872,115	0,025	5,805
15/04/04	8	71	0,445	872,075	-0,040	5,765
22/04/04	7	78	0,440	872,080	0,005	5,770
28/04/04	6	84	0,445	872,075	-0,005	5,765
05/05/04	7	91	0,465	872,055	-0,020	5,745
12/05/04	7	98	0,450	872,070	0,015	5,760
18/05/04	6	104	0,455	872,065	-0,005	5,755
25/05/04	7	111	0,430	872,090	0,025	5,780
03/06/04	9	120	0,440	872,080	-0,010	5,770
08/06/04	5	125	0,485	872,035	-0,045	5,725
15/06/04	7	132	0,465	872,055	0,020	5,745
22/06/04	7	139	0,510	872,010	-0,045	5,700
30/06/04	8	147	0,530	871,990	-0,020	5,680
08/07/04	8	155	0,570	871,950	-0,040	5,640
14/07/04	6	161	0,600	871,920	-0,030	5,610
21/07/04	7	168	0,560	871,960	0,040	5,650
28/07/04	7	175	0,590	871,930	-0,030	5,620
03/08/04	6	181	0,645	871,875	-0,055	5,565
11/08/04	8	189	0,705	871,815	-0,060	5,505
17/08/04	6	195	0,720	871,800	-0,015	5,490
26/08/04	9	204	0,780	871,740	-0,060	5,430
31/08/04	5	209	0,790	871,730	-0,010	5,420
08/09/04	8	217	0,770	871,750	0,020	5,440
16/09/04	8	225	0,745	871,775	0,025	5,465
21/09/04	5	230	0,745	871,775	0,000	5,465
28/09/04	7	237	0,815	871,705	-0,070	5,395
05/10/04	7	244	0,810	871,710	0,005	5,400
14/10/04	9	253	0,720	871,800	0,090	5,490
19/10/04	5	258	0,680	871,840	0,040	5,530
26/10/04	7	265	0,705	871,815	-0,025	5,505
02/11/04	7	272	0,720	871,800	-0,015	5,490
09/11/04	7	279	0,745	871,775	-0,025	5,465
17/11/04	8	287	0,620	871,900	0,125	5,590
25/11/04	8	295	0,710	871,810	-0,090	5,500
01/12/04	6	301	0,690	871,830	0,020	5,520
08/12/04	7	308	0,615	871,905	0,075	5,595
15/12/04	7	315	0,570	871,950	0,045	5,640
22/12/04	7	322	0,495	872,025	0,075	5,715
29/12/04	7	329	0,410	872,110	0,085	5,800
07/01/05	9	338	0,310	872,210	0,100	5,900
14/01/05	7	345	0,350	872,170	-0,040	5,860
21/01/05	7	352	0,245	872,275	0,105	5,965
28/01/05	7	359	0,120	872,400	0,125	6,090

PM 04 - Entre a Rua Monteiro Lobato e a Rua Totó Leite (Tijuco Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	203.092,11	7.563.380,66	867,990	7,57	0,180	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	0,980	866,830	0,000	6,590
11/02/04	7	7	1,005	866,805	-0,025	6,565
18/02/04	7	14	0,920	866,890	0,085	6,650
26/02/04	8	22	0,765	867,045	0,155	6,805
03/03/04	6	28	0,810	867,000	-0,045	6,760
10/03/04	7	35	0,875	866,935	-0,065	6,695
17/03/04	7	42	0,930	866,880	-0,055	6,640
24/03/04	7	49	0,935	866,875	-0,005	6,635
31/03/04	7	56	0,935	866,875	0,000	6,635
07/04/04	7	63	0,895	866,915	0,040	6,675
15/04/04	8	71	0,910	866,900	-0,015	6,660
22/04/04	7	78	0,935	866,875	-0,025	6,635
28/04/04	6	84	0,964	866,846	-0,029	6,606
05/05/04	7	91	0,975	866,835	-0,011	6,595
12/05/04	7	98	0,970	866,840	0,005	6,600
18/05/04	6	104	0,958	866,852	0,012	6,612
25/05/04	7	111	0,870	866,940	0,088	6,700
03/06/04	9	120	0,920	866,890	-0,050	6,650
08/06/04	5	125	0,980	866,830	-0,060	6,590
15/06/04	7	132	0,984	866,826	-0,004	6,586
22/06/04	7	139	1,005	866,805	-0,021	6,565
30/06/04	8	147	1,040	866,770	-0,035	6,530
08/07/04	8	155	1,070	866,740	-0,030	6,500
14/07/04	6	161	1,065	866,745	0,005	6,505
21/07/04	7	168	1,050	866,760	0,015	6,520
28/07/04	7	175	1,080	866,730	-0,030	6,490
03/08/04	6	181	1,110	866,700	-0,030	6,460
11/08/04	8	189	1,119	866,691	-0,009	6,451
17/08/04	6	195	1,170	866,640	-0,051	6,400
26/08/04	9	204	1,210	866,600	-0,040	6,360
31/08/04	5	209	1,220	866,590	-0,010	6,350
08/09/04	8	217	1,255	866,555	-0,035	6,315
16/09/04	8	225	1,285	866,525	-0,030	6,285
21/09/04	5	230	1,300	866,510	-0,015	6,270
28/09/04	7	237	1,315	866,495	-0,015	6,255
05/10/04	7	244	1,310	866,500	0,005	6,260
14/10/04	9	253	1,260	866,550	0,050	6,310
19/10/04	5	258	1,200	866,610	0,060	6,370
26/10/04	7	265	1,235	866,575	-0,035	6,335
02/11/04	7	272	1,270	866,540	-0,035	6,300
09/11/04	7	279	1,320	866,490	-0,050	6,250
17/11/04	8	287	1,170	866,640	0,150	6,400
25/11/04	8	295	1,245	866,565	-0,075	6,325
01/12/04	6	301	1,215	866,595	0,030	6,355
08/12/04	7	308	1,180	866,630	0,035	6,390
15/12/04	7	315	1,155	866,655	0,025	6,415
22/12/04	7	322	1,110	866,700	0,045	6,460
29/12/04	7	329	1,035	866,775	0,075	6,535
07/01/05	9	338	0,945	866,865	0,090	6,625
14/01/05	7	345	1,010	866,800	-0,065	6,560
21/01/05	7	352	0,920	866,890	0,090	6,650
28/01/05	7	359	0,790	867,020	0,130	6,780

PM 05 - Rua Totó Leite (Tijuco Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	202.928,68	7.563.447,79	858,530	4,93	0,215	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	0,930	857,385	0,000	4,000
11/02/04	7	7	0,995	857,320	-0,065	3,935
18/02/04	7	14	0,890	857,425	0,105	4,040
26/02/04	8	22	0,740	857,575	0,150	4,190
03/03/04	6	28	0,950	857,365	-0,210	3,980
10/03/04	7	35	1,005	857,310	-0,055	3,925
17/03/04	7	42	1,010	857,305	-0,005	3,920
24/03/04	7	49	1,040	857,275	-0,030	3,890
31/03/04	7	56	1,065	857,250	-0,025	3,865
07/04/04	7	63	1,050	857,265	0,015	3,880
15/04/04	8	71	1,065	857,250	-0,015	3,865
22/04/04	7	78	1,060	857,255	0,005	3,870
28/04/04	6	84	1,050	857,265	0,010	3,880
05/05/04	7	91	1,088	857,227	-0,038	3,842
12/05/04	7	98	1,070	857,245	0,018	3,860
18/05/04	6	104	1,054	857,261	0,016	3,876
25/05/04	7	111	0,980	857,335	0,074	3,950
03/06/04	9	120	0,975	857,340	0,005	3,955
08/06/04	5	125	1,015	857,300	-0,040	3,915
15/06/04	7	132	1,050	857,265	-0,035	3,880
22/06/04	7	139	1,060	857,255	-0,010	3,870
30/06/04	8	147	1,090	857,225	-0,030	3,840
08/07/04	8	155	1,070	857,245	0,020	3,860
14/07/04	6	161	1,065	857,250	0,005	3,865
21/07/04	7	168	1,105	857,210	-0,040	3,825
28/07/04	7	175	1,110	857,205	-0,005	3,820
03/08/04	6	181	1,080	857,235	0,030	3,850
11/08/04	8	189	1,115	857,200	-0,035	3,815
17/08/04	6	195	1,125	857,190	-0,010	3,805
26/08/04	9	204	1,130	857,185	-0,005	3,800
31/08/04	5	209	1,140	857,175	-0,010	3,790
08/09/04	8	217	1,145	857,170	-0,005	3,785
16/09/04	8	225	1,150	857,165	-0,005	3,780
21/09/04	5	230	1,185	857,130	-0,035	3,745
28/09/04	7	237	1,160	857,155	0,025	3,770
05/10/04	7	244	1,155	857,160	0,005	3,775
14/10/04	9	253	1,115	857,200	0,040	3,815
19/10/04	5	258	1,055	857,260	0,060	3,875
26/10/04	7	265	1,120	857,195	-0,065	3,810
02/11/04	7	272	1,140	857,175	-0,020	3,790
09/11/04	7	279	1,160	857,155	-0,020	3,770
17/11/04	8	287	0,985	857,330	0,175	3,945
25/11/04	8	295	1,075	857,240	-0,090	3,855
01/12/04	6	301	1,065	857,250	0,010	3,865
08/12/04	7	308	1,035	857,280	0,030	3,895
15/12/04	7	315	1,005	857,310	0,030	3,925
22/12/04	7	322	0,955	857,360	0,050	3,975
29/12/04	7	329	0,900	857,415	0,055	4,030
07/01/05	9	338	0,820	857,495	0,080	4,110
14/01/05	7	345	0,930	857,385	-0,110	4,000
21/01/05	7	352	0,865	857,450	0,065	4,065
28/01/05	7	359	0,770	857,545	0,095	4,160

PM 06 - Praça - Rua Totó Leite (Tijucão Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	202.889,67	7.563.397,09	864,260	6,16	0,200	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	2,760	861,300	0,000	3,400
11/02/04	7	7	2,775	861,285	-0,015	3,385
18/02/04	7	14	2,730	861,330	0,045	3,430
26/02/04	8	22	2,625	861,435	0,105	3,535
03/03/04	6	28	2,635	861,425	-0,010	3,525
10/03/04	7	35	2,660	861,400	-0,025	3,500
17/03/04	7	42	2,695	861,365	-0,035	3,465
24/03/04	7	49	2,700	861,360	-0,005	3,460
31/03/04	7	56	2,710	861,350	-0,010	3,450
07/04/04	7	63	2,725	861,335	-0,015	3,435
15/04/04	8	71	2,735	861,325	-0,010	3,425
22/04/04	7	78	2,735	861,325	0,000	3,425
28/04/04	6	84	2,750	861,310	-0,015	3,410
05/05/04	7	91	2,765	861,295	-0,015	3,395
12/05/04	7	98	2,785	861,275	-0,020	3,375
18/05/04	6	104	2,790	861,270	-0,005	3,370
25/05/04	7	111	2,755	861,305	0,035	3,405
03/06/04	9	120	2,795	861,265	-0,040	3,365
08/06/04	5	125	2,795	861,265	0,000	3,365
15/06/04	7	132	2,810	861,250	-0,015	3,350
22/06/04	7	139	2,830	861,230	-0,020	3,330
30/06/04	8	147	2,845	861,215	-0,015	3,315
08/07/04	8	155	2,850	861,210	-0,005	3,310
14/07/04	6	161	2,850	861,210	0,000	3,310
21/07/04	7	168	2,890	861,170	-0,040	3,270
28/07/04	7	175	2,950	861,110	-0,060	3,210
03/08/04	6	181	2,995	861,065	-0,045	3,165
11/08/04	8	189	2,885	861,175	0,110	3,275
17/08/04	6	195	2,910	861,150	-0,025	3,250
26/08/04	9	204	2,940	861,120	-0,030	3,220
31/08/04	5	209	2,965	861,095	-0,025	3,195
08/09/04	8	217	2,990	861,070	-0,025	3,170
16/09/04	8	225	3,030	861,030	-0,040	3,130
21/09/04	5	230	3,045	861,015	-0,015	3,115
28/09/04	7	237	3,080	860,980	-0,035	3,080
05/10/04	7	244	3,095	860,965	-0,015	3,065
14/10/04	9	253	3,090	860,970	0,005	3,070
19/10/04	5	258	3,060	861,000	0,030	3,100
26/10/04	7	265	3,070	860,990	-0,010	3,090
02/11/04	7	272	3,085	860,975	-0,015	3,075
09/11/04	7	279	3,120	860,940	-0,035	3,040
17/11/04	8	287	3,045	861,015	0,075	3,115
25/11/04	8	295	3,030	861,030	0,015	3,130
01/12/04	6	301	3,025	861,035	0,005	3,135
08/12/04	7	308	3,005	861,055	0,020	3,155
15/12/04	7	315	2,985	861,075	0,020	3,175
22/12/04	7	322	2,930	861,130	0,055	3,230
29/12/04	7	329	2,850	861,210	0,080	3,310
07/01/05	9	338	2,740	861,320	0,110	3,420
14/01/05	7	345	2,735	861,325	0,005	3,425
21/01/05	7	352	2,710	861,350	0,025	3,450
28/01/05	7	359	2,620	861,440	0,090	3,540

PM 07 - Posto - Rua Miguel Giometti (Tijuco Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	202.586,52	7.563.737,16	848,650	5,83	0,190	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	2,715	845,745	0,000	3,115
11/02/04	7	7	2,720	845,740	-0,005	3,110
18/02/04	7	14	2,625	845,835	0,095	3,205
26/02/04	8	22	2,290	846,170	0,335	3,540
03/03/04	6	28	2,575	845,885	-0,285	3,255
10/03/04	7	35	2,645	845,815	-0,070	3,185
17/03/04	7	42	2,730	845,730	-0,085	3,100
24/03/04	7	49	2,755	845,705	-0,025	3,075
31/03/04	7	56	2,815	845,645	-0,060	3,015
07/04/04	7	63	2,715	845,745	0,100	3,115
15/04/04	8	71	2,745	845,715	-0,030	3,085
22/04/04	7	78	2,800	845,660	-0,055	3,030
28/04/04	6	84	2,870	845,590	-0,070	2,960
05/05/04	7	91	2,920	845,540	-0,050	2,910
12/05/04	7	98	2,910	845,550	0,010	2,920
18/05/04	6	104	2,860	845,600	0,050	2,970
25/05/04	7	111	2,675	845,785	0,185	3,155
03/06/04	9	120	2,720	845,740	-0,045	3,110
08/06/04	5	125	2,870	845,590	-0,150	2,960
15/06/04	7	132	2,920	845,540	-0,050	2,910
22/06/04	7	139	2,965	845,495	-0,045	2,865
30/06/04	8	147	3,010	845,450	-0,045	2,820
08/07/04	8	155	3,060	845,400	-0,050	2,770
14/07/04	6	161	3,070	845,390	-0,010	2,760
21/07/04	7	168	3,075	845,385	-0,005	2,755
28/07/04	7	175	3,090	845,370	-0,015	2,740
03/08/04	6	181	3,105	845,355	-0,015	2,725
11/08/04	8	189	3,140	845,320	-0,035	2,690
17/08/04	6	195	3,165	845,295	-0,025	2,665
26/08/04	9	204	3,215	845,245	-0,050	2,615
31/08/04	5	209	3,225	845,235	-0,010	2,605
08/09/04	8	217	3,230	845,230	-0,005	2,600
16/09/04	8	225	3,255	845,205	-0,025	2,575
21/09/04	5	230	3,260	845,200	-0,005	2,570
28/09/04	7	237	3,295	845,165	-0,035	2,535
05/10/04	7	244	3,265	845,195	0,030	2,565
14/10/04	9	253	3,200	845,260	0,065	2,630
19/10/04	5	258	3,180	845,280	0,020	2,650
26/10/04	7	265	3,220	845,240	-0,040	2,610
02/11/04	7	272	3,260	845,200	-0,040	2,570
09/11/04	7	279	3,305	845,155	-0,045	2,525
17/11/04	8	287	3,125	845,335	0,180	2,705
25/11/04	8	295	3,115	845,345	0,010	2,715
01/12/04	6	301	3,080	845,380	0,035	2,750
08/12/04	7	308	3,105	845,355	-0,025	2,725
15/12/04	7	315	3,025	845,435	0,080	2,805
22/12/04	7	322	2,890	845,570	0,135	2,940
29/12/04	7	329	2,745	845,715	0,145	3,085
07/01/05	9	338	2,575	845,885	0,170	3,255
14/01/05	7	345	2,700	845,760	-0,125	3,130
21/01/05	7	352	2,580	845,880	0,120	3,250
28/01/05	7	359	2,310	846,150	0,270	3,520

PM 08 - Praça - Rua Miguel Giometti (Tijuco Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	202.582,09	7.563.880,49	856,320	7,560	0,255	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	4,585	851,480	0,000	2,975
11/02/04	7	7	4,595	851,470	-0,010	2,965
18/02/04	7	14	4,520	851,545	0,075	3,040
26/02/04	8	22	4,235	851,830	0,285	3,325
03/03/04	6	28	4,265	851,800	-0,030	3,295
10/03/04	7	35	4,305	851,760	-0,040	3,255
17/03/04	7	42	4,355	851,710	-0,050	3,205
24/03/04	7	49	4,435	851,630	-0,080	3,125
31/03/04	7	56	4,550	851,515	-0,115	3,010
07/04/04	7	63	4,645	851,420	-0,095	2,915
15/04/04	8	71	4,745	851,320	-0,100	2,815
22/04/04	7	78	4,810	851,255	-0,065	2,750
28/04/04	6	84	4,845	851,220	-0,035	2,715
05/05/04	7	91	4,895	851,170	-0,050	2,665
12/05/04	7	98	4,975	851,090	-0,080	2,585
18/05/04	6	104	4,985	851,080	-0,010	2,575
25/05/04	7	111	5,005	851,060	-0,020	2,555
03/06/04	9	120	4,950	851,115	0,055	2,610
08/06/04	5	125	4,980	851,085	-0,030	2,580
15/06/04	7	132	4,960	851,105	0,020	2,600
22/06/04	7	139	5,020	851,045	-0,060	2,540
30/06/04	8	147	5,070	850,995	-0,050	2,490
08/07/04	8	155	5,180	850,885	-0,110	2,380
14/07/04	6	161	5,200	850,865	-0,020	2,360
21/07/04	7	168	5,240	850,825	-0,040	2,320
28/07/04	7	175	5,275	850,790	-0,035	2,285
03/08/04	6	181	5,355	850,710	-0,080	2,205
11/08/04	8	189	5,395	850,670	-0,040	2,165
17/08/04	6	195	5,480	850,585	-0,085	2,080
26/08/04	9	204	5,555	850,510	-0,075	2,005
31/08/04	5	209	5,590	850,475	-0,035	1,970
08/09/04	8	217	5,645	850,420	-0,055	1,915
16/09/04	8	225	5,705	850,360	-0,060	1,855
21/09/04	5	230	5,745	850,320	-0,040	1,815
28/09/04	7	237	5,800	850,265	-0,055	1,760
05/10/04	7	244	5,780	850,285	0,020	1,780
14/10/04	9	253	5,760	850,305	0,020	1,800
19/10/04	5	258	5,750	850,315	0,010	1,810
26/10/04	7	265	5,770	850,295	-0,020	1,790
02/11/04	7	272	5,805	850,260	-0,035	1,755
09/11/04	7	279	5,850	850,215	-0,045	1,710
17/11/04	8	287	5,770	850,295	0,080	1,790
25/11/04	8	295	5,570	850,495	0,200	1,990
01/12/04	6	301	5,510	850,555	0,060	2,050
08/12/04	7	308	5,455	850,610	0,055	2,105
15/12/04	7	315	5,390	850,675	0,065	2,170
22/12/04	7	322	5,280	850,785	0,110	2,280
29/12/04	7	329	5,110	850,955	0,170	2,450
07/01/05	9	338	4,815	851,250	0,295	2,745
14/01/05	7	345	4,510	851,555	0,305	3,050
21/01/05	7	352	4,375	851,690	0,135	3,185
28/01/05	7	359	4,140	851,925	0,235	3,420

PM 09 - Rua Rui Barbosa (Tijuco Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	201.968,01	7.563.880,07	835,740	4,400	0,190	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	3,020	832,530	0,000	1,380
11/02/04	7	7	3,070	832,480	-0,050	1,330
18/02/04	7	14	3,005	832,545	0,065	1,395
26/02/04	8	22	2,880	832,670	0,125	1,520
03/03/04	6	28	2,990	832,560	-0,110	1,410
10/03/04	7	35	3,000	832,550	-0,010	1,400
17/03/04	7	42	3,020	832,530	-0,020	1,380
24/03/04	7	49	2,990	832,560	0,030	1,410
31/03/04	7	56	2,945	832,605	0,045	1,455
07/04/04	7	63	2,980	832,570	-0,035	1,420
15/04/04	8	71	2,995	832,555	-0,015	1,405
22/04/04	7	78	3,040	832,510	-0,045	1,360
28/04/04	6	84	3,105	832,445	-0,065	1,295
05/05/04	7	91	3,118	832,432	-0,013	1,282
12/05/04	7	98	3,140	832,410	-0,022	1,260
18/05/04	6	104	3,120	832,430	0,020	1,280
25/05/04	7	111	3,080	832,470	0,040	1,320
03/06/04	9	120	3,065	832,485	0,015	1,335
08/06/04	5	125	3,100	832,450	-0,035	1,300
15/06/04	7	132	3,105	832,445	-0,005	1,295
22/06/04	7	139	3,110	832,440	-0,005	1,290
30/06/04	8	147	3,130	832,420	-0,020	1,270
08/07/04	8	155	3,135	832,415	-0,005	1,265
14/07/04	6	161	3,140	832,410	-0,005	1,260
21/07/04	7	168	3,130	832,420	0,010	1,270
28/07/04	7	175	3,130	832,420	0,000	1,270
03/08/04	6	181	3,125	832,425	0,005	1,275
11/08/04	8	189	3,140	832,410	-0,015	1,260
17/08/04	6	195	3,145	832,405	-0,005	1,255
26/08/04	9	204	3,150	832,400	-0,005	1,250
31/08/04	5	209	3,160	832,390	-0,010	1,240
08/09/04	8	217	3,170	832,380	-0,010	1,230
16/09/04	8	225	3,180	832,370	-0,010	1,220
21/09/04	5	230	3,190	832,360	-0,010	1,210
28/09/04	7	237	3,195	832,355	-0,005	1,205
05/10/04	7	244	3,180	832,370	0,015	1,220
14/10/04	9	253	3,170	832,380	0,010	1,230
19/10/04	5	258	3,185	832,365	-0,015	1,215
26/10/04	7	265	3,190	832,360	-0,005	1,210
02/11/04	7	272	3,195	832,355	-0,005	1,205
09/11/04	7	279	3,200	832,350	-0,005	1,200
17/11/04	8	287	3,130	832,420	0,070	1,270
25/11/04	8	295	3,135	832,415	-0,005	1,265
01/12/04	6	301	3,125	832,425	0,010	1,275
08/12/04	7	308	3,175	832,375	-0,050	1,225
15/12/04	7	315	3,150	832,400	0,025	1,250
22/12/04	7	322	3,095	832,455	0,055	1,305
29/12/04	7	329	3,025	832,525	0,070	1,375
07/01/05	9	338	2,900	832,650	0,125	1,500
14/01/05	7	345	3,010	832,540	-0,110	1,390
21/01/05	7	352	2,960	832,590	0,050	1,440
28/01/05	7	359	2,865	832,685	0,095	1,535

PM 10 - Rua Rui Barbosa e Esquina do Hotel Estância (Tijú Preto)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	201.986,97	7.563.658,77	845,740	8,475	0,185	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	3,510	842,045	0,000	4,965
11/02/04	7	7	3,645	841,910	-0,135	4,830
18/02/04	7	14	3,515	842,040	0,130	4,960
26/02/04	8	22	3,215	842,340	0,300	5,260
03/03/04	6	28	3,285	842,270	-0,070	5,190
10/03/04	7	35	3,405	842,150	-0,120	5,070
17/03/04	7	42	3,515	842,040	-0,110	4,960
24/03/04	7	49	3,620	841,935	-0,105	4,855
31/03/04	7	56	3,675	841,880	-0,055	4,800
07/04/04	7	63	3,775	841,780	-0,100	4,700
15/04/04	8	71	3,855	841,700	-0,080	4,620
22/04/04	7	78	3,915	841,640	-0,060	4,560
28/04/04	6	84	3,955	841,600	-0,040	4,520
05/05/04	7	91	4,010	841,545	-0,055	4,465
12/05/04	7	98	4,045	841,510	-0,035	4,430
18/05/04	6	104	4,075	841,480	-0,030	4,400
25/05/04	7	111	4,100	841,455	-0,025	4,375
03/06/04	9	120	4,005	841,550	0,095	4,470
08/06/04	5	125	4,010	841,545	-0,005	4,465
15/06/04	7	132	4,025	841,530	-0,015	4,450
22/06/04	7	139	4,005	841,550	0,020	4,470
30/06/04	8	147	4,065	841,490	-0,060	4,410
08/07/04	8	155	4,115	841,440	-0,050	4,360
14/07/04	6	161	4,225	841,330	-0,110	4,250
21/07/04	7	168	4,265	841,290	-0,040	4,210
28/07/04	7	175	4,325	841,230	-0,060	4,150
03/08/04	6	181	4,370	841,185	-0,045	4,105
11/08/04	8	189	4,360	841,195	0,010	4,115
17/08/04	6	195	4,350	841,205	0,010	4,125
26/08/04	9	204	4,390	841,165	-0,040	4,085
31/08/04	5	209	4,410	841,145	-0,020	4,065
08/09/04	8	217	4,455	841,100	-0,045	4,020
16/09/04	8	225	4,510	841,045	-0,055	3,965
21/09/04	5	230	4,525	841,030	-0,015	3,950
28/09/04	7	237	4,565	840,990	-0,040	3,910
05/10/04	7	244	4,555	841,000	0,010	3,920
14/10/04	9	253	4,555	841,000	0,000	3,920
19/10/04	5	258	4,550	841,005	0,005	3,925
26/10/04	7	265	4,525	841,030	0,025	3,950
02/11/04	7	272	4,555	841,000	-0,030	3,920
09/11/04	7	279	4,585	840,970	-0,030	3,890
17/11/04	8	287	4,500	841,055	0,085	3,975
25/11/04	8	295	4,345	841,210	0,155	4,130
01/12/04	6	301	4,265	841,290	0,080	4,210
08/12/04	7	308	4,250	841,305	0,015	4,225
15/12/04	7	315	4,195	841,360	0,055	4,280
22/12/04	7	322	4,035	841,520	0,160	4,440
29/12/04	7	329	3,820	841,735	0,215	4,655
07/01/05	9	338	3,515	842,040	0,305	4,960
14/01/05	7	345	3,430	842,125	0,085	5,045
21/01/05	7	352	3,325	842,230	0,105	5,150
28/01/05	7	359	3,130	842,425	0,195	5,345

PM 11 - Rotatória da Educativa (Gregório)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	203.509,28	7.561.518,81	836,270	7,930	0,180	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	3,645	832,445	0,000	4,285
11/02/04	7	7	3,725	832,365	-0,080	4,205
18/02/04	7	14	3,625	832,465	0,100	4,305
26/02/04	8	22	3,340	832,750	0,285	4,590
03/03/04	6	28	3,180	832,910	0,160	4,750
10/03/04	7	35	3,370	832,720	-0,190	4,560
17/03/04	7	42	3,505	832,585	-0,135	4,425
24/03/04	7	49	3,610	832,480	-0,105	4,320
31/03/04	7	56	3,820	832,270	-0,210	4,110
07/04/04	7	63	3,930	832,160	-0,110	4,000
15/04/04	8	71	4,115	831,975	-0,185	3,815
22/04/04	7	78	4,225	831,865	-0,110	3,705
28/04/04	6	84	4,320	831,770	-0,095	3,610
05/05/04	7	91	4,415	831,675	-0,095	3,515
12/05/04	7	98	4,510	831,580	-0,095	3,420
18/05/04	6	104	4,510	831,580	0,000	3,420
26/05/04	8	112	4,555	831,535	-0,045	3,375
02/06/04	7	119	4,505	831,585	0,050	3,425
08/06/04	6	125	4,515	831,575	-0,010	3,415
15/06/04	7	132	4,540	831,550	-0,025	3,390
22/06/04	7	139	4,600	831,490	-0,060	3,330
30/06/04	8	147	4,630	831,460	-0,030	3,300
08/07/04	8	155	4,730	831,360	-0,100	3,200
14/07/04	6	161	4,770	831,320	-0,040	3,160
21/07/04	7	168	4,800	831,290	-0,030	3,130
28/07/04	7	175	4,820	831,270	-0,020	3,110
03/08/04	6	181	4,855	831,235	-0,035	3,075
10/08/04	7	188	4,880	831,210	-0,025	3,050
17/08/04	7	195	4,940	831,150	-0,060	2,990
24/08/04	7	202	4,965	831,125	-0,025	2,965
31/08/04	7	209	4,985	831,105	-0,020	2,945
08/09/04	8	217	5,010	831,080	-0,025	2,920
16/09/04	8	225	5,055	831,035	-0,045	2,875
21/09/04	5	230	5,090	831,000	-0,035	2,840
28/09/04	7	237	5,090	831,000	0,000	2,840
05/10/04	7	244	5,100	830,990	-0,010	2,830
14/10/04	9	253	5,120	830,970	-0,020	2,810
19/10/04	5	258	5,080	831,010	0,040	2,850
26/10/04	7	265	5,045	831,045	0,035	2,885
02/11/04	7	272	5,050	831,040	-0,005	2,880
09/11/04	7	279	5,060	831,030	-0,010	2,870
17/11/04	8	287	5,045	831,045	0,015	2,885
25/11/04	8	295	4,890	831,200	0,155	3,040
01/12/04	6	301	4,835	831,255	0,055	3,095
08/12/04	7	308	4,810	831,280	0,025	3,120
15/12/04	7	315	4,720	831,370	0,090	3,210
22/12/04	7	322	4,520	831,570	0,200	3,410
29/12/04	7	329	4,155	831,935	0,365	3,775
07/01/05	9	338	3,800	832,290	0,355	4,130
14/01/05	7	345	3,225	832,865	0,575	4,705
21/01/05	7	352	3,045	833,045	0,180	4,885
28/01/05	7	359	2,855	833,235	0,190	5,075

PM 12 - Horta do Japonês (Gregório)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	202.635,59	7.561.727,70	828,020	6,11	0,190	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	3,585	824,245	0,000	2,525
11/02/04	7	7	3,535	824,295	0,050	2,575
18/02/04	7	14	3,435	824,395	0,100	2,675
26/02/04	8	22	3,315	824,515	0,120	2,795
03/03/04	6	28	3,310	824,520	0,005	2,800
10/03/04	7	35	3,285	824,545	0,025	2,825
17/03/04	7	42	3,310	824,520	-0,025	2,800
24/03/04	7	49	3,365	824,465	-0,055	2,745
31/03/04	7	56	3,435	824,395	-0,070	2,675
07/04/04	7	63	3,470	824,360	-0,035	2,640
15/04/04	8	71	3,550	824,280	-0,080	2,560
22/04/04	7	78	3,600	824,230	-0,050	2,510
28/04/04	6	84	3,625	824,205	-0,025	2,485
05/05/04	7	91	3,715	824,115	-0,090	2,395
12/05/04	7	98	3,755	824,075	-0,040	2,355
18/05/04	6	104	3,775	824,055	-0,020	2,335
26/05/04	8	112	3,735	824,095	0,040	2,375
02/06/04	7	119	3,800	824,030	-0,065	2,310
08/06/04	6	125	3,845	823,985	-0,045	2,265
15/06/04	7	132	3,875	823,955	-0,030	2,235
22/06/04	7	139	3,910	823,920	-0,035	2,200
30/06/04	8	147	3,955	823,875	-0,045	2,155
08/07/04	8	155	3,990	823,840	-0,035	2,120
14/07/04	6	161	4,010	823,820	-0,020	2,100
21/07/04	7	168	4,005	823,825	0,005	2,105
28/07/04	7	175	4,030	823,800	-0,025	2,080
03/08/04	6	181	4,080	823,750	-0,050	2,030
10/08/04	7	188	4,105	823,725	-0,025	2,005
17/08/04	7	195	4,120	823,710	-0,015	1,990
24/08/04	7	202	4,140	823,690	-0,020	1,970
31/08/04	7	209	4,160	823,670	-0,020	1,950
08/09/04	8	217	4,175	823,655	-0,015	1,935
16/09/04	8	225	4,220	823,610	-0,045	1,890
21/09/04	5	230	4,230	823,600	-0,010	1,880
28/09/04	7	237	4,255	823,575	-0,025	1,855
05/10/04	7	244	4,240	823,590	0,015	1,870
14/10/04	9	253	4,175	823,655	0,065	1,935
19/10/04	5	258	4,170	823,660	0,005	1,940
26/10/04	7	265	4,200	823,630	-0,030	1,910
02/11/04	7	272	4,225	823,605	-0,025	1,885
09/11/04	7	279	4,260	823,570	-0,035	1,850
17/11/04	8	287	4,170	823,660	0,090	1,940
25/11/04	8	295	4,160	823,670	0,010	1,950
01/12/04	6	301	4,140	823,690	0,020	1,970
08/12/04	7	308	4,125	823,705	0,015	1,985
15/12/04	7	315	4,055	823,775	0,070	2,055
22/12/04	7	322	3,920	823,910	0,135	2,190
29/12/04	7	329	3,815	824,015	0,105	2,295
07/01/05	9	338	3,700	824,130	0,115	2,410
14/01/05	7	345	3,560	824,270	0,140	2,550
21/01/05	7	352	3,345	824,485	0,215	2,765
28/01/05	7	359	3,100	824,730	0,245	3,010

PM 14 - CREA (Gregório)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	202.240,85	7.562.044,13	818,450	4,41	0,200	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	1,415	816,835	0,000	2,995
11/02/04	7	7	1,370	816,880	0,045	3,040
18/02/04	7	14	1,345	816,905	0,025	3,065
26/02/04	8	22	1,320	816,930	0,025	3,090
03/03/04	6	28	1,305	816,945	0,015	3,105
10/03/04	7	35	1,315	816,935	-0,010	3,095
17/03/04	7	42	1,330	816,920	-0,015	3,080
24/03/04	7	49	1,340	816,910	-0,010	3,070
31/03/04	7	56	1,345	816,905	-0,005	3,065
07/04/04	7	63	1,375	816,875	-0,030	3,035
15/04/04	8	71	1,420	816,830	-0,045	2,990
22/04/04	7	78	1,445	816,805	-0,025	2,965
28/04/04	6	84	1,460	816,790	-0,015	2,950
05/05/04	7	91	1,490	816,760	-0,030	2,920
12/05/04	7	98	1,510	816,740	-0,020	2,900
18/05/04	6	104	1,510	816,740	0,000	2,900
26/05/04	8	112	1,550	816,700	-0,040	2,860
02/06/04	7	119	1,625	816,625	-0,075	2,785
08/06/04	6	125	1,690	816,560	-0,065	2,720
15/06/04	7	132	1,685	816,565	0,005	2,725
22/06/04	7	139	1,715	816,535	-0,030	2,695
30/06/04	8	147	1,735	816,515	-0,020	2,675
08/07/04	8	155	1,750	816,500	-0,015	2,660
14/07/04	6	161	1,755	816,495	-0,005	2,655
21/07/04	7	168	1,760	816,490	-0,005	2,650
28/07/04	7	175	1,760	816,490	0,000	2,650
03/08/04	6	181	1,760	816,490	0,000	2,650
10/08/04	7	188	1,775	816,475	-0,015	2,635
17/08/04	7	195	1,790	816,460	-0,015	2,620
24/08/04	7	202	1,785	816,465	0,005	2,625
31/08/04	7	209	1,795	816,455	-0,010	2,615
08/09/04	8	217	1,800	816,450	-0,005	2,610
16/09/04	8	225	1,815	816,435	-0,015	2,595
21/09/04	5	230	1,820	816,430	-0,005	2,590
28/09/04	7	237	1,825	816,425	-0,005	2,585
05/10/04	7	244	1,830	816,420	-0,005	2,580
14/10/04	9	253	1,825	816,425	0,005	2,585
19/10/04	5	258	1,790	816,460	0,035	2,620
26/10/04	7	265	1,790	816,460	0,000	2,620
02/11/04	7	272	1,795	816,455	-0,005	2,615
09/11/04	7	279	1,795	816,455	0,000	2,615
17/11/04	8	287	1,740	816,510	0,055	2,670
25/11/04	8	295	1,705	816,545	0,035	2,705
01/12/04	6	301	1,710	816,540	-0,005	2,700
08/12/04	7	308	1,760	816,490	-0,050	2,650
15/12/04	7	315	1,705	816,545	0,055	2,705
22/12/04	7	322	1,610	816,640	0,095	2,800
29/12/04	7	329	1,485	816,765	0,125	2,925
07/01/05	9	338	1,360	816,890	0,125	3,050
14/01/05	7	345	1,325	816,925	0,035	3,085
21/01/05	7	352	1,175	817,075	0,150	3,235
28/01/05	7	359	1,005	817,245	0,170	3,405

PM 15 - Atrás ao CREA (Gregório)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	202.241,90	7.561.988,20	823,370	6,60	0,220	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	5,325	817,825	0,000	1,275
11/02/04	7	7	5,160	817,990	0,165	1,440
18/02/04	7	14	5,055	818,095	0,105	1,545
26/02/04	8	22	4,970	818,180	0,085	1,630
03/03/04	6	28	4,905	818,245	0,065	1,695
10/03/04	7	35	4,920	818,230	-0,015	1,680
17/03/04	7	42	5,010	818,140	-0,090	1,590
24/03/04	7	49	5,135	818,015	-0,125	1,465
31/03/04	7	56	5,255	817,895	-0,120	1,345
07/04/04	7	63	5,390	817,760	-0,135	1,210
15/04/04	8	71	5,540	817,610	-0,150	1,060
22/04/04	7	78	5,660	817,490	-0,120	0,940
28/04/04	6	84	5,720	817,430	-0,060	0,880
05/05/04	7	91	5,800	817,350	-0,080	0,800
12/05/04	7	98	5,860	817,290	-0,060	0,740
18/05/04	6	104	5,865	817,285	-0,005	0,735
26/05/04	8	112	5,840	817,310	0,025	0,760
02/06/04	7	119	5,900	817,250	-0,060	0,700
08/06/04	6	125	5,915	817,235	-0,015	0,685
15/06/04	7	132	5,925	817,225	-0,010	0,675
22/06/04	7	139	5,960	817,190	-0,035	0,640
30/06/04	8	147	6,010	817,140	-0,050	0,590
08/07/04	8	155	6,030	817,120	-0,020	0,570
14/07/04	6	161	6,035	817,115	-0,005	0,565
21/07/04	7	168	6,045	817,105	-0,010	0,555
28/07/04	7	175	6,060	817,090	-0,015	0,540
03/08/04	6	181	6,075	817,075	-0,015	0,525
10/08/04	7	188	6,100	817,050	-0,025	0,500
17/08/04	7	195	6,120	817,030	-0,020	0,480
24/08/04	7	202	6,150	817,000	-0,030	0,450
31/08/04	7	209	6,170	816,980	-0,020	0,430
08/09/04	8	217	6,200	816,950	-0,030	0,400
16/09/04	8	225	6,215	816,935	-0,015	0,385
21/09/04	5	230	6,225	816,925	-0,010	0,375
28/09/04	7	237	6,245	816,905	-0,020	0,355
05/10/04	7	244	6,240	816,910	0,005	0,360
14/10/04	9	253	6,235	816,915	0,005	0,365
19/10/04	5	258	6,210	816,940	0,025	0,390
26/10/04	7	265	6,220	816,930	-0,010	0,380
02/11/04	7	272	6,225	816,925	-0,005	0,375
09/11/04	7	279	6,230	816,920	-0,005	0,370
17/11/04	8	287	6,185	816,965	0,045	0,415
25/11/04	8	295	6,145	817,005	0,040	0,455
01/12/04	6	301	6,115	817,035	0,030	0,485
08/12/04	7	308	6,100	817,050	0,015	0,500
15/12/04	7	315	5,985	817,165	0,115	0,615
22/12/04	7	322	5,770	817,380	0,215	0,830
29/12/04	7	329	5,645	817,505	0,125	0,955
07/01/05	9	338	5,510	817,640	0,135	1,090
14/01/05	7	345	5,250	817,900	0,260	1,350
21/01/05	7	352	4,960	818,190	0,290	1,640
28/01/05	7	359	4,600	818,550	0,360	2,000

PM 16 - Praça do Mercado (Gregório)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	201.663,16	7.562.156,40	810,110	5,36	0,240	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	2,420	807,450	0,000	2,940
11/02/04	7	7	2,425	807,445	-0,005	2,935
18/02/04	7	14	2,395	807,475	0,030	2,965
26/02/04	8	22	2,345	807,525	0,050	3,015
03/03/04	6	28	2,385	807,485	-0,040	2,975
10/03/04	7	35	2,395	807,475	-0,010	2,965
17/03/04	7	42	2,415	807,455	-0,020	2,945
24/03/04	7	49	2,420	807,450	-0,005	2,940
31/03/04	7	56	2,430	807,440	-0,010	2,930
07/04/04	7	63	2,410	807,460	0,020	2,950
15/04/04	8	71	2,420	807,450	-0,010	2,940
22/04/04	7	78	2,400	807,470	0,020	2,960
28/04/04	6	84	2,405	807,465	-0,005	2,955
05/05/04	7	91	2,430	807,440	-0,025	2,930
12/05/04	7	98	2,435	807,435	-0,005	2,925
18/05/04	6	104	2,425	807,445	0,010	2,935
26/05/04	8	112	2,390	807,480	0,035	2,970
02/06/04	7	119	2,380	807,490	0,010	2,980
08/06/04	6	125	2,430	807,440	-0,050	2,930
15/06/04	7	132	2,420	807,450	0,010	2,940
22/06/04	7	139	2,415	807,455	0,005	2,945
30/06/04	8	147	2,450	807,420	-0,035	2,910
08/07/04	8	155	2,445	807,425	0,005	2,915
14/07/04	6	161	2,450	807,420	-0,005	2,910
21/07/04	7	168	2,455	807,415	-0,005	2,905
28/07/04	7	175	2,430	807,440	0,025	2,930
03/08/04	6	181	2,405	807,465	0,025	2,955
10/08/04	7	188	2,380	807,490	0,025	2,980
17/08/04	7	195	2,355	807,515	0,025	3,005
24/08/04	7	202	2,370	807,500	-0,015	2,990
31/08/04	7	209	2,365	807,505	0,005	2,995
08/09/04	8	217	2,390	807,480	-0,025	2,970
16/09/04	8	225	2,425	807,445	-0,035	2,935
21/09/04	5	230	2,425	807,445	0,000	2,935
28/09/04	7	237	2,460	807,410	-0,035	2,900
05/10/04	7	244	2,470	807,400	-0,010	2,890
14/10/04	9	253	2,460	807,410	0,010	2,900
19/10/04	5	258	2,450	807,420	0,010	2,910
26/10/04	7	265	2,465	807,405	-0,015	2,895
02/11/04	7	272	2,480	807,390	-0,015	2,880
09/11/04	7	279	2,505	807,365	-0,025	2,855
17/11/04	8	287	2,425	807,445	0,080	2,935
25/11/04	8	295	2,470	807,400	-0,045	2,890
01/12/04	6	301	2,450	807,420	0,020	2,910
08/12/04	7	308	2,420	807,450	0,030	2,940
15/12/04	7	315	2,405	807,465	0,015	2,955
22/12/04	7	322	2,415	807,455	-0,010	2,945
29/12/04	7	329	2,395	807,475	0,020	2,965
07/01/05	9	338	2,390	807,480	0,005	2,970
14/01/05	7	345	2,430	807,440	-0,040	2,930
21/01/05	7	352	2,390	807,480	0,040	2,970
28/01/05	7	359	2,325	807,545	0,065	3,035

PM 17 - Praça da Catedral (Gregório)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	201.686,74	7.560.396,21	819,830	13,27	0,160	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	4,470	815,200	0,000	8,800
11/02/04	7	7	4,395	815,275	0,075	8,875
18/02/04	7	14	4,365	815,305	0,030	8,905
26/02/04	8	22	4,225	815,445	0,140	9,045
03/03/04	6	28	4,170	815,500	0,055	9,100
10/03/04	7	35	4,165	815,505	0,005	9,105
17/03/04	7	42	4,185	815,485	-0,020	9,085
24/03/04	7	49	4,265	815,405	-0,080	9,005
31/03/04	7	56	4,335	815,335	-0,070	8,935
07/04/04	7	63	4,420	815,250	-0,085	8,850
15/04/04	8	71	4,510	815,160	-0,090	8,760
22/04/04	7	78	4,575	815,095	-0,065	8,695
28/04/04	6	84	4,625	815,045	-0,050	8,645
05/05/04	7	91	4,725	814,945	-0,100	8,545
12/05/04	7	98	4,785	814,885	-0,060	8,485
18/05/04	6	104	4,765	814,905	0,020	8,505
26/05/04	8	112	4,775	814,895	-0,010	8,495
02/06/04	7	119	4,810	814,860	-0,035	8,460
08/06/04	6	125	4,855	814,815	-0,045	8,415
15/06/04	7	132	4,885	814,785	-0,030	8,385
22/06/04	7	139	4,975	814,695	-0,090	8,295
30/06/04	8	147	5,020	814,650	-0,045	8,250
08/07/04	8	155	5,080	814,590	-0,060	8,190
14/07/04	6	161	5,130	814,540	-0,050	8,140
21/07/04	7	168	5,110	814,560	0,020	8,160
28/07/04	7	175	5,130	814,540	-0,020	8,140
03/08/04	6	181	5,160	814,510	-0,030	8,110
10/08/04	7	188	5,170	814,500	-0,010	8,100
17/08/04	7	195	5,205	814,465	-0,035	8,065
24/08/04	7	202	5,240	814,430	-0,035	8,030
31/08/04	7	209	5,250	814,420	-0,010	8,020
08/09/04	8	217	5,265	814,405	-0,015	8,005
16/09/04	8	225	5,280	814,390	-0,015	7,990
21/09/04	5	230	5,305	814,365	-0,025	7,965
28/09/04	7	237	5,320	814,350	-0,015	7,950
05/10/04	7	244	5,225	814,445	0,095	8,045
14/10/04	9	253	5,190	814,480	0,035	8,080
19/10/04	5	258	5,160	814,510	0,030	8,110
26/10/04	7	265	5,200	814,470	-0,040	8,070
02/11/04	7	272	5,230	814,440	-0,030	8,040
09/11/04	7	279	5,275	814,395	-0,045	7,995
17/11/04	8	287	5,140	814,530	0,135	8,130
25/11/04	8	295	5,120	814,550	0,020	8,150
01/12/04	6	301	5,050	814,620	0,070	8,220
08/12/04	7	308	5,055	814,615	-0,005	8,215
15/12/04	7	315	4,995	814,675	0,060	8,275
22/12/04	7	322	4,915	814,755	0,080	8,355
29/12/04	7	329	4,820	814,850	0,095	8,450
07/01/05	9	338	4,690	814,980	0,130	8,580
14/01/05	7	345	4,540	815,130	0,150	8,730
21/01/05	7	352	4,370	815,300	0,170	8,900
28/01/05	7	359	4,155	815,515	0,215	9,115

PM 18 - SESC (Gregório)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	200.131,76	7.562.536,56	793,780	8,30	0,210	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	4,520	789,050	0,000	3,780
11/02/04	7	7	4,415	789,155	0,105	3,885
18/02/04	7	14	4,220	789,350	0,195	4,080
26/02/04	8	22	4,015	789,555	0,205	4,285
03/03/04	6	28	3,900	789,670	0,115	4,400
10/03/04	7	35	3,785	789,785	0,115	4,515
17/03/04	7	42	3,765	789,805	0,020	4,535
24/03/04	7	49	3,820	789,750	-0,055	4,480
31/03/04	7	56	3,950	789,620	-0,130	4,350
07/04/04	7	63	4,110	789,460	-0,160	4,190
15/04/04	8	71	4,215	789,355	-0,105	4,085
22/04/04	7	78	4,320	789,250	-0,105	3,980
28/04/04	6	84	4,415	789,155	-0,095	3,885
05/05/04	7	91	4,535	789,035	-0,120	3,765
12/05/04	7	98	4,635	788,935	-0,100	3,665
18/05/04	6	104	4,640	788,930	-0,005	3,660
26/05/04	8	112	4,655	788,915	-0,015	3,645
02/06/04	7	119	4,755	788,815	-0,100	3,545
08/06/04	6	125	4,835	788,735	-0,080	3,465
15/06/04	7	132	4,835	788,735	0,000	3,465
22/06/04	7	139	4,890	788,680	-0,055	3,410
30/06/04	8	147	4,910	788,660	-0,020	3,390
08/07/04	8	155	4,950	788,620	-0,040	3,350
14/07/04	6	161	4,955	788,615	-0,005	3,345
21/07/04	7	168	4,930	788,640	0,025	3,370
28/07/04	7	175	4,955	788,615	-0,025	3,345
03/08/04	6	181	4,980	788,590	-0,025	3,320
10/08/04	7	188	4,975	788,595	0,005	3,325
17/08/04	7	195	4,965	788,605	0,010	3,335
24/08/04	7	202	4,960	788,610	0,005	3,340
31/08/04	7	209	4,955	788,615	0,005	3,345
08/09/04	8	217	4,950	788,620	0,005	3,350
16/09/04	8	225	4,970	788,600	-0,020	3,330
21/09/04	5	230	4,980	788,590	-0,010	3,320
28/09/04	7	237	5,010	788,560	-0,030	3,290
05/10/04	7	244	5,075	788,495	-0,065	3,225
14/10/04	9	253	5,050	788,520	0,025	3,250
19/10/04	5	258	5,075	788,495	-0,025	3,225
26/10/04	7	265	5,120	788,450	-0,045	3,180
02/11/04	7	272	5,140	788,430	-0,020	3,160
09/11/04	7	279	5,165	788,405	-0,025	3,135
17/11/04	8	287	5,085	788,485	0,080	3,215
25/11/04	8	295	5,100	788,470	-0,015	3,200
01/12/04	6	301	5,180	788,390	-0,080	3,120
08/12/04	7	308	5,165	788,405	0,015	3,135
15/12/04	7	315	5,075	788,495	0,090	3,225
22/12/04	7	322	4,930	788,640	0,145	3,370
29/12/04	7	329	4,705	788,865	0,225	3,595
07/01/05	9	338	4,455	789,115	0,250	3,845
14/01/05	7	345	4,120	789,450	0,335	4,180
21/01/05	7	352	3,735	789,835	0,385	4,565
28/01/05	7	359	3,245	790,325	0,490	5,055

PM 19 - Atrás ao SESC (Gregório)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	200.133,47	7.562.430,94	804,760	13,32	0,180	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
04/02/04	-	0	10,565	794,015	0,000	2,755
11/02/04	7	7	10,330	794,250	0,235	2,990
18/02/04	7	14	10,115	794,465	0,215	3,205
26/02/04	8	22	10,025	794,555	0,090	3,295
03/03/04	6	28	9,930	794,650	0,095	3,390
10/03/04	7	35	9,725	794,855	0,205	3,595
17/03/04	7	42	9,770	794,810	-0,045	3,550
24/03/04	7	49	10,045	794,535	-0,275	3,275
31/03/04	7	56	10,260	794,320	-0,215	3,060
07/04/04	7	63	10,390	794,190	-0,130	2,930
15/04/04	8	71	10,495	794,085	-0,105	2,825
22/04/04	7	78	10,575	794,005	-0,080	2,745
28/04/04	6	84	10,605	793,975	-0,030	2,715
05/05/04	7	91	10,630	793,950	-0,025	2,690
12/05/04	7	98	10,695	793,885	-0,065	2,625
18/05/04	6	104	10,705	793,875	-0,010	2,615
26/05/04	8	112	10,755	793,825	-0,050	2,565
02/06/04	7	119	10,840	793,740	-0,085	2,480
08/06/04	6	125	10,875	793,705	-0,035	2,445
15/06/04	7	132	10,910	793,670	-0,035	2,410
22/06/04	7	139	10,915	793,665	-0,005	2,405
30/06/04	8	147	10,925	793,655	-0,010	2,395
08/07/04	8	155	10,980	793,600	-0,055	2,340
14/07/04	6	161	10,980	793,600	0,000	2,340
21/07/04	7	168	10,955	793,625	0,025	2,365
28/07/04	7	175	10,960	793,620	-0,005	2,360
03/08/04	6	181	10,970	793,610	-0,010	2,350
10/08/04	7	188	10,955	793,625	0,015	2,365
17/08/04	7	195	10,990	793,590	-0,035	2,330
24/08/04	7	202	10,995	793,585	-0,005	2,325
31/08/04	7	209	11,005	793,575	-0,010	2,315
08/09/04	8	217	11,010	793,570	-0,005	2,310
16/09/04	8	225	11,030	793,550	-0,020	2,290
21/09/04	5	230	11,050	793,530	-0,020	2,270
28/09/04	7	237	11,065	793,515	-0,015	2,255
05/10/04	7	244	11,095	793,485	-0,030	2,225
14/10/04	9	253	11,110	793,470	-0,015	2,210
19/10/04	5	258	11,115	793,465	-0,005	2,205
26/10/04	7	265	11,125	793,455	-0,010	2,195
02/11/04	7	272	11,135	793,445	-0,010	2,185
09/11/04	7	279	11,145	793,435	-0,010	2,175
17/11/04	8	287	11,180	793,400	-0,035	2,140
25/11/04	8	295	11,190	793,390	-0,010	2,130
01/12/04	6	301	11,200	793,380	-0,010	2,120
08/12/04	7	308	11,170	793,410	0,030	2,150
15/12/04	7	315	11,095	793,485	0,075	2,225
22/12/04	7	322	10,920	793,660	0,175	2,400
29/12/04	7	329	10,785	793,795	0,135	2,535
07/01/05	9	338	10,615	793,965	0,170	2,705
14/01/05	7	345	10,165	794,415	0,450	3,155
21/01/05	7	352	9,635	794,945	0,530	3,685
28/01/05	7	359	9,070	795,510	0,565	4,250

PM 20 - Terreno Araguaia (Gregório)						
	Leste (E)	Norte (N)	Altitude (m)	Profund. (m)	Off-set (m)	
	202.613,99	7.561.941,93	830,980	10,05	0,310	
Data	Δt (dias)	Dias Acum.	H (m)	h (m)	Δh (m)	Água no Poço (m)
17/08/04	0	0	8,360	822,310	0,000	1,690
24/08/04	7	7	8,390	822,280	-0,030	1,660
31/08/04	7	14	8,395	822,275	-0,005	1,655
08/09/04	8	22	8,430	822,240	-0,035	1,620
16/09/04	8	30	8,460	822,210	-0,030	1,590
21/09/04	5	35	8,465	822,205	-0,005	1,585
28/09/04	7	42	8,475	822,195	-0,010	1,575
05/10/04	7	49	8,480	822,190	-0,005	1,570
14/10/04	9	58	8,525	822,145	-0,045	1,525
19/10/04	5	63	8,490	822,180	0,035	1,560
26/10/04	7	70	8,520	822,150	-0,030	1,530
02/11/04	7	77	8,530	822,140	-0,010	1,520
09/11/04	7	84	8,540	822,130	-0,010	1,510
17/11/04	8	92	8,475	822,195	0,065	1,575
25/11/04	8	100	8,320	822,350	0,155	1,730
01/12/04	6	106	8,240	822,430	0,080	1,810
08/12/04	7	113	8,185	822,485	0,055	1,865
15/12/04	7	120	8,030	822,640	0,155	2,020
22/12/04	7	127	7,825	822,845	0,205	2,225
29/12/04	7	134	7,590	823,080	0,235	2,460
07/01/05	9	143	7,270	823,400	0,320	2,780
14/01/05	7	150	6,765	823,905	0,505	3,285
21/01/05	7	157	6,410	824,260	0,355	3,640
28/01/05	7	164	6,205	824,465	0,205	3,845

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

150

APÊNDICE A
MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

151

APÊNDICE A
MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

152

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

153

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

154

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

155

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

156

APÊNDICE A
MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

157

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

158

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

159

WTF - PM 10

APÊNDICE A
MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

160

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

161

APÊNDICE A
MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

162

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

163

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

164

APÊNDICE A
MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

165

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

166

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

167

APÊNDICE A
 MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA e GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO vs. VARIAÇÃO DE NÍVEL

168

APÊNDICE B – MAPA DE LOCALIZAÇÃO – BACIA DO CÓRREGO
DO GREGÓRIO E BACIA DO CÓRREGO DO TIJUCO PRETO, SÃO
CARLOS, SP.

APÊNDICE C – ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO
DE DARCY – PLANILHAS DE CÁLCULO

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

173

Data	Δt (dias)	PM 05		PM 06		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM05} (m)	K_{PM05} (m/s)	h_{PM06} (m)	K_{PM06} (m/s)						
04/02/04	0	857,39	3,96E-06	861,30	9,21E-06	64,23	0,0000	6,59E-06	0,00E+00	0,0	0,0
11/02/04	7	857,32	3,96E-06	861,29	9,21E-06	64,23	-0,0012	6,59E-06	-8,20E-09	-5,0	0,0
18/02/04	7	857,43	3,96E-06	861,33	9,21E-06	64,23	0,0023	6,59E-06	1,54E-08	9,3	9,3
26/02/04	8	857,58	3,96E-06	861,44	9,21E-06	64,23	0,0040	6,59E-06	2,61E-08	18,1	18,1
03/03/04	6	857,37	3,96E-06	861,43	9,21E-06	64,23	-0,0034	6,59E-06	-2,26E-08	-11,7	0,0
10/03/04	7	857,31	3,96E-06	861,40	9,21E-06	64,23	-0,0012	6,59E-06	-8,20E-09	-5,0	0,0
17/03/04	7	857,31	3,96E-06	861,37	9,21E-06	64,23	-0,0006	6,59E-06	-4,10E-09	-2,5	0,0
24/03/04	7	857,28	3,96E-06	861,36	9,21E-06	64,23	-0,0005	6,59E-06	-3,59E-09	-2,2	0,0
31/03/04	7	857,25	3,96E-06	861,35	9,21E-06	64,23	-0,0005	6,59E-06	-3,59E-09	-2,2	0,0
07/04/04	7	857,27	3,96E-06	861,34	9,21E-06	64,23	0,0000	6,59E-06	0,00E+00	0,0	0,0
15/04/04	8	857,25	3,96E-06	861,33	9,21E-06	64,23	-0,0004	6,59E-06	-2,56E-09	-1,8	0,0
22/04/04	7	857,26	3,96E-06	861,33	9,21E-06	64,23	0,0001	6,59E-06	5,13E-10	0,3	0,3
28/04/04	6	857,27	3,96E-06	861,31	9,21E-06	64,23	-0,0001	6,59E-06	-5,13E-10	-0,3	0,0
05/05/04	7	857,23	3,96E-06	861,30	9,21E-06	64,23	-0,0008	6,59E-06	-5,43E-09	-3,3	0,0
12/05/04	7	857,25	3,96E-06	861,28	9,21E-06	64,23	0,0000	6,59E-06	-2,05E-10	-0,1	0,0
18/05/04	6	857,26	3,96E-06	861,27	9,21E-06	64,23	0,0002	6,59E-06	1,13E-09	0,6	0,6
25/05/04	7	857,34	3,96E-06	861,31	9,21E-06	64,23	0,0017	6,59E-06	1,12E-08	6,8	6,8
03/06/04	9	857,34	3,96E-06	861,27	9,21E-06	64,23	-0,0005	6,59E-06	-3,59E-09	-2,8	0,0
08/06/04	5	857,30	3,96E-06	861,27	9,21E-06	64,23	-0,0006	6,59E-06	-4,10E-09	-1,8	0,0
15/06/04	7	857,27	3,96E-06	861,25	9,21E-06	64,23	-0,0008	6,59E-06	-5,13E-09	-3,1	0,0
22/06/04	7	857,26	3,96E-06	861,23	9,21E-06	64,23	-0,0005	6,59E-06	-3,08E-09	-1,9	0,0
30/06/04	8	857,23	3,96E-06	861,22	9,21E-06	64,23	-0,0007	6,59E-06	-4,61E-09	-3,2	0,0
08/07/04	8	857,25	3,96E-06	861,21	9,21E-06	64,23	0,0002	6,59E-06	1,54E-09	1,1	1,1
14/07/04	6	857,25	3,96E-06	861,21	9,21E-06	64,23	0,0001	6,59E-06	5,13E-10	0,3	0,3
21/07/04	7	857,21	3,96E-06	861,17	9,21E-06	64,23	-0,0012	6,59E-06	-8,20E-09	-5,0	0,0
28/07/04	7	857,21	3,96E-06	861,11	9,21E-06	64,23	-0,0010	6,59E-06	-6,66E-09	-4,0	0,0
03/08/04	6	857,24	3,96E-06	861,07	9,21E-06	64,23	-0,0002	6,59E-06	-1,54E-09	-0,8	0,0
11/08/04	8	857,20	3,96E-06	861,18	9,21E-06	64,23	0,0012	6,59E-06	7,69E-09	5,3	5,3
17/08/04	6	857,19	3,96E-06	861,15	9,21E-06	64,23	-0,0005	6,59E-06	-3,59E-09	-1,9	0,0

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

174

Data	Δt (dias)	PM 05		PM 06		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM05} (m)	K_{PM05} (m/s)	h_{PM06} (m)	K_{PM06} (m/s)						
26/08/04	9	857,19	3,96E-06	861,12	9,21E-06	64,23	-0,0005	6,59E-06	-3,59E-09	-2,8	0,0
31/08/04	5	857,18	3,96E-06	861,10	9,21E-06	64,23	-0,0005	6,59E-06	-3,59E-09	-1,6	0,0
08/09/04	8	857,17	3,96E-06	861,07	9,21E-06	64,23	-0,0005	6,59E-06	-3,08E-09	-2,1	0,0
16/09/04	8	857,17	3,96E-06	861,03	9,21E-06	64,23	-0,0007	6,59E-06	-4,61E-09	-3,2	0,0
21/09/04	5	857,13	3,96E-06	861,02	9,21E-06	64,23	-0,0008	6,59E-06	-5,13E-09	-2,2	0,0
28/09/04	7	857,16	3,96E-06	860,98	9,21E-06	64,23	-0,0002	6,59E-06	-1,03E-09	-0,6	0,0
05/10/04	7	857,16	3,96E-06	860,97	9,21E-06	64,23	-0,0002	6,59E-06	-1,03E-09	-0,6	0,0
14/10/04	9	857,20	3,96E-06	860,97	9,21E-06	64,23	0,0007	6,59E-06	4,61E-09	3,6	3,6
19/10/04	5	857,26	3,96E-06	861,00	9,21E-06	64,23	0,0014	6,59E-06	9,23E-09	4,0	4,0
26/10/04	7	857,20	3,96E-06	860,99	9,21E-06	64,23	-0,0012	6,59E-06	-7,69E-09	-4,7	0,0
02/11/04	7	857,18	3,96E-06	860,98	9,21E-06	64,23	-0,0005	6,59E-06	-3,59E-09	-2,2	0,0
09/11/04	7	857,16	3,96E-06	860,94	9,21E-06	64,23	-0,0009	6,59E-06	-5,64E-09	-3,4	0,0
17/11/04	8	857,33	3,96E-06	861,02	9,21E-06	64,23	0,0039	6,59E-06	2,56E-08	17,7	17,7
25/11/04	8	857,24	3,96E-06	861,03	9,21E-06	64,23	-0,0012	6,59E-06	-7,69E-09	-5,3	0,0
01/12/04	6	857,25	3,96E-06	861,04	9,21E-06	64,23	0,0002	6,59E-06	1,54E-09	0,8	0,8
08/12/04	7	857,28	3,96E-06	861,06	9,21E-06	64,23	0,0008	6,59E-06	5,13E-09	3,1	3,1
15/12/04	7	857,31	3,96E-06	861,08	9,21E-06	64,23	0,0008	6,59E-06	5,13E-09	3,1	3,1
22/12/04	7	857,36	3,96E-06	861,13	9,21E-06	64,23	0,0016	6,59E-06	1,08E-08	6,5	6,5
29/12/04	7	857,42	3,96E-06	861,21	9,21E-06	64,23	0,0021	6,59E-06	1,38E-08	8,4	8,4
07/01/05	9	857,50	3,96E-06	861,32	9,21E-06	64,23	0,0030	6,59E-06	1,95E-08	15,1	15,1
14/01/05	7	857,39	3,96E-06	861,33	9,21E-06	64,23	-0,0016	6,59E-06	-1,08E-08	-6,5	0,0
21/01/05	7	857,45	3,96E-06	861,35	9,21E-06	64,23	0,0014	6,59E-06	9,23E-09	5,6	5,6
28/01/05	7	857,55	3,96E-06	861,44	9,21E-06	64,23	0,0029	6,59E-06	1,90E-08	11,5	11,5

R (mm) 121,0

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

175

PM 07 PM 08

Data	Δt (dias)	h_{PM07} (m)	K_{PM07} (m/s)	h_{PM08} (m)	K_{PM08} (m/s)	L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
04/02/04	0	845,75	1,19E-05	851,48	2,71E-05	143,60	0,0000	1,95E-05	0,00E+00	0,0	0,0
11/02/04	7	845,74	1,19E-05	851,47	2,71E-05	143,60	-0,0001	1,95E-05	-2,04E-09	-1,2	0,0
18/02/04	7	845,84	1,19E-05	851,55	2,71E-05	143,60	0,0012	1,95E-05	2,31E-08	14,0	14,0
26/02/04	8	846,17	1,19E-05	851,83	2,71E-05	143,60	0,0043	1,95E-05	8,42E-08	58,2	58,2
03/03/04	6	845,89	1,19E-05	851,80	2,71E-05	143,60	-0,0022	1,95E-05	-4,28E-08	-22,2	0,0
10/03/04	7	845,82	1,19E-05	851,76	2,71E-05	143,60	-0,0008	1,95E-05	-1,49E-08	-9,0	0,0
17/03/04	7	845,73	1,19E-05	851,71	2,71E-05	143,60	-0,0009	1,95E-05	-1,83E-08	-11,1	0,0
24/03/04	7	845,71	1,19E-05	851,63	2,71E-05	143,60	-0,0007	1,95E-05	-1,43E-08	-8,6	0,0
31/03/04	7	845,65	1,19E-05	851,52	2,71E-05	143,60	-0,0012	1,95E-05	-2,38E-08	-14,4	0,0
07/04/04	7	845,75	1,19E-05	851,42	2,71E-05	143,60	0,0000	1,95E-05	6,79E-10	0,4	0,4
15/04/04	8	845,72	1,19E-05	851,32	2,71E-05	143,60	-0,0009	1,95E-05	-1,77E-08	-12,2	0,0
22/04/04	7	845,66	1,19E-05	851,26	2,71E-05	143,60	-0,0008	1,95E-05	-1,63E-08	-9,9	0,0
28/04/04	6	845,59	1,19E-05	851,22	2,71E-05	143,60	-0,0007	1,95E-05	-1,43E-08	-7,4	0,0
05/05/04	7	845,54	1,19E-05	851,17	2,71E-05	143,60	-0,0007	1,95E-05	-1,36E-08	-8,2	0,0
12/05/04	7	845,55	1,19E-05	851,09	2,71E-05	143,60	-0,0005	1,95E-05	-9,51E-09	-5,7	0,0
18/05/04	6	845,60	1,19E-05	851,08	2,71E-05	143,60	0,0003	1,95E-05	5,43E-09	2,8	2,8
25/05/04	7	845,79	1,19E-05	851,06	2,71E-05	143,60	0,0011	1,95E-05	2,24E-08	13,6	13,6
03/06/04	9	845,74	1,19E-05	851,12	2,71E-05	143,60	0,0001	1,95E-05	1,36E-09	1,1	1,1
08/06/04	5	845,59	1,19E-05	851,09	2,71E-05	143,60	-0,0013	1,95E-05	-2,44E-08	-10,6	0,0
15/06/04	7	845,54	1,19E-05	851,11	2,71E-05	143,60	-0,0002	1,95E-05	-4,07E-09	-2,5	0,0
22/06/04	7	845,50	1,19E-05	851,05	2,71E-05	143,60	-0,0007	1,95E-05	-1,43E-08	-8,6	0,0
30/06/04	8	845,45	1,19E-05	851,00	2,71E-05	143,60	-0,0007	1,95E-05	-1,29E-08	-8,9	0,0
08/07/04	8	845,40	1,19E-05	850,89	2,71E-05	143,60	-0,0011	1,95E-05	-2,17E-08	-15,0	0,0
14/07/04	6	845,39	1,19E-05	850,87	2,71E-05	143,60	-0,0002	1,95E-05	-4,07E-09	-2,1	0,0
21/07/04	7	845,39	1,19E-05	850,83	2,71E-05	143,60	-0,0003	1,95E-05	-6,11E-09	-3,7	0,0
28/07/04	7	845,37	1,19E-05	850,79	2,71E-05	143,60	-0,0003	1,95E-05	-6,79E-09	-4,1	0,0
03/08/04	6	845,36	1,19E-05	850,71	2,71E-05	143,60	-0,0007	1,95E-05	-1,29E-08	-6,7	0,0
11/08/04	8	845,32	1,19E-05	850,67	2,71E-05	143,60	-0,0005	1,95E-05	-1,02E-08	-7,0	0,0
17/08/04	6	845,30	1,19E-05	850,59	2,71E-05	143,60	-0,0008	1,95E-05	-1,49E-08	-7,7	0,0

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

176

PM 07

PM 08

Data	Δt (dias)	h_{PM07} (m)	K_{PM07} (m/s)	h_{PM08} (m)	K_{PM08} (m/s)	L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
26/08/04	9	845,25	1,19E-05	850,51	2,71E-05	143,60	-0,0009	1,95E-05	-1,70E-08	-13,2	0,0
31/08/04	5	845,24	1,19E-05	850,48	2,71E-05	143,60	-0,0003	1,95E-05	-6,11E-09	-2,6	0,0
08/09/04	8	845,23	1,19E-05	850,42	2,71E-05	143,60	-0,0004	1,95E-05	-8,15E-09	-5,6	0,0
16/09/04	8	845,21	1,19E-05	850,36	2,71E-05	143,60	-0,0006	1,95E-05	-1,15E-08	-8,0	0,0
21/09/04	5	845,20	1,19E-05	850,32	2,71E-05	143,60	-0,0003	1,95E-05	-6,11E-09	-2,6	0,0
28/09/04	7	845,17	1,19E-05	850,27	2,71E-05	143,60	-0,0006	1,95E-05	-1,22E-08	-7,4	0,0
05/10/04	7	845,20	1,19E-05	850,29	2,71E-05	143,60	0,0003	1,95E-05	6,79E-09	4,1	4,1
14/10/04	9	845,26	1,19E-05	850,31	2,71E-05	143,60	0,0006	1,95E-05	1,15E-08	9,0	9,0
19/10/04	5	845,28	1,19E-05	850,32	2,71E-05	143,60	0,0002	1,95E-05	4,07E-09	1,8	1,8
26/10/04	7	845,24	1,19E-05	850,30	2,71E-05	143,60	-0,0004	1,95E-05	-8,15E-09	-4,9	0,0
02/11/04	7	845,20	1,19E-05	850,26	2,71E-05	143,60	-0,0005	1,95E-05	-1,02E-08	-6,2	0,0
09/11/04	7	845,16	1,19E-05	850,22	2,71E-05	143,60	-0,0006	1,95E-05	-1,22E-08	-7,4	0,0
17/11/04	8	845,34	1,19E-05	850,30	2,71E-05	143,60	0,0018	1,95E-05	3,53E-08	24,4	24,4
25/11/04	8	845,35	1,19E-05	850,50	2,71E-05	143,60	0,0015	1,95E-05	2,85E-08	19,7	19,7
01/12/04	6	845,38	1,19E-05	850,56	2,71E-05	143,60	0,0007	1,95E-05	1,29E-08	6,7	6,7
08/12/04	7	845,36	1,19E-05	850,61	2,71E-05	143,60	0,0002	1,95E-05	4,07E-09	2,5	2,5
15/12/04	7	845,44	1,19E-05	850,68	2,71E-05	143,60	0,0010	1,95E-05	1,97E-08	11,9	11,9
22/12/04	7	845,57	1,19E-05	850,79	2,71E-05	143,60	0,0017	1,95E-05	3,33E-08	20,1	20,1
29/12/04	7	845,72	1,19E-05	850,96	2,71E-05	143,60	0,0022	1,95E-05	4,28E-08	25,9	25,9
07/01/05	9	845,89	1,19E-05	851,25	2,71E-05	143,60	0,0032	1,95E-05	6,31E-08	49,1	49,1
14/01/05	7	845,76	1,19E-05	851,56	2,71E-05	143,60	0,0013	1,95E-05	2,44E-08	14,8	14,8
21/01/05	7	845,88	1,19E-05	851,69	2,71E-05	143,60	0,0018	1,95E-05	3,46E-08	20,9	20,9
28/01/05	7	846,15	1,19E-05	851,93	2,71E-05	143,60	0,0035	1,95E-05	6,86E-08	41,5	41,5

R (mm) 342,3

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

177

Data	Δt (dias)	PM 09		PM 10		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM09} (m)	K_{PM09} (m/s)	h_{PM10} (m)	K_{PM10} (m/s)						
04/02/04	0	832,53	5,29E-08	842,05	4,59E-06	222,34	0,0000	2,32E-06	0,00E+00	0,00	0,00
11/02/04	7	832,48	5,29E-08	841,91	4,59E-06	222,34	-0,0008	2,32E-06	-1,93E-09	-1,17	0,00
18/02/04	7	832,55	5,29E-08	842,04	4,59E-06	222,34	0,0009	2,32E-06	2,04E-09	1,23	1,23
26/02/04	8	832,67	5,29E-08	842,34	4,59E-06	222,34	0,0019	2,32E-06	4,44E-09	3,07	3,07
03/03/04	6	832,56	5,29E-08	842,27	4,59E-06	222,34	-0,0008	2,32E-06	-1,88E-09	-0,97	0,00
10/03/04	7	832,55	5,29E-08	842,15	4,59E-06	222,34	-0,0006	2,32E-06	-1,36E-09	-0,82	0,00
17/03/04	7	832,53	5,29E-08	842,04	4,59E-06	222,34	-0,0006	2,32E-06	-1,36E-09	-0,82	0,00
24/03/04	7	832,56	5,29E-08	841,94	4,59E-06	222,34	-0,0003	2,32E-06	-7,83E-10	-0,47	0,00
31/03/04	7	832,61	5,29E-08	841,88	4,59E-06	222,34	0,0000	2,32E-06	-1,04E-10	-0,06	0,00
07/04/04	7	832,57	5,29E-08	841,78	4,59E-06	222,34	-0,0006	2,32E-06	-1,41E-09	-0,85	0,00
15/04/04	8	832,56	5,29E-08	841,70	4,59E-06	222,34	-0,0004	2,32E-06	-9,92E-10	-0,69	0,00
22/04/04	7	832,51	5,29E-08	841,64	4,59E-06	222,34	-0,0005	2,32E-06	-1,10E-09	-0,66	0,00
28/04/04	6	832,45	5,29E-08	841,60	4,59E-06	222,34	-0,0005	2,32E-06	-1,10E-09	-0,57	0,00
05/05/04	7	832,43	5,29E-08	841,55	4,59E-06	222,34	-0,0003	2,32E-06	-7,10E-10	-0,43	0,00
12/05/04	7	832,41	5,29E-08	841,51	4,59E-06	222,34	-0,0003	2,32E-06	-5,95E-10	-0,36	0,00
18/05/04	6	832,43	5,29E-08	841,48	4,59E-06	222,34	0,0000	2,32E-06	-1,04E-10	-0,05	0,00
25/05/04	7	832,47	5,29E-08	841,46	4,59E-06	222,34	0,0001	2,32E-06	1,57E-10	0,09	0,09
03/06/04	9	832,49	5,29E-08	841,55	4,59E-06	222,34	0,0005	2,32E-06	1,15E-09	0,89	0,89
08/06/04	5	832,45	5,29E-08	841,55	4,59E-06	222,34	-0,0002	2,32E-06	-4,18E-10	-0,18	0,00
15/06/04	7	832,45	5,29E-08	841,53	4,59E-06	222,34	-0,0001	2,32E-06	-2,09E-10	-0,13	0,00
22/06/04	7	832,44	5,29E-08	841,55	4,59E-06	222,34	0,0001	2,32E-06	1,57E-10	0,09	0,09
30/06/04	8	832,42	5,29E-08	841,49	4,59E-06	222,34	-0,0004	2,32E-06	-8,35E-10	-0,58	0,00
08/07/04	8	832,42	5,29E-08	841,44	4,59E-06	222,34	-0,0002	2,32E-06	-5,74E-10	-0,40	0,00
14/07/04	6	832,41	5,29E-08	841,33	4,59E-06	222,34	-0,0005	2,32E-06	-1,20E-09	-0,62	0,00
21/07/04	7	832,42	5,29E-08	841,29	4,59E-06	222,34	-0,0001	2,32E-06	-3,13E-10	-0,19	0,00
28/07/04	7	832,42	5,29E-08	841,23	4,59E-06	222,34	-0,0003	2,32E-06	-6,26E-10	-0,38	0,00
03/08/04	6	832,43	5,29E-08	841,19	4,59E-06	222,34	-0,0002	2,32E-06	-4,18E-10	-0,22	0,00
11/08/04	8	832,41	5,29E-08	841,20	4,59E-06	222,34	0,0000	2,32E-06	-5,22E-11	-0,04	0,00
17/08/04	6	832,41	5,29E-08	841,21	4,59E-06	222,34	0,0000	2,32E-06	5,22E-11	0,03	0,03

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

178

Data	Δt (dias)	PM 09		PM 10		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM09} (m)	K_{PM09} (m/s)	h_{PM10} (m)	K_{PM10} (m/s)						
26/08/04	9	832,40	5,29E-08	841,17	4,59E-06	222,34	-0,0002	2,32E-06	-4,70E-10	-0,37	0,00
31/08/04	5	832,39	5,29E-08	841,15	4,59E-06	222,34	-0,0001	2,32E-06	-3,13E-10	-0,14	0,00
08/09/04	8	832,38	5,29E-08	841,10	4,59E-06	222,34	-0,0002	2,32E-06	-5,74E-10	-0,40	0,00
16/09/04	8	832,37	5,29E-08	841,05	4,59E-06	222,34	-0,0003	2,32E-06	-6,79E-10	-0,47	0,00
21/09/04	5	832,36	5,29E-08	841,03	4,59E-06	222,34	-0,0001	2,32E-06	-2,61E-10	-0,11	0,00
28/09/04	7	832,36	5,29E-08	840,99	4,59E-06	222,34	-0,0002	2,32E-06	-4,70E-10	-0,28	0,00
05/10/04	7	832,37	5,29E-08	841,00	4,59E-06	222,34	0,0001	2,32E-06	2,61E-10	0,16	0,16
14/10/04	9	832,38	5,29E-08	841,00	4,59E-06	222,34	0,0000	2,32E-06	1,04E-10	0,08	0,08
19/10/04	5	832,37	5,29E-08	841,01	4,59E-06	222,34	0,0000	2,32E-06	-1,04E-10	-0,05	0,00
26/10/04	7	832,36	5,29E-08	841,03	4,59E-06	222,34	0,0001	2,32E-06	2,09E-10	0,13	0,13
02/11/04	7	832,36	5,29E-08	841,00	4,59E-06	222,34	-0,0002	2,32E-06	-3,65E-10	-0,22	0,00
09/11/04	7	832,35	5,29E-08	840,97	4,59E-06	222,34	-0,0002	2,32E-06	-3,65E-10	-0,22	0,00
17/11/04	8	832,42	5,29E-08	841,06	4,59E-06	222,34	0,0007	2,32E-06	1,62E-09	1,12	1,12
25/11/04	8	832,42	5,29E-08	841,21	4,59E-06	222,34	0,0007	2,32E-06	1,57E-09	1,08	1,08
01/12/04	6	832,43	5,29E-08	841,29	4,59E-06	222,34	0,0004	2,32E-06	9,40E-10	0,49	0,49
08/12/04	7	832,38	5,29E-08	841,31	4,59E-06	222,34	-0,0002	2,32E-06	-3,65E-10	-0,22	0,00
15/12/04	7	832,40	5,29E-08	841,36	4,59E-06	222,34	0,0004	2,32E-06	8,35E-10	0,51	0,51
22/12/04	7	832,46	5,29E-08	841,52	4,59E-06	222,34	0,0010	2,32E-06	2,24E-09	1,36	1,36
29/12/04	7	832,53	5,29E-08	841,74	4,59E-06	222,34	0,0013	2,32E-06	2,98E-09	1,80	1,80
07/01/05	9	832,65	5,29E-08	842,04	4,59E-06	222,34	0,0019	2,32E-06	4,49E-09	3,49	3,49
14/01/05	7	832,54	5,29E-08	842,13	4,59E-06	222,34	-0,0001	2,32E-06	-2,61E-10	-0,16	0,00
21/01/05	7	832,59	5,29E-08	842,23	4,59E-06	222,34	0,0007	2,32E-06	1,62E-09	0,98	0,98
28/01/05	7	832,69	5,29E-08	842,43	4,59E-06	222,34	0,0013	2,32E-06	3,03E-09	1,83	1,83

R (mm)	18,43
--------	-------

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

179

Data	Δt (dias)	PM 14		PM 15		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM14} (m)	K_{PM14} (m/s)	h_{PM15} (m)	K_{PM15} (m/s)						
04/02/04	0	816,84	8,89E-07	817,83	5,33E-06	56,16	0,0000	3,11E-06	0,00E+00	0,0	0,0
11/02/04	7	816,88	8,89E-07	817,99	5,33E-06	56,16	0,0037	3,11E-06	1,16E-08	7,0	7,0
18/02/04	7	816,91	8,89E-07	818,10	5,33E-06	56,16	0,0023	3,11E-06	7,20E-09	4,4	4,4
26/02/04	8	816,93	8,89E-07	818,18	5,33E-06	56,16	0,0020	3,11E-06	6,09E-09	4,2	4,2
03/03/04	6	816,95	8,89E-07	818,25	5,33E-06	56,16	0,0014	3,11E-06	4,43E-09	2,3	2,3
10/03/04	7	816,94	8,89E-07	818,23	5,33E-06	56,16	-0,0004	3,11E-06	-1,38E-09	-0,8	0,0
17/03/04	7	816,92	8,89E-07	818,14	5,33E-06	56,16	-0,0019	3,11E-06	-5,81E-09	-3,5	0,0
24/03/04	7	816,91	8,89E-07	818,02	5,33E-06	56,16	-0,0024	3,11E-06	-7,47E-09	-4,5	0,0
31/03/04	7	816,91	8,89E-07	817,90	5,33E-06	56,16	-0,0022	3,11E-06	-6,92E-09	-4,2	0,0
07/04/04	7	816,88	8,89E-07	817,76	5,33E-06	56,16	-0,0029	3,11E-06	-9,13E-09	-5,5	0,0
15/04/04	8	816,83	8,89E-07	817,61	5,33E-06	56,16	-0,0035	3,11E-06	-1,08E-08	-7,5	0,0
22/04/04	7	816,81	8,89E-07	817,49	5,33E-06	56,16	-0,0026	3,11E-06	-8,03E-09	-4,9	0,0
28/04/04	6	816,79	8,89E-07	817,43	5,33E-06	56,16	-0,0013	3,11E-06	-4,15E-09	-2,2	0,0
05/05/04	7	816,76	8,89E-07	817,35	5,33E-06	56,16	-0,0020	3,11E-06	-6,09E-09	-3,7	0,0
12/05/04	7	816,74	8,89E-07	817,29	5,33E-06	56,16	-0,0014	3,11E-06	-4,43E-09	-2,7	0,0
18/05/04	6	816,74	8,89E-07	817,29	5,33E-06	56,16	-0,0001	3,11E-06	-2,77E-10	-0,1	0,0
26/05/04	8	816,70	8,89E-07	817,31	5,33E-06	56,16	-0,0003	3,11E-06	-8,30E-10	-0,6	0,0
02/06/04	7	816,63	8,89E-07	817,25	5,33E-06	56,16	-0,0024	3,11E-06	-7,47E-09	-4,5	0,0
08/06/04	6	816,56	8,89E-07	817,24	5,33E-06	56,16	-0,0014	3,11E-06	-4,43E-09	-2,3	0,0
15/06/04	7	816,57	8,89E-07	817,23	5,33E-06	56,16	-0,0001	3,11E-06	-2,77E-10	-0,2	0,0
22/06/04	7	816,54	8,89E-07	817,19	5,33E-06	56,16	-0,0012	3,11E-06	-3,60E-09	-2,2	0,0
30/06/04	8	816,52	8,89E-07	817,14	5,33E-06	56,16	-0,0012	3,11E-06	-3,87E-09	-2,7	0,0
08/07/04	8	816,50	8,89E-07	817,12	5,33E-06	56,16	-0,0006	3,11E-06	-1,94E-09	-1,3	0,0
14/07/04	6	816,50	8,89E-07	817,12	5,33E-06	56,16	-0,0002	3,11E-06	-5,54E-10	-0,3	0,0
21/07/04	7	816,49	8,89E-07	817,11	5,33E-06	56,16	-0,0003	3,11E-06	-8,30E-10	-0,5	0,0
28/07/04	7	816,49	8,89E-07	817,09	5,33E-06	56,16	-0,0003	3,11E-06	-8,30E-10	-0,5	0,0
03/08/04	6	816,49	8,89E-07	817,08	5,33E-06	56,16	-0,0003	3,11E-06	-8,30E-10	-0,4	0,0
10/08/04	7	816,48	8,89E-07	817,05	5,33E-06	56,16	-0,0007	3,11E-06	-2,21E-09	-1,3	0,0
17/08/04	7	816,46	8,89E-07	817,03	5,33E-06	56,16	-0,0006	3,11E-06	-1,94E-09	-1,2	0,0

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

180

Data	Δt (dias)	PM 14		PM 15		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM14} (m)	K_{PM14} (m/s)	h_{PM15} (m)	K_{PM15} (m/s)						
24/08/04	7	816,47	8,89E-07	817,00	5,33E-06	56,16	-0,0004	3,11E-06	-1,38E-09	-0,8	0,0
31/08/04	7	816,46	8,89E-07	816,98	5,33E-06	56,16	-0,0005	3,11E-06	-1,66E-09	-1,0	0,0
08/09/04	8	816,45	8,89E-07	816,95	5,33E-06	56,16	-0,0006	3,11E-06	-1,94E-09	-1,3	0,0
16/09/04	8	816,44	8,89E-07	816,94	5,33E-06	56,16	-0,0005	3,11E-06	-1,66E-09	-1,1	0,0
21/09/04	5	816,43	8,89E-07	816,93	5,33E-06	56,16	-0,0003	3,11E-06	-8,30E-10	-0,4	0,0
28/09/04	7	816,43	8,89E-07	816,91	5,33E-06	56,16	-0,0004	3,11E-06	-1,38E-09	-0,8	0,0
05/10/04	7	816,42	8,89E-07	816,91	5,33E-06	56,16	0,0000	3,11E-06	0,00E+00	0,0	0,0
14/10/04	9	816,43	8,89E-07	816,92	5,33E-06	56,16	0,0002	3,11E-06	5,54E-10	0,4	0,4
19/10/04	5	816,46	8,89E-07	816,94	5,33E-06	56,16	0,0011	3,11E-06	3,32E-09	1,4	1,4
26/10/04	7	816,46	8,89E-07	816,93	5,33E-06	56,16	-0,0002	3,11E-06	-5,54E-10	-0,3	0,0
02/11/04	7	816,46	8,89E-07	816,93	5,33E-06	56,16	-0,0002	3,11E-06	-5,54E-10	-0,3	0,0
09/11/04	7	816,46	8,89E-07	816,92	5,33E-06	56,16	-0,0001	3,11E-06	-2,77E-10	-0,2	0,0
17/11/04	8	816,51	8,89E-07	816,97	5,33E-06	56,16	0,0018	3,11E-06	5,54E-09	3,8	3,8
25/11/04	8	816,55	8,89E-07	817,01	5,33E-06	56,16	0,0013	3,11E-06	4,15E-09	2,9	2,9
01/12/04	6	816,54	8,89E-07	817,04	5,33E-06	56,16	0,0004	3,11E-06	1,38E-09	0,7	0,7
08/12/04	7	816,49	8,89E-07	817,05	5,33E-06	56,16	-0,0006	3,11E-06	-1,94E-09	-1,2	0,0
15/12/04	7	816,55	8,89E-07	817,17	5,33E-06	56,16	0,0030	3,11E-06	9,41E-09	5,7	5,7
22/12/04	7	816,64	8,89E-07	817,38	5,33E-06	56,16	0,0055	3,11E-06	1,72E-08	10,4	10,4
29/12/04	7	816,77	8,89E-07	817,51	5,33E-06	56,16	0,0045	3,11E-06	1,38E-08	8,4	8,4
07/01/05	9	816,89	8,89E-07	817,64	5,33E-06	56,16	0,0046	3,11E-06	1,44E-08	11,2	11,2
14/01/05	7	816,93	8,89E-07	817,90	5,33E-06	56,16	0,0053	3,11E-06	1,63E-08	9,9	9,9
21/01/05	7	817,08	8,89E-07	818,19	5,33E-06	56,16	0,0078	3,11E-06	2,44E-08	14,7	14,7
28/01/05	7	817,25	8,89E-07	818,55	5,33E-06	56,16	0,0094	3,11E-06	2,93E-08	17,7	17,7

R (mm)	105,1
--------	-------

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

181

Data	Δt (dias)	PM 16		PM 17		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM16} (m)	K_{PM16} (m/s)	h_{PM17} (m)	K_{PM17} (m/s)						
04/02/04	0	807,45	7,22E-06	815,20	5,03E-07	180,03	0,0000	3,86E-06	0,00E+00	0,0	0,0
11/02/04	7	807,45	7,22E-06	815,28	5,03E-07	180,03	0,0004	3,86E-06	1,50E-09	0,9	0,9
18/02/04	7	807,48	7,22E-06	815,31	5,03E-07	180,03	0,0003	3,86E-06	1,29E-09	0,8	0,8
26/02/04	8	807,53	7,22E-06	815,45	5,03E-07	180,03	0,0011	3,86E-06	4,07E-09	2,8	2,8
03/03/04	6	807,49	7,22E-06	815,50	5,03E-07	180,03	0,0001	3,86E-06	3,22E-10	0,2	0,2
10/03/04	7	807,48	7,22E-06	815,51	5,03E-07	180,03	0,0000	3,86E-06	-1,07E-10	-0,1	0,0
17/03/04	7	807,46	7,22E-06	815,49	5,03E-07	180,03	-0,0002	3,86E-06	-8,58E-10	-0,5	0,0
24/03/04	7	807,45	7,22E-06	815,41	5,03E-07	180,03	-0,0005	3,86E-06	-1,82E-09	-1,1	0,0
31/03/04	7	807,44	7,22E-06	815,34	5,03E-07	180,03	-0,0004	3,86E-06	-1,72E-09	-1,0	0,0
07/04/04	7	807,46	7,22E-06	815,25	5,03E-07	180,03	-0,0004	3,86E-06	-1,39E-09	-0,8	0,0
15/04/04	8	807,45	7,22E-06	815,16	5,03E-07	180,03	-0,0006	3,86E-06	-2,14E-09	-1,5	0,0
22/04/04	7	807,47	7,22E-06	815,10	5,03E-07	180,03	-0,0002	3,86E-06	-9,65E-10	-0,6	0,0
28/04/04	6	807,47	7,22E-06	815,05	5,03E-07	180,03	-0,0003	3,86E-06	-1,18E-09	-0,6	0,0
05/05/04	7	807,44	7,22E-06	814,95	5,03E-07	180,03	-0,0007	3,86E-06	-2,68E-09	-1,6	0,0
12/05/04	7	807,44	7,22E-06	814,89	5,03E-07	180,03	-0,0004	3,86E-06	-1,39E-09	-0,8	0,0
18/05/04	6	807,45	7,22E-06	814,91	5,03E-07	180,03	0,0002	3,86E-06	6,43E-10	0,3	0,3
26/05/04	8	807,48	7,22E-06	814,90	5,03E-07	180,03	0,0001	3,86E-06	5,36E-10	0,4	0,4
02/06/04	7	807,49	7,22E-06	814,86	5,03E-07	180,03	-0,0001	3,86E-06	-5,36E-10	-0,3	0,0
08/06/04	6	807,44	7,22E-06	814,82	5,03E-07	180,03	-0,0005	3,86E-06	-2,04E-09	-1,1	0,0
15/06/04	7	807,45	7,22E-06	814,79	5,03E-07	180,03	-0,0001	3,86E-06	-4,29E-10	-0,3	0,0
22/06/04	7	807,46	7,22E-06	814,70	5,03E-07	180,03	-0,0005	3,86E-06	-1,82E-09	-1,1	0,0
30/06/04	8	807,42	7,22E-06	814,65	5,03E-07	180,03	-0,0004	3,86E-06	-1,72E-09	-1,2	0,0
08/07/04	8	807,43	7,22E-06	814,59	5,03E-07	180,03	-0,0003	3,86E-06	-1,18E-09	-0,8	0,0
14/07/04	6	807,42	7,22E-06	814,54	5,03E-07	180,03	-0,0003	3,86E-06	-1,18E-09	-0,6	0,0
21/07/04	7	807,42	7,22E-06	814,56	5,03E-07	180,03	0,0001	3,86E-06	3,22E-10	0,2	0,2
28/07/04	7	807,44	7,22E-06	814,54	5,03E-07	180,03	0,0000	3,86E-06	1,07E-10	0,1	0,1
03/08/04	6	807,47	7,22E-06	814,51	5,03E-07	180,03	0,0000	3,86E-06	-1,07E-10	-0,1	0,0
10/08/04	7	807,49	7,22E-06	814,50	5,03E-07	180,03	0,0001	3,86E-06	3,22E-10	0,2	0,2
17/08/04	7	807,52	7,22E-06	814,47	5,03E-07	180,03	-0,0001	3,86E-06	-2,14E-10	-0,1	0,0

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

182

Data	Δt (dias)	PM 16		PM 17		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM16} (m)	K_{PM16} (m/s)	h_{PM17} (m)	K_{PM17} (m/s)						
24/08/04	7	807,50	7,22E-06	814,43	5,03E-07	180,03	-0,0003	3,86E-06	-1,07E-09	-0,6	0,0
31/08/04	7	807,51	7,22E-06	814,42	5,03E-07	180,03	0,0000	3,86E-06	-1,07E-10	-0,1	0,0
08/09/04	8	807,48	7,22E-06	814,41	5,03E-07	180,03	-0,0002	3,86E-06	-8,58E-10	-0,6	0,0
16/09/04	8	807,45	7,22E-06	814,39	5,03E-07	180,03	-0,0003	3,86E-06	-1,07E-09	-0,7	0,0
21/09/04	5	807,45	7,22E-06	814,37	5,03E-07	180,03	-0,0001	3,86E-06	-5,36E-10	-0,2	0,0
28/09/04	7	807,41	7,22E-06	814,35	5,03E-07	180,03	-0,0003	3,86E-06	-1,07E-09	-0,6	0,0
05/10/04	7	807,40	7,22E-06	814,45	5,03E-07	180,03	0,0005	3,86E-06	1,82E-09	1,1	1,1
14/10/04	9	807,41	7,22E-06	814,48	5,03E-07	180,03	0,0002	3,86E-06	9,65E-10	0,8	0,8
19/10/04	5	807,42	7,22E-06	814,51	5,03E-07	180,03	0,0002	3,86E-06	8,58E-10	0,4	0,4
26/10/04	7	807,41	7,22E-06	814,47	5,03E-07	180,03	-0,0003	3,86E-06	-1,18E-09	-0,7	0,0
02/11/04	7	807,39	7,22E-06	814,44	5,03E-07	180,03	-0,0002	3,86E-06	-9,65E-10	-0,6	0,0
09/11/04	7	807,37	7,22E-06	814,40	5,03E-07	180,03	-0,0004	3,86E-06	-1,50E-09	-0,9	0,0
17/11/04	8	807,45	7,22E-06	814,53	5,03E-07	180,03	0,0012	3,86E-06	4,61E-09	3,2	3,2
25/11/04	8	807,40	7,22E-06	814,55	5,03E-07	180,03	-0,0001	3,86E-06	-5,36E-10	-0,4	0,0
01/12/04	6	807,42	7,22E-06	814,62	5,03E-07	180,03	0,0005	3,86E-06	1,93E-09	1,0	1,0
08/12/04	7	807,45	7,22E-06	814,62	5,03E-07	180,03	0,0001	3,86E-06	5,36E-10	0,3	0,3
15/12/04	7	807,47	7,22E-06	814,68	5,03E-07	180,03	0,0004	3,86E-06	1,61E-09	1,0	1,0
22/12/04	7	807,46	7,22E-06	814,76	5,03E-07	180,03	0,0004	3,86E-06	1,50E-09	0,9	0,9
29/12/04	7	807,48	7,22E-06	814,85	5,03E-07	180,03	0,0006	3,86E-06	2,47E-09	1,5	1,5
07/01/05	9	807,48	7,22E-06	814,98	5,03E-07	180,03	0,0007	3,86E-06	2,89E-09	2,3	2,3
14/01/05	7	807,44	7,22E-06	815,13	5,03E-07	180,03	0,0006	3,86E-06	2,36E-09	1,4	1,4
21/01/05	7	807,48	7,22E-06	815,30	5,03E-07	180,03	0,0012	3,86E-06	4,50E-09	2,7	2,7
28/01/05	7	807,55	7,22E-06	815,52	5,03E-07	180,03	0,0016	3,86E-06	6,00E-09	3,6	3,6

R (mm)	26,0
--------	------

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

183

Data	Δt (dias)	PM 18		PM 19		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM18} (m)	K_{PM18} (m/s)	h_{PM19} (m)	K_{PM19} (m/s)						
04/02/04	0	789,05	5,47E-05	794,02	1,84E-06	106,20	0,0000	2,83E-05	0,00E+00	0,0	0,0
11/02/04	7	789,16	5,47E-05	794,25	1,84E-06	106,20	0,0032	2,83E-05	9,05E-08	54,7	54,7
18/02/04	7	789,35	5,47E-05	794,47	1,84E-06	106,20	0,0039	2,83E-05	1,09E-07	66,0	66,0
26/02/04	8	789,56	5,47E-05	794,56	1,84E-06	106,20	0,0028	2,83E-05	7,85E-08	54,3	54,3
03/03/04	6	789,67	5,47E-05	794,65	1,84E-06	106,20	0,0020	2,83E-05	5,59E-08	29,0	29,0
10/03/04	7	789,79	5,47E-05	794,86	1,84E-06	106,20	0,0030	2,83E-05	8,52E-08	51,5	51,5
17/03/04	7	789,81	5,47E-05	794,81	1,84E-06	106,20	-0,0002	2,83E-05	-6,65E-09	-4,0	0,0
24/03/04	7	789,75	5,47E-05	794,54	1,84E-06	106,20	-0,0031	2,83E-05	-8,78E-08	-53,1	0,0
31/03/04	7	789,62	5,47E-05	794,32	1,84E-06	106,20	-0,0032	2,83E-05	-9,18E-08	-55,5	0,0
07/04/04	7	789,46	5,47E-05	794,19	1,84E-06	106,20	-0,0027	2,83E-05	-7,72E-08	-46,7	0,0
15/04/04	8	789,36	5,47E-05	794,09	1,84E-06	106,20	-0,0020	2,83E-05	-5,59E-08	-38,6	0,0
22/04/04	7	789,25	5,47E-05	794,01	1,84E-06	106,20	-0,0017	2,83E-05	-4,92E-08	-29,8	0,0
28/04/04	6	789,16	5,47E-05	793,98	1,84E-06	106,20	-0,0012	2,83E-05	-3,33E-08	-17,2	0,0
05/05/04	7	789,04	5,47E-05	793,95	1,84E-06	106,20	-0,0014	2,83E-05	-3,86E-08	-23,3	0,0
12/05/04	7	788,94	5,47E-05	793,89	1,84E-06	106,20	-0,0016	2,83E-05	-4,39E-08	-26,6	0,0
18/05/04	6	788,93	5,47E-05	793,88	1,84E-06	106,20	-0,0001	2,83E-05	-3,99E-09	-2,1	0,0
26/05/04	8	788,92	5,47E-05	793,83	1,84E-06	106,20	-0,0006	2,83E-05	-1,73E-08	-12,0	0,0
02/06/04	7	788,82	5,47E-05	793,74	1,84E-06	106,20	-0,0017	2,83E-05	-4,92E-08	-29,8	0,0
08/06/04	6	788,74	5,47E-05	793,71	1,84E-06	106,20	-0,0011	2,83E-05	-3,06E-08	-15,9	0,0
15/06/04	7	788,74	5,47E-05	793,67	1,84E-06	106,20	-0,0003	2,83E-05	-9,32E-09	-5,6	0,0
22/06/04	7	788,68	5,47E-05	793,67	1,84E-06	106,20	-0,0006	2,83E-05	-1,60E-08	-9,7	0,0
30/06/04	8	788,66	5,47E-05	793,66	1,84E-06	106,20	-0,0003	2,83E-05	-7,99E-09	-5,5	0,0
08/07/04	8	788,62	5,47E-05	793,60	1,84E-06	106,20	-0,0009	2,83E-05	-2,53E-08	-17,5	0,0
14/07/04	6	788,62	5,47E-05	793,60	1,84E-06	106,20	0,0000	2,83E-05	-1,33E-09	-0,7	0,0
21/07/04	7	788,64	5,47E-05	793,63	1,84E-06	106,20	0,0005	2,83E-05	1,33E-08	8,0	8,0
28/07/04	7	788,62	5,47E-05	793,62	1,84E-06	106,20	-0,0003	2,83E-05	-7,99E-09	-4,8	0,0
03/08/04	6	788,59	5,47E-05	793,61	1,84E-06	106,20	-0,0003	2,83E-05	-9,32E-09	-4,8	0,0
10/08/04	7	788,60	5,47E-05	793,63	1,84E-06	106,20	0,0002	2,83E-05	5,32E-09	3,2	3,2
17/08/04	7	788,61	5,47E-05	793,59	1,84E-06	106,20	-0,0002	2,83E-05	-6,65E-09	-4,0	0,0

APÊNDICE C
ESTIMATIVA DA RECARGA PELA FORMULAÇÃO DE DARCY

184

Data	Δt (dias)	PM 18		PM 19		L (m)	dh/dL (m/m)	K_M (m/s)	q (m ² /s.m)	R (mm/tempo)	R (mm/tempo)
		h_{PM18} (m)	K_{PM18} (m/s)	h_{PM19} (m)	K_{PM19} (m/s)						
24/08/04	7	788,61	5,47E-05	793,59	1,84E-06	106,20	0,0000	2,83E-05	0,00E+00	0,0	0,0
31/08/04	7	788,62	5,47E-05	793,58	1,84E-06	106,20	0,0000	2,83E-05	-1,33E-09	-0,8	0,0
08/09/04	8	788,62	5,47E-05	793,57	1,84E-06	106,20	0,0000	2,83E-05	0,00E+00	0,0	0,0
16/09/04	8	788,60	5,47E-05	793,55	1,84E-06	106,20	-0,0004	2,83E-05	-1,06E-08	-7,4	0,0
21/09/04	5	788,59	5,47E-05	793,53	1,84E-06	106,20	-0,0003	2,83E-05	-7,99E-09	-3,4	0,0
28/09/04	7	788,56	5,47E-05	793,52	1,84E-06	106,20	-0,0004	2,83E-05	-1,20E-08	-7,2	0,0
05/10/04	7	788,50	5,47E-05	793,49	1,84E-06	106,20	-0,0009	2,83E-05	-2,53E-08	-15,3	0,0
14/10/04	9	788,52	5,47E-05	793,47	1,84E-06	106,20	0,0001	2,83E-05	2,66E-09	2,1	2,1
19/10/04	5	788,50	5,47E-05	793,47	1,84E-06	106,20	-0,0003	2,83E-05	-7,99E-09	-3,4	0,0
26/10/04	7	788,45	5,47E-05	793,46	1,84E-06	106,20	-0,0005	2,83E-05	-1,46E-08	-8,9	0,0
02/11/04	7	788,43	5,47E-05	793,45	1,84E-06	106,20	-0,0003	2,83E-05	-7,99E-09	-4,8	0,0
09/11/04	7	788,41	5,47E-05	793,44	1,84E-06	106,20	-0,0003	2,83E-05	-9,32E-09	-5,6	0,0
17/11/04	8	788,49	5,47E-05	793,40	1,84E-06	106,20	0,0004	2,83E-05	1,20E-08	8,3	8,3
25/11/04	8	788,47	5,47E-05	793,39	1,84E-06	106,20	-0,0002	2,83E-05	-6,65E-09	-4,6	0,0
01/12/04	6	788,39	5,47E-05	793,38	1,84E-06	106,20	-0,0008	2,83E-05	-2,40E-08	-12,4	0,0
08/12/04	7	788,41	5,47E-05	793,41	1,84E-06	106,20	0,0004	2,83E-05	1,20E-08	7,2	7,2
15/12/04	7	788,50	5,47E-05	793,49	1,84E-06	106,20	0,0016	2,83E-05	4,39E-08	26,6	26,6
22/12/04	7	788,64	5,47E-05	793,66	1,84E-06	106,20	0,0030	2,83E-05	8,52E-08	51,5	51,5
29/12/04	7	788,87	5,47E-05	793,80	1,84E-06	106,20	0,0034	2,83E-05	9,58E-08	58,0	58,0
07/01/05	9	789,12	5,47E-05	793,97	1,84E-06	106,20	0,0040	2,83E-05	1,12E-07	86,9	86,9
14/01/05	7	789,45	5,47E-05	794,42	1,84E-06	106,20	0,0074	2,83E-05	2,09E-07	126,4	126,4
21/01/05	7	789,84	5,47E-05	794,95	1,84E-06	106,20	0,0086	2,83E-05	2,44E-07	147,3	147,3
28/01/05	7	790,33	5,47E-05	795,51	1,84E-06	106,20	0,0099	2,83E-05	2,81E-07	169,8	169,8

R (mm)	950,9
--------	-------

ANEXO A – DADOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA

DIÁRIOS

FEVEIRO DE 2004 A JANEIRO DE 2005

Dados de Precipitação e Temperatura Diários

Calendário Gregoriano	Calendário Juliano	Temperatura Média Diária	Precipitação Média Diária	Precipitação Média Acumulada
04/02/2004	35	14,9	2,1	2,1
05/02/2004	36	22,3	0,0	2,1
06/02/2004	37	21,2	49,1	51,2
07/02/2004	38	19,6	0,0	51,2
08/02/2004	39	19,5	0,0	51,2
09/02/2004	40	19,9	0,0	51,2
10/02/2004	41	20,7	0,0	51,2
11/02/2004	42	21,5	0,0	51,2
12/02/2004	43	22,2	0,0	51,2
13/02/2004	44	20,6	5,1	56,4
14/02/2004	45	20,0	60,4	116,8
15/02/2004	46	16,7	23,8	140,6
16/02/2004	47	21,7	10,5	151,1
17/02/2004	48	15,7	0,0	151,1
18/02/2004	49	14,6	0,0	151,1
19/02/2004	50	21,7	0,0	151,1
20/02/2004	51	19,0	0,6	151,7
21/02/2004	52	18,3	0,1	151,8
22/02/2004	53	20,5	28,6	180,5
23/02/2004	54	18,8	43,6	224,1
24/02/2004	55	17,8	34,0	258,1
25/02/2004	56	17,6	14,2	272,3
26/02/2004	57	15,0	0,0	272,3
27/02/2004	58	13,7	8,1	280,5
28/02/2004	59	21,3	0,0	280,5
29/02/2004	60	22,9	0,0	280,5
01/03/2004	61	23,4	12,2	292,6
02/03/2004	62	18,5	0,0	292,6
03/03/2004	63	17,2	11,4	304,0
04/03/2004	64	21,1	0,0	304,0
05/03/2004	65	20,6	0,0	304,0
06/03/2004	66	19,5	18,5	322,5
07/03/2004	67	20,2	0,2	322,8
08/03/2004	68	19,0	0,0	322,8
09/03/2004	69	22,4	0,0	322,8
10/03/2004	70	15,9	0,0	322,8
11/03/2004	71	19,9	0,0	322,8
12/03/2004	72	21,0	0,0	322,8
13/03/2004	73	18,9	0,1	322,9
14/03/2004	74	20,8	5,9	328,8
15/03/2004	75	14,7	0,0	328,8
16/03/2004	76	19,2	0,0	328,8
17/03/2004	77	20,2	4,7	333,5
18/03/2004	78	19,7	0,1	333,5
19/03/2004	79	21,4	1,1	334,6
20/03/2004	80	20,0	4,5	339,1
21/03/2004	81	19,4	0,0	339,1
22/03/2004	82	18,1	0,0	339,1
23/03/2004	83	18,2	0,0	339,1
24/03/2004	84	18,7	0,0	339,1
25/03/2004	85	19,4	0,0	339,1
26/03/2004	86	18,5	8,1	347,2
27/03/2004	87	21,0	0,0	347,2

Anexo A
Dados de Precipitação e Temperatura Diários

187

Calendário Gregoriano	Calendário Juliano	Temperatura Média Diária	Precipitação Média Diária	Precipitação Média Acumulada
28/03/2004	88	21,4	0,0	347,2
29/03/2004	89	22,5	0,0	347,2
30/03/2004	90	22,5	0,0	347,2
31/03/2004	91	21,1	0,6	347,8
01/04/2004	92	21,9	0,0	347,8
02/04/2004	93	23,8	0,0	347,8
03/04/2004	94	24,6	0,0	347,8
04/04/2004	95	20,9	1,2	349,0
05/04/2004	96	19,2	11,2	360,2
06/04/2004	97	20,7	10,9	371,1
07/04/2004	98	21,1	0,0	371,1
08/04/2004	99	13,5	0,0	371,1
09/04/2004	100	19,1	0,0	371,1
10/04/2004	101	21,0	0,0	371,1
11/04/2004	102	21,5	0,0	371,1
12/04/2004	103	21,2	0,0	371,1
13/04/2004	104	20,9	0,5	371,6
14/04/2004	105	19,9	13,5	385,1
15/04/2004	106	20,3	3,6	388,7
16/04/2004	107	20,5	0,0	388,7
17/04/2004	108	21,0	0,0	388,7
18/04/2004	109	13,6	0,0	388,7
19/04/2004	110	22,4	0,6	389,3
20/04/2004	111	20,0	0,0	389,3
21/04/2004	112	17,8	10,9	400,2
22/04/2004	113	22,6	0,0	400,2
23/04/2004	114	23,3	0,0	400,2
24/04/2004	115	22,3	0,0	400,2
25/04/2004	116	19,1	1,9	402,1
26/04/2004	117	17,9	0,0	402,1
27/04/2004	118	18,5	0,0	402,1
28/04/2004	119	18,9	0,0	402,1
29/04/2004	120	19,0	0,0	402,1
30/04/2004	121	19,5	0,0	402,1
01/05/2004	122	20,3	0,0	402,1
02/05/2004	123	22,0	0,0	402,1
03/05/2004	124	23,4	0,0	402,1
04/05/2004	125	22,3	0,0	402,1
05/05/2004	126	20,5	0,0	402,1
06/05/2004	127	18,4	12,7	414,8
07/05/2004	128	17,8	5,2	420,0
08/05/2004	129	15,7	0,0	420,0
09/05/2004	130	15,4	0,0	420,0
10/05/2004	131	16,1	0,0	420,0
11/05/2004	132	17,0	0,0	420,0
12/05/2004	133	20,7	0,0	420,0
13/05/2004	134	17,6	0,2	420,2
14/05/2004	135	17,8	0,1	420,3
15/05/2004	136	15,2	23,0	443,2
16/05/2004	137	13,8	0,1	443,3
17/05/2004	138	15,2	0,0	443,3
18/05/2004	139	15,0	10,9	454,2
19/05/2004	140	16,4	2,5	456,7

Anexo A
Dados de Precipitação e Temperatura Diários

188

Calendário Gregoriano	Calendário Juliano	Temperatura Média Diária	Precipitação Média Diária	Precipitação Média Acumulada
20/05/2004	141	15,8	1,4	458,1
21/05/2004	142	16,2	7,6	465,7
22/05/2004	143	17,1	1,9	467,6
23/05/2004	144	18,6	25,9	493,5
24/05/2004	145	20,0	12,3	505,8
25/05/2004	146	19,4	15,5	521,3
26/05/2004	147	11,9	8,4	529,7
27/05/2004	148	11,4	0,0	529,7
28/05/2004	149	12,9	0,0	529,7
29/05/2004	150	15,3	1,1	530,8
30/05/2004	151	18,9	5,6	536,4
31/05/2004	152	17,6	3,4	539,8
01/06/2004	153	17,4	0,0	539,8
02/06/2004	154	16,0	0,8	540,7
03/06/2004	155	15,4	5,1	545,7
04/06/2004	156	13,3	0,9	546,6
05/06/2004	157	13,4	0,0	546,6
06/06/2004	158	15,2	0,0	546,6
07/06/2004	159	16,0	0,0	546,6
08/06/2004	160	17,7	0,0	546,6
09/06/2004	161	19,0	0,0	546,6
10/06/2004	162	20,5	0,0	546,6
11/06/2004	163	20,3	0,0	546,6
12/06/2004	164	15,0	16,7	563,3
13/06/2004	165	10,0	0,1	563,4
14/06/2004	166	14,8	4,3	567,7
15/06/2004	167	16,7	1,1	568,8
16/06/2004	168	17,8	0,0	568,8
17/06/2004	169	19,1	0,0	568,8
18/06/2004	170	19,4	0,0	568,8
19/06/2004	171	17,4	0,0	568,8
20/06/2004	172	17,8	0,0	568,8
21/06/2004	173	18,6	0,0	568,8
22/06/2004	174	18,6	0,0	568,8
23/06/2004	175	19,3	0,0	568,8
24/06/2004	176	19,2	0,0	568,8
25/06/2004	177	19,4	0,0	568,8
26/06/2004	178	20,4	0,0	568,8
27/06/2004	179	20,4	0,0	568,8
28/06/2004	180	20,7	0,0	568,8
29/06/2004	181	20,0	0,0	568,8
30/06/2004	182	19,7	0,0	568,8
01/07/2004	183	19,9	0,0	568,8
02/07/2004	184	20,2	0,0	568,8
03/07/2004	185	21,0	0,0	568,8
04/07/2004	186	21,6	0,0	568,8
05/07/2004	187	20,7	0,0	568,8
06/07/2004	188	18,7	0,0	568,8
07/07/2004	189	20,5	0,0	568,8
08/07/2004	190	20,1	0,1	569,0
09/07/2004	191	17,4	0,8	569,8
10/07/2004	192	16,6	8,6	578,3
11/07/2004	193	14,3	0,4	578,7

Anexo A
Dados de Precipitação e Temperatura Diários

189

Calendário Gregoriano	Calendário Juliano	Temperatura Média Diária	Precipitação Média Diária	Precipitação Média Acumulada
12/07/2004	194	15,0	0,0	578,7
13/07/2004	195	18,5	0,0	578,7
14/07/2004	196	19,9	0,1	578,8
15/07/2004	197	20,7	0,0	578,8
16/07/2004	198	20,3	0,0	578,8
17/07/2004	199	14,7	0,3	579,1
18/07/2004	200	13,7	3,4	582,5
19/07/2004	201	12,7	27,7	610,2
20/07/2004	202	12,3	0,1	610,3
21/07/2004	203	12,7	0,0	610,3
22/07/2004	204	12,3	0,0	610,3
23/07/2004	205	12,9	0,0	610,3
24/07/2004	206	13,5	0,0	610,3
25/07/2004	207	14,1	0,0	610,3
26/07/2004	208	14,2	0,0	610,3
27/07/2004	209	15,1	0,0	610,3
28/07/2004	210	15,6	0,0	610,3
29/07/2004	211	15,3	0,0	610,3
30/07/2004	212	16,8	0,0	610,3
31/07/2004	213	18,2	0,0	610,3
01/08/2004	214	17,3	0,0	610,3
02/08/2004	215	19,6	0,0	610,3
03/08/2004	216	21,4	0,0	610,3
04/08/2004	217	19,8	0,0	610,3
05/08/2004	218	19,0	0,0	610,3
06/08/2004	219	18,5	0,0	610,3
07/08/2004	220	19,9	0,0	610,3
08/08/2004	221	15,5	0,0	610,3
09/08/2004	222	11,9	0,0	610,3
10/08/2004	223	14,7	0,0	610,3
11/08/2004	224	16,7	0,0	610,3
12/08/2004	225	13,9	0,0	610,3
13/08/2004	226	14,3	0,0	610,3
14/08/2004	227	15,5	0,0	610,3
15/08/2004	228	16,6	0,0	610,3
16/08/2004	229	17,8	0,0	610,3
17/08/2004	230	19,7	0,0	610,3
18/08/2004	231	21,0	0,0	610,3
19/08/2004	232	22,3	0,0	610,3
20/08/2004	233	23,3	0,0	610,3
21/08/2004	234	24,3	0,0	610,3
22/08/2004	235	24,9	0,0	610,3
23/08/2004	236	24,8	0,0	610,3
24/08/2004	237	23,2	0,0	610,3
25/08/2004	238	20,8	0,0	610,3
26/08/2004	239	24,4	0,0	610,3
27/08/2004	240	20,9	0,0	610,3
28/08/2004	241	22,1	0,0	610,3
29/08/2004	242	19,9	0,0	610,3
30/08/2004	243	22,7	0,0	610,3
31/08/2004	244	22,1	0,0	610,3
01/09/2004	245	23,7	0,0	610,3
02/09/2004	246	24,5	0,0	610,3

Dados de Precipitação e Temperatura Diários

Calendário Gregoriano	Calendário Juliano	Temperatura Média Diária	Precipitação Média Diária	Precipitação Média Acumulada
03/09/2004	247	24,7	0,0	610,3
04/09/2004	248	21,5	0,0	610,3
05/09/2004	249	21,6	0,0	610,3
06/09/2004	250	25,4	0,0	610,3
07/09/2004	251	24,0	0,0	610,3
08/09/2004	252	26,3	0,0	610,3
09/09/2004	253	26,1	0,0	610,3
10/09/2004	254	25,5	0,0	610,3
11/09/2004	255	21,7	0,0	610,3
12/09/2004	256	19,3	0,3	610,6
13/09/2004	257	21,2	0,0	610,6
14/09/2004	258	23,3	0,0	610,6
15/09/2004	259	22,2	0,0	610,6
16/09/2004	260	21,6	0,0	610,6
17/09/2004	261	19,1	0,0	610,6
18/09/2004	262	19,9	5,5	616,0
19/09/2004	263	21,4	0,0	616,0
20/09/2004	264	20,2	0,0	616,0
21/09/2004	265	23,5	0,0	616,0
22/09/2004	266	23,6	0,0	616,0
23/09/2004	267	20,9	0,0	616,0
24/09/2004	268	20,1	0,0	616,0
25/09/2004	269	17,4	0,0	616,0
26/09/2004	270	2,5	0,0	616,0
27/09/2004	271	26,8	0,5	616,5
28/09/2004	272	27,3	0,0	616,5
29/09/2004	273	23,6	0,0	616,5
30/09/2004	274	17,8	0,0	616,5
01/10/2004	275	16,3	0,0	616,5
02/10/2004	276	18,0	4,1	620,6
03/10/2004	277	15,8	11,7	632,3
04/10/2004	278	17,7	13,6	645,9
05/10/2004	279	15,3	0,0	645,9
06/10/2004	280	16,5	0,0	645,9
07/10/2004	281	15,3	0,0	645,9
08/10/2004	282	18,2	0,0	645,9
09/10/2004	283	22,7	0,0	645,9
10/10/2004	284	23,5	0,0	645,9
11/10/2004	285	20,3	14,6	660,4
12/10/2004	286	20,3	1,4	661,9
13/10/2004	287	6,1	6,2	668,1
14/10/2004	288	8,4	10,7	678,8
15/10/2004	289	19,3	7,3	686,1
16/10/2004	290	-3,0	11,5	697,6
17/10/2004	291	18,9	1,5	699,1
18/10/2004	292	13,4	23,4	722,4
19/10/2004	293	14,6	0,0	722,4
20/10/2004	294	17,0	12,6	735,0
21/10/2004	295	18,5	0,0	735,0
22/10/2004	296	17,4	0,0	735,0
23/10/2004	297	18,6	0,0	735,0
24/10/2004	298	19,4	0,0	735,0
25/10/2004	299	20,3	1,7	736,7

Dados de Precipitação e Temperatura Diários

Calendário Gregoriano	Calendário Juliano	Temperatura Média Diária	Precipitação Média Diária	Precipitação Média Acumulada
26/10/2004	300	8,2	9,2	745,9
27/10/2004	301	18,1	1,5	747,4
28/10/2004	302	17,5	0,0	747,4
29/10/2004	303	18,3	0,0	747,4
30/10/2004	304	16,9	0,0	747,4
31/10/2004	305	19,1	0,0	747,4
01/11/2004	306	25,2	0	747,4
02/11/2004	307	21,6	0	747,4
03/11/2004	308	22,1	1	748,4
04/11/2004	309	24,6	0	748,4
05/11/2004	310	22,7	0,4	748,8
06/11/2004	311	23,2	0	748,8
07/11/2004	312	22,9	0	748,8
08/11/2004	313	18,5	0	748,8
09/11/2004	314	19,8	0	748,8
10/11/2004	315	22,4	0	748,8
11/11/2004	316	24,0	0	748,8
12/11/2004	317	19,5	41,7	790,5
13/11/2004	318	19,4	1,4	791,9
14/11/2004	319	20,3	0	791,9
15/11/2004	320	21,1	0	791,9
16/11/2004	321	20,1	37,8	829,7
17/11/2004	322	19,0	17,6	847,3
18/11/2004	323	20,1	7,8	855,1
19/11/2004	324	20,1	35,1	890,2
20/11/2004	325	20,2	0,7	890,9
21/11/2004	326	19,9	0	890,9
22/11/2004	327	19,3	0	890,9
23/11/2004	328	20,3	0	890,9
24/11/2004	329	22,2	0	890,9
25/11/2004	330	23,9	0	890,9
26/11/2004	331	24,8	0	890,9
27/11/2004	332	25,8	0	890,9
28/11/2004	333	23,8	0,3	891,2
29/11/2004	334	20,6	36,7	927,9
30/11/2004	335	20,5	3,7	931,6
01/12/2004	336	21,4	0,1	931,7
02/12/2004	337	22,1	0,0	931,7
03/12/2004	338	20,3	0,0	931,7
04/12/2004	339	23,0	4,1	935,8
05/12/2004	340	23,0	0,0	935,8
06/12/2004	341	24,5	2,1	937,9
07/12/2004	342	22,9	0,0	937,9
08/12/2004	343	23,2	0,0	937,9
09/12/2004	344	21,0	0,0	937,9
10/12/2004	345	19,5	0,0	937,9
11/12/2004	346	19,7	2,5	940,4
12/12/2004	347	20,3	0,0	940,4
13/12/2004	348	22,2	0,0	940,4
14/12/2004	349	24,3	0,0	940,4
15/12/2004	350	22,5	23,3	963,7
16/12/2004	351	25,2	0,0	963,7
17/12/2004	352	23,6	24,9	988,6

Dados de Precipitação e Temperatura Diários

Calendário Gregoriano	Calendário Juliano	Temperatura Média Diária	Precipitação Média Diária	Precipitação Média Acumulada
18/12/2004	353	23,1	7,1	995,7
19/12/2004	354	22,4	53,1	1048,8
20/12/2004	355	22,1	28,3	1077,1
21/12/2004	356	19,8	16,8	1093,9
22/12/2004	357	17,5	3,0	1096,9
23/12/2004	358	18,7	13,0	1109,9
24/12/2004	359	22,2	0,0	1109,9
25/12/2004	360	22,8	0,0	1109,9
26/12/2004	361	21,0	22,4	1132,3
27/12/2004	362	20,9	0,6	1132,9
28/12/2004	363	23,8	0,0	1132,9
29/12/2004	364	25,1	0,0	1132,9
30/12/2004	365	25,2	3,6	1136,5
31/12/2004	366	25,0	0,0	1136,5
01/01/2005	1	23,1	24,4	1160,9
02/01/2005	2	23,0	6,9	1167,8
03/01/2005	3	21,5	10,7	1178,5
04/01/2005	4	19,7	69,6	1248,1
05/01/2005	5	20,7	35,5	1283,6
06/01/2005	6	22,0	21,9	1305,5
07/01/2005	7	23,4	19,7	1325,2
08/01/2005	8	24,1	20,5	1345,7
09/01/2005	9	22,6	2,6	1348,3
10/01/2005	10	23,7	0,0	1348,3
11/01/2005	11	22,3	20,2	1368,5
12/01/2005	12	22,6	1,9	1370,4
13/01/2005	13	22,8	0,0	1370,4
14/01/2005	14	21,6	0,0	1370,4
15/01/2005	15	26,0	0,0	1370,4
16/01/2005	16	24,6	42,8	1413,2
17/01/2005	17	22,4	3,5	1416,7
18/01/2005	18	25,9	0,9	1417,6
19/01/2005	19	21,2	50,5	1468,1
20/01/2005	20	21,1	18,9	1487,0
21/01/2005	21	22,6	5,7	1492,7
22/01/2005	22	23,7	0,0	1492,7
23/01/2005	23	23,5	0,1	1492,8
24/01/2005	24	24,1	0,0	1492,8
25/01/2005	25	22,9	29,1	1521,9
26/01/2005	26	18,6	6,2	1528,1
27/01/2005	27	18,3	48,6	1576,7
28/01/2005	28	20,5	19,8	1596,5

ANEXO B – SPT - SONDAGENS DE SIMPLES RECONHECIMENTO

SETEMBRO DE 2003

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
 TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

SÊCO	4,00	1,00	1/30	1	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE, MARROM.
		2,00	1/25	1/20	x	
		3,00	1	1	1	
		4,00	4	3	2	
		5,00	3	3	3	
	10,45	6,00	3	3	4	ARGILA ARENOSA, MÉDIA A DURA, MARROM, COM CASCALHO E PRESENÇA DE PEDREGULHO A 4,00 M.
		7,00	3	4	4	
		8,00	3	4	5	
		9,00	4	5	7	
		10,00	5	6	8	

FIM DO FURO
 PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 PROJETO FINEP/FNDCT/CT-HIDRO.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO		
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO	24-set-03	
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"				
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO	24-set-03	
		75,00 cm				
M 01			REVEST.	x	A	x
			TRADO	0.00	A	10.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	x	A	x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	RUA PROFESSOR CAIO DE FIGUEIREDO DA SILVA / SÃO CARLOS.				

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

3,10	1,00		1	2	2	ATERRO COM MATERIAL ARGILOSO, CINZA ESCURO, SEM COMPACTAÇÃO.
		1,00				
	2,50					ARGILA ARENOSA, MOLE A MÉDIA, MARROM CLARO VARIEGADO COM PRESENÇA DE PEDREGULHO GROSSO A 2,20 M.
		2,00	2	3	4	
	5,95	3,00	2	4	4	ARGILA MÉDIA, AMARELA, COM PRESENÇA DE CASCALHO.
		4,00	2	4	6	
		5,00	2	3	3	
						LIMITE DA SONDAGEM IMPENETRÁVEL À FERRAMENTA DE PERCUSSÃO PARADA POR LT (30 MIN. / 0 CM) PROVÁVEL ENCONTRO DO TOPO ROCHOSO OU MATAÇÃO.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm	EXECUÇÃO			
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm	INÍCIO 24-set-03			
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"	TÉRMINO 24-set-03			
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg				
		75,00 cm				
M 12			REVEST.	0.00	A	4.00
			TRADO	0.00	A	3.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	3.00	A	5.95
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	ROTÁTORIA SELESTE ZANON / SÃO CARLOS - SP.				

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

[illegible]

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm	EXECUÇÃO			
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm	INÍCIO 24-set-03			
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"	TÉRMINO 24-set-03			
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg				
		75,00 cm				
M 03			REVEST.	x	A	x
			TRADO	0.00	A	3.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	x	A	x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	R.MANOEL ANTONIO MATTOS COM R.COMENDADOR ALFREDO MAFFEI,SÃO CARLOS.				

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
 TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

SÊCO	0,50					ATERRO COM MATERIAL ARGILO ARENOSO, SEM COMPACTAÇÃO.
		1,00	1/45	x	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE A MÉDIA, MARROM VARIEGADO.
		2,00	1/30	1	x	
		3,00	1	1	1	
		4,00	1	1	1	
		5,00	1	1	1	
	10,45	6,00	1	1	1	
		7,00	1	1	2	
		8,00	1	2	2	
		9,00	2	3	3	
		10,00	2	3	5	
						FIM DO FURO PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.
						UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO PROJETO FINEP/FNDCT/CT-HIDRO.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO	23-set-03
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"		TÉRMINO	23-set-03
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg			
		75,00 cm			
M	04	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		REVEST.	x A x
				TRADO	0.00 A 10.00
				LAVAGEM	x A x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
	OBRA :	RUA GEMINIANO COSTA ENTRE R.TOTÓ LEITE E MANOEL ANT. MATTOS .			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
 TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

SÊCO	0,50					ATERRO COM MATERIAL ARENOSO, MARROM SEM COMPACTAÇÃO.
10,45	1,00	1	1	1		ARGILA ARENOSA, MOLE A RIJA, MARROM, AMARELA E CINZA, COM PRESENÇA DE PEDREGULHO A 9,90 M.
	2,00	1	1	1		
	3,00	1	1	2		
	4,00	1	2	2		
	5,00	2	2	2		
	6,00	2	2	2		
	7,00	2	2	2		
	8,00	2	2	2		
	9,00	2	3	3		
	10,00	4	6	7		
				</		

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO	23-set-03
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"		TÉRMINO	23-set-03
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg			
		75,00 cm			
M	05	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		REVEST.	x A x
				TRADO	0.00 A 10.00
				LAVAGEM	x A x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
	OBRA :	CENTREVILLE - SÃO CARLOS - SP.			

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

SÉCO					
10,45	1,00	1/30	1/20	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE A MÉDIA, MARROM ESCURO E MARROM CLARO.
	2,00	1/30	1	x	
	3,00	1/25	1/20	x	
	4,00	2/23	1/22	x	
	5,00	1	1	1	
	6,00	1	1	1	
	7,00	1	1	2	
	8,00	1	2	2	
	9,00	2	2	3	
	10,00	3	4	5	
	FIM DO FURO PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.				
				UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO PROJETO FINEP/FNDCT/CT-HIDRO.	

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm	EXECUÇÃO			
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm				
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"	INÍCIO	23-set-03		
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg				
		75,00 cm	TÉRMINO	23-set-03		
M 06			REVEST.	x	A	x
			TRADO	0.00	A	10.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	x	A	x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	CENTREVILLE - SÃO CARLOS - SP.				

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

[illegible]

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm	EXECUÇÃO			
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm	INÍCIO 22-set-03 TÉRMINO 22-set-03			
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"				
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg				
		75,00 cm				
M 07			REVEST.	0.00	A	4.00
			TRADO	0.00	A	2.50
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	2.50	A	4.75
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	AVENIDA SÃO CARLOS COM RUA GEMINIANO COSTA / SÃO CARLOS - SP..

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

6,35	0,65	1,00	1/45	x	x	ATERRO DE MATERIAL ARGILLO ARENOSO, SEM COMPACTAÇÃO (PRESENÇA DE PAVIMENTO ASFALTICO E PARALELEPÍPEDO DE 9 A 20 CM.)
	4,50	2,00	1/30	1/20	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE, MARROM ESCURO.
		3,00	1/25	1/20	x	
		4,00	1	1	1	
		5,00	2	3	3	
	10,45	6,00	2	4	6	ARGILA POUCA SILTOSA, MÉDIA A RIJA, MARROM VARIEGADO.
		7,00	2	3	4	
		8,00	2	3	5	
		9,00	3	4	6	
		10,00	4	6	8	
</						

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm	EXECUÇÃO			
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm				
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"	INÍCIO	23-set-03		
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg				
		75,00 cm	TÉRMINO	23-set-03		
M 08			REVEST.	x	A	x
			TRADO	0.00	A	6.00
		ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI	LAVAGEM	x	A	x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	AVENIDA SÃO CARLOS COM RUA 13 DE MAIO / SÃO CARLOS - SP.				

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

6,00	4,00	1,00	2	2	3	ATERRO COM MATERIAL ARGILOSO MARROM, SEM COMPACTAÇÃO.
		2,00	2	3	3	
		3,00	2	2	2	
		4,00	1	2	2	
		5,00	1	1	1	
	4,70	6,00	1/30	1	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE, CINZA ESCURO.
		7,00	2	3	3	
	9,55	8,00	2	2	3	ARGILA ARENOSA, MOLE A MÉDIA, COM CASCALHO, MARROM VARIEGADO(PRESENÇA DE PEDREGULHO E AREIA MÉDIA NA CAMADA DE 6,50 A 6,78 M).
		9,00	3	4	5	

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO		
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO 22-set-03		
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"				
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO 22-set-03		
75,00 cm						
M 09			REVEST.	0.00	A	7.00
			TRADO	0.00	A	6.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	6.00	A	9.55
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	SESC / SÃO CARLOS - SP.				

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

[illegible]

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm	EXECUÇÃO			
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm				
MÁRTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"	INÍCIO	22-set-03		
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg				
		75,00 cm	TÉRMINO	22-set-03		
M 10			REVEST.	x	A	x
			TRADO	0.00	A	5.60
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	x	A	x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	SESC / SÃO CARLOS - SP.				

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
 TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

4,60	7,50	1,00	1	1	1	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE, AMARELA VARIEGADA.
		2,00	1	1	1	
		3,00	1/25	1/20	x	
		4,00	1/30	1	x	
		5,00	1/23	1/22	x	
		6,00	1	1	1	
		7,00	1	2	2	
		8,00	3	4	4	
		9,00	3	5	6	
	10,00	10,00	4	7	8	ARGILA POUCO SILTOSA, MUITO MOLE A RIJA, MARROM, CINZA.
						LIMITE DA SONDAAGEM PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO	15-set-03
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"			
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO	15-set-03
75,00 cm					
S	01			REVEST.	0.00 A 7.00
				TRADO	0.00 A 6.00
				LAVAGEM	6.00 A 10.00
		ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI			
COTA:		CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
		OBRA : NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
 TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

2,00	2,00	1,00	1/30	1	x	ATERRO COM MATERIAL ARGILLO ARENOSO, CINZA ESCURO COM ENTULHO.
		2,00	1/45	x	x	
	2,65	3,00	P/45	x	x	ARGILA POUCO SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA ESCURO.
		4,00	1/25	1/20	x	
	4,90	5,00	1/30	1	x	AREIA FINA ARGILOSA, FOFA, CINZA.
		6,00	1	1	1	
	10,00	7,00	2	3	4	ARGILA ARENOSA, MÉDIA A RIJA, MARROM (CAMADA DE 25 CM. COM AREIA GROSSA E PEDREGULHO A 6,50 M).
		8,00	4	4	5	
		9,00	5	7	8	
		10,00	5	8	8	
						LIMITE DA SONDAGEM PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO			
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO			
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"		14-set-03			
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO			
		75,00 cm		14-set-03			
S	02			REVEST.	0.00	A	7.00
				TRADO	0.00	A	2.00
				LAVAGEM	2.50	A	10.00
COTA:		ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI					
CLIENTE :		PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.					
OBRA :		NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.					

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

[illegible]

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO	14-set-03
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"			
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO	14-set-03
75,00 cm					
S 03			REVEST.	0.00	A 6.00
			TRADO	0.00	A 2.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	2.00	A 10.00
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
	OBRA :	NASCENTE DO CÔRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

[illegible]

AMOSTRADOR SPT	DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm	EXECUÇÃO			
REVESTIMENTO	DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm				
MARTELO	TUBOS COM DN = 2 1/2"	INÍCIO	14-set-03		
ALTURA DE QUEDA	65,00 Kg				
	75,00 cm	TÉRMINO	14-set-03		
S 04		REVEST.	0.00	A	6.00
		TRADO	0.00	A	4.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI	LAVAGEM	4.00	A	10.00
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
	OBRA :	NASCENTE DO CÔRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP. TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP
--

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------	-----------------	----------	-----	-----------------------------

2,70	1,75	1,00	1/30	1	x	ATERRO COM MATERIAL ARGILO ARENOSO, MARROM CLARO E CINZA ESCURO, COM ENTULHO.
		2,00	P/45	x	x	
	10,00	3,00	P/50	x	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE A MÉDIA, CINZA, MARROM.
		4,00	1	1	1	
		5,00	1	1	2	
		6,00	1	2	2	
		7,00	2	3	4	
	8,00	2	4	5		
	9,00	2	4	4		
	10,00	2	4	4		
					LIMITE DA SONDAGEM PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE	

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO	
		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm			
REVESTIMENTO		TUBOS COM DN = 2 1/2"		INÍCIO 13-set-03	
MARTELO		65,00 Kg			
ALTURA DE QUEDA		75,00 cm		TÉRMINO 13-set-03	
S	05	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		REVEST.	0.00 A 6.00
				TRADO	0.00 A 2.70
				LAVAGEM	2.70 A 10.00
COTA:		CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
OBRA :		NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
 TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

1,70	0,70	1,00	1	2	2	ATERRO COM MATERIAL ARENOSO E ARGILOSO, MARROM E PRETO.
	5,50	2,00	2	3	3	ARGILA ARENOSA, MOLE A RIJA, CINZA E MARROM CLARO.
		3,00	2	4	5	
		4,00	3	5	7	
		5,00	5	8	10	
		6,00	11	21	32	AREIA FINA POUCO SILTOSA, MUITO COMPACTA, CINZA ESCURO.
	7,70	7,00	8	15	23	
		8,00	4	6	9	
	10,00	9,00	5	8	11	ARGILA ARENOSA, RIJA A DURA, MARROM E CINZA ESCURO (PRESENÇA DE CASCALHO A 9,00 M).
		10,00	5	9	14	
						LIMITE DA SONDAAGEM PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO	13-set-03
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"			
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO	13-set-03
		75,00 cm			
S 06			REVEST.	0.00	A 4.00
			TRADO	0.00	A 2.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	2.00	A 10.00
COTA:	CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA : NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.				

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
 TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

5,88	0,83	1,00	1	2	2	ATERRO COM MATERIAL ARGILOSO, CINZA ESCURO COM ENTULHO.
	5,90	2,00	2	2	2	ARGILA POUCA ARENOSA, MUITO MOLE, VARIEGADA, AMARELA, CINZA.
		3,00	1/25	1/20	x	
		4,00	1/30	1	x	
		5,00	1	1	1	
		6,00	1	1	1	
	10,00	7,00	2	3	4	ARGILA SILTOSA, MÉDIA A RIJA, MARROM.
		8,00	3	4	5	
		9,00	3	5	5	
		10,00	4	6	8	
						LIMITE DA SONDADEM PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO	12-set-03
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"			
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO	12-set-03
75,00 cm					
S	07			REVEST.	0.00 A 7.00
				TRADO	0.00 A 6.00
				LAVAGEM	6.00 A 10.00
		ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI			
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
	OBRA :	NASCENTE DO CÔRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP. TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP
--

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------	-----------------	----------	-----	-----------------------------

4,40	0,70	1,00	1/50	x	x	ATERRO COM MATERIAL ARENOSO, POUCO ARGILOSO, MARROM CLARO.
	5,00	2,00	1/45	x	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE, MARROM CLARO.
		3,00	1/30	1	x	
		4,00	1/25	1/20	x	
		5,00	1	1	2	
		10,00	6,00	2	2	
	7,00		2	3	3	
	8,00		2	3	5	
	9,00		4	5	7	
	10,00		5	6	8	

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm TUBOS COM DN = 2 1/2"		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO				INÍCIO 11-set-03	
MARTELO		65,00 Kg		TÉRMINO 11-set-03	
ALTURA DE QUEDA		75,00 cm			
S	08	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		REVEST.	x A x
				TRADO	0.00 A 4.00
				LAVAGEM	x A x
COTA:		CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
OBRA :		NASCENTE DO CÔRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC	- SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA
RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.	
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP	

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------	-----------------	----------	-----	-----------------------------

2,40	2,50	1,00	2	3	3	ATERRO COM MATERIAL ARGILOSO, CINZA ESCURO A PRETO COM ENTULHO.
		2,00	1	1	1	
	3,70	3,00	1/30	1/20	x	AREIA FINA, POUCO ARGILOSA, FOFA, CINZA ESCURO.
		4,00	P/20	x	x	
	7,15	5,00	P/45	x	x	ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, PRETA A CINZA CLARO.
		6,00	P/50	x	x	
		7,00	P/15	2	2	
	7,85	8,00	4	4	5	AREIA MÉDIA POUCO ARGILOSA, FOFA, CINZA.
	10,50	9,00	5	7	8	ARGILA SILTOSA, MÉDIA A RIJA, MARROM CLARO (PRESENÇA DE CASCALHO A 7,85 M).
		10,00	5	8	8	
	19,20	11,00	4	7	7	ARGILA ARENOSA, RIJA A DURA, MARROM, CINZA ESVERDEADO (PRESENÇA DE CASCALHO A 19,00 M).
		12,00	4	7	8	
		13,00	4	6	7	
		14,00	4	7	8	
		15,00	4	6	8	
		16,00	5	7	9	
		17,00	6	8	12	
		18,00	7	10	14	
		19,00	49/10	x	x	

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO	
		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO 11-set-03	
REVESTIMENTO		TUBOS COM DN = 2 1/2"		TÉRMINO 11-set-03	
MARTELO		65,00 Kg			
ALTURA DE QUEDA		75,00 cm			
S	09		REVEST.	0.00	A 8.00
			TRADO	0.00	A 2.00
		ENG.º MAGNALDO MELLO SÓLCI	LAVAGEM	2.00	A 19.20
COTA:		CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
OBRA :		NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP. TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP	
--	--

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

3,80	1,65	1,00	2	1/30	x	ATERRO COM MATERIAL ARGILLO ARENOSO CINZA ESCURO COM ENTULHO.
		2,00	1/45	x	x	
	2,50					ARGILA POUCO ARENOSA,MUITO MOLE,CINZA ESVERDEADO.
	10,80	3,00	1/30	1/25	x	ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, MARROM VARIEGADO (PRESENÇA DE PEDREGULHO FINO A 7.50 M.
		4,00	1/20	1	1	
		5,00	1	1	1	
		6,00	1	1	1	
		7,00	1/30	1	x	
		8,00	1/25	1/20	x	
		9,00	1/30	1	x	
		10,00	1/23	1/22	x	
		11,00	1	2	2	
	15,70	12,00	1	1	3	ARGILA ARENOSA, MOLE A MÉDIA, MARROM ESCURO VARIEGADO (PRESENÇA DE CASCALHO).
		13,00	2	2	2	
		14,00	2	2	3	
		15,00	3	4	5	
		16,00	12	49/05	x	
	16,25					ARGILA ARENOSA, DURA, MARROM ESCURO VARIEGADO (PRESENÇA DE CASCALHO AMARELADO, MUITO DURO).
						LIMITE DA SONDAGEM IMPENETRÁVEL À FERRAMENTA DE PERCUSSÃO PARADA POR L / T(30 MIN. / 5 CM). PROVÁVEL ENCONTRO DO TOPO ROCHOSO OU MATAÇÃO.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm			
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"		INÍCIO	11-set-03
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg			
		75,00 cm		TÉRMINO	11-set-03
S	10			REVEST.	0.00 A 12.00
				TRADO	0.00 A 4.00
		ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	4.00 A 16.25
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
	OBRA :	NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
 TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

SÊCO	10,00	1,00	1/30	1	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE A RIJA, AMARELA, MARROM.
		2,00	1/25	1/20	x	
		3,00	1/30	1	x	
		4,00	1	1	1	
		5,00	1	1	1	
		6,00	2	2	3	
		7,00	2	3	4	
		8,00	2	4	4	
		9,00	2	4	6	
		10,00	3	5	8	
						LIMITE DA SONDAAGEM. PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO		
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO		
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"		15-set-03		
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO		
		75,00 cm		15-set-03		
M 01			REVEST.	x	A	x
			TRADO	0.00	A	10.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	x	A	x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.				

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

[illegible]

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO		
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO 15-set-03		
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"				
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO 15-set-03		
75,00 cm						
M 02			REVEST.	x	A	x
			TRADO	0.00	A	9.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	x	A	x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.				

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
 TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

7,00	5,00	1,00	1/30	1/20	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE, AMARELA, MARROM.
		2,00	1/30	1	x	
		3,00	1	1	1	
		4,00	1	1	1	
		5,00	2	1	1	
		6,00	1	2	2	ARGILA POUCA ARENOSA, MUITO MOLE A RIJA, MARROM (PRESENÇA DE CASCALHO A 5,15 M).
	10,00	7,00	2	3	3	
		8,00	3	4	5	
		9,00	4	5	7	
		10,00	5	7	8	
						LIMITE DA SONDADEM IMPENETRÁVEL À FERRAMENTA DE PERCUSSÃO.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO		
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm		INÍCIO		
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"		15-set-03		
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg		TÉRMINO		
		75,00 cm		15-set-03		
M 03			REVEST.	x	A	x
			TRADO	0.00	A	7.00
		ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI	LAVAGEM	x	A	x
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.				
	OBRA :	NASCENTE DO CÔRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.				

RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP.
TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

[illegible]

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm	EXECUÇÃO		
REVESTIMENTO		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm			
MARTELO		TUBOS COM DN = 2 1/2"	INÍCIO	14-set-03	
ALTURA DE QUEDA		65,00 Kg			
		75,00 cm	TÉRMINO	14-set-03	
M 04			REVEST.	0.00	A 6.00
			TRADO	0.00	A 2.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		LAVAGEM	2.00	A 10.00
COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
	OBRA :	NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP. TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP
--

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------------	-----------------------	----------	-----	-----------------------------

3,10	1,60	1,00	2	2	2	ATERRO COM MATERIAL ARGILO ARENOSO, MARROM CLARO.
		2,00	2	2	3	
	4,30	3,00	1/45	x	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE, MARROM CLARO E CINZA ESCURO.
		4,00	1/30	2	x	
	6,00	5,00	1/30	1	x	AREIA FINA, FOFA, MARROM CLARO.
	6,90	6,00	2	3	3	AREIA FINA ARGILOSA, POUCO COMPACTA, MARROM.
		7,00	5	7	8	
	9,40	8,00	6	10	12	ARGILA ARENOSA, RIJA A DURA, MARROM CLARO.
		9,00	12	50	x	
						IMPENETRÁVEL À FERRAMENTA DE PERCUSSÃO (ROCHA OU MATAÇÃO)

AMOSTRADOR SPT	DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm TUBOS COM DN = 2 1/2"	EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO	65,00 Kg	INÍCIO	13-set-03
MARTELO	75,00 cm	TÉRMINO	13-set-03
ALTURA DE QUEDA			
M 05	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI	REVEST.	0.00 A 6.00
		TRADO	0.00 A 3.00
		LAVAGEM	3.00 A 9.40
COTA:	CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.		
OBRA :	NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.		

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP. TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP
--

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------	-----------------	----------	-----	-----------------------------

SÊCO	0,68					ATERRO COM MATERIAL ARGILOSO, MARROM CLARO.	
	1,00	1/25	1/20	x			
	10,00	2,00	1/30	1/20	x		ARGILA ARENOSA, MOLE A RIJA, MARROM (PRESENÇA DE CASCALHO A 5,00 M).
		3,00	1/23	1/22	x		
		4,00	1/30	1	x		
		5,00	1	2	2		
		6,00	1	2	3		
		7,00	2	3	4		
		8,00	3	4	5		
		9,00	4	5	7		
		10,00	4	6	8		

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm TUBOS COM DN = 2 1/2"		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO		65,00 Kg		INÍCIO	14-set-03
MARTELO		75,00 cm		TÉRMINO	14-set-03
ALTURA DE QUEDA					
M	06	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		REVEST.	x A x
				TRADO	0.00 A 10.00
				LAVAGEM	x A x
COTA:		CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
OBRA :		NASCENTE DO Córrego TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP. TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP
--

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------	-----------------	----------	-----	-----------------------------

2,50	2,00	1,00	2	2	2	ATERRO COM MATERIAL ARGILOSO, CINZA ESCURO COM ENTULHO.	
		2,00	1/45	x	x		
	3,55	3,00	1/55	x	x	ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, CINZA ESCURO.	
		4,00	P/55	x	x		
	5,45	5,00	P/45	x	x	TURFA.	
	6,00	6,00	P/50	x	x	AREIA FINA ARGILOSA, FOFA, CINZA ESCURO.	
	8,50	7,00	P/48	x	x	TURFA.	
		8,00	P/50	x	x		
	10,00	9,00	P/15	1/40	x	ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE, PRETA.	
		10,00	1	1/30	x		
							LIMITE DA SONDAGEM PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm		EXECUÇÃO			
		DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm					
REVESTIMENTO		TUBOS COM DN = 2 1/2"		INÍCIO 13-set-03			
MARTELO		65,00 Kg					
ALTURA DE QUEDA		75,00 cm		TÉRMINO 13-set-03			
M 07	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI			REVEST.	0.00	A	6.00
				TRADO	0.00	A	2.50
				LAVAGEM	2.50	A	10.00
COTA:		CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.					
OBRA :		NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.					

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP. TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP
--

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------	-----------------	----------	-----	-----------------------------

5,43	2,25	1,00	1	1	1	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE, AMARELA E MARROM CLARO.
		2,00	1	2	2	
		3,00	1	1	2	
	10,00	4,00	1	1	2	ARGILA ARENOSA, MOLE A RIJA, MARROM CLARO (PRESENÇA DE CASCALHO A 2,25 M).
		5,00	1	2	2	
		6,00	1	2	2	
		7,00	2	3	3	
		8,00	3	4	4	
		9,00	4	6	7	
		10,00	5	8	9	
		LIMITE DA SONDAGEM				
	PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.					

AMOSTRADOR SPT		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm TUBOS COM DN = 2 1/2"		EXECUÇÃO	
REVESTIMENTO		65,00 Kg		INÍCIO	13-set-03
MARTELO		75,00 cm		TÉRMINO	13-set-03
ALTURA DE QUEDA					
M	08	ENG.º MAGNALDO MELLO SÓLCI		REVEST.	x A x
				TRADO	0.00 A 6.00
				LAVAGEM	x A x
COTA:		CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.			
OBRA :		NASCENTE DO CÔRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.			

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP. TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP
--

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------	-----------------	----------	-----	-----------------------------

2,30	3,00	1,00	2	3	3	ATERRO COM MATERIAL ARGILOSO, MARROM COM ENTULHO.
		2,00	2	2	2	
		3,00	P/45	x	x	
		4,00	P/15	1/30	x	
	4,50	5,00	1/30	1	x	TURFA.
		6,00	1	1	2	
	7,60	7,00	1	2	2	AREIA FINA ARGILOSA, MOLE, CINZA (PRESENÇA DE PEDREGULHO DE 4,50 A 4,70 M).
						LIMITE DA SONDAGEM IMPENETRÁVEL À FERRAMENTA DE PERCUSSÃO PARADA POR L/T (30 MIN. / SEM PENETRAÇÃO). PROVÁVEL ENCONTRO DO TOPO ROCHOSO OU MATAÇÃO.

AMOSTRADOR SPT	DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm	EXECUÇÃO	
	DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm	INÍCIO	12-set-03
REVESTIMENTO	TUBOS COM DN = 2 1/2"		
MARTELO	65,00 Kg	TÉRMINO	12-set-03
ALTURA DE QUEDA	75,00 cm		
M 09		REVEST.	0.00 A 5.00
		TRADO	0.00 A 2.00
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI	LAVAGEM	2.00 A 7.60
COTA:	CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.		
OBRA :	NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.		

ESTATEC - SÃO CARLOS COMÉRCIO E FUNDAÇÕES LTDA RUA JOSÉ BENETI, 526 - SÃO CARLOS - SP. TELEFAX : (16) 271 - 6304 CREA : 122.067 / SP
--

NÍVEL DE ÁGUA	PROF. DA CAMADA	AMOSTRAS	SPT	CLASSIFICAÇÃO DO SUB - SOLO
---------------	-----------------	----------	-----	-----------------------------

4,40	0,40					ATERRO COM MATERIAL ARGILOSO, MARROM COM ENTULHO.	
	8,70	1,00	1/45	x	x	ARGILA ARENOSA, MUITO MOLE A MOLE, CINZA, MARROM.	
		2,00	1/30	1/20	x		
		3,00	1/25	1/20	x		
		4,00	1/30	1	x		
		5,00	1	1	2		
		6,00	1	2	2		
	7,00	2	2	2			
	8,00	2	2	3			
	9,00	2	3	3			
	10.00					ARGILA SILTOSA, MOLE A MÉDIA, VERDE, MARROM.	
		10,00	2	3	4		
						LIMITE DA SONDAGEM PROFUNDIDADE DETERMINADA PELO CONTRATANTE.	

AMOSTRADOR SPT REVESTIMENTO MARTELO ALTURA DE QUEDA		DIÂMETRO EXTERNO = 50,00 mm DIÂMETRO INTERNO = 34,90 mm TUBOS COM DN = 2 1/2" 65,00 Kg 75,00 cm	EXECUÇÃO INÍCIO 12-set-03 TÉRMINO 12-set-03
M 10			REVEST. x A x TRADO 0.00 A 4.00 LAVAGEM x A x
	ENG.º MAGNALDO MELLO SOLCI		
	COTA:	CLIENTE :	PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. OBRA : NASCENTE DO CÓRREGO TIJUCO PRETO À RUA RUI BARBOSA / SÃO CARLOS - SP.